



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

## NÁVRH LETOUNU VUT 081 KONDOR V DVOUSTRUPOVÉ VARIANTĚ

DESIGN OF VUT 081 KONDOR AEROPLANE IN DOUBLE-FUSELAGE VARIANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Filip Suk

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. Antonín Píštěk, CSc.

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Filip Suk

který/která studuje v magisterském navazujícím studijním programu

obor: Stavba letadel (2301T039)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Návrh letounu VUT 081 Kondor v dvoutrupové variantě**

v anglickém jazyce:

#### **Design of VUT 081 Kondor aeroplane in double-fuselage variant**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Výpočet zatížení, návrh konstrukčního řešení a dimenzí pro hlavní části letounu VUT 081 KONDOR v dvoutrupové variantě. Letoun bude navrhován s respektováním předpisů CS VLA, LSA a ELSA. Letoun by měl splňovat požadavky evropského předpisu ELSA s technologií stavebnicové stavby a víceúčelové použití v provozu.

Cíle diplomové práce:

Základním dokumentem pro řešení diplomové práce je Technická specifikace letounu VUT 081 KONDOR, hmotový rozbor a aerostatické podklady. Pro daný letoun vypočítat zatížení OP a motorového lože. Cílem řešení je detailně navrhnout nosníky trupu ve dvoutrupové variantě společně s kýlovou plochou a zástavbou do konstrukce centroplánu. Pro konstrukci centroplánu využít návrh letounu JA 600 se zatahovacím podvozkem, který bude převzat z tohoto letounu. Navrhnout konstrukci stabilizátoru včetně závěsů na kýlech s respektováním systému řízení výškového i směrového kormidla. Navrhnout způsob uchycení centroplánu na trupovou gondolu s respektováním řešení konstrukce trupu. Schematicky navrhnout motorové lože pro motor ROTAX. Z grafických výstupů zpracovat třípohledový náčrt letounu, detaily konstrukce trupových nosníků, zástavbu do centroplánu a další podle pokynů vedoucího DP.

Seznam odborné literatury:

[1] Jane's: All the World's Aircraft (všech vydání)

[2] časopisecká literatura

[3] Niu, M.C.Y: Airframe Structural design, Conmilit LTD, 1991.

Internetové zdroje

Technická specifikace letounu VUT 081 Kondor

Podle doporučení vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Antonín Píštěk, CSc.

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

V Brně, dne 22.11.2012

L.S.

---

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

---

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

## **Abstrakt**

Cílem diplomového projektu je určit zatížení ocasních ploch a motorového lože pro motor ROTAX 912iS letounu VUT 081 KONDOR. Dále provést návrh nosníků, stabilizátoru a kýlových ploch, návrh uchycení nosníků k centroplánu s uvážením systému řízení. Při návrhu jsou uplatněny předpisy CS-VLA s respektováním předpisu ELSA pro stavebnicovou konstrukci.

## **Klíčová slova**

Dvoutrupový letoun, ROTAX, hmotnostní rozbor, aerostatické podklady, obálka zatížení, výpočet zatížení ocasních ploch, výpočet zatížení motorového lože, návrh nosníků, návrh ocasních ploch.

## **Abstract**

The aim of the diploma thesis is to determine loads of the empennages and the engine mount for the engine ROTAX 912iS of the VUT 081 Kondor aircraft. Further the thesis deals with a design of a stabilizer and of beams of empennage with fins. I also present a design of mountings for beams to the center wing box. The design is presented with regard to CS-VLA regulations and the ELSA regulation for modular construction.

## **Keywords**

Double – fuselage aircraft, ROTAX, weight analysis, aerostatic documents, load envelope, the empennage load calculation, the engine mount load calculation, beams of empennage design, empennage design.



## **Bibliografická citace mé práce:**

SUK, F. *Návrh letounu VUT 081 Kondor v dvoutrupové variantě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 184 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Antonín Pištěk, CSc..



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Návrh letounu VUT 081 Kondor v dvoutrupové variantě“ jsem zpracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu použité literatury na konci práce.

V Brně dne 21. 05. 2013

.....  
Bc. Filip Suk



## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Antonínu Píšťkovi, CSc. za odbornou pomoc při zpracování mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Františku Vaňkovi, Ph.D. za poskytnutí cenných rad týkajících se zatížení ocasních ploch, které mi pomohly ve vypracování tohoto projektu.

V neposlední řadě děkuji mým rodičům za velkou podporu během mého vysokoškolského studia.



## Obsah

|           |                                                                       |               |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>1.</b> | <b>ÚVOD.....</b>                                                      | <b>- 12 -</b> |
| 1.1.      | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....                              | - 13 -        |
| 1.2.      | PŘEDPISOVÁ BÁZE .....                                                 | - 15 -        |
| 1.3.      | POUŽITÝ SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM .....                                     | - 15 -        |
| 1.4.      | POPIS LETOUNU .....                                                   | - 16 -        |
| 1.5.      | ZÁKLADNÍ GEOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY LETOUNU .....                    | - 17 -        |
| 1.6.      | LETOUNY, Z KTERÝCH LETOUN KONDOR VYCHÁZÍ.....                         | - 18 -        |
| 1.7.      | KONCEPCE USPOŘÁDÁNÍ OCASNÍCH PLOCH.....                               | - 19 -        |
| 1.8.      | POROVNÁNÍ LETOUNŮ VUT – 001 MARABU A VUT – 081 KONDOR.....            | - 20 -        |
| 1.9.      | LETOUNY V DVOUTRUPOVÉ VARIANTĚ.....                                   | - 20 -        |
| <b>2.</b> | <b>HMOTOVÝ ROZBOR LETOUNU VUT 081 KONDOR [16].....</b>                | <b>- 22 -</b> |
| 2.1.      | VÝSTROJ .....                                                         | - 22 -        |
| 2.2.      | POHONNÁ SOUSTAVA.....                                                 | - 22 -        |
| 2.3.      | KONSTRUKCE DRAKU .....                                                | - 23 -        |
| 2.4.      | PODVOZKOVÁ SKUPINA.....                                               | - 23 -        |
| 2.5.      | PRÁZDNÁ HMOTNOST .....                                                | - 23 -        |
| 2.6.      | UŽITEČNÉ ZATÍŽENÍ.....                                                | - 24 -        |
| 2.7.      | HMOTNOSTNÍ KONFIGURACE, POLOHA TĚŽIŠTĚ A CENTRÁŽE .....               | - 24 -        |
| 2.8.      | ROZSAHY HMOTNOSTÍ A CENTRÁŽÍ.....                                     | - 26 -        |
| 2.9.      | OBÁLKA CENTRÁŽÍ .....                                                 | - 27 -        |
| 2.10.     | VÝPOČET STŘEDNÍ AERODYNAMICKÉ TĚTIVY.....                             | - 28 -        |
| <b>3.</b> | <b>AEROSTATICKÉ PODKLADY LETOUNU VUT 081 KONDOR [17] .....</b>        | <b>- 29 -</b> |
| 3.1.      | KŘÍDLO .....                                                          | - 29 -        |
| 3.2.      | VZTLAKOVÉ ČÁRY .....                                                  | - 31 -        |
| 3.3.      | AERODYNAMICKÁ POLÁRA LETOUNU .....                                    | - 33 -        |
| <b>4.</b> | <b>LETOVÉ VÝKONY LETOUNU VUT - 081 KONDOR.....</b>                    | <b>- 34 -</b> |
| 4.1.      | VÝPOČET ODHADU MAXIMÁLNÍ RYCHLOSTI LETOUNU V HORIZONTÁLNÍM LETU ..... | - 34 -        |
| 4.2.      | STOUPAVÝ LET A DOSTUP LETOUNU.....                                    | - 34 -        |
| 4.3.      | KLOUZAVÝ LET LETOUNU .....                                            | - 36 -        |
| 4.4.      | HODNOCENÍ PÁDOVÝCH RYCHLOSTÍ .....                                    | - 38 -        |
| 4.5.      | DÉLKA VZLETU A PŘISTÁNÍ .....                                         | - 39 -        |
| <b>5.</b> | <b>OBÁLKA ZATÍŽENÍ LETOUNU VUT 081 KONDOR .....</b>                   | <b>- 44 -</b> |
| 5.1.      | ZÁKLADNÍ VSTUPNÍ HODNOTY VÝPOČTU .....                                | - 44 -        |
| 5.2.      | VÝPOČET OBÁLKY ZATÍŽENÍ .....                                         | - 44 -        |
| 5.3.      | VÝSLEDNÉ HODNOTY VÝPOČTU .....                                        | - 47 -        |
| 5.4.      | OBÁLKA ZATÍŽENÍ .....                                                 | - 48 -        |
| <b>6.</b> | <b>ZATÍŽENÍ KŘÍDLA A MOTOROVÉHO LOŽE .....</b>                        | <b>- 48 -</b> |
| <b>7.</b> | <b>ZATÍŽENÍ OCASNÍCH PLOCH .....</b>                                  | <b>- 49 -</b> |
| 7.1.      | VSTUPNÍ HODNOTY PRO VÝPOČET PŘÍPADŮ ZATÍŽENÍ VOP A SOP .....          | - 49 -        |
| 7.2.      | ZATÍŽENÍ VODOROVNÉ OCASNÍ PLOCHY (VOP).....                           | - 50 -        |
| 7.3.      | ZATÍŽENÍ SVISLÝCH OCASNÍCH PLOCH (SOP).....                           | - 61 -        |
| <b>8.</b> | <b>PRŮBĚHY ZATÍŽENÍ VOP.....</b>                                      | <b>- 67 -</b> |
| 8.1.      | GEOMETRIE VOP PRO VÝPOČET PRŮBĚHŮ ZATÍŽENÍ .....                      | - 67 -        |
| 8.2.      | VZTAHY PRO VÝPOČET PRŮBĚHŮ ZATÍŽENÍ.....                              | - 68 -        |
| 8.3.      | VYVAŽOVACÍ ZATÍŽENÍ VOP .....                                         | - 69 -        |



|            |                                                                                 |                |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 8.4.       | ZATÍŽENÍ VOP OD PORYVU .....                                                    | - 71 -         |
| 8.5.       | ZATÍŽENÍ VOP OD MANÉVRU .....                                                   | - 73 -         |
| 8.6.       | SOUHRN ZATÍŽENÍ VOP .....                                                       | - 75 -         |
| 8.7.       | PRŮBĚHY ZATÍŽENÍ .....                                                          | - 78 -         |
| 8.8.       | NESYMETRICKÉ ZATÍŽENÍ VOP .....                                                 | - 81 -         |
| 8.9.       | ZATÍŽENÍ VYVAŽOVACÍ PLOŠKY NA VK .....                                          | - 82 -         |
| <b>9.</b>  | <b>PRŮBĚHY ZATÍŽENÍ SOP .....</b>                                               | <b>- 84 -</b>  |
| 9.1.       | GEOMETRIE SOP PRO VÝPOČET PRŮBĚHŮ ZATÍŽENÍ .....                                | - 84 -         |
| 9.2.       | PORYVOVÉ ZATÍŽENÍ SOP .....                                                     | - 85 -         |
| 9.3.       | MANÉVROVACÍ ZATÍŽENÍ SOP .....                                                  | - 86 -         |
| 9.4.       | ROZDĚLENÍ SPOJITÉHO ZATÍŽENÍ NA KÝL A SMĚROVÉ KORMIDLO .....                    | - 87 -         |
| 9.5.       | NEKOMBINOVANÉ ZATÍŽENÍ SMĚROVÝCH KORMIDEL .....                                 | - 88 -         |
| 9.6.       | KOMBINOVANÁ ZATÍŽENÍ OCASNÍCH PLOCH .....                                       | - 90 -         |
| 9.7.       | PRŮBĚH POSOUVAJÍCÍ SÍLY NA KÝLECH .....                                         | - 91 -         |
| <b>10.</b> | <b>ZATÍŽENÍ TRUPOVÝCH NOSNÍKŮ .....</b>                                         | <b>- 95 -</b>  |
| 10.1.      | VSTUPNÍ HODNOTY A PARAMETRY VÝPOČTU .....                                       | - 95 -         |
| 10.2.      | PRŮBĚHY ZATÍŽENÍ TRUPOVÝCH NOSNÍKŮ - KOMBINACE .....                            | - 97 -         |
| 10.3.      | MAXIMÁLNÍ HODNOTY PRŮBĚHŮ ZATÍŽENÍ TRUPOVÝCH NOSNÍKŮ .....                      | - 99 -         |
| 10.4.      | PRŮBĚHY MOMENTŮ TRUPOVÝCH NOSNÍKŮ .....                                         | - 99 -         |
| <b>11.</b> | <b>ZATÍŽENÍ PODVOZKU .....</b>                                                  | <b>- 102 -</b> |
| 11.1.      | ZÁKLADNÍ VSTUPNÍ DATA VÝPOČTU .....                                             | - 102 -        |
| 11.2.      | PODMÍNKY A PŘEDPOKLADY POZEMNÍHO ZATÍŽENÍ .....                                 | - 103 -        |
| 11.3.      | STATICKE REAKCE NA JEDNOTLIVÉ PODVOZKOVÉ NOHY .....                             | - 104 -        |
| 11.4.      | VODOROVNÉ PŘISTÁNÍ .....                                                        | - 105 -        |
| 11.5.      | ZATÍŽENÍ PŘI PŘISTÁNÍ S PŘEDNÍM KOLEM TĚSNĚ NAD ZEMÍ .....                      | - 107 -        |
| 11.6.      | ZATÍŽENÍ PŘI PŘISTÁNÍ S VELKÝM ÚHLEM NÁBĚHU .....                               | - 108 -        |
| 11.7.      | ZATÍŽENÍ PŘI PŘISTÁNÍ NA JEDNO KOLO .....                                       | - 108 -        |
| 11.8.      | ZATÍŽENÍ PŘI PŘISTÁNÍ S BOČNÍM VĚTREM .....                                     | - 109 -        |
| 11.9.      | ZATÍŽENÍ PŘI BRZDĚNÍ .....                                                      | - 110 -        |
| 11.10.     | DODATEČNÉ PODMÍNKY PRO PŘÍĐOVÉ PODVOZKY .....                                   | - 112 -        |
| 11.11.     | PŘEHLED VÝPOČTENÝCH VÝSLEDKŮ POZEMNÍHO ZATÍŽENÍ .....                           | - 112 -        |
| <b>12.</b> | <b>NÁVRH A PEVNOSTNÍ VÝPOČET STABILIZÁTORU .....</b>                            | <b>- 114 -</b> |
| 12.1.      | VSTUPNÍ GEOMETRICKÉ PARAMETRY DO PEVNOSTNÍHO VÝPOČTU .....                      | - 114 -        |
| 12.2.      | PEVNOSTNÍ NÁVRH A KONTROLA PÁSNIC NOSNÍKU .....                                 | - 115 -        |
| 12.3.      | PEVNOSTNÍ NÁVRH A KONTROLA POTAHU .....                                         | - 116 -        |
| 12.4.      | PEVNOSTNÍ NÁVRH A KONTROLA STOJINY .....                                        | - 118 -        |
| 12.5.      | KONTROLA NÝTOVÝCH SPOJŮ .....                                                   | - 119 -        |
| 12.6.      | KONTROLA ZÁVĚSOVÉHO ŽEBRA .....                                                 | - 120 -        |
| 12.7.      | NÁVRH A KONTROLA ZÁVĚSŮ STABILIZÁTORU .....                                     | - 121 -        |
| 12.8.      | PŘEHLED VÝPOČTENÝCH SOUČINITELŮ REZERVY KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ STABILIZÁTORU ..... | - 125 -        |
| <b>13.</b> | <b>NÁVRH A PEVNOSTNÍ VÝPOČET VÝŠKOVÉHO KORMIDLA .....</b>                       | <b>- 126 -</b> |
| 13.1.      | VSTUPNÍ GEOMETRICKÉ PARAMETRY PRO PEVNOSTNÍ VÝPOČET .....                       | - 126 -        |
| 13.2.      | PEVNOSTNÍ NÁVRH A KONTROLA PÁSNIC NOSNÍKU .....                                 | - 127 -        |
| 13.3.      | PEVNOSTNÍ NÁVRH A KONTROLA POTAHU .....                                         | - 128 -        |
| 13.4.      | PEVNOSTNÍ NÁVRH A KONTROLA STOJINY .....                                        | - 130 -        |
| 13.5.      | KONTROLA NÝTOVÝCH SPOJŮ .....                                                   | - 131 -        |
| 13.6.      | NÁVRH A KONTROLA ŽEBER .....                                                    | - 132 -        |
| 13.7.      | NÁVRH VYVAŽOVACÍ PLOŠKY .....                                                   | - 133 -        |
| 13.8.      | KONTROLA ZÁVĚSŮ VÝŠKOVÉHO KORMIDLA A PÁKY ŘÍZENÍ .....                          | - 134 -        |



|            |                                                                                     |                |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 13.9.      | PŘEHLED VYPOČTENÝCH SOUČINITELŮ REZERVY KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ VÝŠKOVÉHO KORMIDLA..... | - 137 -        |
| <b>14.</b> | <b>NÁVRH A PEVNOSTNÍ VÝPOČET SMĚROVÉHO KORMIDLA .....</b>                           | <b>- 138 -</b> |
| 14.1.      | SYSTÉMOVÝ MODEL SMĚROVÉHO KORMIDLA A VSTUPNÍ GEOMETRICKÉ PARAMETRY VÝPOČTU .....    | - 138 -        |
| 14.2.      | ZATĚŽOVACÍ HODNOTY ZATÍŽENÍ PRO PEVNOSTNÍ KONTROLU .....                            | - 139 -        |
| 14.3.      | PEVNOSTNÍ KONTROLA V POLOZE ŘEZ 1 .....                                             | - 139 -        |
| 14.4.      | PEVNOSTNÍ KONTROLA V POLOZE ŘEZ 2 .....                                             | - 140 -        |
| 14.5.      | PEVNOSTNÍ KONTROLA V POLOZE ŘEZ 3 .....                                             | - 141 -        |
| 14.6.      | KONTROLA ZÁVĚSŮ SK .....                                                            | - 143 -        |
| 14.7.      | PŘEHLED SOUČINITELŮ REZERVY KONSTR. PRVKŮ SK.....                                   | - 144 -        |
| <b>15.</b> | <b>NÁVRH A PEVNOSTNÍ KONTROLA KÝLŮ .....</b>                                        | <b>- 145 -</b> |
| 15.1.      | PEVNOSTNÍ NÁVRH A KONTROLA PÁSNÍK KÝLOVÝCH NOSNÍKŮ .....                            | - 145 -        |
| 15.2.      | PEVNOSTNÍ NÁVRH A KONTROLA POTAHU KÝLU .....                                        | - 147 -        |
| 15.3.      | PEVNOSTNÍ NÁVRH A KONTROLA STOJINY .....                                            | - 149 -        |
| 15.4.      | NÁVRH A KONTROLA HORNÍHO ZÁVĚSU SMĚROVÉHO KORMIDLA .....                            | - 150 -        |
| 15.5.      | NÁVRH A KONTROLA ZÁVĚSŮ K STABILIZÁTORU .....                                       | - 151 -        |
| 15.6.      | PŘEHLED VYPOČTENÝCH SOUČINITELŮ REZERVY PRO KÝLOVÉ PLOCHY .....                     | - 153 -        |
| <b>16.</b> | <b>NÁVRH A PEVNOSTNÍ KONTROLA TRUPOVÝCH NOSNÍKŮ .....</b>                           | <b>- 154 -</b> |
| 16.1.      | ROZHODUJÍCÍ HODNOTY ZATÍŽENÍ TRUPOVÝCH NOSNÍKŮ .....                                | - 154 -        |
| 16.2.      | GEOMETRICKÉ CHARAKTERISTIKY .....                                                   | - 154 -        |
| 16.3.      | ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE OD MOMENTU $M_{OI}$ .....                                       | - 155 -        |
| 16.4.      | ZATÍŽENÍ OD MOMENTU $M_{OII}$ .....                                                 | - 155 -        |
| 16.5.      | KONTROLA POTAHU .....                                                               | - 156 -        |
| 16.6.      | NÁVRH DOLNÍHO ZÁVĚSU SMĚROVÉHO KORMIDLA .....                                       | - 157 -        |
| 16.7.      | PŘEHLED SOUČINITELŮ REZERVY PRO TRUPOVÉ NOSNÍKY .....                               | - 157 -        |
| 16.8.      | VÝPOČET VELIKOSTI DEFORMACE TRUPOVÉHO NOSNÍKU .....                                 | - 158 -        |
| 16.9.      | NÁVRH A KONTROLA UCHYCENÍ TRUPOVÝCH NOSNÍKŮ K CENTROPLÁNU .....                     | - 162 -        |
| <b>17.</b> | <b>SYSTÉM ŘÍZENÍ.....</b>                                                           | <b>- 166 -</b> |
| <b>18.</b> | <b>ILUSTRACE NÁVRHU .....</b>                                                       | <b>- 169 -</b> |
| <b>19.</b> | <b>TECHNOLOGICKÉ ZPRACOVÁNÍ .....</b>                                               | <b>- 172 -</b> |
| 19.1.      | ZÁKLADNÍ POJMY .....                                                                | - 172 -        |
| 19.2.      | ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝ VÝROBNÍ STROJ – CNC .....                                          | - 172 -        |
| 19.3.      | DĚLENÍ MATERIÁLU PRO PLOŠNÉ TVÁŘENÍ POMOCÍ STROJŮ CNC .....                         | - 173 -        |
| 19.4.      | VÝROBA DÍLCŮ S LEMY A PROLISY – TVÁŘENÍ NEPEVNÝM NÁSTROJEM.....                     | - 174 -        |
| <b>20.</b> | <b>ZÁVĚR .....</b>                                                                  | <b>- 176 -</b> |
| <b>21.</b> | <b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>                                                | <b>- 177 -</b> |
| <b>22.</b> | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                                                         | <b>- 179 -</b> |
| <b>23.</b> | <b>SEZNAM TABULEK.....</b>                                                          | <b>- 181 -</b> |
|            | <b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>                                                          | <b>- 184 -</b> |

## 1. Úvod

Malé lehké letouny dnes nemusejí sloužit pouze k účelům rekreačního létání. Z důvodu stále se zvyšujících cen fosilních paliv je společnost nucena stále více omezovat investice do drahých a neekonomických létajících zařízení. Právě letoun VUT 081 KONDOR by se mohl stát levnější alternativou, která by mohla nahradit užívání drahých a neekonomických strojů s rotujícími rotory, mezi které patří helikoptéry a dnes velice populární vírníky. Helikoptéry se široce uplatňují při různých pozorovacích činnostech. Mohou sledovat provoz na dálnicích a jiných pozemních komunikacích, pozorovat změny charakteru přírodních útvarů, kontrolovat plynovody a ropovody na rozsáhlém území. Tyto činnosti by díky nízké pádové rychlosti mohl s úspěchem provádět také letoun vyvíjený leteckým ústavem VUT. Pohonná jednotka letounu KONDOR je v tlačném uspořádání. Tato koncepce nejenom umožňuje pilotovi velice dobrý výhled z kabiny letounu, ale dává také příležitost umístit různá vybavení přímo do špičky letounu. Letoun VUT 081 bude vybaven motorem ROTAX 912iS, který by měl zaručit vysokou ekonomickou výhodu letounu a v neposlední řadě také nízký ekologický dopad na životní prostředí.

Tato práce si klade za cíl detailně navrhnout ocasní plochy a trupové nosníky, které jsou uchyceny do centroplánu letounu *Skyleader 600*. Samotné uchycení bude v tomto projektu navrženo také. Při návrhu bude respektován systém řízení. Samotnému konstrukčnímu návrhu musí předcházet výpočet zatížení ocasních ploch a trupových nosníků, který vychází z hmotnostního rozboru letounu a z aerostatických podkladů. Tyto vstupní data budou převzata ze zpráv, které jsou vydány na půdě leteckého ústavu.

V práci budou dále zpracovány výpočty základních výkonů letounu KONDOR, výpočet letové obálky letounu, výpočet zatížení motorového lože pro motor ROTAX 912iS a výpočet přistávacího zatížení.

## 1.1. Seznam použitých symbolů a zkratek

|                      |                 |                                                                                     |
|----------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $C_{Lmax-0}$         | [-]             | Maximální součinitel vztlaku letounu, klapky 0°                                     |
| $C_{Lmax-35}$        | [-]             | Maximální součinitel vztlaku letounu, klapky 35°                                    |
| $C_{Lmin}$           | [-]             | Minimální součinitel vztlaku letounu                                                |
| $C_L^{\alpha-0}$     | $[rad^{-1}]$    | Sklon vztlakové čáry, klapky 0°                                                     |
| $C_L^{\alpha-35}$    | $[rad^{-1}]$    | Sklon vztlakové čáry, klapky 35°                                                    |
| $c_{SGT}$            | [m]             | Střední geometrická tětíva                                                          |
| $g$                  | $[m.s^{-2}]$    | Tíhové zrychlení                                                                    |
| $K_g$                | [-]             | Zmírňující součinitel poryvu                                                        |
| $m$                  | [kg]            | Hmotnost letounu                                                                    |
| $n$                  | [-]             | Násobek                                                                             |
| $S$                  | $[m^2]$         | Plocha křídla                                                                       |
| $U_{de}$             | $[m.s^{-1}]$    | Odvozená intenzita poryvů                                                           |
| $V_A$                | $[km.h^{-1}]$   | Návrhová obrátová rychlost                                                          |
| $V_C$                | $[km.h^{-1}]$   | Návrhová cestovní rychlost                                                          |
| $V_D$                | $[km.h^{-1}]$   | Návrhová rychlost strmého sestupného letu                                           |
| $V_F$                | $[km.h^{-1}]$   | Návrhová rychlost s vysunutými vztlakovými klapkami                                 |
| $V_G$                | $[km.h^{-1}]$   | Rychlost v bodě "G" obrátové obálky                                                 |
| $V_S$                | $[km.h^{-1}]$   | Pádová rychlost                                                                     |
| $V_{SF}$             | $[km.h^{-1}]$   | Pádová rychlost s vysunutými vztlakovými klapkami                                   |
| $\mu_g$              | [-]             | Hmotnostní poměr letounu                                                            |
| $\rho$               | $[kg.m^{-3}]$   | Hustota vzduchu                                                                     |
| $G_1$                | [N]             | Zatížení motorového lože setrvačnými silami v případě maximálního kladného násobku  |
| $G_2$                | [N]             | Zatížení motorového lože setrvačnými silami v případě maximálního záporného násobku |
| $F_B$                | [N]             | Bočná síla na motorové lože                                                         |
| $n_b$                | [-]             | Boční násobek, $n_b = 1,33$                                                         |
| $i$                  | [-]             | Převodový poměr reduktoru                                                           |
| $n_{vrt}$            | $[ot.min^{-1}]$ | Otáčky vrtule                                                                       |
| $M_{K-trv}$          | [Nm]            | Krouticí moment od motoru při maximálním trvalém výkonu                             |
| $M_{K-motor}$        | [Nm]            | Krouticí moment od motoru dle CS-VLA 361                                            |
| $c_{SAT}$            | [m]             | Střední aerodynamická tětíva křídla                                                 |
| $\bar{x}_{A\ kř-tr}$ | [-]             | Poměrná poloha A.S. letounu bez VOP na $c_{SAT}$                                    |
| $\bar{l}_{VOP}$      | [m]             | Vzdálenost A.S. letounu bez VOP a A.S. VOP                                          |

|                      |                      |                                                                 |
|----------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------|
| $C_{m0kr-tr-0}$      | [-]                  | Součinitel klopivého momentu letounu bez VOP, klapky 0°         |
| $C_{m0kr-tr-35}$     | [-]                  | Součinitel klopivého momentu letounu bez VOP, klapky 35°        |
| $S_{VOP}$            | [m <sup>2</sup> ]    | Plocha VOP                                                      |
| $C_L^{\alpha}_{vop}$ | [-]                  | Sklon vztlakové čáry VOP                                        |
| $d\epsilon/d\alpha$  | [-]                  | Derivace úhlu zešikmění v místě VOP, klapky 0°                  |
| $K_{VOP}$            | [-]                  | Součinitel snížení dynamického tlaku na VOP                     |
| $\tau_{VK}$          | [-]                  | Účinnost výškového kormidla                                     |
| $\delta_{VK min}$    | [°]                  | Výchylka VK nahoru                                              |
| $\delta_{VK max}$    | [°]                  | Výchylka VK dolů                                                |
| $S_{SOP}$            | [m <sup>2</sup> ]    | Plocha SOP                                                      |
| $C_{SGTSOP}$         | [m]                  | Střední geometrická tětíva SOP                                  |
| $C_L^{\beta}_{SOP}$  | [-]                  | Sklon vztlakové čáry SOP                                        |
| $d\epsilon/d\beta$   | [-]                  | Derivace úhlu zešikmění proudu na SOP od vybočení               |
| $K_{SOP}$            | [-]                  | Součinitel snížení dynamického tlaku na SOP                     |
| $\tau_{SK}$          | [-]                  | Účinnost směrového kormidla                                     |
| $\delta_{SK}$        | [°]                  | Výchylka SK                                                     |
| $L_{SOPt}$           | [m]                  | Vzdálenost těžiště letounu a A.S. SOP, $x_T = 19,26 \% C_{SAT}$ |
| $L_{SOPt}$           | [m]                  | Vzdálenost těžiště letounu a A.S. SOP, $x_T = 29,06 \% C_{SAT}$ |
| $b$                  | [m]                  | Rozpětí křídla                                                  |
| $C$                  | [%]                  | Centráž                                                         |
| $T$                  | [N]                  | Posouvající síla v daném řezu                                   |
| $M_O$                | [N.m]                | Ohybový moment v daném řezu                                     |
| $M_k$                | [N.m]                | Kroutící moment v daném řezu                                    |
| $E$                  | [MPa]                | Modul pružnosti v tahu                                          |
| $t$                  | [mm]                 | Tloušťka plechu potahu                                          |
| $\sigma_{DOV}$       | [MPa]                | Dovolené napětí                                                 |
| $q_K$                | [Nmm <sup>-1</sup> ] | Smykový tok od kroutícího momentu                               |
| $q_S$                | [Nmm <sup>-1</sup> ] | Smykový tok od posouvající síly                                 |
| $q_V$                | [Nmm <sup>-1</sup> ] | Výsledný smykový tok ve stojině                                 |
| $\eta$               | [-]                  | Součinitel rezervy                                              |
| $F_h, F_d$           | [N]                  | Síly v pásnicích nosníku                                        |
| $\tau$               | [MPa]                | Smykové napětí                                                  |
| $\sigma$             | [MPa]                | Napětí                                                          |
| $A_p$                | [mm <sup>2</sup> ]   | Průřezová plocha pásnice                                        |
| $R_{NH}$             | [mm]                 | Poloměr náběžné hrany                                           |

**Tabulka 1.1 - Seznam použitých symbolů**

|              |                                             |
|--------------|---------------------------------------------|
| VOP          | Vodorovné ocasní plochy                     |
| VK           | Výškové kormidlo                            |
| SOP          | Svislé ocasní plochy                        |
| SK           | Směrové kormidlo                            |
| A.S.         | Aerodynamický střed                         |
| $AS_{kř-tr}$ | Aerodynamický střed křídlo-trupu            |
| $AS_{VOP}$   | Aerodynamický střed vodorovné ocasní plochy |
| $AS_{SOP}$   | Aerodynamický střed svislé ocasní plochy    |
| MSA          | Mezinárodní standartní atmosféra            |
| SAT          | Střední aerodynamická těživa                |
| ZRT          | Základní rovina trupu                       |

Tabulka 1.2 - Seznam použitých zkratk

## 1.2. Předpisová báze

### ELSA = Experimental Light Sport Aircraft

ELSA je kategorie amatérsky postavených letadel s maximální vzletovou hmotností 600 kg. Technický předpis pro ELSA je založen na ASTM F2245, který je používán také pro LSA v USA.

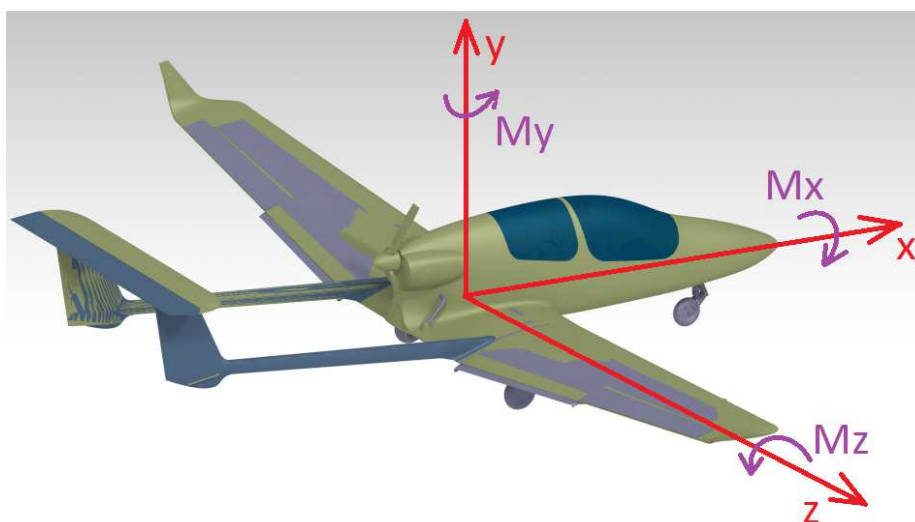
### LSA = Light Sport Aircraft

Americká kategorie letadel o hmotnosti do 600 kg.

### CS-VLA = Certification Specification for Very Light Aircraft

Kategorie VLA byla vydána agenturou ELSA v roce 2003. Zahrnuje jednomotorová letadla o hmotnosti až 750 kg a s maximálně dvěma sedadly.

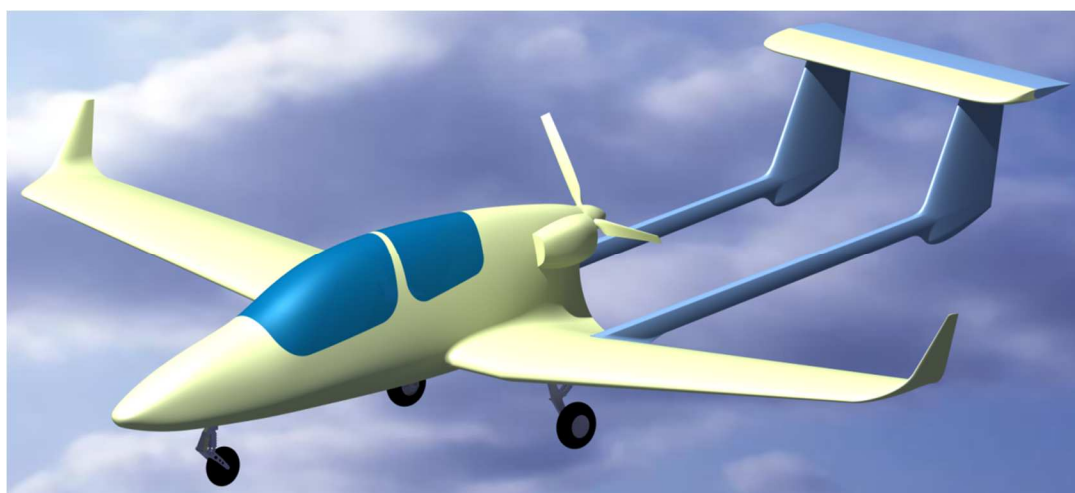
## 1.3. Použitý souřadnicový systém



Obrázek 1.1 - Použitý souřadnicový systém

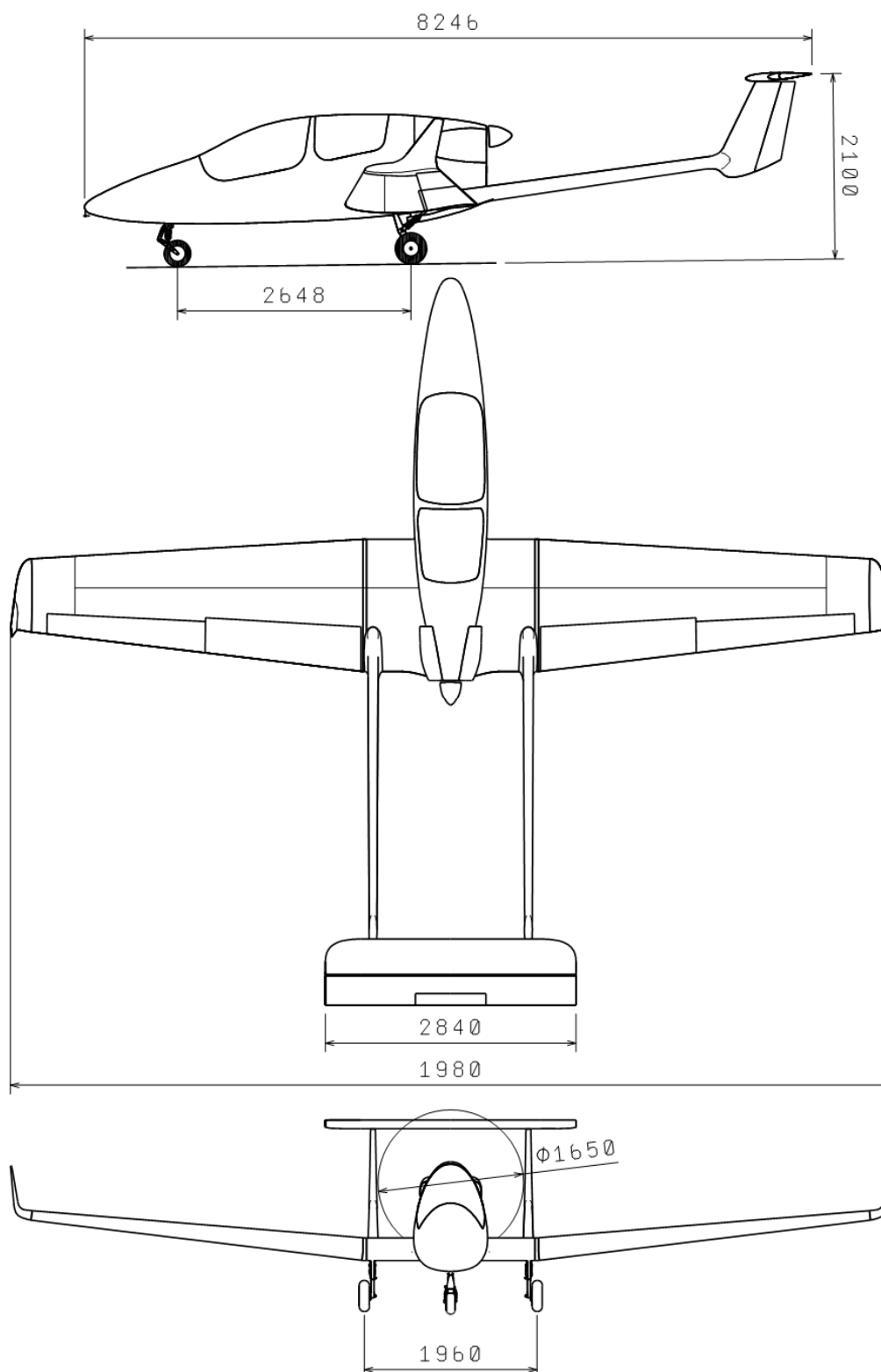
## 1.4. Popis letounu

Letoun VUT 081 KONDOR je letoun vyvíjený Leteckým ústavem VUT v Brně. KONDOR patří do rodiny letounů, jako jsou VUT 001 MARABU, VUT 051 RAY, VUT 061 TURBO. Oproti předešlým typům je letoun KONDOR dvoutrupový. Tato modifikace je zacílena na zlepšení aerodynamických parametrů letounu oproti dosavadním verzím. Snížila se zejména výška letounu. Pro pohon letounu je použit motor ROTAX 912iS o výkonu 100 *hp*, který vyniká svým ekologickým chodem a nízkou spotřebou paliva. Letoun je vyvíjen jako stavebnicová konstrukce. Základem konstrukce je celokovový centropoplán se zatahovacím podvozkem, vycházející z letounu SKYLEADER 600 z produkce firmy Jihlavan Airplanes. K centropoplánu je napojena kabina z kompozitních materiálů a kovové nosníky ocasních ploch. Kovové jsou také kýlové plochy, stabilizátor a také výškové kormidlo a směrová kormidla. Letoun je připravován ve dvou modifikacích – sledovací verze a komerční verze. Nejvýraznější odlišnost sledovací verze od verze komerční je v příslušenství, které letoun nese. Letoun ve sledovací verzi je vybaven fotonaplínou a sledovací aparaturou o hmotnosti 30 *kg*. Letoun bude schopný nést až 120 *l* paliva, tudíž jeho výdrž ve vzduchu bude vysoká.



Obrázek 1.2 - VUT 081 KONDOR – CAD model

## 1.5. Základní geometrické charakteristiky letounu



Obrázek 1.3 - Základní geometrické charakteristiky letounu (převzato z [17])

## 1.6. Letouny, z kterých letoun KONDOR vychází

### 1.6.1. VUT 001 MARABU

Letoun VUT 001 MARABU je lehký dolnoplošník smíšené konstrukce s pohonnou jednotkou v tlačném uspořádání. Trup letounu je vyrobený z kompozitních materiálů, křídlo a vodorovná ocasní plocha jsou kovové. Pohon letounu zajišťuje pístový motor s vrtulí v tlačném uspořádání. Mimo této pohonné jednotky je na letounu nainstalován i malý proudový motor, umístěný asymetricky nad levou polovinou křídla.

Letoun byl vyvíjen k experimentálnímu ověřování vybavení a instalací vyvíjených primárně pro bezpilotní letouny. Letoun by mohl v budoucnu sloužit především ke sledování vedení elektrické sítě, plynovodů, ropovodů, ale také například stav dopravy na dálnicích.



Obrázek 1.4 - Letoun VUT 001 MARABU [4]

| Základní rozměry |       |
|------------------|-------|
| Rozpětí          | 9,9 m |
| Délka            | 8,1 m |
| Výška            | 2,4 m |

|                  |        |
|------------------|--------|
| Prázdná hmotnost | 380 kg |
|------------------|--------|

Tabulka 1.3 - Základní rozměry a prázdná hmotnost letounu MARABU

### 1.6.2. Skyleader 600 [5]

Skyleader 600 je dvousedadlový celokovový dolnoplošník kategorie LSA s lichoběžníkovým křídlem. Letoun je vybaven třínohým zatahovacím podvozkem, který se zatahuje do centroplánu a předního trupu. Prázdná hmotnost letounu SKYLEADER 600 je 320 kg, maximální vzletová hmotnost je 600 kg.

#### Podvozek:

Podvozek je zatahovací. Hlavní podvozek se zatahuje do centroplánu kolmo na směr letu letounu. Pohon zatahovacího mechanismu je zajištěn elektromechanickou vzpěrou. Přední podvozek se zatahuje proti směru letu do předního trupu pomocí elektromechanické vzpěry.

#### Pohonná jednotka:

Letoun je vybaven motory značky ROTAX v kombinaci s dvou- nebo s tří- listou vrtulí. Motor je dodáván v několika výkonnostních variantách: Rotax 912UL (80 hp), Rotax 912ULS (100 hp), Rotax 914UL (115 hp - přeplňovaný) a nově také motor s přímým vstřikováním Rotax 912iS.



Obrázek 1.5 - Skylander 600 [5]

| Rozměry        |       |                |
|----------------|-------|----------------|
| Rozpětí křídla | 9,9   | m              |
| Délka          | 7,1   | m              |
| Výška          | 2,46  | m              |
| Plocha křídla  | 11,85 | m <sup>2</sup> |
| Šířka kabiny   | 1,78  | m              |

Tabulka 1.4 - Skylander 600 [5]

## 1.7. Koncepce uspořádání ocasních ploch

V letectví se lze setkat s různými druhy uspořádání ocasních ploch. Liší se od sebe polohou vodorovných ploch vůči těžišti, vzájemnou polohou vodorovných a svislých ocasních ploch, i počtem SOP nebo tvarem VOP a SOP. Ve většině případů jsou tyto plochy součástí zadní neboli ocasní části trupu. Odtud také plyne jejich název, ocasní plochy.

### Uspořádání se svislými ocasními plochami:

- Ocasní plochy s jednou SOP
- Ocasní plochy s dvojitými SOP, dále dělené na jednotrupové a dvoutrupové
- Ocasní plochy s trojitými SOP

#### 1.7.1. Výhody a nevýhody dvoutrupové koncepce

##### Výhody:

- Nižší stavební výška letounu, speciálně pokud je PJ v tlačném uspořádání
- Zvýšení účinnosti výškového kormidla vlivem snížení indukovaného odporu na ocasních plochách

##### Nevýhody:

- Složitější ovládací mechanismus, zejména pro směrová kormidla, roste hmotnost, nízká stavební výška nosníků, komplikuje se přístup k řídicím mechanismům a v neposlední řadě je také složitější údržba.

#### 1.7.2. Důvody pro zvolení dvoutrupového konstrukčního uspořádání

- Možnost navrhnout vrtulový letoun s tlačným uspořádáním pohonné jednotky, nebo proudový letoun s motorem umístěným v záďové části trupu. (např. letouny: Bell XP-52, De Havilland Vampire)
- Výhoda volného výhledu, například při střelení směrem dopředu. (např. letoun: Focke-Wulf Fw 189)
- Použití dvoutrupové koncepce pro zvýšení pevnosti a tuhosti konstrukce. (např. letouny: Rutan Voyager, Scaled Composites Grizzly, Virgin Atlantic GlobalFlyer, Transavia PL-12 Airtruk)

## 1.8. Porovnání letounů VUT 001 MARABU a VUT 081 KONDOR.

Základním rozdílem mezi letouny MARABU a KONDOR je ve změně koncepce. MARABU je letoun smíšené konstrukce, tedy s trupem a kýlovou plochou vyrobených z kompozitních materiálů a s plechovým křídlem a stabilizátorem. Letoun KONDOR má kabinu vyrobenou z kompozitních materiálů, která se bude montovat ke kovovému centroplánu z produkce firmy Jihlavan Airplanes. Ostatní části letounu KONDOR, tedy nosníky ocasních ploch, kýly, směrová kormidla, stabilizátor, výškové kormidlo budou také převážně kovové

Změna koncepce by měla přinést zlepšení aerodynamických parametrů letounu a to především díky níže umístěné pohonné jednotce. Právě dvoutrupová koncepce toto umístění umožňuje. Další zlepšení aerodynamických parametrů přináší použití zatahovacího podvozku z letounu SKYLEADER 600. Další rozdíl spočívá v tom, že letoun KONDOR by měl splňovat požadavky předpisu *ELSA* pro stavebnicovou konstrukci.

Oba letouny jsou vybaveny motory značky ROTAX, v letounu KONDOR bude instalován nový motor ROTAX 912iS, který vyniká především nízkou spotřebou a ekologií provozu díky technologii přímého vstřikování paliva. Oproti letounu MARABU je také zvětšený výkon pohonné jednotky na 73,5 kW.

## 1.9. Letouny v dvoutrupové variantě

### SONG [8]

Song je jednomístný celokompozitový ultralehký letoun dvoutrupové koncepce. Tento letoun je konstruován dle českého předpisu *UL-2*, který je obdobou německého *LTF-UL*. Letoun je v základní verzi vybaven záchranným padákovým systémem. Drak letounu je vyroben jako kompozitní konstrukce na bázi uhlík-epoxy, který je vyztužen sendvičovým materiálem s jádrem z PVC pěny. Spotřeba paliva letounu je velice nízká, dosahuje hodnoty 3 l/hod letu.



|                             |               |
|-----------------------------|---------------|
| Rozpětí letounu:            | 11,2 m        |
| Délka:                      | 5,6 m         |
| Výška:                      | 1,9 m         |
| Profil křídla:              | UAG 88-143/20 |
| Motor:                      | Bailey V5     |
| Prázdná hmotnost:           | 113 kg        |
| Maximální vzletová hmotnost | 235 kg        |
| Objem palivové nádrže:      | 25 l          |
| Cestovní rychlost:          | 80 - 100 km/h |
| Nepřekročitelná rychlost:   | 143 km/h      |
| Stoupavost letounu:         | 2 m/s         |

Obrázek 1.6 - Letoun SONG [8]

## Sparrow ML [10]

Letoun Sparrow ML je nový letoun belgické společnosti Wolfsberg Aircraft corporation, která odstartovala produkci letounu Sparrow ML v jejich české pobočce. Sparrow ML užívá netradiční dvoutrupové koncepce. Je to dvousedadlový letoun, cestující sedí v tandemovém uspořádání. O pohon letounu se stará dvoudobý motor ROTAX 582 v tlačném uspořádání. Výkon pohonné jednotky je pouze 64 *hp*, přesto letoun dosahuje maximální rychlosti kolem 180 *km/h*. Unikátní jsou vstupní dveře letounu, které se otevírají na stejném principu jako dveře automobilů.



|                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| Rozpětí letounu:             | 9,2 <i>m</i>               |
| Plocha křídla:               | 11,5 <i>m</i> <sup>2</sup> |
| Motor:                       | Rotax 582                  |
| Prázdná hmotnost:            | 265 <i>kg</i>              |
| Maximální vzletová hmotnost: | 450 <i>kg</i>              |
| Objem palivové nádrže:       | 56 <i>l</i>                |
| Cestovní rychlost:           | 140 <i>km/h</i>            |
| Maximální rychlost:          | 180 <i>km/h</i>            |
| Stoupavost letounu:          | 4,2 <i>m/s</i>             |

Obrázek 1.7 - Sparrow ML [10]

## Cessna 336 Skymaster [11]

Cessna 336 Skymaster je dvumotorový osobní a nákladní letoun celokovový hornoplošník s tažným a tlačným motorem Continental GO-300-C o výkonu po 175 *hp*. Rozpětí letounu je 11,58 *m* a plocha křídla je 18,7 *m*<sup>2</sup>. Skymaster dosahuje rychlosti až 320 *km/h* a jeho dolet činí 1553 *km*.



Obrázek 1.8 - Cessna 336

## Virgin Atlantic Global Flyer [12]

Virgin Atlantic Global Flyer je jednoproudový letoun se středovou trupovou gondolou a dvěma nosníky řídicích ploch. Stroj byl poháněn jediným proudovým motorem Williams FJ44. S tímto pohonem byl stroj schopný letět rychlostí až 450 *km/h* při dostupu až do 17 000 *m*. Letoun byl postaven na zakázku Steva Fosseta, který jím od 1. do 3. března 2005 bez mezipřistání a bez tankování obletěl zeměkouli. Vytvořil tak osm nových světových rekordů. Délka letu byla 36 898 *km* a let trval 67 *h* 2 *min* 38 *s*.



Obrázek 1.9 - Virgin Atlantic Global Flyer

## 2. Hmotový rozbor letounu VUT 081 KONDOR [16]

Hmotový rozbor byl převzat ze zprávy LU59-2012-081.W

Pro každou jednotlivou položku letounu jsou stanoveny následující parametry:

- $m$  [kg] - Předpokládaná hmotnost položky.
- $X$  [mm] - Vzdálenost těžiště položky od počátku souřadnic celého letounu v ose  $x$
- $Y$  [mm] - Vzdálenost těžiště položky od počátku souřadnic celého letounu v ose  $y$

### 2.1. Výstroj

| Skupina           | Položka                                | $m$  | $X$  | $Y$  |
|-------------------|----------------------------------------|------|------|------|
|                   |                                        | [kg] | [mm] | [mm] |
| Výstroj + systémy | Přístrojová deska předního pilota      | 8,7  | 1470 | 526  |
|                   | Přístrojová deska zadního pilota       | 1,5  | 2615 | 679  |
|                   | Plynová páka + lanko + ovládání vrtule | 2,55 | 2420 | 660  |
|                   | Radiostanice                           | 2,9  | 1470 | 326  |
|                   | Kabeláž                                | 4    | 2420 | 660  |
|                   | Baterie                                | 5,7  | 3632 | 356  |
|                   | Brzdová soustava                       | 1,2  | 2750 | 415  |
|                   | Řízení                                 | 14   | 3085 | 225  |

Tabulka 2.1 - Hmotnostní rozbor - výstroj

### 2.2. Pohonná soustava

| Skupina          | Položka                       | $m$  | $X$  | $Y$  |
|------------------|-------------------------------|------|------|------|
|                  |                               | [kg] | [mm] | [mm] |
| Pohonná soustava | Vrtule                        | 11,2 | 4634 | 898  |
|                  | Motor                         | 87,3 | 4300 | 847  |
|                  | Kapotáž                       | 2,5  | 4148 | 777  |
|                  | Požární stěna + příslušenství | 1,5  | 3765 | 675  |
|                  | Palivový systém               | 2,9  | 3457 | 349  |
|                  | Motorové lože                 | 2    | 3891 | 646  |

Tabulka 2.2 - Hmotnostní rozbor - pohonná skupina

## 2.3. Konstrukce draku

| Skupina          | Položka                           | <i>m</i> | <i>X</i> | <i>Y</i> |
|------------------|-----------------------------------|----------|----------|----------|
|                  |                                   | [kg]     | [mm]     | [mm]     |
| Trup             | Kužel                             | 1,7      | 543      | 175      |
|                  | Potah trupu                       | 8,2      | 2338     | 262      |
|                  | Překryt - přední                  | 6,8      | 1990     | 744      |
|                  | Překryt - zadní                   | 5,4      | 2967     | 1060     |
|                  | Rám kabin                         | 3,3      | 2456     | 640      |
|                  | Sedačka - přední                  | 3,8      | 2201     | 337      |
|                  | Sedačka - zadní                   | 3,7      | 3335     | 416      |
|                  | Přechod křídlo-trup               | 3,8      | 3590     | 62       |
|                  | Přepážky interiéru                | 11,8     | 2500     | 250      |
|                  | Nátěr                             | 4        | 3355     | 393      |
|                  | Kužel                             | 1,7      | 543      | 175      |
|                  | Potah trupu                       | 8,2      | 2338     | 262      |
| Zadní část trupu | Nosníky trupu                     | 13,5     | 5277     | 480      |
|                  | Kompozitní nadstavba              | 0,15     | 7385     | 504      |
|                  | Kýly levý + pravý                 | 4        | 7585     | 1003     |
| Ocasní plochy    | Stabilizátor                      | 4,2      | 7727     | 1565     |
|                  | VK                                | 3,2      | 8005     | 1574     |
|                  | SK levé + pravé                   | 1,5      | 7765     | 900      |
| Křídlo           | Centropoplán + zástavba           | 32,7     | 3607     | 169      |
|                  | Vnější křídla + klapky + křídélka | 66,5     | 3600     | 283      |

Tabulka 2.3 - Hmotnostní rozbor - konstrukce draku

## 2.4. Podvozková skupina

| Skupina           | Položka         | <i>m</i> | <i>X</i> | <i>Y</i> |
|-------------------|-----------------|----------|----------|----------|
|                   |                 | [kg]     | [mm]     | [mm]     |
| Vysunutý podvozek | NHP             | 9,9      | 3642     | -151     |
|                   | Kolo HP + brzda | 4,2      | 3689     | -367     |
|                   | NPP             | 7,5      | 960      | -163     |
|                   | Kolo PP         | 2        | 1046     | -428     |
| Zasunutý podvozek | NHP             | 9,9      | 3642     | 108      |
|                   | Kolo HP + brzda | 4,2      | 3687     | 90       |
|                   | NPP             | 7,5      | 1295     | -20      |
|                   | Kolo PP         | 2        | 1518     | 63       |

Tabulka 2.4 - Hmotnostní rozbor- podvozková skupina

## 2.5. Prázdná hmotnost

| Prázdná hmotnost | <i>m</i> | <i>X</i> | <i>Y</i> | <i>I<sub>x</sub>'</i> | <i>I<sub>y</sub>'</i> |
|------------------|----------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|
|                  | [kg]     | [mm]     | [mm]     | [kg.m]                | [kg.m]                |
|                  | 350      | 3690     | 490      | 1294,195              | 178,015               |

Tabulka 2.5 - Prázdná hmotnost letounu

## 2.6. Užitečné zatížení

| Užitečná zátěž                  | <i>m</i> | <i>X</i> | <i>Y</i> |
|---------------------------------|----------|----------|----------|
|                                 | [kg]     | [mm]     | [mm]     |
| Pilot 1 (95 kg)                 | 95       | 2081     | 481      |
| Pilot 1 (75 kg)                 | 75       | 1932     | 481      |
| Pilot 2 (95 kg)                 | 95       | 3053     | 550      |
| Pilot 2 (75 kg)                 | 75       | 3092     | 550      |
| Měřicí aparatura (30 kg)        | 30       | 3633     | 354      |
| Palivo - vnější křídla (2x65 l) | 90       | 3231     | 120      |
| Minimální palivo (10 min.)      | 3        | 3231     | 0        |
| Kartografické zařízení          | 15       | 648      | 26       |
| Přídavný alternátor             | 3        | 4505     | 898      |

Tabulka 2.6 - Užitečné zatížení

## 2.7. Hmotnostní konfigurace, poloha těžiště a centráže

Jednotlivé hmotnostní konfigurace jsou uvažovány pro komerční variantu letounu a sledovací a kartografickou variantu letounu (se speciálním zařízením) a pro letovou resp. přistávací konfiguraci letounu (s vysunutým resp. zasunutým podvozkem).

### 2.7.1. Komerční verze letounu

| Přistávací konfigurace                            |          |          |          |                |
|---------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------------|
| Hmotnostní případy                                | <i>m</i> | <i>X</i> | <i>Y</i> | <i>Centráž</i> |
|                                                   | [kg]     | [mm]     | [mm]     | [% $C_{SAT}$ ] |
| Pilot 1 (75 kg) + 10 min palivo                   | 427,8    | 3378,5   | 485,2    | 27,8           |
| Pilot 1 (75 kg) + 10 min palivo, 30 kg zavazadla  | 457,8    | 3395,3   | 397,8    | 29,1           |
| Pilot 1 (75 kg) + max. palivo                     | 514,8    | 3353,6   | 424,1    | 25,8           |
| Pilot 1 (75 kg) + max. palivo, 30 kg zavazadla    | 544,8    | 3369,0   | 354,1    | 27,0           |
| Pilot 1 (95 kg) + 10 min. palivo                  | 447,8    | 3345,5   | 485,0    | 25,2           |
| Pilot 1 (95 kg) + 10 min. palivo, 30 kg zavazadla | 477,8    | 3363,6   | 476,8    | 26,6           |
| Pilot 1 (95 kg) + max. palivo                     | 534,8    | 3326,9   | 426,3    | 23,7           |
| Pilot 1(95 kg) + max. palivo, 30 kg zavazadla     | 564,8    | 3343,2   | 422,4    | 25,0           |
| Piloti (75 kg + 75 kg) + 10 min palivo            | 502,8    | 3330,0   | 494,8    | 23,9           |
| Piloti (75 kg + 75 kg) + max. palivo              | 589,8    | 3315,4   | 440,2    | 22,8           |
| Piloti (95 kg + 75 kg) + 10 min palivo            | 522,8    | 3303,6   | 494,3    | 21,9           |
| Piloti (95 kg + 75 kg) + max. palivo              | 609,8    | 3293,2   | 441,5    | 21,1           |
| Piloti (75 kg + 95 kg) + 10 min palivo            | 522,8    | 3319,4   | 496,9    | 23,1           |
| Piloti (75 kg + 95 kg) + max. palivo              | 609,8    | 3306,8   | 443,8    | 22,1           |
| Piloti (95 kg + 95 kg) + 10 min palivo            | 542,8    | 3294,3   | 496,4    | 21,1           |
| Piloti (95 kg + 95 kg) + max. palivo              | 629,8    | 3285,6   | 444,9    | 20,5           |

Tabulka 2.7 - Hm. konfigurace - komerční verze letounu - přistávací konfigurace

| Letová konfigurace                               |          |          |          |                       |
|--------------------------------------------------|----------|----------|----------|-----------------------|
| Hmotnostní případy                               | <i>m</i> | <i>X</i> | <i>Y</i> | <i>Centráž</i>        |
|                                                  | [kg]     | [mm]     | [mm]     | [% C <sub>SAT</sub> ] |
| Pilot 1 (75 kg) + 10 min palivo                  | 427,8    | 3386,6   | 500,4    | 28,4                  |
| Pilot 1 (75 kg) + 10 min palivo, 30 kg zavazadla | 457,8    | 3402,7   | 412,0    | 29,7                  |
| Pilot 1 (75 kg) + max. palivo                    | 514,8    | 3360,3   | 436,8    | 26,3                  |
| Pilot 1 (75 kg) + max. palivo, 30 kg zavazadla   | 544,8    | 3375,3   | 366,1    | 27,5                  |
| Pilot 1 (95 kg) + 10 min palivo                  | 447,8    | 3353,2   | 499,6    | 25,8                  |
| Pilot 1 (95 kg) + 10 min palivo, 30 kg zavazadla | 477,8    | 3370,8   | 490,4    | 27,2                  |
| Pilot 1 (95 kg) + max. palivo                    | 534,8    | 3333,4   | 438,5    | 24,2                  |
| Pilot 1 (95 kg) + max. palivo, 30 kg zavazadla   | 564,8    | 3349,3   | 434,0    | 25,5                  |
| Piloti (75 kg + 75 kg) + 10 min palivo           | 502,8    | 3336,8   | 507,8    | 24,5                  |
| Piloti (75 kg + 75 kg) + max. palivo             | 589,8    | 3321,2   | 451,2    | 23,3                  |
| Piloti (95 kg + 75 kg) + 10 min palivo           | 522,8    | 3310,2   | 506,8    | 22,4                  |
| Piloti (95 kg + 75 kg) + max. palivo             | 609,8    | 3298,9   | 452,2    | 21,5                  |
| Piloti (75 kg + 95 kg) + 10 min palivo           | 522,8    | 3326,0   | 509,4    | 23,6                  |
| Piloti (75 kg + 95 kg) + max. palivo             | 609,8    | 3312,4   | 454,5    | 22,6                  |
| Piloti (95 kg + 95 kg) + 10 min palivo           | 542,8    | 3300,7   | 508,4    | 21,6                  |
| Piloti (95 kg + 95 kg) + max. palivo             | 629,8    | 3291,1   | 455,3    | 20,9                  |

Tabulka 2.8 - Hm. konfigurace - komerční verze letounu - letová konfigurace

## 2.7.2. Sledovací verze letounu

| Přístávací konfigurace                                        |          |          |          |                       |
|---------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|-----------------------|
| Hmotnostní případy                                            | <i>m</i> | <i>X</i> | <i>Y</i> | <i>Centráž</i>        |
|                                                               | [kg]     | [mm]     | [mm]     | [% C <sub>SAT</sub> ] |
| Pilot 1 (75 kg) + 10 min palivo + fotoplošina                 | 445,8    | 3294,2   | 471,6    | 21,1                  |
| Pilot 1 (75 kg) + 10 min palivo, 30 kg aparatura, fotoplošina | 475,8    | 3315,6   | 388,4    | 22,8                  |
| Pilot 1 (75 kg) + max palivo, fotoplošina                     | 532,8    | 3283,9   | 414,9    | 20,3                  |
| Pilot 1 (75 kg) + max palivo, 30 kg aparatura, fotoplošina    | 562,8    | 3302,5   | 347,5    | 21,8                  |
| Pilot 1 (95 kg) + 10 min palivo, fotoplošina                  | 465,8    | 3266,1   | 472,0    | 18,9                  |
| Pilot 1 (95 kg) + 10 min palivo, 30 kg aparatura, fotoplošina | 495,8    | 3288,3   | 464,9    | 20,7                  |
| Pilot 1 (95 kg) + max palivo, fotoplošina                     | 552,8    | 3260,6   | 417,3    | 18,5                  |
| Pilot 1 (95 kg) + max palivo, 30 kg aparatura, fotoplošina    | 582,8    | 3285,7   | 414,0    | 20,5                  |
| Pilot (75 kg + 75 kg) + 10 min palivo + fotoplošina           | 520,8    | 3259,5   | 482,9    | 18,4                  |
| Pilot (75 kg + 75 kg) + max palivo, fotoplošina               | 607,8    | 3255,4   | 431,5    | 18,1                  |
| Pilot (95 kg + 75 kg) + 10 min palivo, fotoplošina            | 540,8    | 3236,6   | 482,8    | 16,6                  |
| Pilot (95 kg + 75 kg) + max palivo, fotoplošina               | 627,8    | 3235,8   | 433,1    | 16,6                  |
| Pilot (75 kg + 95 kg) + 10 min palivo + fotoplošina           | 540,8    | 3251,9   | 485,4    | 17,8                  |
| Pilot (75 kg + 95 kg) + max palivo, fotoplošina               | 627,8    | 3249,0   | 435,3    | 17,6                  |
| Pilot (95 kg + 95 kg) + 10 min palivo, fotoplošina            | 560,8    | 3230,0   | 485,2    | 16,1                  |
| Pilot (95 kg + 95 kg) + max palivo, fotoplošina               | 647,8    | 3230,2   | 436,7    | 16,1                  |

Tabulka 2.9 - Hm. konfigurace - sledovací verze letounu - přístávací konfigurace

| Letová konfigurace                                           |       |        |       |                |
|--------------------------------------------------------------|-------|--------|-------|----------------|
| Hmotnostní případy                                           | $m$   | $X$    | $Y$   | Centráž        |
|                                                              | [kg]  | [mm]   | [mm]  | [% $C_{SAT}$ ] |
| Pilot 1 (75 kg) +10 min palivo + fotoplošina                 | 445,8 | 3302,0 | 486,3 | 21,7           |
| Pilot 1 (75 kg) +10 min palivo, 30 kg aparatura, fotoplošina | 475,8 | 3322,9 | 402,1 | 23,4           |
| Pilot 1 (75 kg) +max palivo, fotoplošina                     | 532,8 | 3290,4 | 427,1 | 20,8           |
| Pilot 1 (75 kg) +max palivo, 30 kg aparatura, fotoplošina    | 562,8 | 3308,7 | 359,1 | 22,3           |
| Pilot 1 (95 kg) +10 min palivo, fotoplošina                  | 465,8 | 3273,5 | 486,1 | 19,5           |
| Pilot 1 (95 kg) +10 min palivo, 30 kg aparatura, fotoplošina | 495,8 | 3295,3 | 478,1 | 21,2           |
| Pilot 1 (95 kg) +max palivo, fotoplošina                     | 552,8 | 3266,9 | 429,1 | 19,0           |
| Pilot 1 (95 kg) +max palivo, 30 kg aparatura, fotoplošina    | 582,8 | 3285,7 | 425,2 | 20,5           |
| Pilot (75 kg + 75 kg) +10 min palivo + fotoplošina           | 520,8 | 3266,1 | 495,5 | 18,9           |
| Pilot (75 kg + 75 kg) +max palivo, fotoplošina               | 607,8 | 3261,1 | 442,3 | 18,5           |
| Pilot (95 kg + 75 kg) +10 min palivo, fotoplošina            | 540,8 | 3243,0 | 494,9 | 17,1           |
| Pilot (95 kg + 75 kg) +max palivo, fotoplošina               | 627,8 | 3241,3 | 443,5 | 17,0           |
| Pilot (75 kg + 95 kg) +10 min palivo + fotoplošina           | 540,8 | 3258,2 | 497,5 | 18,3           |
| Pilot (75 kg + 95 kg) +max palivo, fotoplošina               | 627,8 | 3254,5 | 445,7 | 18,0           |
| Pilot (95 kg + 95 kg) +10 min palivo, fotoplošina            | 560,8 | 3236,2 | 496,9 | 16,6           |
| Pilot (95 kg + 95 kg) +max palivo, fotoplošina               | 647,8 | 3235,5 | 446,8 | 16,5           |

Tabulka 2.10 - Hm. konfigurace - sledovací verze letounu - letová konfigurace

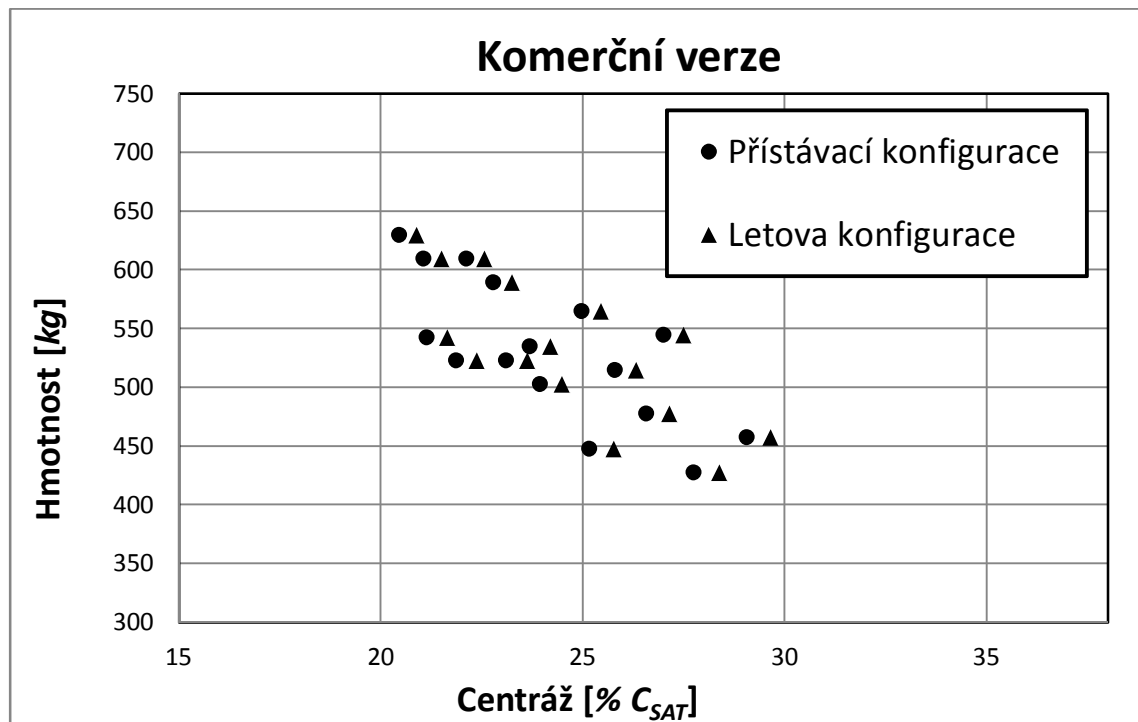
## 2.8. Rozsahy hmotností a centrází

| Verze letounu a konfigurace |                        | Maximální hmotnost $m_{max}$ [kg] | Minimální hmotnost $m_{min}$ [kg] | Přední mezní centráž [% $C_{SAT}$ ] | Zadní mezní centráž [% $C_{SAT}$ ] |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Komerční verze letounu      | Přístávací konfigurace | 630                               | 446                               | 20,5                                | 29,1                               |
|                             | letová konfigurace     |                                   |                                   | 20,9                                | 29,7                               |
| Sledovací verze letounu     | Přístávací konfigurace | 648                               | 446                               | 16,1                                | 22,8                               |
|                             | letová konfigurace     |                                   |                                   | 16,5                                | 23,4                               |

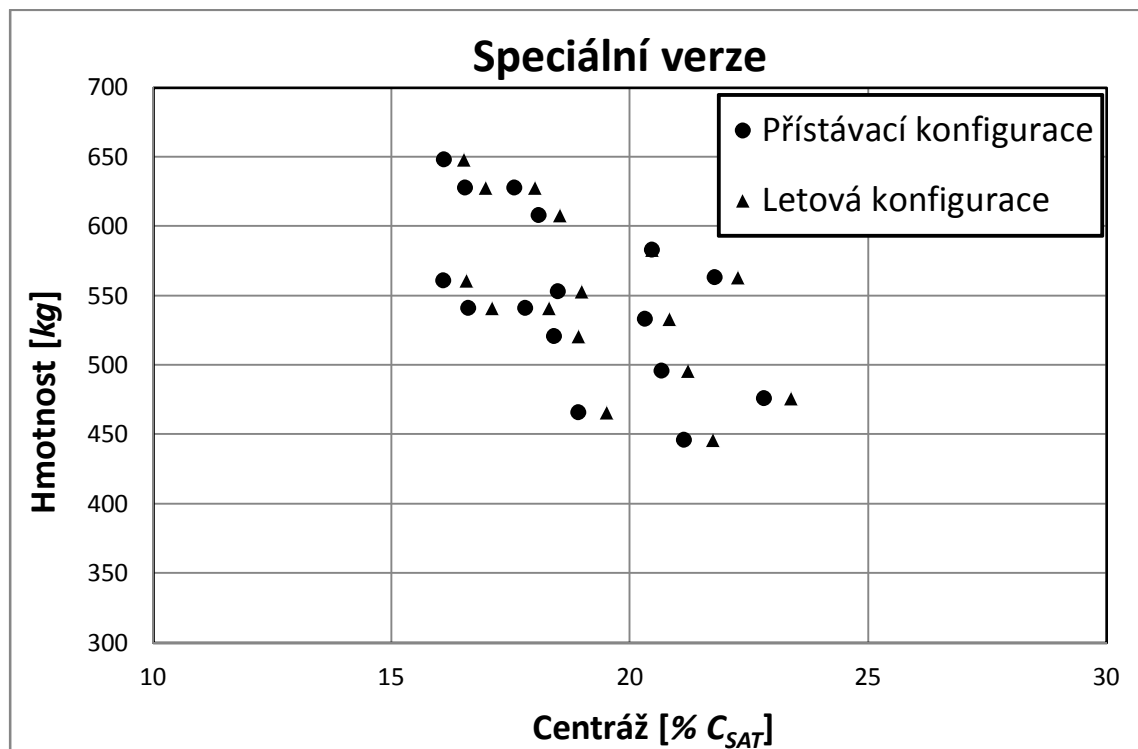
Tabulka 2.11 - Rozsahy hmotností a centrází

Ve výše uvedené tabulce je zobrazen přehled maximálních a minimálních hmotností a rozsah centrází pro jednotlivé verze letounu a jejich konfigurace. Pro výpočet zatížení ocasních ploch však byla brána maximální hmotnost letounu 600 kg.

## 2.9. Obálka centrází

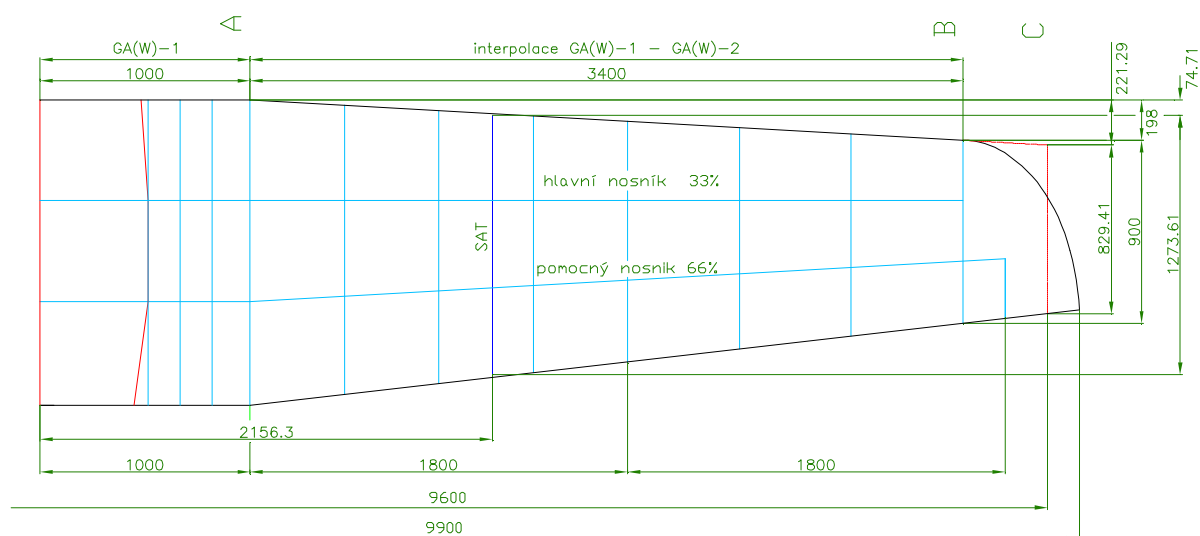


Obrázek 2.1 - Centráže v % SAT pro komerční verzi VUT 081 [16]



Obrázek 2.2 - Centráže v % SAT pro speciální verzi letounu VUT 081 [16]

## 2.10. Výpočet střední aerodynamické tětiny



**Obrázek 2.3 - Systémový výkres křídla letounu VUT – 081 KONDOR [16]**

| Vstupní hodnoty pro výpočet SAT |  |                          |
|---------------------------------|--|--------------------------|
| $S_1 = 1,5 \text{ m}^2$         |  | $b_1 = 2 \text{ m}$      |
| $S_2 = 4,42588 \text{ m}^2$     |  | $b_2 = 7,6 \text{ m}$    |
| $S = 11,85 \text{ m}^2$         |  | $b = 9,9 \text{ m}$      |
| $x_K^I = 0 \text{ m}$           |  | $b_{ef} = 9,6 \text{ m}$ |
| $x_K^{II} = 0,22129 \text{ m}$  |  | $c_0 = 1,5 \text{ m}$    |
| $c_K = 0,82941 \text{ m}$       |  | $c_1 = 1,5 \text{ m}$    |

**Tabulka 2.12 - Vstupní hodnoty pro výpočet SAT**

SAT centroplán:  $c_A^I = c_0 = 1,5 \text{ m}$

$$\text{SAT vnější křídlo: } c_A^{II} = \frac{2}{3} \cdot \frac{c_1^2 + c_1 \cdot c_K + c_K^2}{c_1 + c_K} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,5^2 + 1,5 \cdot 0,82941 + 0,82941^2}{1,5 + 0,82941} = 1,19688 \text{ m}$$

SAT celého křídla:  $c_A = \frac{c_A^I \cdot S_1 + c_A^{II} \cdot S_2}{S_1 + S_2} = \frac{1,5 \cdot 1,5 + 1,19688 \cdot 4,42588}{1,5 + 4,42588} = 1,27361 \text{ m}$

Délka střední aerodynamické tětiny je **1,27361 m**.

### 3. Aerostatické podklady letounu VUT 081 KONDOR [17]

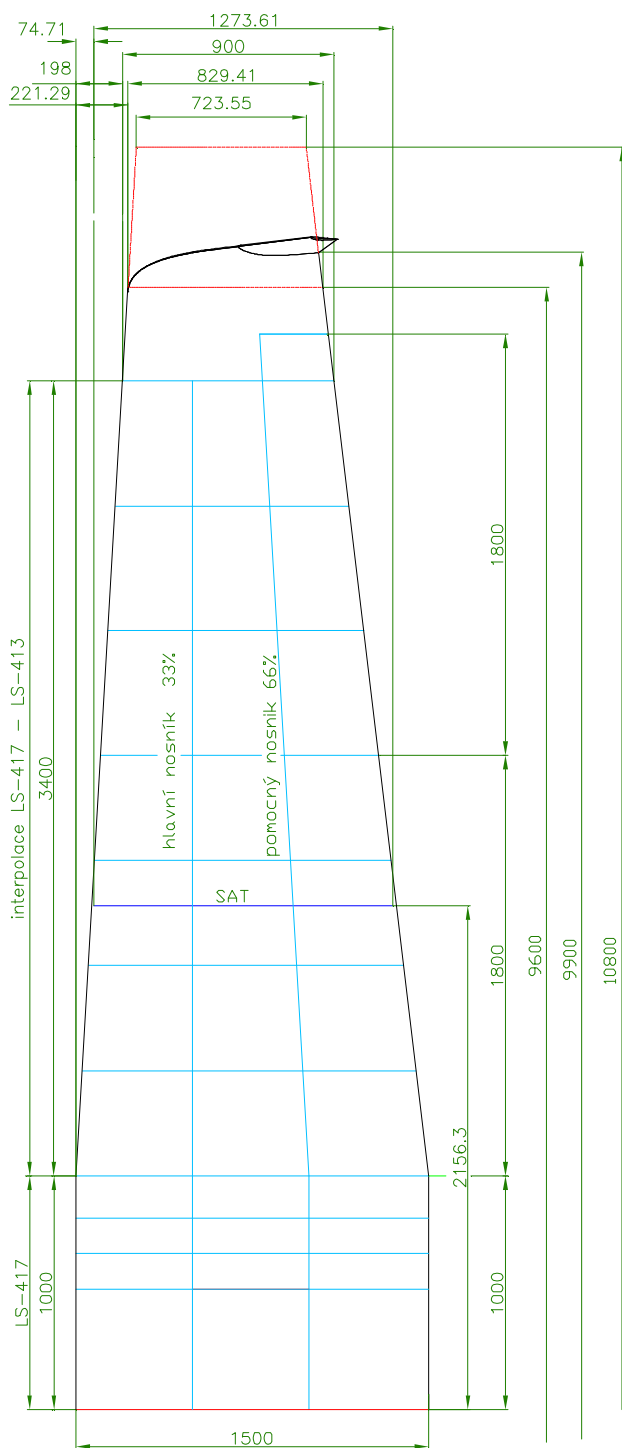
Aerostatické podklady byly převzaty ze zprávy: LU57-2012-081.AD

#### 3.1. Křídlo

Letoun VUT 081 KONDOR má křídlo geometricky shodné s letounem VUT 001 MARABU. Aerodynamické výpočty byly provedeny s uvažováním vlivu wingletů a vztaženy na plochu původního křídla bez wingletů. Na centroplánu křídla je použit profil LS-0417, který v lichoběžníkové části křídla přechází na profil LS-0413. Koncový profil křídla navazuje přechodovým obloukem na profil wingletu Epler 205. Vztlakové klapky křídla jsou Fowlerova typu.

##### 3.1.1. Specifikace křídla

|                                             |                              |
|---------------------------------------------|------------------------------|
| Plocha křídla                               | $S = 11,85 \text{ m}^2$      |
| Rozpětí celkové                             | $b = 9,90 \text{ m}$         |
| Rozpětí efektivní                           | $b_{ef} = 9,60 \text{ m}$    |
| Štíhlost křídla                             | $Ar = 7,78$                  |
| Zúžení centroplánu                          | $\eta_{cent} = 1$            |
| Zúžení vnějšího křídla                      | $\eta_{kr} = 0,552 (1,811)$  |
| Úhel zkroucení koncového profilu            | $\alpha_{zkr} = -1^\circ$    |
| Úhel vzepětí centroplánu                    | $\Gamma_{cent} = 0^\circ$    |
| Úhel vzepětí vnějšího křídla                | $\Gamma_{kr} = 6^\circ$      |
| Úhel šípů centroplánu                       | $\chi_{cent} = 0^\circ$      |
| Úhel šípů vnějšího křídla (k 25 %)          | $\chi_{kr} = 0,8^\circ$      |
| Úhel nastavení kořenového profilu (k ZRT)   | $\phi_{koř} = 0^\circ$       |
| Hloubka centroplánu                         | $c_0 = 1,5 \text{ m}$        |
| Hloubka koncového profilu                   | $c_k = 0,8294 \text{ m}$     |
| Hloubka střední geometrické tětiny křídla   | $c_{SGT} = 1,234 \text{ m}$  |
| Hloubka střední aerodynamické tětiny křídla | $c_{SAT} = 1,2736 \text{ m}$ |
| Poloha počátku SAT                          | $x_{SAT} = 0,29 \text{ m}$   |
|                                             | $y_{SAT} = 3,024 \text{ m}$  |
| Poloha hlavního nosníku                     | $x_{HN} = 33 \%$             |
| Poloha zadního nosníku                      | $x_{ZN} = 66 \%$             |



Obrázek 3.1 - Systémový výkres křídla [17]

### 3.1.2. Specifikace vztlakové klapky

Plocha klapky

$$S_{kl} = 0,7 \text{ m}^2$$

Poměrná hloubka klapky

$$c_{kl}' = 0,29$$

Rozpětí klapky

$$b_{kl} = 1,8 \text{ m}$$

Kořenová hloubka klapky  
Koncová hloubka klapky  
Výchylky klapky pro vzlet  
Výchylky klapky pro přistání

$$c_{kl\ 0} = 0,435\ m$$

$$c_{kl\ k} = 0,34288\ m$$

$$\eta_{kl} = 10^0$$

$$\eta_{kl} = 35^0$$

### 3.1.3. Specifikace křídélka

Plocha křídélka  
Rozpětí  
Poměrná hloubka křídélka  
Hloubka křídélka – kořenová  
Hloubka křídélka – koncová  
Vzdálenost osy otáčení – kořenová  
Vzdálenost osy otáčení – koncová  
Výchylka křídélka – dolů  
Výchylka křídélka – nahoru

$$S_{křid} = 0,5527\ m^2$$

$$b_{křid} = 1,8\ m$$

$$c_{křid\ pom} = 0,30$$

$$c_{křid\ 0} = 0,35473\ m$$

$$c_{křid\ k} = 0,25941\ m$$

$$c_{00\ 0\ křid} = 0,04915\ m$$

$$c_{00\ k\ křid} = 0,03045\ m$$

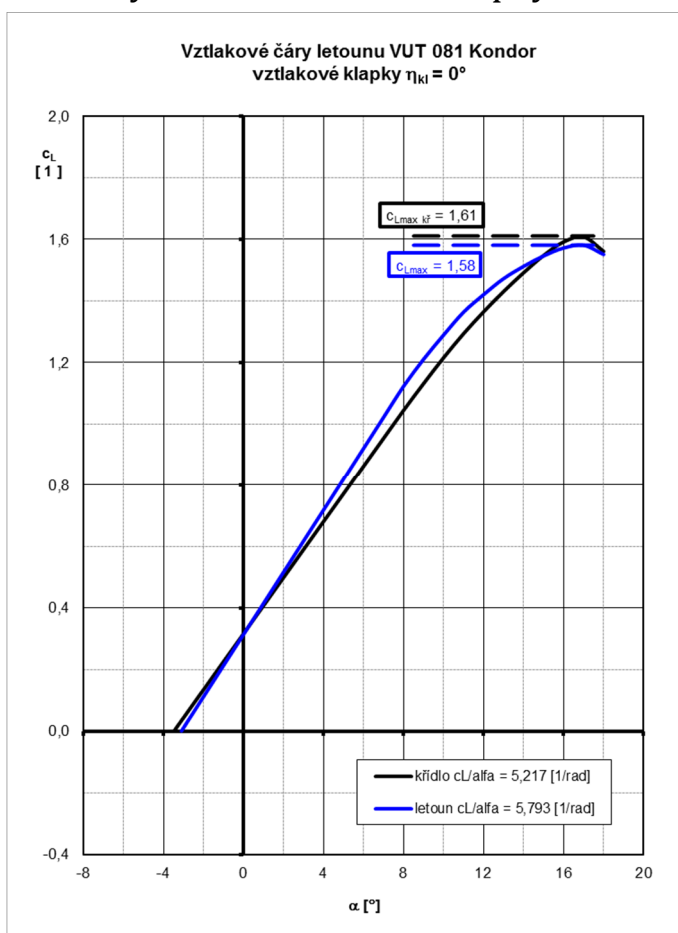
$$\xi_{křid\ d} = 16^0$$

$$\xi_{křid\ n} = -24^0$$

Specifikace ocasních ploch jsou uvedeny v kapitole zatížení ocasních ploch.

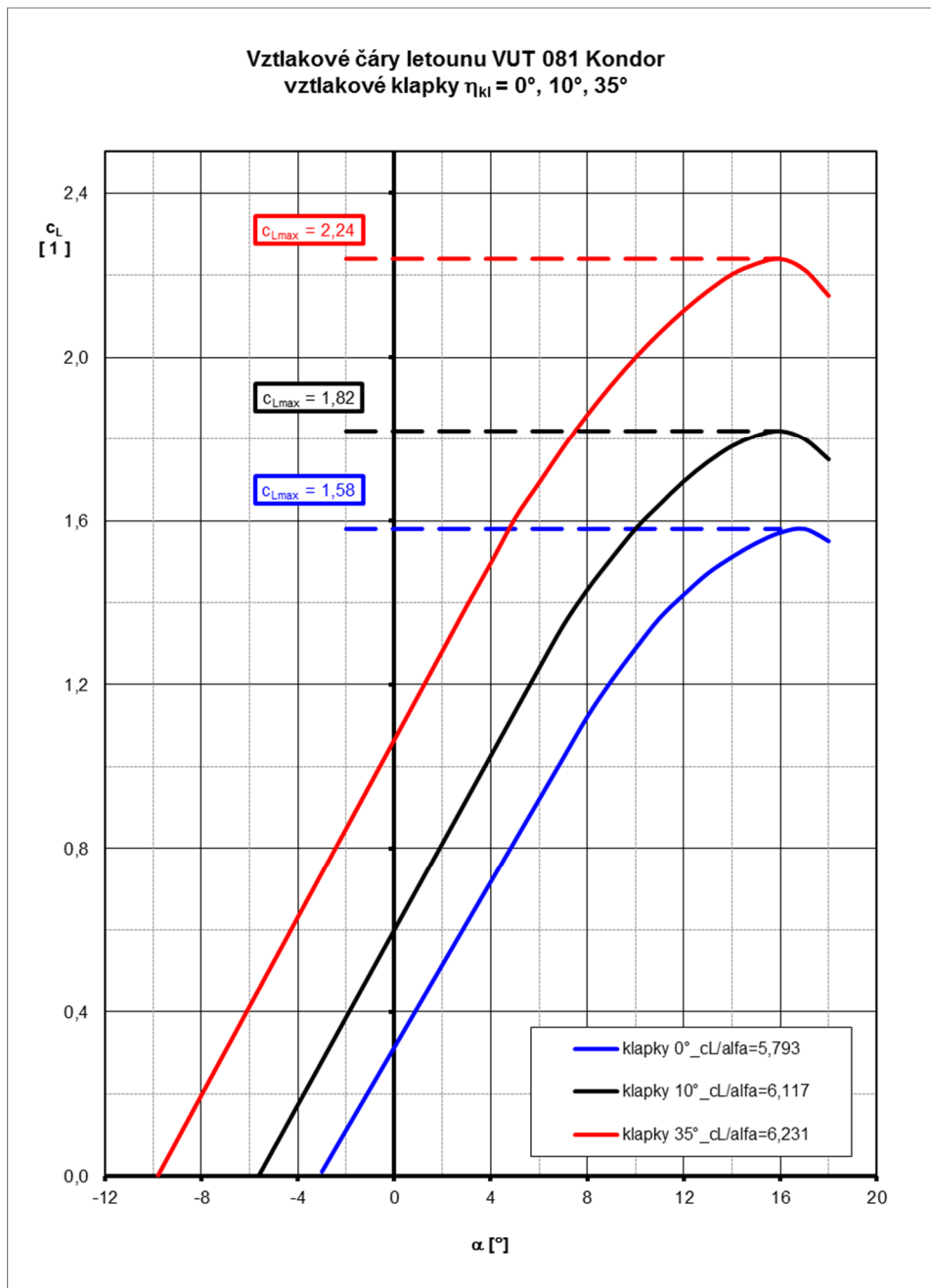
## 3.2. Vztlakové čáry

### 3.2.1. Vztlakové čáry křídla a letounu – klapky zasunuty



Obrázek 3.2 - Vztlakové čáry letounu VUT 081 Kondor [17]

### 3.2.2. Vztlková čára křídla a letounu



Obrázek 3.3 - Vztlková čára letounu VUT 081 KONDOR - klapky vysunuty [17]

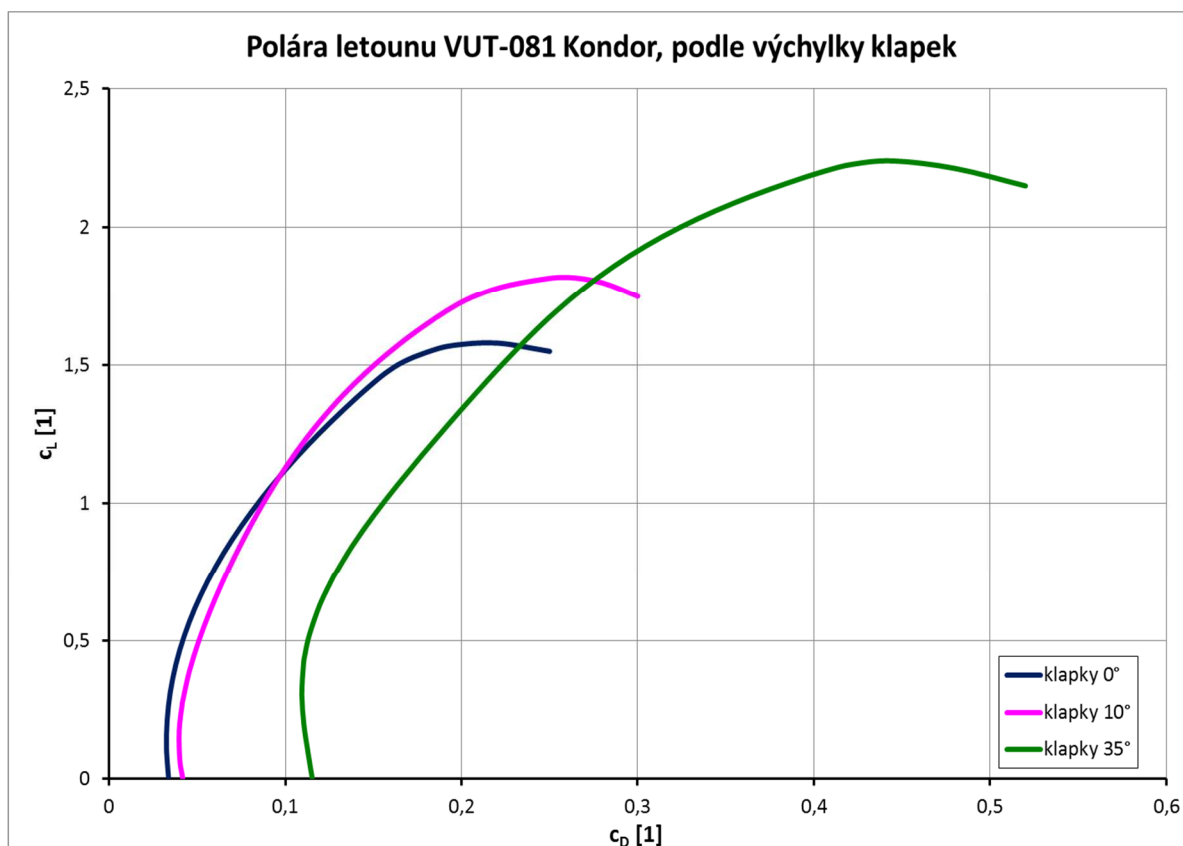
**Sklon vztlkové čáry:**

Klapky  $0^\circ$ :  $\frac{dc_L}{d\alpha} = 5,793 \text{ rad}^{-1}$

Klapky  $10^\circ$ :  $\frac{dc_L}{d\alpha} = 6,117 \text{ rad}^{-1}$

Klapky  $30^\circ$ :  $\frac{dc_L}{d\alpha} = 6,231 \text{ rad}^{-1}$

### 3.3. Aerodynamická polára letounu



Obrázek 3.4 - Aerodynamická polára letounu dle výchylek klapky [17]

## 4. Letové výkony letounu VUT - 081 KONDOR

Letové výkony byly vypočteny s pomocí metodiky popsané v [15]. Vstupní hodnoty jsou brány z [12],[13], [16] a [17].

### 4.1. Výpočet odhadu maximální rychlosti letounu v horizontálním letu

Pro letouny s pístovými a turbovrtulovými motory lze odhad maximální rychlosti letounu v horizontálním letu vypočíst dle následujícího vztahu (viz literatura [14]):

$$V_{max} = \sqrt[3]{\frac{2\eta P_M}{C_{D0}\rho S}} [m.s^{-1}]$$

$\eta$  ... Účinnost vrtule;  $\eta = 0,85$  (hodnota byla odečtena z grafu 4-17 [15])

$P_M$  ... Výkon motoru (příkon na vrtuli);  $P_M = 73,5 \text{ kW}$  (ROTAX 912iS) [12]

$C_{D0}$  ... Součinitel odporu při nulovém vztlaku;  $C_{D0} = 0,0336$

$\rho$  ... Hustota vzduchu;  $\rho = 1,225 \text{ kg.m}^3$

$S$  ... Plocha křídla;  $S = 11,85 \text{ m}^2$

$$V_{max} = \sqrt[3]{\frac{2\eta P_M}{C_{D0}\rho S}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 0,85 \cdot 73500}{0,0336 \cdot 1,225 \cdot 11,85}} = 63,51 \text{ m.s}^{-1} = 228,64 \text{ km.h}^{-1}$$

Maximální rychlost letounu v horizontálním letu byla výpočtem odhadnuta na hodnotu **228,64 km.h<sup>-1</sup>**.

### 4.2. Stoupavý let a dostup letounu

V této kapitole jsou vypočteny úhly stoupání a závislosti stoupací rychlosti na rychlosti letu pro výšky 0 m až 4000 m MSA. Z grafu maximálních stoupacích rychlostí v závislosti na výšce letu jsou odečteny teoretický a praktický dostup letounu.

#### 4.2.1. Stoupací rychlosti a gradienty stoupání

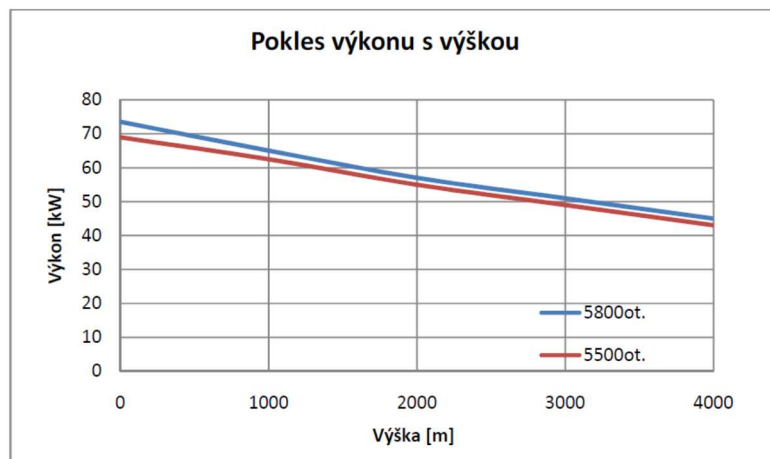
**Stoupací rychlost:**

$$v_z = \frac{T - D}{G} \cdot V [m.s^{-1}]$$

*Vysvětlení jednotlivých symbolů:*

$T$  ... Tah pohonné jednotky;  $T = \frac{P_v}{V}$

$P_v$  ... Využitelný výkon; využitelný výkon byl odečten z diagramu poklusu výkonu s výškou a byl vynásoben účinností vrtule.



Obrázek 4.1 - Pokles výkonu motoru s výškou letu [12]

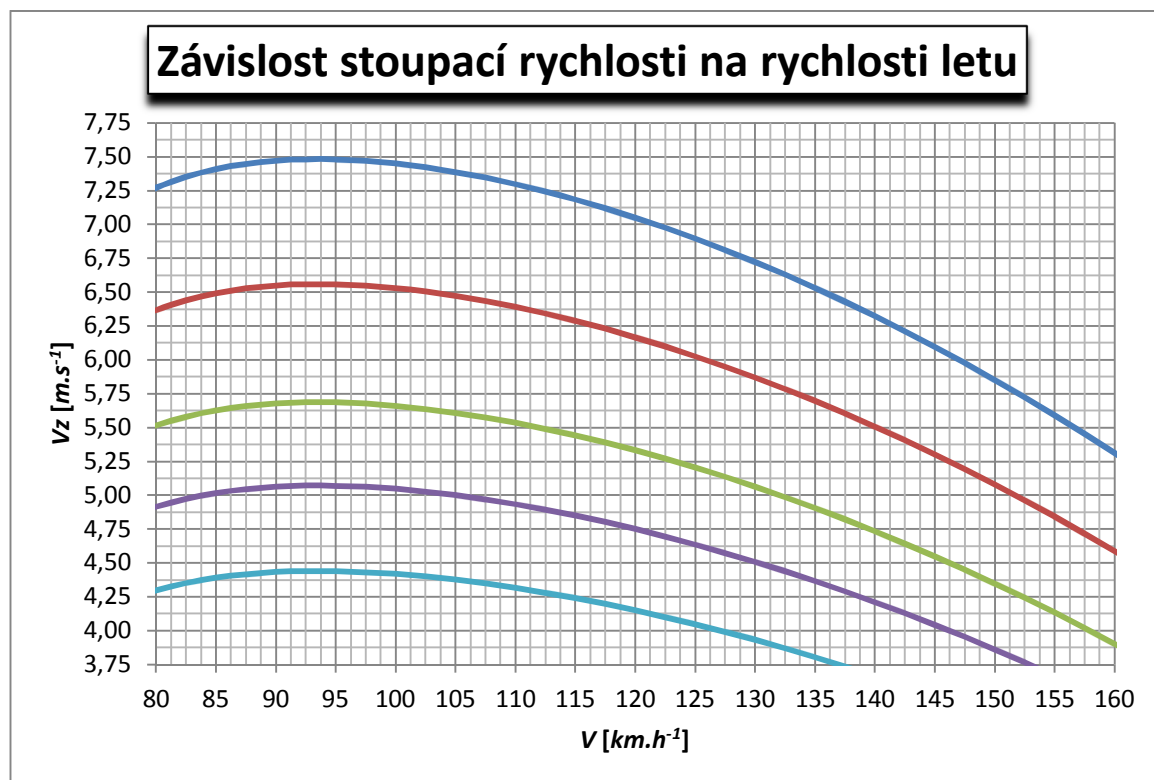
$D$  ... Odpor letounu; vypočtený ze známého vzorce, součinitel odporu byl nalezen pomocí náhradní poláry.

$V$  ... Rychlost letu

Úhel stoupání:

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{T - D}{G}\right) [rad]$$

Vypočtené hodnoty v tabulkách jsou uvedeny v příloze.



Obrázek 4.2 - Závislost stoupací rychlosti na rychlosti letu

### Hodnoty maximální stoupací rychlosti:

| Výška [m] MSA | $V$ [km.h <sup>-1</sup> ] | $V_z$ [m.s <sup>-1</sup> ] |
|---------------|---------------------------|----------------------------|
| 0             | 94                        | 7,48                       |
| 1000          | 94,25                     | 6,56                       |
| 2000          | 94,5                      | 5,62                       |
| 3000          | 94,75                     | 5,07                       |
| 4000          | 95                        | 4,39                       |

Tabulka 4.1 - Hodnoty dosažení maximální stoupací rychlosti  $V_z$  při rychlosti letu  $V$

### 4.2.2. Teoretický a praktický dostup

Teoretický dostup a praktický dostup je vypočtený na základě vypočtených maximálních stoupacích rychlostí, které je schopen letoun dosáhnout v dané výškové hladině.

Tato závislost byla vynesena do grafu a byla proložena lineární křivkou:

$$H = -1289 \cdot V_z + 9506,9 \text{ [m]}$$

Z této závislosti byla vypočtena hodnota teoretického a praktického dostupu:

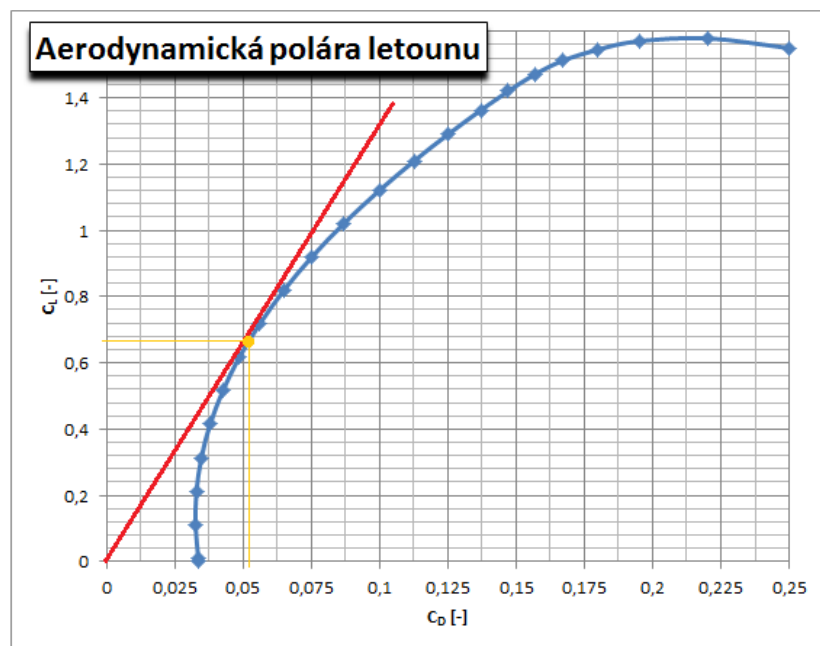
$$H_{\text{teoretický}} = -1291,4 \cdot V_z + 9680,8 = -1289,0 + 9506,9 = 9506,9 \text{ m}$$

$$H_{\text{praktický}} = -1291,4 \cdot V_z + 9680,8 = -1289,0,5 + 9680,8 = 8862,4 \text{ m}$$

## 4.3. Klouzavý let letounu

### 4.3.1. Klouzavost

Klouzavost je jedna ze základních aerodynamických charakteristik. Je vyjádřena jako poměr součinitele vztlaku a součinitele odporu.



Obrázek 4.3 - Určení klouzavosti letounu KONDOR

$$K = \frac{C_L}{C_D} = \frac{0,67}{0,0525} = 12,76$$

Maximální klouzavost letounu VUT 081 KONDOR je **12,76**.

#### 4.3.2. Rychlostní polára letounu VUT – 081 KONDOR v klouzavém letu s vysazeným motorem

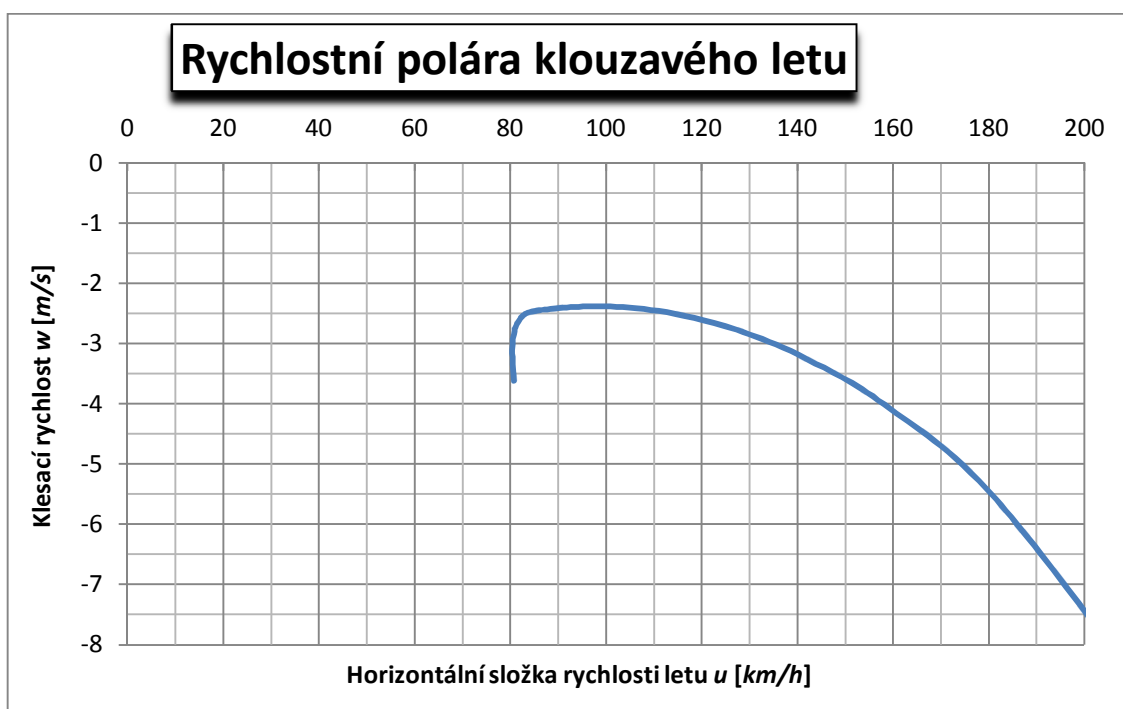
Součinitel výsledné aerodynamické síly draku [15]:

$$C_R^A = (C_L^2 + C_D^2)^{\frac{1}{2}}$$

Složky výsledné rychlosti klouzavého letu [15]:

$$w = -\frac{C_D}{C_R^A} \sqrt{\frac{2G}{C_R^A \rho S}}$$

$$u = -w \cdot \frac{C_L}{C_D}$$



Obrázek 4.4 - Rychlostní polára klouzavého letu

#### 4.3.3. Režim minimálního úhlu klouzání

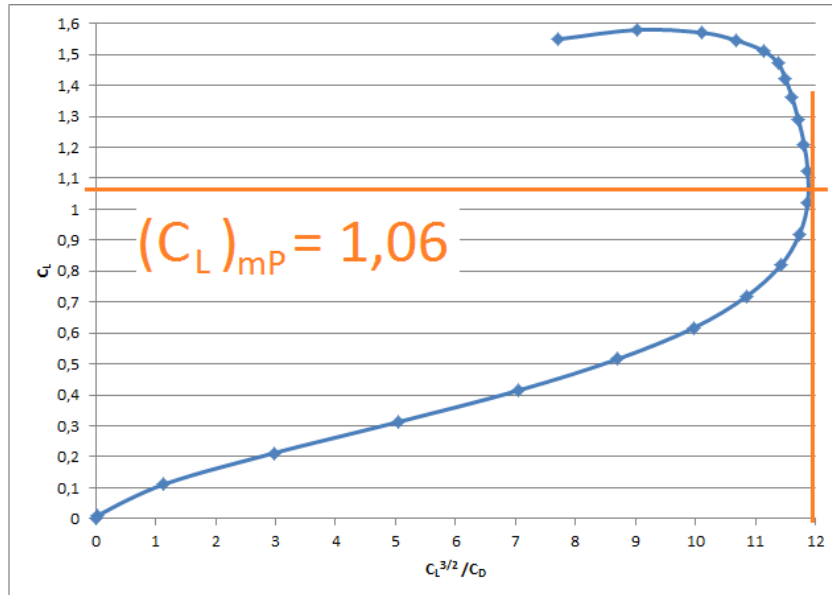
Pro úhel klouzání platí rovnice:

$$\bar{\gamma} = \arctg\left(\frac{1}{K}\right) = 4,48^\circ$$

Minimální úhel, který svírá přímočará dráha letounu s horizontální rovinou při klouzavém letu je  $4,48^\circ$ .

#### 4.3.4. Režim minimální klesací rychlosti

Pro výpočet minimální klesací rychlosti je třeba znát součinitel vztlaku při minimálním potřebném výkonu  $(C_L)_{mP}$ , určený z následujícího diagramu:



Obrázek 4.5 - Graf pro určení  $(C_L)_{mP}$

$$(C_L)_{mP} = 1,06 \gg (C_D)_{mP} = 0,091 \gg \left( \frac{C_D}{C_L^2} \right)_{\min} = 0,083383974$$

Minimální klesací rychlost [15]:

$$w_{\min} = -\frac{C_D}{C_L^2} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \left( \frac{G}{S} \right)} = 0,083383974 \cdot \sqrt{\frac{2}{1,225} \cdot \left( \frac{600 \cdot 9,81}{11,85} \right)} = 2,37 \frac{m}{s}$$

Minimální klesací rychlost je **2,37 m/s**.

#### 4.4. Hodnocení pádových rychlostí

Vztah pro vypočtení pádové rychlosti pro daný maximální součinitel vztlaku:

$$V_S = \sqrt{\frac{2G}{C_{Lmax} \rho S}} [m \cdot s^{-1}]$$

Maximální součinitele vztlaku [17]:

Klapky 0°:  $C_{Lmax0^\circ} = 1,58$

Klapky 10°:  $C_{Lmax10^\circ} = 1,82$

Klapky 30°:  $C_{Lmax30^\circ} = 2,24$

Byly vypočteny pádové rychlosti letounu VUT 081 KONDOR pro výšky 0 m, 1000 m, 2000 m, 3000 m, 4000 m MSA pro všechny tři polohy vztlakových klapek a pro hmotnost letounu  $m = 600 \text{ kg}$ .

#### 4.4.1. Pádové rychlosti pro maximální hmotnost letounu

$m = 600 \text{ kg}$

| Hmotnost letounu<br>$m = 600 \text{ kg}$ | Klapky 0°                              | Klapky 10°                              | Klapky 30°                              |
|------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                          | $V_{S-0^\circ-600} [\text{km.h}^{-1}]$ | $V_{S-10^\circ-600} [\text{km.h}^{-1}]$ | $V_{S-30^\circ-600} [\text{km.h}^{-1}]$ |
| $h_1 = 0 \text{ m MSA}$                  | 81,6                                   | 76,0                                    | 68,5                                    |
| $h_2 = 1000 \text{ m MSA}$               | 85,6                                   | 79,8                                    | 71,9                                    |
| $h_3 = 2000 \text{ m MSA}$               | 90,0                                   | 83,8                                    | 75,6                                    |
| $h_4 = 3000 \text{ m MSA}$               | 94,7                                   | 88,2                                    | 79,5                                    |
| $h_5 = 4000 \text{ m MSA}$               | 99,7                                   | 92,9                                    | 83,8                                    |

Tabulka 4.2 - Pádové rychlosti pro hmotnostní konfiguraci  $m = 600 \text{ kg}$ , pro různé výšky MSA

### 4.5. Délka vzletu a přistání

#### 4.5.1. Délka vzletu

##### **Délka pozemní části vzletu**

Byla vytvořena analytická polára letounu s vytaženým podvozkem.

$$C_D = C_{D0} + C_{D\text{podvozek}} + \frac{C_L^2}{\pi A e} [-]$$

$$C_{D\text{podvozek}} = 0,05$$

**Optimální součinitel vztlaku [15]:**

$$C_{L\text{opt}} = \frac{f \cdot \pi \cdot A \cdot e}{2} [-]$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$f$  ... Součinitel tření; pro travnaté plochy:  $f = 0,08$ ; pro betonové plochy  $f = 0,03$

$A$  ... Štíhlost křídla;  $A = 8,27$

$e$  ... Oswaldův opravný koeficient;  $e = 0,5$

$$C_{L\text{opt trava}} = 0,52$$

$$C_{D\text{opt trava}} = 0,072$$

$$C_{L\text{opt beton}} = 0,19$$

$$C_{D\text{opt beton}} = 0,060$$

### Výpočet zrychlení během rozjezdu [15]:

$$a_x = g \left[ \frac{F_v}{G} - f - (C_{Dopt} - f \cdot C_{Lopt}) \cdot \frac{\rho V^2 S}{2G} \right] [m \cdot s^{-2}]$$

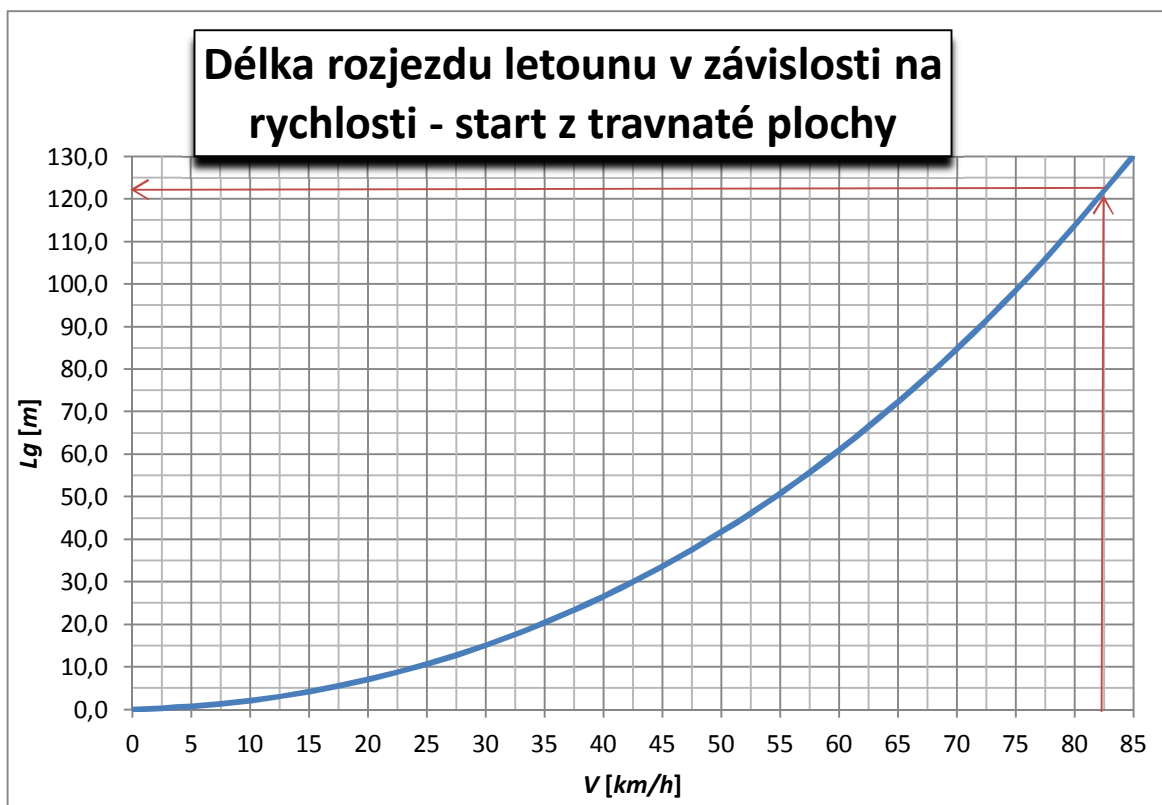
### Výpočet rychlosti odpoutání [15]:

$$V_{S\,vzlet} = \sqrt{\left( \frac{2mg}{\rho C_{L\,max10} S} \right)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600 \cdot 9,81}{1,225 \cdot 1,82 \cdot 11,85}} = 21,11 \, m \cdot s^{-1}$$

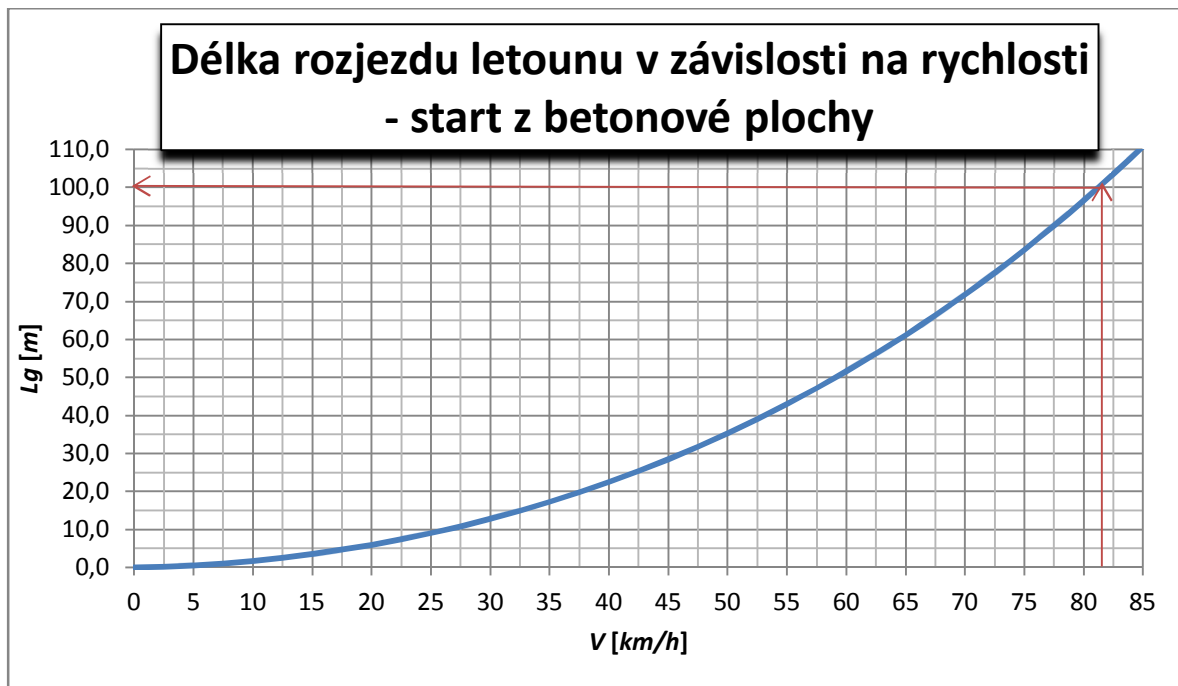
$$V_{lof} = 1,1 \cdot V_{S\,vzlet} = 1,1 \cdot 21,11 = 23,22 \, m \cdot s^{-1} = 83,6 \, km \cdot h^{-1}$$

$$L_G = \frac{1}{g} \int_0^{V_{lof}} \frac{V dV}{a_x}$$

Tabulky s výpočtem délky rozjezdu na travnaté ploše a na betonové ploše jsou uvedeny v příloze.



Obrázek 4.6 - Délka rozjezdu letounu v závislosti na rychlosti - start z travnaté plochy



Obrázek 4.7 - Délka rozjezdu letounu v závislosti na rychlosti - start z betonové plochy

**Délka pozemní části vzletu z travnaté plochy:**

$$L_{g \text{ tráva}} = 122 \text{ m}$$

**Délka pozemní části vzletu z betonové plochy:**

$$L_{g \text{ beton}} = 103 \text{ m}$$

**Výpočet vzdušné části vzletu:**

**Rychlost  $V_2$ :**

$$V_2 = 1,2 \cdot V_{s \text{ vzlet}} = 1,2 \cdot 23,11 = 27,86 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Výpočet střední rychlosti:**

$$V_{stř} = \frac{V_{lof} + V_2}{2} = \frac{23,22 + 27,86}{2} = 25,55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 91,96 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

**Hodnota využitelného tahu pro rychlost  $V_{stř}$ :**

$$F_{stř} = 1950 \text{ N}$$

**Pro danou hodnotu  $V_{stř}$  byly odečteny součinitele vztlaku a odporu:**

$$C_{Lstř} = 1,24$$

$$C_{Dstř} = 0,17$$

**Hodnota odporu letounu při rychlosti  $V_{stř}$ :**

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D S V_{stř}^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 0,17 \cdot 11,85 \cdot 25,55^2 = 805,5 \text{ N}$$

#### Výpočet vzdušné části vzletu:

$$L_a = \frac{m \cdot g}{F_{stř} - D_{stř}} \cdot \left( \frac{V_2^2 - V_{lof}^2}{2g} + h_s \right) = \frac{600 \cdot 9,81}{1144,5} \cdot \left( \frac{27,86^2 - 23,22^2}{2 \cdot 9,81} + 15 \right) = 139,3 \text{ m}$$

#### Celková délka vzletu:

Pro travnaté přistávací plochy:  $L_{trav} = 122 + 139 = 261 \text{ m}$

Pro betonové přistávací plochy:  $L_{beton} = 103 + 139 = 242 \text{ m}$

Výše byla výpočtem odhadnuta délka vzletu letounu VUT 081 KONDOR. Ve výpočtu byl použit odhad tahu motoru v závislosti na rychlosti, dále byl odhadnut koeficient smykového tření pro travnaté plochy a pro betonové plochy (viz [15]). Z výpočtu plyne, že délka vzletu z travnaté plochy je 261 m, délka vzletu z betonové plochy je 242 m.

### 4.5.2. Délka přistání

#### Délka vzdušné části přistání:

Délka vzdušné části přistání je vypočítána energetickou metodou [15]:

$$S_A = \frac{G}{D_{stř}} \left( \frac{(V_{ref}^2 - V_p^2)}{2g} + h_p \right) [m]$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$G$  ... Tíhová síla

$D_{stř}$  ... Odporová síla pro střední rychlost

$V_{ref}$  ... Rychlost přiblížení na přistání;  $V_{ref} = 1,3V_{S0} = 19,03 \cdot 1,3 = 24,74 \text{ m/s}$

$V_p$  ... Přistávací rychlost;  $V_p = 1,15V_{S0} = 1,15 \cdot 19,03 = 21,88 \text{ m/s}$

$g$  ... Tíhové zrychlení;  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

$h_p$  ... Výška překážky;  $h_p = 15 \text{ m}$

$$C_{Lstř} = \frac{2mg}{\rho V_{stř}^2 S} = \frac{2 \cdot 600 \cdot 9,81}{1,225 \cdot 23,31^2 \cdot 11,85} = 1,49$$

$$C_{Dstř} = 0,23$$

$$D_{stř} = \frac{1}{2} \rho V_{stř}^2 C_{Dstř} \cdot S = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 0,23 \cdot 23,31^2 \cdot 11,85 = 907 \text{ N}$$

$$S_A = \frac{G}{D_{stř}} \left( \frac{(V_{ref}^2 - V_p^2)}{2g} + h_p \right) = \frac{600 \cdot 9,81}{907} \left( \frac{(24,74^2 - 21,88^2)}{2 \cdot 9,81} + 15 \right) = 141,5 \text{ m}$$

### Délka pozemní části přistání:

Pro výpočet pozemní části přistání je zaveden předpoklad, že pohonná jednotka nevyvíjí žádný tah a podvozková kola nejsou brzděna.

$$S_G = \frac{1}{g} \int_0^{V_p} \frac{V dV}{f + (C_D - f C_L) \frac{\rho V^2 S}{2G}} [m]$$

Travnaté přistávací dráhy:

$$C_{Lopt1} = \frac{f \cdot \pi \cdot A \cdot e}{2} = 0,5194$$

$$C_{Dopt1} = 0,135$$

Betonové přistávací dráhy:

$$C_{Lopt2} = \frac{f \cdot \pi \cdot A \cdot e}{2} = 0,1948$$

$$C_{Dopt2} = 0,125$$

| Travnaté přistávací dráhy |                |           | Betonové přistávací dráhy |                |           |
|---------------------------|----------------|-----------|---------------------------|----------------|-----------|
| $V [m/s]$                 | $\Delta S [m]$ | $S_G [m]$ | $V [m/s]$                 | $\Delta S [m]$ | $S_G [m]$ |
| 21,88                     | 0,0            | 0,0       | 21,88                     | 0,0            | 0,0       |
| 16,88                     | 80,1           | 80,1      | 16,88                     | 116,0          | 116,0     |
| 11,88                     | 70,6           | 150,7     | 11,88                     | 121,4          | 237,3     |
| 6,88                      | 53,0           | 203,8     | 6,88                      | 111,4          | 348,7     |
| 1,88                      | 27,2           | 230,9     | 1,88                      | 68,0           | 416,7     |
| 0                         | 2,2            | 233,2     | 0                         | 6,0            | 422,7     |

Tabulka 4.3 - Pozemní délka přistání

### Celková délka přistání:

$$S = S_a + S_g$$

Celková délka přistání na travnatých plochách:

$$S_{tráva} = 141,5 + 233,2 = 374,7 \text{ m}$$

Celková délka přistání na betonových plochách:

$$S_{beton} = 141,5 + 422,7 = 564,2 \text{ m}$$

Délka přistání byla vypočtena pro travnaté a betonové vodorovné přistávací dráhy. Celková délka přistání se skládá ze vzdušné a pozemní části. Při přistání na betonové přistávací plochy může celková délka přistání nebrzděného letounu dosáhnout až 564 m. Na travnatých plochách, které budou pro tento letoun dominantní, může celková délka přistání dosáhnout délky 375 m.

## 5. Obálka zatížení letounu VUT 081 KONDOR

### 5.1. Základní vstupní hodnoty výpočtu

Základní vstupní data pro výpočet byly převzaty z letounu VUT 001 MARABU, jehož křídlo je téměř totožné.

| Základní vstupní data                                             |                                   |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Maximální vzletová hmotnost                                       | $m = 600 \text{ kg}$              |
| Plocha křídla                                                     | $S = 11,85 \text{ m}^2$           |
| Střední geometrická tětíva                                        | $c_{SGT} = 1,234 \text{ m}^2$     |
| Maximální součinitel vztlaku letounu ( $\delta_{KL} = 0^\circ$ )  | $C_{Lmax-0} = 1,58$               |
| Maximální součinitel vztlaku letounu ( $\delta_{KL} = 35^\circ$ ) | $C_{Lmax-35} = 2,24$              |
| Minimální součinitel vztlaku letounu                              | $C_{Lmin} = -1,2$                 |
| Sklon vztlakové čáry ( $\delta_{KL} = 0^\circ$ )                  | $C_L^a -0 = 5,217 \text{ 1/rad}$  |
| Sklon vztlakové čáry ( $\delta_{KL} = 35^\circ$ )                 | $C_L^a -35 = 5,576 \text{ 1/rad}$ |
| Přistávací výchylka vztlakových klappek                           | $\delta_{KL} = 35^\circ$          |
| Maximální horizontální rychlost                                   | $V_H = 240 \text{ km/h}$          |

Tabulka 5.1 - Základní vstupní data pro výpočet obálek zatížení

### 5.2. Výpočet obálky zatížení

#### 1. Obratová obálka

##### CS-VLA 335 Návrhové rychlosti

Znění předpisu pro výpočet návrhových rychlostí je obsažen v příloze.

##### a) Návrhová cestovní rychlost $V_C$

- Nesmí být nižší než:

$$V_{C1} = 2,4 \cdot \sqrt{\frac{mg}{S}} = 2,4 \cdot \sqrt{\frac{600 \cdot 9,81}{11,85}} = 53,49 \text{ m/s} = 192,56 \text{ km/h}$$

- Nesmí být vyšší než:

$$V_{C2} = 0,9 \cdot V_H = 0,9 \cdot 240 = 216 \text{ km/h}$$

Zvoleno:

$$V_C = 216 \text{ km/h}$$

##### b) Návrhová rychlost strmého sestupného letu $V_D$

- Nesmí být nižší než:

$$V_{D1} = 1,25 \cdot V_C = 1,25 \cdot 216 = 270 \text{ km/h}$$

- Nesmí být nižší než:

$$V_{D1} = 1,4 \cdot V_{Cmin} = 1,4 \cdot 192,56 = 269,6 \text{ km/h}$$

Zvoleno:

$$V_D = 270 \text{ km/h}$$

**c) Návrhová obrátová rychlost  $V_A$**

- Nesmí být nižší než  $V_S \cdot \sqrt{n}$

Pádová rychlost se zataženými vztlakovými klapkami  $V_S$ :

$$V_S = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g}{C_{Lmax} \cdot \rho \cdot S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600 \cdot 9,81}{1,58 \cdot 1,225 \cdot 11,85}} = 22,66 \text{ m/s} \\ = 81,56 \text{ km/h}$$

$$V_A = V_S \cdot \sqrt{n_1} = 22,66 \cdot \sqrt{3,8} = 44,17 \text{ m/s} = 159,02 \text{ km/h}$$

Zvoleno:

$$V_A = 160 \text{ km/h}$$

**d) Návrhová obrátová rychlost  $V_G$**

Pádová rychlost na zádech  $V_{SG}$ :

$$V_{SG} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot g}{|C_{Lmin}| \cdot \rho \cdot S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600 \cdot 9,81}{|-1,2| \cdot 1,225 \cdot 11,85}} = 26 \text{ m/s} \\ = 93,6 \text{ km/h}$$

$$V_G = V_{SG} \cdot \sqrt{n_2} = 26 \cdot \sqrt{|-1,5|} = 31,84 \text{ m/s} = 114,64 \text{ km/h}$$

Zvoleno:

$$V_G = 115 \text{ km/h}$$

**CS VLA 337 Maximální provozní násobky při obratech**

- Kladný maximální provozní násobek zatížení při obratech nesmí být větší než **3,8**
- Záporný maximální provozní násobek zatížení při obratech nesmí být menší než **-1,5**

## 2. Poryvová obálka

**CS-VLA 341 Násobky zatížení při poryvu**

Hmotnostní poměr letounu:

$$\mu_G = \frac{2 \cdot \frac{m}{S}}{\rho \cdot c_{SGT} \cdot C_L^\alpha} = \frac{2 \cdot 600}{1,225 \cdot 1,234 \cdot 5,217} = 12,84076$$

Zmírňující součinitel poryvu:

$$K_g = \frac{0,88 \cdot \mu_G}{5,3 + \mu_G} = \frac{0,88 \cdot 12,84076}{5,3 + 12,84076} = 0,6229$$

Poryv při  $V_C$ :

$$n = 1 \pm \frac{\frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot V_C \cdot C_L^\alpha \cdot K_G \cdot U_{de}}{m \cdot \frac{g}{S}} = 1 \pm \frac{0,5 \cdot 1,225 \cdot 216 / 3,65 \cdot 217 \cdot 0,6229 \cdot 15,24}{600 \cdot 9,81 / 11,85} = 1 \pm 3,7$$

$$n_1 = 4,7$$

$$n_2 = -2,7$$

Poryv při  $V_D$ :

$$n = 1 \pm \frac{\frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot V_D \cdot C_L^\alpha \cdot K_G \cdot U_{de}}{m \cdot \frac{g}{S}} = 1 \pm \frac{0,5 \cdot 1,225 \cdot 270 / 3,65 \cdot 217 \cdot 0,6229 \cdot 7,62}{600 \cdot 9,81 / 11,85} \\ = 1 \pm 2,2901$$

$$n_1 = 3,3$$

$$n_2 = -1,3$$

### 3. Obratová obálka při vysunutých vztlakových klapkách

Návrhová rychlost  $V_F$ :

Pádová rychlost s vysunutými vztlakovými klapkami:

$$V_{S0} = \sqrt{2 \cdot m \cdot \frac{g}{C_{Lmaxkl} \cdot \rho \cdot S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 600 \cdot 9,81}{2,24 \cdot 1,225 \cdot 11,85}} = 19,027 \text{ m/s} = 68,5 \text{ km/h}$$

$$V_{F1} \geq 1,8 \cdot V_{S0}$$

$$V_{F1} = 1,8 V_{S0} = 1,8 \cdot 68,5 = 123,3 \text{ km/h}$$

$$V_{F2} \geq 1,4 \cdot V_S$$

$$V_{F2} = 1,4 \cdot V_S = 1,4 \cdot 81,6 = 114,24 \text{ km/h}$$

Zvoleno:

$$V_F = 124 \text{ km/h}$$

### 4. Poryvová obálka při vysunutých vztlakových klapkách

Poryv při  $V_F$ :

Hmotnostní poměr letounu:

$$\mu_G = \frac{2 \cdot \frac{m}{S}}{\rho \cdot c_{SGT} \cdot C_L^\alpha} = \frac{2 \cdot 600}{1,225 \cdot 1,234 \cdot 5,576} = 12,0141$$

Zmírňující součinitel poryvu:

$$K_g = \frac{0,88 \cdot \mu_G}{5,3 + \mu_G} = \frac{0,88 \cdot 12,0141}{5,3 + 12,0141} = 0,6106$$

$$n = 1 \pm \frac{\frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot V_F \cdot C_L^\alpha \cdot K_G \cdot U_{de}}{m \cdot \frac{g}{S}} = 1 \pm \frac{0,5 \cdot 1,225 \cdot 124 / 3,6 \cdot 5,576 \cdot 0,6106 \cdot 7,62}{600 \cdot 9,81 / 11,85} = 1 \pm 1,102$$

$$n_1 = 2,1$$

$$n_2 = -0,1$$

### 5.3. Výsledné hodnoty výpočtu

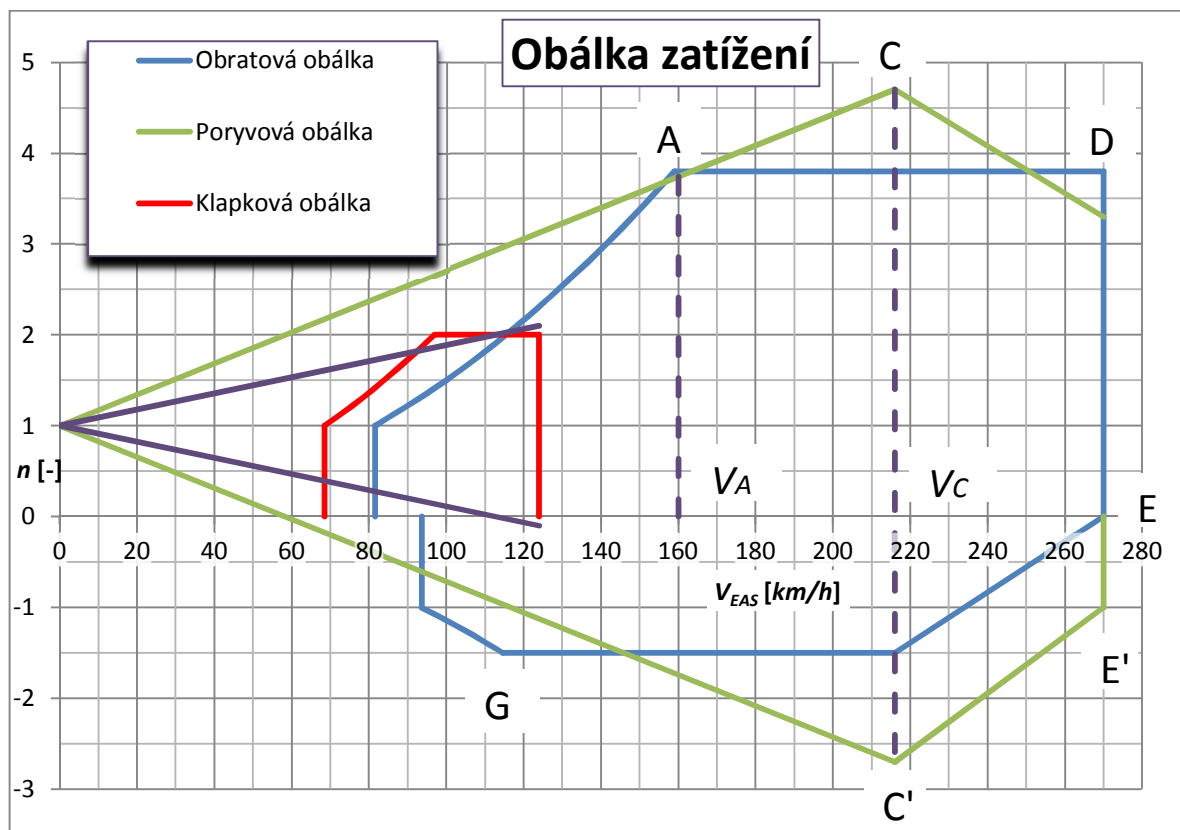
| Návrhové rychlosti                                 |          |           |
|----------------------------------------------------|----------|-----------|
| Název                                              | Označení | Hodnota   |
| Pádová rychlost se zataženými vztlakovými klapkami | $V_S$    | 81,6 km/h |
| Pádová rychlost s vysunutými vztlakovými klapkami  | $V_{SO}$ | 68,5 km/h |
| Maximální horizontální rychlost                    | $V_H$    | 240 km/h  |
| Návrhová obrátová rychlost manévru                 | $V_A$    | 160 km/h  |
| Návrhová cestovní rychlost                         | $V_C$    | 216 km/h  |
| Návrhová rychlost strmého sestupu                  | $V_D$    | 270 km/h  |
| Návrhová rychlost s vysunutými klapkami            | $V_F$    | 124 km/h  |

Tabulka 5.2 - Návrhové rychlosti

| Násobky zatížení                   |          |         |
|------------------------------------|----------|---------|
| Název                              | Označení | Hodnota |
| Maximální kladný obrátový násobek  | $n_1$    | 3,8     |
| Maximální záporný obrátový násobek | $n_2$    | -1,5    |
| Kladný poryvový násobek při $V_C$  | $n$      | 4,7     |
| Záporný poryvový násobek při $V_C$ | $n$      | -2,7    |
| Kladný poryvový násobek při $V_D$  | $n$      | 3,3     |
| Záporný poryvový násobek při $V_D$ | $n$      | -1,3    |
| Kladný poryvový násobek při $V_F$  | $n$      | 2,1     |
| Záporný poryvový násobek při $V_F$ | $n$      | -0,1    |

Tabulka 5.3 - Násobky zatížení

## 5.4. Obálka zatížení



Obrázek 5.1 - Obálka zatížení

Obálka zatížení letounu VUT 081 KONDOR je spočtena na základě předpisu CS-VLA. Vstupní aerodynamické a geometrické parametry výpočtu byly převzaty z letounu VUT 001 MARABU, jehož křídlo je totožné s letounem KONDOR. Obálka je spočteny pro maximální hmotnost letounu  $m_{max} = 600 \text{ kg}$ . Návrhová horizontální rychlost  $V_H$  byla stanovena odhadem na hodnotu  $V_H = 240 \text{ km/h}$ .

## 6. Zatížení křídla a motorového lože

### Zatížení křídla

Vnější křídlo letounu VUT 081 KONDOR je stejné konstrukce jako křídlo letounu VUT 001 nebo křídlo letounu SKYLEADER 600. V této práci nebude proto výpočet zatížení křídla zahrnut.

### Zatížení motorového lože

Z rozhodnutí vedoucího projektu bylo konstrukční řešení uspořádání pohonné jednotky změněno tak, že celá zástavba pohonné jednotky bude součástí trupu a ne centroplánu. Proto nebyl návrh motorového lože proveden. Výpočet zatížení motorového lože není v hlavní části práce uveden, avšak je k nalezení v příloze na konci této práce.

## 7. Zatížení ocasních ploch

Zatížení ocasních ploch bylo stanoveno stejnou metodikou jako zatížení ocasních ploch letounu MARABU. Bylo vycházeno z propůjčené zprávy LU26-2007-001.L. [19].

### 7.1. Vstupní hodnoty pro výpočet případů zatížení VOP a SOP

| Název vstupní hodnoty                                           | Hodnota                                             |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Plocha křídla                                                   | $S = 11,85 \text{ m}^2$                             |
| Střední geometrická tětíva křídla                               | $c_{SGT} = 1,234 \text{ m}$                         |
| Střední aerodynamická tětíva křídla                             | $c_{SAT} = 1,2736 \text{ m}$                        |
| Poměrná poloha A.S. letounu bez VOP na $c_{SAT}$                | $\overline{x_{A \text{ kř-tr}}} = 0,1869 \text{ -}$ |
| Vzdálenost A.S. letounu bez VOP a A.S. VOP                      | $\overline{l_{VOP}} = 4,4158 \text{ m}$             |
| Součinitel klopivého momentu letounu bez VOP, klapky $0^\circ$  | $c_{m0kr-tr-0} = -0,087 \text{ -}$                  |
| Součinitel klopivého momentu letounu bez VOP, klapky $35^\circ$ | $c_{m0kr-tr-35} = -0,354 \text{ -}$                 |
| Sklon vztlakové čáry křídla, klapky $0^\circ$                   | $C_L^\alpha_{-0} = 5,217 \text{ 1/rad}$             |
| Sklon vztlakové čáry křídla, klapky $35^\circ$                  | $C_L^\alpha_{-35} = 5,576 \text{ 1/rad}$            |
| Plocha VOP                                                      | $S_{VOP} = 2,0925 \text{ m}^2$                      |
| Sklon vztlakové čáry VOP                                        | $C_L^\alpha_{vop} = 3,7 \text{ 1/rad}$              |
| Derivace úhlu zešikmění v místě VOP, klapky $0^\circ$           | $d\epsilon/d\alpha = 0,3221 \text{ -}$              |
| Součinitel snížení dynamického tlaku na VOP                     | $K_{VOP} = 1 \text{ -}$                             |
| Účinnost výškového kormidla                                     | $\tau_{VK} = 0,6320 \text{ -}$                      |
| Výchylka VK nahoru                                              | $\delta_{VK \min} = -30^\circ$                      |
| Výchylka VK dolů                                                | $\delta_{VK \max} = 25^\circ$                       |
| Plocha SOP                                                      | $S_{SOP} = 0,616 \text{ m}^2$                       |
| Střední geometrická tětíva SOP                                  | $c_{SGTSOP} = 0,5929 \text{ m}$                     |
| Sklon vztlakové čáry SOP                                        | $C_L^\beta_{SOP} = 2,858 \text{ 1/rad}$             |
| Derivace úhlu zešikmění proudu na SOP od vybočení               | $d\epsilon/d\beta = -0,0091 \text{ -}$              |
| Součinitel snížení dynamického tlaku na SOP                     | $K_{SOP} = 1 \text{ -}$                             |
| Účinnost směrového kormidla                                     | $\tau_{SK} = 0,6114 \text{ -}$                      |
| Výchylka SK                                                     | $\delta_{SK} = 30^\circ$                            |
| Vzdálenost těžiště letounu a A.S. SOP, $x_T = 18 \% c_{SAT}$    | $L_{SOPt} = 4,2438 \text{ m}$                       |
| Vzdálenost těžiště letounu a A.S. SOP, $x_T = 35 \% c_{SAT}$    | $L_{SOPt} = 4,0273 \text{ m}$                       |

Tabulka 7.1 - Vstupní hodnoty pro výpočet případů zatížení VOP a SOP: převzaty převážně z [17]

## 7.2. Zatížení vodorovné ocasní plochy (VOP)

### 7.2.1. Vyvažovací zatížení

Znění předpisu CS-VLA pro výpočet vyvažovacího zatížení je uveden v příloze.

Vyvažovací zatížení vodorovné ocasní plochy bylo pro dále uvedené krajní body obrátové a klapkové obálky stanoveno ze vztahu:

$$F_{VOP} = F_{vyvaž1} + F_{vyvaž2} + F_{setr}$$

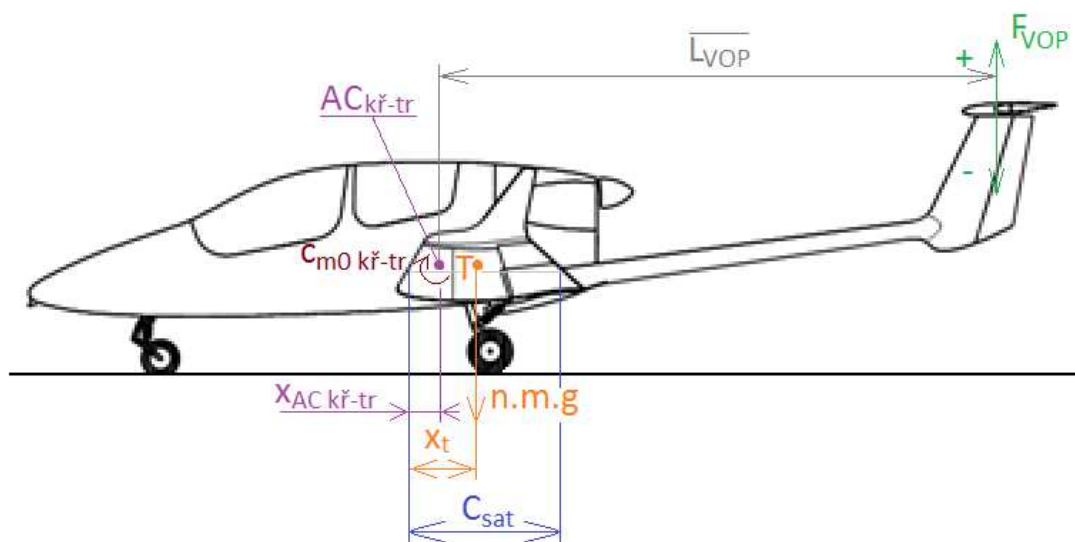
Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$F_{vyvaž1}$  ... vyvážení aerodynamického klopivého momentu a momentu od hmotových sil letounu.

$F_{vyvaž2}$  ... vyvážení momentu od tahu motoru

$F_{setr}$  ... setrvačná síla od hmotnosti vodorovné ocasní plochy

#### 1. Vyvážení aerodynamického klopivého momentu a momentu od hmotových sil letoun



Obrázek 7.1 - Vyvážení aerodynamického klopivého momentu a momentu od hmotových sil letounu

$$F_{vyvaž1} = \frac{\frac{\rho v^2}{2} \cdot S \cdot c_{SAT} \cdot c_{m0 \text{ kř-tr-0}} + n \cdot m \cdot g \cdot (\bar{x}_t - \bar{x}_{A \text{ kř-tr}}) \cdot c_{SAT}}{\bar{l}_{VOP}}$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$\rho$  ... hustota vzduchu [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$v$  ... rychlost letu [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$S$  ... plocha křídla [ $\text{m}^2$ ]

$c_{SAT}$  ... střední aerodynamická třetina křídla [m]

$c_{m0\ kř-tr-0}$  ... součinitel klopivého momentu letounu bez vodorovných ocasních ploch, klapky zasunuté [-]

$n$  ... letový násobek zatížení [-]

$m$  ... hmotnost letounu [kg]

$g$  ... tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

$\bar{x}_t$  ... poměrná poloha těžiště letounu k  $c_{SAT}$  [-]

$\bar{x}_{A\ kř-tr}$  ... poměrná poloha aerodynamického středu letounu bez vodorovných ocasních ploch k  $c_{SAT}$  [-]

$\bar{l}_{VOP}$  ... vzdálenost aerodynamického středu letounu bez VOP k aerodynamickému středu VOP [m]

## 2. Vyvážení momentu od tahu motoru

$$F_{vyvaž2} = - \frac{F_{tah} \cdot y_{tah}}{\bar{l}_{VOP}}$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$F_{tah}$  ... tah motoru [N]

$y_{tah}$  ... svislá vzdálenost působíště tahu motoru a těžiště letounu [m]

$\bar{l}_{VOP} = \bar{l}_{VOP} - (\bar{x}_t - \bar{x}_{A\ kř-tr}) \cdot c_{SAT}$  ... vzdálenost těžiště letounu od aerodynamického středu vodorovných ocasních ploch.

Vzhledem k tomu, že křivka závislosti tahu  $F_{tah}$  na rychlosti  $v$  není známá, a protože hodnota  $F_{vyvaž2}$  je zanedbatelná a výsledek vyvažovacího zatížení výrazně neovlivní, nebude se tato složka uvažovat.

## 3. Setrvačná síla od hmotnosti vodorovné ocasní plochy

$$F_{setr} = -n \cdot m_{VOP} \cdot g$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$n$  ... letový násobek [-]

$m_{VOP}$  ... hmotnost VOP [kg]

$g$  ... tíhové zrychlení [ $m \cdot s^{-2}$ ]

### 7.2.2. Výsledné hodnoty vyvažovacího zatížení

| Maximální hmotnost: $m = 600 \text{ kg}$ |         |              |            |                 |
|------------------------------------------|---------|--------------|------------|-----------------|
| Případ                                   | Centráž | $F_{vyvaž1}$ | $F_{setr}$ | $F_{VOP}$       |
|                                          | [-]     | [N]          | [N]        | [N]             |
| $V_A = 160 \text{ km/h}, n = 3,8$        | 0,18    | -404,26      | -354,14    | -758,40         |
|                                          | 0,35    | 692,41       | -354,14    | 338,27          |
| $V_D = 270 \text{ km/h}, n = 3,8$        | 0,18    | -1068,96     | -354,14    | <b>-1423,10</b> |
|                                          | 0,35    | 27,71        | -354,14    | -326,43         |
| $V_D = 270 \text{ km/h}, n = 0$          | 0,18    | -1024,45     | 0,00       | -1024,45        |
|                                          | 0,35    | -1024,45     | 0,00       | -1024,45        |
| $V_C = 216 \text{ km/h}, n = -1,5$       | 0,18    | -638,08      | 139,79     | -498,28         |
|                                          | 0,35    | -1070,97     | 139,79     | -931,18         |
| $V_G = 115 \text{ km/h}, n = -1,5$       | 0,18    | -168,28      | 139,79     | -28,49          |
|                                          | 0,35    | -601,17      | 139,79     | -461,38         |
| $V_F = 124 \text{ km/h}, n = 2$          | 0,18    | -902,63      | -186,39    | -1089,02        |
|                                          | 0,35    | -325,44      | -186,39    | -511,83         |

**Tabulka 7.2 - Vyvažovací zatížení pro maximální hmotnost  $m = 600 \text{ kg}$**

| Minimální hmotnost: $m = 427 \text{ kg}$ |         |              |            |                 |
|------------------------------------------|---------|--------------|------------|-----------------|
| Případ                                   | Centráž | $F_{vyvaž1}$ | $F_{setr}$ | $F_{VOP}$       |
|                                          | [-]     | [N]          | [N]        | [N]             |
| $V_A = 160 \text{ km/h}, n = 3,8$        | 0,18    | -391,43      | -354,14    | -745,57         |
|                                          | 0,35    | 389,04       | -354,14    | 34,89           |
| $V_D = 270 \text{ km/h}, n = 3,8$        | 0,18    | -1056,13     | -354,14    | <b>-1410,27</b> |
|                                          | 0,35    | -275,66      | -354,14    | -629,80         |
| $V_D = 270 \text{ km/h}, n = 0$          | 0,18    | -1024,45     | 0,00       | -1024,45        |
|                                          | 0,18    | -1024,45     | 0,00       | -1024,45        |
| $V_C = 216 \text{ km/h}, n = -1,5$       | 0,18    | -643,14      | 139,79     | -503,35         |
|                                          | 0,35    | -951,22      | 139,79     | -811,43         |
| $V_G = 115 \text{ km/h}, n = -1,5$       | 0,18    | -173,34      | 139,79     | -33,55          |
|                                          | 0,35    | -481,42      | 139,79     | -341,63         |
| $V_F = 124 \text{ km/h}, n = 2,1$        | 0,18    | -895,88      | -186,39    | -1082,27        |
|                                          | 0,35    | -485,11      | -186,39    | -671,50         |

**Tabulka 7.3 - Vyvažovací zatížení pro minimální hmotnost  $m = 439 \text{ kg}$**

Z výsledků výpočtu vyvažovacího zatížení vodorovné ocasní plochy lze spatřit, že maximální zatížení bude při rychlosti  $V_D$  s násobkem  $n = 3,8$ . Maximální vyvažovací síla na vodorovnou ocasní plochu je **-1423,1 N**.

### 7.2.3. Poryvová zatížení

*Znění předpisu CS-VLA pro poryvové zatížení je obsaženo v příloze.*

Poryvové zatížení vodorovných ocasních ploch bylo stanoveno ze vztahu:

$$F_{VOP} = F_{vyvaž} + \Delta F_{VOP} + F_{SETR}$$

*Vysvětlení jednotlivých symbolů:*

$F_{vyvaž}$  ... vyvažovací síla na vodorovné ocasní plochy pro násobek  $n = 1$

$\Delta F_{VOP}$  ... přírůstek zatížení VOP od poryvu

$F_{SETR}$  ... setrvačná síla od hmotnosti VOP

#### 1. Vyvažovací síla na vodorovné ocasní plochy

Výchozí stav před vletem do poryvu je ustálený horizontální let:

$$F_{vyvaž} = F_{vyvaž1} + F_{vyvaž2}$$

*Vysvětlení jednotlivých symbolů:*

$F_{vyvaž1}$  ... vyvážení aerodynamického klopivého momentu a momentu od hmotových sil letounu.

$F_{vyvaž2}$  ... vyvážení momentu od tahu motoru

#### 2. Přírůstek zatížení vodorovných ocasních ploch od poryvu:

*Dle CS-VLA 425 (d)*

$$\Delta F_{VOP} = \frac{K_g U_{de} V c_{L VOP}^\alpha S_{VOP}}{16,3} \cdot \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha}\right)$$

*Vysvětlení jednotlivých symbolů:*

$K_g$  ... zmírňující součinitel poryvu definovaný v CS-VLA 341

$U_{de}$  ... rychlost poryvu [ $m.s^{-1}$ ]

$V$  ... EAS – ekvivalentní rychlost letu [ $m.s^{-1}$ ]

$c_{L VOP}^\alpha$  ... sklon vztahové čáry vodorovné ocasní plochy [ $1/rad$ ]

$S_{VOP}$  ... plocha VOP [ $m^2$ ]

$\left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha}\right)$  ... srázový činitel

### Poryv při $V_c$

Hmotnostní poměr letounu:

$m = 600 \text{ kg}$

$$\mu_G = \frac{2 \cdot \frac{m}{S}}{\rho \cdot c_{SGT} \cdot C_L^\alpha} = \frac{\frac{2 \cdot 600}{11,85}}{1,225 \cdot 1,234 \cdot 5,217} = 12,84076$$

$m = 427 \text{ kg}$

$$\mu_G = \frac{2 \cdot \frac{m}{S}}{\rho \cdot c_{SGT} \cdot C_L^\alpha} = \frac{\frac{2 \cdot 427}{11,85}}{1,225 \cdot 1,234 \cdot 5,217} = 9,13834$$

Zmírňující součinitel poryvu:

$m = 600 \text{ kg}$

$$K_g = \frac{0,88 \cdot \mu_G}{5,3 + \mu_G} = \frac{0,88 \cdot 12,84076}{5,3 + 12,84076} = 0,6229$$

$m = 427 \text{ kg}$

$$K_g = \frac{0,88 \cdot \mu_G}{5,3 + \mu_G} = \frac{0,88 \cdot 9,13834}{5,3 + 9,13834} = 0,5570$$

**Přírůstek zatížení vodorovných ocasních ploch od poryvu:**

$m = 600 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} \Delta F_{VOP} &= \frac{K_g U_{de} V C_{L VOP}^\alpha S_{VOP}}{16,3} \cdot \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha}\right) \\ &= \frac{0,6229 \cdot 15,24 \cdot 216}{3,6} \cdot 3,7 \cdot 2,0925 \\ &\quad \cdot \frac{1}{16,3} \cdot (1 - 0,3221) \\ \Delta F_{VOP} &= 183,4 \text{ daN} = 1834 \text{ N} \end{aligned}$$

$m = 427 \text{ kg}$

$$\begin{aligned} \Delta F_{VOP} &= \frac{K_g U_{de} V C_{L VOP}^\alpha S_{VOP}}{16,3} \cdot \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha}\right) \\ &= \frac{0,5570 \cdot 15,24 \cdot 216}{3,6} \cdot 3,7 \cdot 2,0925 \\ &\quad \cdot \frac{1}{16,3} \cdot (1 - 0,3221) \\ \Delta F_{VOP} &= 164 \text{ daN} = 1640 \text{ N} \end{aligned}$$

### Poryv při $V_D$

**Přírůstek zatížení vodorovných ocasních ploch od poryvu:**

$$m = 600 \text{ kg}$$

$$\Delta F_{VOP} = \frac{K_g U_{de} V c_{L VOP}^\alpha S_{VOP}}{16,3} \cdot \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha}\right) = \frac{0,6229 \cdot 7,62 \cdot 270}{3,6} \cdot 3,7 \cdot 2,0925}{16,3} \cdot (1 - 0,3221)$$

$$\Delta F_{VOP} = 114,63 \text{ daN} = 1146,3 \text{ N}$$

$$m = 427 \text{ kg}$$

$$\Delta F_{VOP} = \frac{K_g U_{de} V c_{L VOP}^\alpha S_{VOP}}{16,3} \cdot \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha}\right) = \frac{0,5570 \cdot 7,62 \cdot 270}{3,6} \cdot 3,7 \cdot 2,0925}{16,3} \cdot (1 - 0,3221)$$

$$\Delta F_{VOP} = 102,50 \text{ daN} = 1025 \text{ N}$$

### Poryv při $V_F$

**Hmotnostní poměr letounu:**

$$m = 600 \text{ kg}$$

$$\mu_G = \frac{2 \cdot \frac{m}{S}}{\rho \cdot c_{SGT} \cdot C_L^\alpha} = \frac{2 \cdot 600}{1,225 \cdot 1,234 \cdot 5,576} = 12,014$$

$$m = 427 \text{ kg}$$

$$\mu_G = \frac{2 \cdot \frac{m}{S}}{\rho \cdot c_{SGT} \cdot C_L^\alpha} = \frac{2 \cdot 427}{1,225 \cdot 1,234 \cdot 5,576} = 8,550$$

**Zmírňující součinitel poryvu:**

$$m = 600 \text{ kg}$$

$$K_g = \frac{0,88 \cdot \mu_G}{5,3 + \mu_G} = \frac{0,88 \cdot 12,014}{5,3 + 12,014} = 0,6106$$

$$m = 427 \text{ kg}$$

$$K_g = \frac{0,88 \cdot \mu_G}{5,3 + \mu_G} = \frac{0,88 \cdot 8,550}{5,3 + 8,550} = 0,5432$$

**Přírůstek zatížení vodorovných ocasních ploch od poryvu:**

$$m = 600 \text{ kg}$$

$$\Delta F_{VOP} = \frac{K_g U_{de} V c_{L_{VOP}}^\alpha S_{VOP}}{16,3} \cdot \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha}\right) = \frac{0,6106 \cdot 7,62 \cdot 124}{3,6} \cdot 3,7 \cdot 2,0925}{16,3} \cdot (1 - 0,3221)$$

$$\Delta F_{VOP} = 51,6 \text{ daN} = 516 \text{ N}$$

$$m = 427 \text{ kg}$$

$$\Delta F_{VOP} = \frac{K_g U_{de} V c_{L_{VOP}}^\alpha S_{VOP}}{16,3} \cdot \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha}\right) = \frac{0,5432 \cdot 7,62 \cdot 124}{3,6} \cdot 3,7 \cdot 2,0925}{16,3} \cdot (1 - 0,3221)$$

$$\Delta F_{VOP} = 45,9 \text{ daN} = 459 \text{ N}$$

**3. Setrvačná síla od hmotnosti VOP**

$$\begin{aligned} F_{setr} &= -m_{VOP} \cdot \Delta n_{trans} \cdot g + m_{VOP} \cdot \varepsilon_z \cdot l_{VOP} - \widetilde{m_{VOP}} \cdot g = \\ &= -m_{VOP} \cdot \left( g + \frac{\Delta F_{VOP}}{m} \cdot \frac{1}{g} \cdot g + \Delta F_{VOP} \cdot \frac{l_{VOP}}{J_z} \cdot l_{VOP} \right) = \\ &= -m_{VOP} \cdot \left( g + \frac{\Delta F_{VOP}}{m} + \Delta F_{VOP} \cdot \frac{(l_{VOP})^2}{J_z} \right) \end{aligned}$$

#### 7.2.4. Výsledné hodnoty zatížení vodorovné ocasní plochy od poryvu

| Maximální hmotnost: $m = 600 \text{ kg}$ , $J_z = 1060 \text{ kg.m}^2$ |         |             |                  |            |                 |
|------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|------------------|------------|-----------------|
| Případ                                                                 | Centráž | $F_{vyvaž}$ | $\Delta F_{VOP}$ | $F_{SETR}$ | $F_{VOP}$       |
|                                                                        | [-]     | [N]         | [N]              | [N]        | [N]             |
| $V_C = 216 \text{ km/h}$ ,<br>$U = 15,24 \text{ m.s}^{-1}$             | 0,18    | -667,36     | 1834,00          | -444,02    | 722,62          |
|                                                                        | 0,35    | -378,76     | 1834,00          | -413,29    | 1041,94         |
| $V_C = 216 \text{ km/h}$ ,<br>$U = -15,24 \text{ m.s}^{-1}$            | 0,18    | -667,36     | -1834,00         | 257,63     | <b>-2243,73</b> |
|                                                                        | 0,35    | -378,76     | -1834,00         | 226,90     | -1985,86        |
| $V_D = 270 \text{ km/h}$ ,<br>$U = 7,62 \text{ m.s}^{-1}$              | 0,18    | -1036,16    | 1146,30          | -312,47    | -202,33         |
|                                                                        | 0,35    | -747,56     | 1146,30          | -293,27    | 105,47          |
| $V_D = 270 \text{ km/h}$ ,<br>$U = -7,62 \text{ m.s}^{-1}$             | 0,18    | -1036,16    | -1146,30         | 126,08     | -2056,38        |
|                                                                        | 0,35    | -747,56     | -1146,30         | 106,88     | -1786,99        |
| $V_F = 124 \text{ km/h}$ ,<br>$U = 7,62 \text{ m.s}^{-1}$              | 0,18    | -890,92     | 516,00           | -191,90    | -566,82         |
|                                                                        | 0,35    | -602,32     | 516,00           | -183,26    | -269,58         |
| $V_F = 124 \text{ km/h}$ ,<br>$U = -7,62 \text{ m.s}^{-1}$             | 0,18    | -890,92     | -516,00          | 5,51       | -1401,41        |
|                                                                        | 0,35    | -602,32     | -516,00          | -3,13      | -1121,45        |

Tabulka 7.4 - Výsledné hodnoty zatížení VOP od poryvu, maximální hmotnost  $m = 600 \text{ kg}$ ,  
 $J_z = 1060 \text{ kg.m}^2$

| Minimální hmotnost: $m = 427 \text{ kg}$ , $J_z = 863 \text{ kg.m}^2$ |         |             |                  |            |                 |
|-----------------------------------------------------------------------|---------|-------------|------------------|------------|-----------------|
| Případ                                                                | Centráž | $F_{vyvaž}$ | $\Delta F_{VOP}$ | $F_{SETR}$ | $F_{VOP}$       |
|                                                                       | [-]     | [N]         | [N]              | [N]        | [N]             |
| $V_C = 216 \text{ km/h}$ ,<br>$U = 15,24 \text{ m.s}^{-1}$            | 0,18    | -362,54     | 1640,00          | -483,11    | 794,35          |
|                                                                       | 0,35    | -157,15     | 1640,00          | -449,37    | 1033,48         |
| $V_C = 216 \text{ km/h}$ ,<br>$U = -15,24 \text{ m.s}^{-1}$           | 0,18    | -362,54     | -1640,00         | 296,72     | <b>-1705,81</b> |
|                                                                       | 0,35    | -157,15     | -1640,00         | 262,98     | -1534,17        |
| $V_D = 270 \text{ km/h}$ ,<br>$U = 7,62 \text{ m.s}^{-1}$             | 0,18    | -561,77     | 1025,00          | -336,89    | 126,33          |
|                                                                       | 0,35    | -356,39     | 1025,00          | -315,80    | 352,81          |
| $V_D = 270 \text{ km/h}$ ,<br>$U = -7,62 \text{ m.s}^{-1}$            | 0,18    | -561,77     | -1025,00         | 150,50     | -1436,27        |
|                                                                       | 0,35    | -356,39     | -1025,00         | 129,41     | -1251,97        |
| $V_F = 124 \text{ km/h}$ ,<br>$U = 7,62 \text{ m.s}^{-1}$             | 0,18    | -887,54     | 459,00           | -202,32    | -630,86         |
|                                                                       | 0,35    | -682,16     | 459,00           | -192,88    | -416,04         |
| $V_F = 124 \text{ km/h}$ ,<br>$U = -7,62 \text{ m.s}^{-1}$            | 0,18    | -887,54     | -459,00          | 15,93      | -1330,61        |
|                                                                       | 0,35    | -682,16     | -459,00          | 6,49       | -1134,66        |

Tabulka 7.5 - Výsledné hodnoty zatížení VOP od poryvu, minimální hmotnost  $m = 427 \text{ kg}$ ,  $J_z = 863 \text{ kg.m}^2$

Z výsledků výpočtu poryvového zatížení vodorovné ocasní plochy lze spatřit, že maximální zatížení bude při rychlosti  $V_c$  se záporným poryvem:

$U = -15,24 \text{ m/s}$ , konfigurace maximální hmotnost. Maximální síla od poryvu na vodorovnou ocasní plochu je **-2243 N**.

### 7.2.5. Manévrovací zatížení

*Znění předpisu CS-VLA pro manévrovací zatížení je obsaženo v příloze.*

*Výpočet dle CS-VLA 423 (c):*

**Zatížení VOP od manévru bylo stanoveno ze vztahu:**

$$F_{VOP}(t) = F_{vyvaž} + \Delta F_{vzdman}(t) + F_{setr}(t)$$

*Vysvětlení jednotlivých symbolů:*

$F_{vyvaž}$  ... vyvažovací síla na VOP pro výchozí stav manévru,  $n = 1$

$\Delta F_{vzdman}(t)$  ... přírůstek vzdušného zatížení VOP od manévru

$F_{setr}(t)$  ... setrvačná síla od hmotnosti VOP, součet setrvačné síly výchozího stavu manévru a setrvačné síly během manévru

#### 1. Vyvažovací síla na VOP pro výchozí stav manévru

Výchozí stav před manévrem je ustálený horizontální let, potom:

$$F_{vyvaž} = F_{vyvaž1} + F_{vyvaž2}$$

*Vysvětlení jednotlivých symbolů:*

$F_{vyvaž1}$  ... vyvážení aerodynamického klopivého momentu a momentu od hmotových sil letounu.

$F_{vyvaž2}$  ... vyvážení momentu od tahu motoru

#### 2. Přírůstek vzdušného zatížení VOP od manévru

Přírůstek vzdušného zatížení VOP od manévru byl stanoven za předpokladu, že letoun během manévru nemění svoji polohu, takže vzdušná síla na VOP se skládá ze síly od výchylky VK a síly od tlumení která vyplývá z úhlové rychlosti klopení letounu vzniklé výchylkou VK.

$$F_{vzdman}(t) = F_{delta}(t) + F_{tlum}(t)$$

*Vysvětlení jednotlivých symbolů:*

$F_{delta}(t)$  ... vzdušná síla od výchylky VK

$F_{tlum}(t)$  ... vzdušná síla od tlumení

*Síla od výchylky VK:*

$$F_{delta}(t) = \frac{\rho \cdot v^2}{2} K_{VOP} \cdot S_{VOP} \cdot \tau_{VK} \cdot \delta_{VK}(t) \cdot c_{L_{VOP}}^{\alpha}$$

*Vysvětlení jednotlivých symbolů:*

$K_{VOP} = 1$  ... součinitel snížení dynamického tlaku na VOP

$\tau_{VK}$  ... účinnost výškového kormidla

$\delta_{VK}(t)$  ... výchylka VK, nahoru záporná [rad]

Byl uvažován lineární náběh na stanovenou výchylku VK s dobou náběhu  $t = 0,2$  s.

*Síla od tlumení:*

$$F_{tlum}(t) = \frac{\rho \cdot v^2}{2} K_{VOP} \cdot S_{VOP} \cdot c_{L_{VOP}}^\alpha \cdot \frac{\omega(t) \cdot L_{VOP} t}{v}$$

$\omega(t)$  ... úhlová rychlost klopení letounu v daném čase

$L_{VOP} t$  ... Vzdálenost těžiště letounu a A. S. VOP

$$L_{VOP} t = \overline{L_{VOP}} - (\bar{x}_t - \bar{x}_{AC\ kř-tr}) \cdot c_{SAT}$$

*Přírůstek úhlové rychlosti:*

$$d\omega(t) = \varepsilon(t) dt$$

*Úhlové zrychlení:*

$$\varepsilon(t) = \frac{F_{vzdman}(t) \cdot L_{VOP} t}{J_Z}$$

### 3. Setrvačná síla od hmotnosti VOP

$$F_{setr}(t) = F_{setrvych} + F_{setrman}(t)$$

$$F_{setrvych} = -m_{VOP} \cdot g$$

$$F_{setrman}(t) = -m_{VOP} \cdot \Delta n_{trans}(t) \cdot g + m_{VOP} \cdot \varepsilon_z(t) \cdot L_{VOP} t$$

$$F_{setrman}(t) = -m_{VOP} \cdot \left( \frac{F_{vzdman}(t)}{m} \cdot \frac{1}{g} \cdot g + F_{vzdman}(t) \cdot \frac{L_{VOP} t}{J_Z} \cdot L_{VOP} t \right)$$

$$F_{setrman}(t) = -m_{VOP} \cdot \left( \frac{F_{vzdman}(t)}{m} + F_{vzdman}(t) \cdot \frac{L_{VOP}^2 t}{J_Z} \right)$$

Byl řešen časový průběh tohoto zatížení numerickou integrací pohybové rovnice ve směru klopení (momentová rovnováha kolem osy z) v časovém kroku  $dt$ .

*Časový průběh pro rozhodující případ zatížení při  $V_D$ , výchylka: 1/3,  $m = 600$  kg, přední centráž je obsažen v příloze.*

## 7.2.6. Výsledné hodnoty zatížení vodorovné ocasní plochy od manévru

| Případ minimální hmotnosti: $m = 427 \text{ kg}$ , $J_z = 863 \text{ kg.m}^2$ |         |               |             |                |              |               |           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------|-------------|----------------|--------------|---------------|-----------|-----------|
| Případ                                                                        | Centráž | $\delta_{VK}$ | $F_{vyvaž}$ | $F_{setrvych}$ | $F_{vzdnam}$ | $F_{setrman}$ | $F_{man}$ | $F_{VOP}$ |
|                                                                               | [-]     | [°]           | [N]         | [N]            | [N]          | [N]           | [N]       | [N]       |
| $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$                                                 | 0,18    | -30           | -368,087    | 93,195         | -2024,82     | 481,4102      | -1543,41  | -1818,31  |
|                                                                               | 0,35    | -30           | -162,702    | 93,195         | -2103,52     | 456,8403      | -1646,68  | -1716,18  |
| $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$                                                 | 0,18    | 25            | -368,087    | 93,195         | 1687,354     | -401,175      | 1286,179  | 1011,29   |
|                                                                               | 0,35    | 25            | -162,702    | 93,195         | 1752,932     | -380,7        | 1372,231  | 1302,72   |
| $V_D = 270 \text{ km.h}^{-1}$                                                 | 0,18    | -10           | -1032,78    | 93,195         | -1484,42     | 352,9272      | -1131,49  | -2071,08  |
|                                                                               | 0,35    | -10           | -827,399    | 93,195         | -1573,03     | 341,6304      | -1231,4   | -1965,61  |
| $V_D = 270 \text{ km.h}^{-1}$                                                 | 0,18    | 8,34          | -1032,78    | 93,195         | 1238,008     | -294,341      | 943,6663  | 4,08      |
|                                                                               | 0,35    | 8,34          | -827,399    | 93,195         | 1311,911     | -284,92       | 1026,991  | 292,79    |

Tabulka 7.6 - Zatížení VOP od manévru, minimální hmotnost  $m = 427 \text{ kg}$

| Případ maximální hmotnosti: $m = 600 \text{ kg}$ , $J_z = 1060 \text{ kg.m}^2$ |         |               |             |                |              |               |           |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------|-------------|----------------|--------------|---------------|-----------|-----------|
| Případ                                                                         | Centráž | $\delta_{VK}$ | $F_{vyvaž}$ | $F_{setrvych}$ | $F_{vzdnam}$ | $F_{setrman}$ | $F_{man}$ | $F_{VOP}$ |
|                                                                                | [-]     | [°]           | [N]         | [N]            | [N]          | [N]           | [N]       | [N]       |
| $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$                                                  | 0,18    | -30           | -371,465    | -93,195        | -2181,92     | 417,3745      | -1764,55  | -2229,21  |
|                                                                                | 0,35    | -30           | -82,8672    | -93,195        | -2252,56     | 393,1544      | -1859,41  | -2035,47  |
| $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$                                                  | 0,18    | 25            | -371,465    | -93,195        | 1818,268     | -347,812      | 1470,456  | 1005,80   |
|                                                                                | 0,35    | 25            | -82,8672    | -93,195        | 1877,135     | -327,629      | 1549,506  | 1373,44   |
| $V_D = 270 \text{ km.h}^{-1}$                                                  | 0,18    | -10           | -1036,16    | -93,195        | -1664,18     | 318,3378      | -1345,85  | -2475,20  |
|                                                                                | 0,35    | -10           | -747,564    | -93,195        | -1748,76     | 305,2219      | -1443,53  | -2284,29  |
| $V_D = 270 \text{ km.h}^{-1}$                                                  | 0,18    | 8,34          | -1036,16    | -93,195        | 1387,93      | -265,494      | 1122,436  | -6,92     |
|                                                                                | 0,35    | 8,34          | -747,564    | -93,195        | 1458,463     | -254,555      | 1203,908  | 363,15    |

Tabulka 7.7 - Zatížení VOP od manévru, maximální hmotnost  $m = 600 \text{ kg}$

Z vypočtených hodnot lze spatřit, že maximální zatížení VOP od manévru nastane při maximální hmotnosti letounu  $m = 600 \text{ kg}$ , rychlosti  $V_D = 270 \text{ km.h}^{-1}$ , výchylky výškového kormidla  $\delta_{VK} = -10^\circ$ , přední centráži.

## 7.2.7. Výsledné hodnoty zatížení VOP

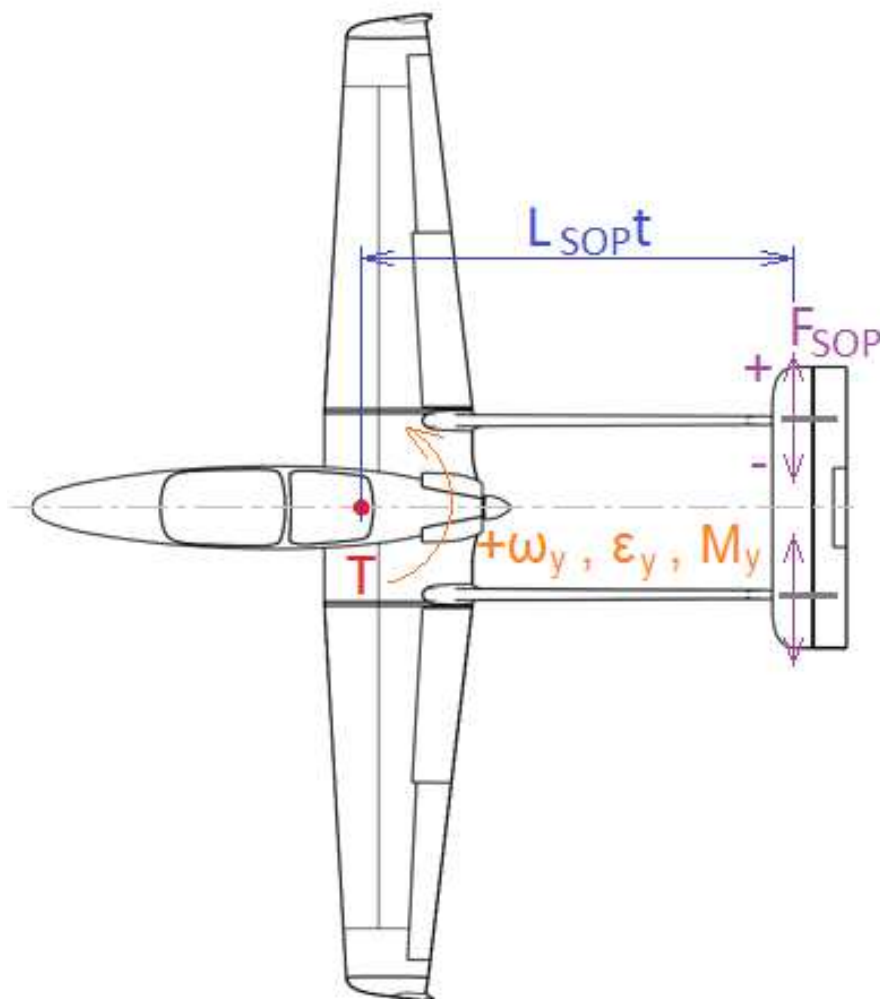
| Typ zatížení | Letová konfigurace                                                                                                                     | Hodnota provozního zatížení |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Vyvažovací   | $V_D = 270 \text{ km.h}^{-1}$ , $n = 3,8$ , $m = 600 \text{ kg}$ ,<br>přední centráž                                                   | -1423 N                     |
| Poryvové     | $V_C = 216 \text{ km.h}^{-1}$ , $U = -15,24 \text{ m.s}^{-1}$ , $m = 600 \text{ kg}$ ,<br>$J_z = 1060 \text{ kg.m}^2$ , přední centráž | -2244 N                     |
| Manévrovací  | $V_D = 270 \text{ km.h}^{-1}$ , $m = 600 \text{ kg}$ , $J_z = 1060 \text{ kg.m}^2$ ,<br>$\delta_{VK} = -10^\circ$ , přední centráž     | -2475 N                     |

Tabulka 7.8 - Výsledné hodnoty zatížení VOP

## 7.3. Zatížení svislých ocasních ploch (SOP)

### 7.3.1. Poryvové zatížení

Znění předpisu CS – VLA pro poryvové zatížení SOP je obsaženo v příloze.



Obrázek 7.2 - Zatížení SOP

Poryvové zatížení svislých ocasních ploch bylo stanoveno ze vztahu:

$$F_{SOP} = \Delta F_{SOP} + F_{SETR}$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$\Delta F_{SOP}$  ... přírůstek zatížení SOP od poryvu

$F_{SETR}$  ... setrvačná síla od hmotnosti svislých ocasních ploch

## 1. Přírůstek zatížení od poryvu

Dle CS-VLA 443 (b)

$$\Delta F_{SOP} = \frac{K_{gt} U_{de} V c_{L\,SOP}^{\alpha} S_{SOP}}{16,3}$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$$K_{gt} = \frac{0,88 \cdot \mu_{gt}}{5,3 + \mu_{gt}} \dots \text{zmírňující součinitel}$$

$$\mu_{gt} = \frac{2m}{\rho \cdot c_{sgt\,SOP} \cdot c_{L\,SOP}^{\beta} \cdot S_{SOP}} \cdot \left( \frac{i_y}{l_{SOP}} \right) \dots \text{stranový hmotnostní poměr}$$

$m$  ... hmotnost letounu

$c_{sgt\,SOP}$  ... střední geometrická třetina svislé ocasní plochy [m]

$i_y$  ... poloměr setrvačnosti kolem svislé osy letounu

$\widetilde{l_{SOP}}$  ... vzdálenost těžiště letounu a působíště síly na SOP [m]

$U_{de}$  ... rychlost poryvu [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$V$  ... EAS – ekvivalentní rychlost letu [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$c_{L\,SOP}^{\beta}$  ... sklon vztlačkové čáry svislé ocasní plochy [ $1/rad$ ]

$S$  ... plocha SOP [ $m^2$ ]

## 2. Setrvačná síla od hmotnosti SOP

$$\begin{aligned} F_{setr} &= -m_{SOP} \cdot \Delta n_{trans} \cdot g - m_{SOP} \cdot \varepsilon_y \cdot \widetilde{l_{SOP}} \\ &= -m_{SOP} \cdot \left( \frac{\Delta F_{SOP}}{m} \cdot \frac{1}{g} \cdot g + \Delta F_{SOP} \cdot \frac{\widetilde{l_{SOP}}}{J_y} \cdot \widetilde{l_{SOP}} \right) = \\ &= -m_{SOP} \cdot \left( \frac{\Delta F_{SOP}}{m} + \Delta F_{SOP} \cdot \frac{(\widetilde{l_{SOP}})^2}{J_y} \right) \end{aligned}$$

$J_y$  ... moment setrvačnosti letounu kolem svislé osy

Výpočet poloměrů setrvačnosti kolem svislé osy letounu:

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{m}}$$

Poloměr setrvačnosti pro hmotnost  $m = 427 \text{ kg}$ :  $i_y = 1,7354 \text{ m}$

Poloměr setrvačnosti pro hmotnost  $m = 600 \text{ kg}$ :  $i_y = 1,5658 \text{ m}$

### 7.3.2. Výsledné hodnoty zatížení od poryvu

| $m = 427 \text{ kg}, J_y = 1286 \text{ kg.m}^2, i_y = 1,7354 \text{ m}, V = V_c = 216 \text{ km.h}^{-1}, U_{de} = 15,24 \text{ m.s}^{-1}$ |                     |            |          |                  |            |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|----------|------------------|------------|-----------|
| Centráž                                                                                                                                   | $l_{sop} \text{ t}$ | $\mu_{gt}$ | $K_{gt}$ | $\Delta F_{SOP}$ | $F_{setr}$ | $F_{SOP}$ |
| [-]                                                                                                                                       | [m]                 | [-]        | [-]      | [N]              | [N]        | [N]       |
| 0,18                                                                                                                                      | 4,2438              | 111,69     | 0,8401   | 829,74           | -115,29    | 714,45    |
| 0,35                                                                                                                                      | 4,0273              | 127,51     | 0,8449   | 834,43           | -106,06    | 728,36    |

Tabulka 7.9 - Poryvové zatížení, minimální hmotnost  $m = 427 \text{ kg}, V_c = 216 \text{ km.h}^{-1}$

| $m = 600 \text{ kg}, J_y = 1471 \text{ kg.m}^2, i_y = 1,5658 \text{ m}, V = V_c = 216 \text{ km.h}^{-1}, U_{de} = 15,24 \text{ m/s}$ |                     |            |          |                  |            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------|----------|------------------|------------|-----------|
| Centráž                                                                                                                              | $l_{sop} \text{ t}$ | $\mu_{gt}$ | $K_{gt}$ | $\Delta F_{SOP}$ | $F_{setr}$ | $F_{SOP}$ |
| [-]                                                                                                                                  | [m]                 | [-]        | [-]      | [N]              | [N]        | [N]       |
| 0,18                                                                                                                                 | 4,2438              | 127,76     | 0,8449   | 834,49           | -98,66     | 735,83    |
| 0,35                                                                                                                                 | 4,0273              | 141,87     | 0,8483   | 837,81           | -90,39     | 747,42    |

Tabulka 7.10 - Poryvové zatížení, maximální hmotnost  $m = 600 \text{ kg}, V_c = 216 \text{ km.h}^{-1}$

### 7.3.3. Manévrovací zatížení

Znění předpisu CS – VLA pro manévrovací zatížení SOP je obsaženo v příloze.

#### Podmínky bodu (1) [18]:

Byla použita úvaha, že letoun během vykchýlení kormidla nemění svoji polohu, takže vzdušná síla na SOP se skládá ze síly od výchylky SK a síly od tlumení plynoucí z úhlové rychlosti zatáčení letounu vzniklé výchylkou SK. Byl řešen časový průběh tohoto zatížení numerickou integrací pohybové rovnice zatáčení (momentová rovnováha kolem svislé osy) v časovém kroku  $dt$ . Byl uvažován lineární náběh na stanovenou výchylku SK s dobou náběhu  $t = 0,3 \text{ s}$ . Výchylka SK doleva.

#### Celková síla na SOP:

$$F_{SOP}(t) = F_{vzdman}(t) + F_{setr}(t)$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$F_{vzdman}(t)$  ... přírůstek zatížení SOP od manévru

$F_{setr}(t)$  ... setrvačná síla od hmotnosti SOP

#### 1. Přírůstek vzdušného zatížení SOP od manévru

$$F_{vzdman}(t) = F_{delta}(t) + F_{tlum}(t)$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$F_{delta}(t)$  ... vzdušná síla od výchylky SK

$F_{tlum}(t)$  ... vzdušná síla od tlumení

*Síla od výchylky SK:*

$$F_{delta}(t) = \frac{\rho \cdot v^2}{2} K_{SOP} \cdot S_{SOP} \cdot \tau_{SK} \cdot \delta_{SK}(t) \cdot c_{L_{SOP}}^{\beta}$$

*Vysvětlení jednotlivých symbolů:*

$K_{SOP} = 1$  ... součinitel snížení dynamického tlaku na VOP

$\tau_{SK}$  ... účinnost směrového kormidla

$\delta_{SK}(t)$  ... výchylka SK, nahoru záporná [rad]

Byl uvažován lineární náběh na stanovenou výchylku SK s dobou náběhu  $t = 0,3$  s.

*Síla od tlumení:*

$$F_{tlum}(t) = \frac{\rho \cdot v^2}{2} K_{SOP} \cdot S_{SOP} \cdot c_{L_{SOP}}^{\beta} \cdot \frac{\omega(t) \cdot L_{SOP} t}{v}$$

$\omega(t)$  ... úhlová rychlost zatáčení letounu v daném čase

$L_{SOP} t$  ... Vzdálenost těžiště letounu a A. S. SOP

$$L_{SOP} t = \overline{L_{SOP}} - (\bar{x}_t - \bar{x}_{AC\ kř-tr}) \cdot c_{SAT}$$

*Přírůstek úhlové rychlosti:*

$$d\omega(t) = \varepsilon(t) dt$$

*Úhlové zrychlení:*

$$\varepsilon(t) = \frac{F_{vzdman}(t) \cdot L_{SOP} t}{J_y}$$

## 2. Setrvačná síla od hmotnosti SOP

$$F_{setr}(t) = -m_{SOP} \cdot \Delta n_{trans}(t) \cdot g + m_{SOP} \cdot \varepsilon_y(t) \cdot L_{SOP} t$$

$$F_{setr}(t) = -m_{SOP} \cdot \left( \frac{F_{vzdman}(t)}{m} \cdot \frac{1}{g} \cdot g + F_{vzdman}(t) \cdot \frac{L_{SOP} t}{J_y} \cdot L_{SOP} t \right)$$

$$F_{setr}(t) = -m_{SOP} \cdot \left( \frac{F_{vzdman}(t)}{m} + F_{vzdman}(t) \cdot \frac{L_{SOP}^2 t}{J_y} \right)$$

**Podmínky bodu (2) [17]:**

Poloha letounu odpovídá dynamickému vybočení, úhlová rychlost zatáčení je rovna nule.

**Celková síla na SOP:**

$$F_{SOP} = F_{vzdman} + F_{setr}$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$F_{vzdman}$  ... vzdušné zatížení SOP od manévru

$F_{setr}$  ... setrvačná síla od hmotnosti SOP

Síla od výchylky směrového kormidla:

$$F_{delta} = \frac{\rho v^2}{2} \cdot K_{SOP} \cdot S_{SOP} \cdot c_{L_{SOP}}^{\beta} \cdot \tau_{SK} \cdot \delta_{SK}$$

Síla od vybočení:

$$F_{beta} = \frac{\rho v^2}{2} \cdot K_{SOP} \cdot S_{SOP} \cdot c_{L_{SOP}}^{\beta} \cdot \beta \cdot \left(1 - \frac{\partial \sigma}{\partial \beta}\right)$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$\beta$  ... úhel vybočení v letounu [rad]

$\frac{\partial \sigma}{\partial \beta}$  ... derivace úhlu zešikmení proudu na SOP od vybočení

**Podmínky bodu (3) [17]:**

Statické vybočení odpovídá podmínkám v bodu (2), výchylka SK je v neutrální poloze.

#### 7.3.4. Výsledné hodnoty zatížení SOP od manévru

**Podmínky bodu (1) [17]:**

| $m = 427 \text{ kg}, J_y = 1286 \text{ kg.m}^2, V = V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ |           |             |            |              |            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|------------|--------------|------------|-----------|
| Centráž                                                                          | $l_{sop}$ | $F_{delta}$ | $F_{tlum}$ | $F_{vzdman}$ | $F_{setr}$ | $F_{SOP}$ |
| [-]                                                                              | [m]       | [N]         | [N]        | [N]          | [N]        | [N]       |
| 0,18                                                                             | 4,2438    | 704,85      | -64,49     | 640,37       | -88,98     | 551,39    |
| 0,35                                                                             | 4,0273    | 704,85      | -58,43     | 646,43       | -82,17     | 564,26    |

Tabulka 7.11 - Manévrové zatížení SOP (1);  $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $\delta_{SK} = 30^\circ$ , minimální hmotnost

| $m = 600 \text{ kg}, J_y = 1471 \text{ kg.m}^2, V = V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ |           |             |            |              |            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|------------|--------------|------------|-----------|
| Centráž                                                                          | $l_{sop}$ | $F_{delta}$ | $F_{tlum}$ | $F_{vzdman}$ | $F_{setr}$ | $F_{SOP}$ |
| [-]                                                                              | [m]       | [N]         | [N]        | [N]          | [N]        | [N]       |
| 0,19                                                                             | 4,2438    | 704,85      | -56,81     | 648,04       | -76,62     | 571,42    |
| 0,35                                                                             | 4,0273    | 704,85      | -51,44     | 653,42       | -70,49     | 582,92    |

Tabulka 7.12 - Manévrové zatížení SOP (1);  $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $\delta_{SK} = 30^\circ$ , maximální hmotnost

**Podmínky bodu (2):**

| $m = 427 \text{ kg}, J_y = 1286 \text{ kg.m}^2, V = V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ |           |             |            |              |            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|------------|--------------|------------|-----------|
| Centráž                                                                          | $l_{sop}$ | $F_{delta}$ | $F_{beta}$ | $F_{vzdman}$ | $F_{setr}$ | $F_{SOP}$ |
| [-]                                                                              | [m]       | [N]         | [N]        | [N]          | [N]        | [N]       |
| 0,19                                                                             | 4,2438    | -704,85     | 731,53     | 26,67        | -3,71      | 22,97     |
| 0,34                                                                             | 4,0273    | -704,85     | 731,53     | 26,67        | -3,39      | 23,28     |

Tabulka 7.13 - Manévrové zatížení SOP (2);  $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $\delta_{SK} = 30^\circ$ ,  $\theta = 19,5^\circ$ , minimální hmotnost

| $m = 600 \text{ kg}, J_y = 1471 \text{ kg.m}^2, V = V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ |           |             |            |              |            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|------------|--------------|------------|-----------|
| Centráž                                                                          | $l_{sop}$ | $F_{delta}$ | $F_{beta}$ | $F_{vzdman}$ | $F_{setr}$ | $F_{SOP}$ |
| [-]                                                                              | [m]       | [N]         | [N]        | [N]          | [N]        | [N]       |
| 0,19                                                                             | 4,2438    | -704,85     | 731,53     | 26,67        | -3,15      | 23,52     |
| 0,34                                                                             | 4,0273    | -704,85     | 731,53     | 26,67        | -2,88      | 23,79     |

Tabulka 7.14 - Manévrové zatížení SOP (2);  $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $\delta_{SK} = 30^\circ$ ,  $\theta = 19,5^\circ$ , maximální hmotnost

**Podmínky bodu (3):**

| $m = 427 \text{ kg}, J_y = 1286 \text{ kg.m}^2, V = V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ |           |             |            |              |            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|------------|--------------|------------|-----------|
| Centráž                                                                          | $l_{sop}$ | $F_{delta}$ | $F_{beta}$ | $F_{vzdman}$ | $F_{setr}$ | $F_{SOP}$ |
| [-]                                                                              | [m]       | [N]         | [N]        | [N]          | [N]        | [N]       |
| 0,19                                                                             | 4,2438    | 0           | 562,71     | 562,71       | -78,19     | 484,53    |
| 0,34                                                                             | 4,0273    | 0           | 562,71     | 562,71       | -71,53     | 491,19    |

Tabulka 7.15 - Manévrové zatížení SOP (3);  $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $\delta_{SK} = 0^\circ$ ,  $\theta = 15^\circ$ , minimální hmotnost

| $m = 600 \text{ kg}, J_y = 1471 \text{ kg.m}^2, V = V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ |           |             |            |              |            |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------|------------|--------------|------------|-----------|
| Centráž                                                                          | $l_{sop}$ | $F_{delta}$ | $F_{beta}$ | $F_{vzdman}$ | $F_{setr}$ | $F_{SOP}$ |
| [-]                                                                              | [m]       | [N]         | [N]        | [N]          | [N]        | [N]       |
| 0,19                                                                             | 4,2438    | 0           | 562,71     | 562,71       | -66,53     | 496,18    |
| 0,34                                                                             | 4,0273    | 0           | 562,71     | 562,71       | -66,53     | 496,18    |

Tabulka 7.16 - Manévrové zatížení SOP (3);  $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $\delta_{SK} = 0^\circ$ ,  $\theta = 15^\circ$ , maximální hmotnost

### 7.3.5. Výsledné hodnoty zatížení SOP

| Typ zatížení | Letová konfigurace                                                                                           | Hodnota provozního zatížení |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Poryvové     | $V_C = 216 \text{ km.h}^{-1}$ , $U_{de} = 15,24 \text{ m.s}^{-1}$ ,<br>$m = 600 \text{ kg}$ , zadní centráž  | 747 N                       |
| Manévrovací  | $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ , maximální výchylka SK = $30^\circ$ ,<br>$m = 600 \text{ kg}$ , zadní centráž | 583 N                       |

Tabulka 7.17 - Výsledné hodnoty zatížení SOP

## 8. Průběhy zatížení VOP

### 8.1. Geometrie VOP pro výpočet průběhů zatížení

| Geometrické údaje VOP                    |                                   |
|------------------------------------------|-----------------------------------|
| Profil VOP                               | NACA 0012                         |
| Plocha VOP                               | $S_{VOP} = 2,0925 \text{ m}^2$    |
| Rozpětí celkové                          | $b_{VOP} = 2,840 \text{ m}$       |
| Rozpětí efektivní                        | $b_{VOPef} = 2,79 \text{ m}$      |
| Štíhlost VOP                             | $Ar_{VOP} = 3,855$                |
| Zúžení VOP                               | $\eta_{\zeta O\Pi} = 1$           |
| Úhel šípu k 25 %                         | $\chi_{\zeta O\Pi} = 0^\circ$     |
| Úhel vzepětí VOP                         | $\Gamma_{\zeta O\Pi} = 0^\circ$   |
| Úhel nastavení VOP k ZRT                 | $\varphi_{\zeta O\Pi} = -4^\circ$ |
| Hloubka kořenového řezu                  | $c_{0 VOP} = 0,75 \text{ m}$      |
| Hloubka koncového řezu (efektivní)       | $c_{k VOP} = 0,75 \text{ m}$      |
| Hloubka střední geometrické tětiny VOP   | $c_{SGT VOP} = 0,75 \text{ m}$    |
| Hloubka střední aerodynamické tětiny VOP | $c_{SAT VOP} = 0,75 \text{ m}$    |
| Poloha SAT po hloubce kořenového profilu | $x_{SAT VOP} = 0 \text{ m}$       |
| Poloha SAT po rozpětí VOP                | $y_{SAT VOP} = 0 \text{ m}$       |
| Kořenová hloubka stabilizátoru           | $c_{stab 0} = 0,4 \text{ m}$      |
| Koncová hloubka stabilizátoru            | $c_{stab k} = 0,4 \text{ m}$      |
| Poloha závěsu VK                         | $Z_{VK} = 0,88 \text{ m}$         |
| Poloha závěsu stabilizátoru              | $Z_{STAB} = 0,88 \text{ m}$       |

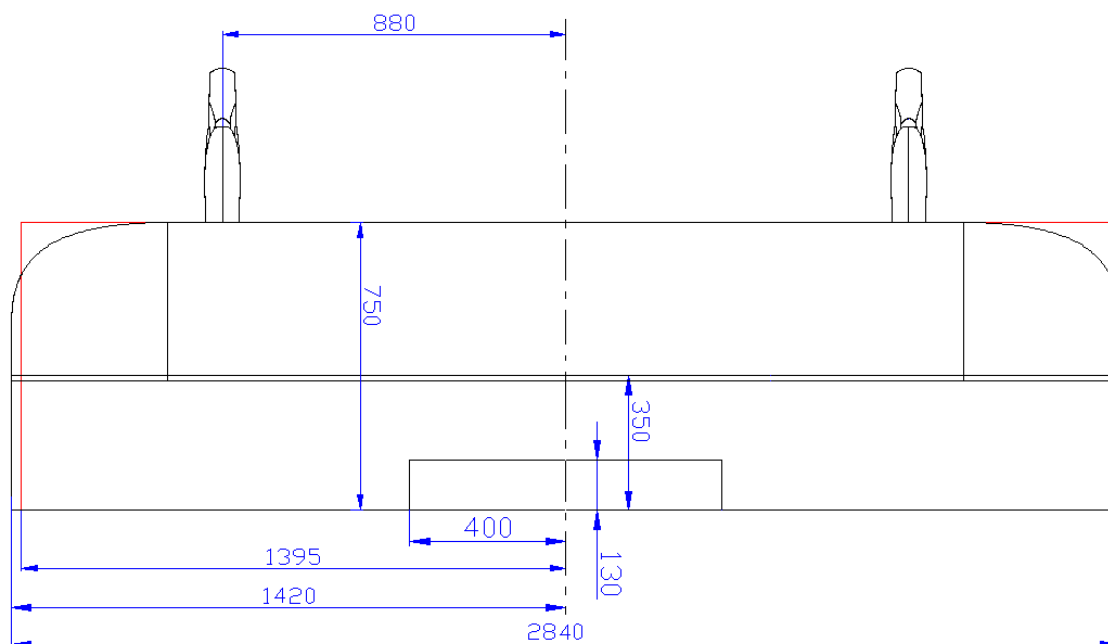
Tabulka 8.1 - Geometrické údaje VOP, převzato z [17]

| Geometrické údaje výškového kormidla  |                                |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Plocha VK                             | $S_{VK} = 0,994 \text{ m}^2$   |
| Poměrná hloubka kormidla              | $c_{VK pom} = 0,4667$          |
| Hloubka VK – kořenový řez             | $c_{0 VK} = 0,35 \text{ m}$    |
| Hloubka VK – koncový řez              | $c_{k VK} = 0,35 \text{ m}$    |
| Vzdálenost osy otáčení – kořenový řez | $c_{00 0 VK} = 0,04 \text{ m}$ |
| Vzdálenost osy otáčení – koncový řez  | $c_{00 k VK} = 0,04 \text{ m}$ |
| Výchylka VK nahoru                    | $\eta_{VK min} = -30^\circ$    |
| Výchylka VK dolů                      | $\eta_{VK max} = 25^\circ$     |

Tabulka 8.2 - Geometrické údaje VK, převzato z [17]

| Geometrické údaje vyvažovací plošky |                                         |
|-------------------------------------|-----------------------------------------|
| Plocha vyvažovací plošky            | $S_{trim\ VOP} = 0,104\ m^2$            |
| Rozpětí                             | $b_{trim\ VOP} = 0,8\ m$                |
| Hloubka vyvažovací plošky           | $c_{trim\ VOP} = 0,13\ m$               |
| Výchylka vyvažovací plošky          | $\tau_{trim\ \zeta OII} = \pm 30^\circ$ |

Tabulka 8.3 - Geometrické údaje vyvažovací plošky, převzato z [17]



Obrázek 8.1 - Rozměry a tvar VOP, převzato z [17] a upraveno

## 8.2. Vztahy pro výpočet průběhů zatížení

Posouvající síla:

$$T = \int_0^z q\ dz$$

Ohybový moment:

$$M_O = \int_0^z T\ dz$$

Kroutící moment:

$$M_K = \int_0^z q \cdot x \cdot dz$$

x ... vzdálenost výslednice od vztažného bodu, ke kterému je kroutící moment počítán.

Pro výpočet byla použita numerická integrace v tabulkovém procesoru MS Excel.

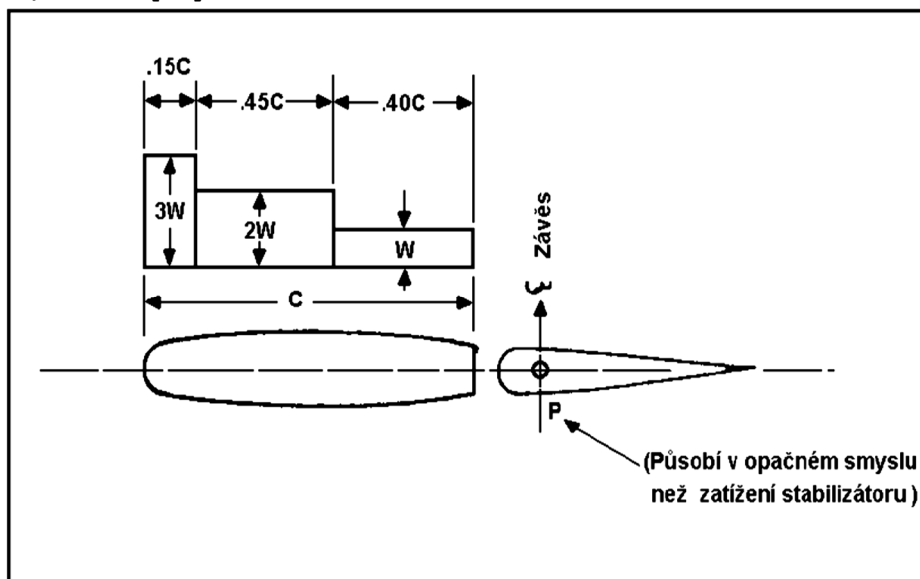
### 8.3. Vyvažovací zatížení VOP

Znění předpisu CS-VLA:

#### CS-VLA 421 Vyvažovací zatížení [17]

(b) Vodorovné ocasní plochy musí být navrženy pro vyvažovací zatížení pro každý bod obálky obrátů a pro podmínky použití vztlakových klapěk určených v CS-VLA 345. Může být použito rozložení zatížení podle obrázku B6 Dodatku B.

Dodatek B, obr. B6 [17]



Obrázek 8.2 - Rozdělení vyvažovacího zatížení, dodatek B [18]

(a) V podmínkách vyvážení podle CS-VLA 421,  $P = 40\%$  čistého vyvažovacího zatížení (při zasunutých klapkách); a  $P = 0$  (při vysunutých klapkách).

POZN: Podmínky pro vysunuté vztlakové klapky nebudou uvažovány.

(b) V podmínkách podle CS-VLA 441 (a) (2)  $P = 20\%$  čistého zatížení ocasních ploch.

POZN: Týká se SOP.

(c) Zatížení stabilizátoru musí být -

(1)  $140\%$  čistého vyvažovacího zatížení pro případ zasunutých klapěk podle poznámky (a);

(2)  $100\%$  vyvažovacího zatížení pro případ vysunutých klapěk podle poznámky (a); a

(3)  $120\%$  vyvažovacího zatížení pro případ podle poznámky (b).

#### Rozdělení zatížení na stabilizátor a výškovku:

Poměrné zatížení pro stabilizátor:

$$F_{STAB} = 1,4 \cdot F_{VOP}$$

Poměrné zatížení pro výškové kormidlo:

$$F_{VK} = -0,4 \cdot F_{VOP}$$

**Poloha výslednice síly na stabilizátoru:**

Poloha výslednice byla nalezena pomocí momentové rovnováhy podle obrázku B6, dodatku B, předpisu CS-VLA:

$$F = 3W \cdot 0,15 + 2W \cdot 0,45 + 1W \cdot 0,4$$

$$F \cdot x = 3W \cdot 0,15 \cdot \frac{0,15}{2} + 2W \cdot 0,45 \cdot \left(0,15 + \frac{0,45}{2}\right) + 1W \cdot 0,4 \cdot \left(0,15 + 0,45 + \frac{0,4}{2}\right)$$

Po úpravách vyjádřeno x:

$$x = \frac{3W \cdot 0,15 \cdot \frac{0,15}{2} + 2W \cdot 0,45 \cdot \left(0,15 + \frac{0,45}{2}\right) + 1W \cdot 0,4 \cdot \left(0,15 + 0,45 + \frac{0,4}{2}\right)}{3W \cdot 0,15 + 2W \cdot 0,45 + 1W \cdot 0,4} \\ = \frac{0,69125}{1,75} = 0,395$$

Výsledná poloha působíště síly na stabilizátoru je v  $0,395 \cdot C_{STAB}$   
Síla na výškové kormidlo působí v ose otáčení výškového kormidla.

**Hodnoty pro rozhodující vyvažovací zatížení VOP (viz předchozí výpočet):**

$$F_{VOP} = -1423 \text{ N}$$

**Průměrné zatížení:**

$$p = \frac{F_{VOP}}{S_{VOP}} = \frac{-1423}{2,0925} = -680,05 \text{ Pa}$$

**Spojitě zatížení VOP:**

$$q = c(z) \cdot p$$

**Spojitě zatížení stabilizátoru:**

$$q_s = q \cdot 1,4$$

**Spojitě zatížení výškového kormidla:**

$$q_{VK} = q \cdot (-0,4)$$

- Kroutící moment výškového kormidla je vztažen k ose otáčení výškového kormidla.
- Kroutící moment stabilizátoru je vztažen k poloze zadního nosníku.

| Rozdělení zatížení na stabilizátor a výškové kormidlo - vyvažovací zatížení |            |          |                  |      |                                            |            |                  |              |              |
|-----------------------------------------------------------------------------|------------|----------|------------------|------|--------------------------------------------|------------|------------------|--------------|--------------|
| Hloubka                                                                     |            |          | Poměrné zatížení |      | Poloha výslednice vztažená k náběžné hraně |            | Spojité zatížení |              |              |
| $C$                                                                         | $C_{STAB}$ | $C_{VK}$ | Stab.            | V.k. | $F_{STAB}$                                 | $F_{VYSK}$ | $q$              | $q_s$        | $q_v$        |
| [m]                                                                         | [m]        | [m]      | [-]              | [-]  | [-]                                        | [-]        | $[N.m^{-1}]$     | $[N.m^{-1}]$ | $[N.m^{-1}]$ |
| 0,75                                                                        | 0,4        | 0,35     | 1,4              | -0,4 | 0,211                                      | 0,435      | -510             | -714         | 204          |

Tabulka 8.4 - Rozdělení zatížení na stabilizátor a výškovku - vyvažovací zatížení

Tabulky vypočtených hodnot průběhů vyvažovacího zatížení VOP jsou obsaženy v příloze.

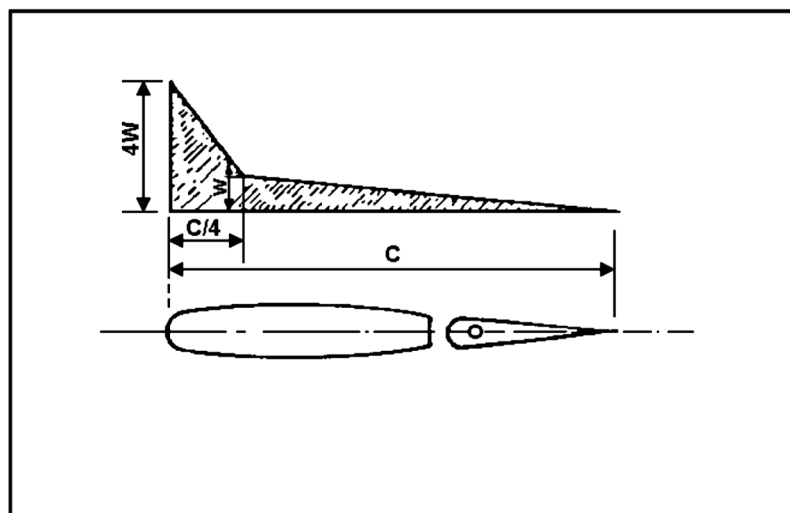
## 8.4. Zatížení VOP od poryvu

Znění předpisu CS-VLA:

### CS-VLA 425 Zatížení od poryvu [17]

(b) Průměrná zatížení podle obrázku B3 a rozdělení podle obrázku B8 Dodatku B mohou být použity k určení přírůstku poryvového zatížení podle požadavků pododstavce (a), použité podle pododstavce (c) jak pro přírůstky nahoru tak i dolů.

Dodatek B, obr. B8 [17]



Obrázek 8.3 - Rozdělení poryvového zatížení [18]

## Rozdělení zatížení na stabilizátor a výškové kormidlo:

### Poměrné zatížení:

Poměrné zatížení stabilizátoru:

$$\overline{F}_{stab} = \left(1 - \frac{2}{3} \left(\frac{c_{vk}}{c}\right)^2\right)$$

Poměrné zatížení výškového kormidla:

$$\overline{F}_{vysk} = \frac{2}{3} \left(\frac{c_{vk}}{c}\right)^2$$

### Poloha výslednic k náběžné hraně VOP:

Poloha výslednice na stabilizátoru:

$$\frac{1}{c} \cdot \frac{9c^3 - 24c_{vk}^2c + 16}{12 \cdot (3c^2 - 2c_{vk}^2)}$$

Poloha výslednice na výškovém kormidle:

$$\left(c - \frac{2}{3}c_{vk}\right) \cdot \frac{1}{c}$$

Hodnota rozhodujícího poryvového zatížení VOP:

$$F_{VOP} = -2244 \text{ N}$$

Průměrné zatížení:

$$p = \frac{F_{VOP}}{S_{VOP}} = \frac{-2244}{2,0925} = -1072,40 \text{ Pa}$$

| Rozdělení zatížení na stabilizátor a výškové kormidlo - poryvové zatížení |            |          |                  |       |                                            |            |                  |              |              |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|----------|------------------|-------|--------------------------------------------|------------|------------------|--------------|--------------|
| Hloubka                                                                   |            |          | Poměrné zatížení |       | Poloha výslednice vztahená k náběžné hraně |            | Spojité zatížení |              |              |
| $c$                                                                       | $c_{STAB}$ | $c_{VK}$ | Stab.            | V.k.  | $F_{STAB}$                                 | $F_{VYSK}$ | $q$              | $q_s$        | $q_v$        |
| $[m]$                                                                     | $[m]$      | $[m]$    | $[-]$            | $[-]$ | $[-]$                                      | $[-]$      | $[N.m^{-1}]$     | $[N.m^{-1}]$ | $[N.m^{-1}]$ |
| 0,75                                                                      | 0,4        | 0,35     | 0,85             | 0,15  | 0,18                                       | 0,69       | -804,30          | -687,53      | -116,77      |

Tabulka 8.5 - Rozdělení zatížení na stabilizátor a výškovku – poryvové zatížení

Tabulky vypočtených hodnot průběhů poryvového zatížení VOP jsou obsaženy v příloze.

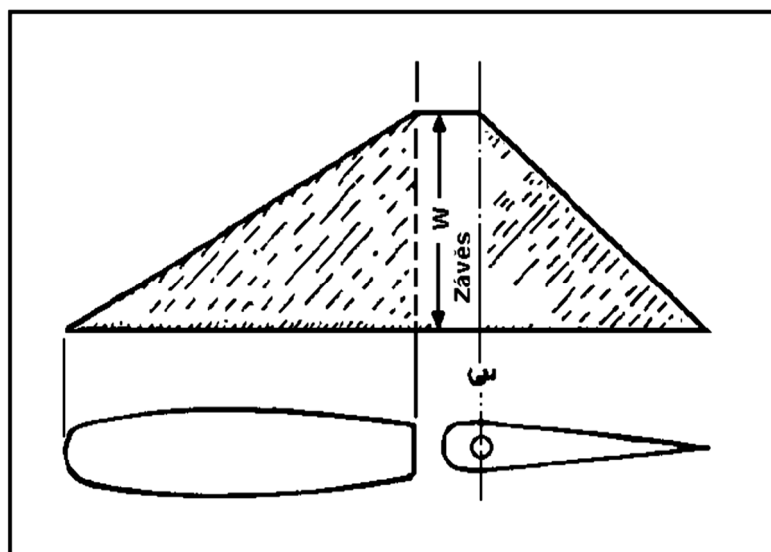
## 8.5. Zatížení VOP od manévru

Znění předpisu CS-VLA:

### CS-VLA 423 Zatížení při obratech

(a) Náhlé vychýlení řídicího výškovky při rychlosti  $V_A$  do (1) maximální výchylky nahoru; a (2) maximální výchylky dolů, dané dorazy nebo silou pilota, podle toho co je rozhodující. Může být použito průměrné zatížení podle B11 v Dodatku B a rozložení podle obrázku B7 v Dodatku B.

Dodatek B, obr. B7 [17]



Obrázek 8.4 - Rozdělení zatížení dle dodatku B [18]

Rozdělení zatížení na stabilizátor a výškové kormidlo:

**Poměrné zatížení:**

Poměrné zatížení stabilizátoru:

$$\overline{F}_{stab} = \frac{(0,5 \cdot c_{stab})}{0,5 \cdot c_{stab} + cz + 0,5(c_{vk} - cz)}$$

Poměrné zatížení výškového kormidla:

$$\overline{F}_{vysk} = \frac{0,5 \cdot (c_{vk} + cz)}{0,5 \cdot c_{stab} + cz + 0,5(c_{vk} - cz)}$$

**Poloha výslednic k náběžné hraně VOP:**

Poloha výslednice na stabilizátoru:

$$\frac{2}{3} \cdot \frac{c_{stab}}{c}$$

Poloha výslednice na výškovém kormidle:

$$\frac{1}{3} \cdot \frac{c_z^2 + c_z - c_{vk} + c_{vk}^2}{c_z + c_{vk}} \cdot \frac{1}{c}$$

**Hodnota rozhodujícího manévrovacího zatížení VOP:**

$$F_{VOP} = -2475 \text{ N}$$

**Průměrné zatížení:**

$$p = \frac{F_{VOP}}{S_{VOP}} = \frac{-2475}{2,0925} = -1182,80 \text{ Pa}$$

| Rozdělení zatížení na stabilizátor a výškové kormidlo - manévrovací zatížení |            |          |                  |      |                                                  |            |                      |                      |                      |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|----------|------------------|------|--------------------------------------------------|------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Hloubka                                                                      |            |          | Poměrné zatížení |      | Poloha výslednice<br>vztažená k<br>náběžné hraně |            | Spojité zatížení     |                      |                      |
| $c$                                                                          | $c_{STAB}$ | $c_{VK}$ | Stab.            | V.k. | $F_{STAB}$                                       | $F_{VYSK}$ | $q$                  | $q_s$                | $q_v$                |
| [m]                                                                          | [m]        | [m]      | [-]              | [-]  | [-]                                              | [-]        | [N.m <sup>-1</sup> ] | [N.m <sup>-1</sup> ] | [N.m <sup>-1</sup> ] |
| 0,75                                                                         | 0,4        | 0,35     | 0,51             | 0,49 | 0,36                                             | 0,56       | -887,10              | -449,16              | -437,93              |

**Tabulka 8.6 - Rozdělení zatížení na stabilizátor a výškovku – manévrovací zatížení**

Tabulky vypočtených hodnot průběhů manévrovacího zatížení VOP jsou obsaženy v příloze.

## 8.6. Souhrn zatížení VOP

| Maximální provozní zatížení výškového kormidla |                     |                |                   |                |                      |                |                    |                |
|------------------------------------------------|---------------------|----------------|-------------------|----------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------|
|                                                | Vyvažovací zatížení |                | Porybové zatížení |                | Manévrovací zatížení |                | Maximální zatížení |                |
| Z                                              | T                   | M <sub>o</sub> | T                 | M <sub>o</sub> | T                    | M <sub>o</sub> | T                  | M <sub>o</sub> |
| [m]                                            | [N]                 | [Nm]           | [N]               | [Nm]           | [N]                  | [Nm]           | [N]                | [Nm]           |
| 1,4                                            | 0                   | 0              | 0                 | 0              | 0                    | 0              | 0                  | 0              |
| 1,34                                           | 11,4                | 0,6            | -6,5              | -0,4           | -24,4                | -1,4           | -24,4              | -1,4           |
| 1,28                                           | 22,8                | 1,9            | -13               | -1,1           | -48,9                | -4,1           | -48,9              | -4,1           |
| 1,23                                           | 34,2                | 3,8            | -19,5             | -2,2           | -73,3                | -8,2           | -73,3              | -8,2           |
| 1,17                                           | 45,5                | 6,4            | -26,1             | -3,6           | -97,8                | -13,6          | -97,8              | -13,6          |
| 1,12                                           | 56,9                | 9,5            | -32,6             | -5,5           | -122,2               | -20,5          | -122,2             | -20,5          |
| 1,06                                           | 68,3                | 13,3           | -39,1             | -7,6           | -146,6               | -28,6          | -146,6             | -28,6          |
| 1                                              | 79,7                | 17,8           | -45,6             | -10,2          | -171,1               | -38,2          | -171,1             | -38,2          |
| 0,95                                           | 91,1                | 22,9           | -52,1             | -13,1          | -195,5               | -49,1          | -195,5             | -49,1          |
| 0,89                                           | 102,5               | 28,6           | -58,6             | -16,4          | -219,9               | -61,4          | -219,9             | -61,4          |
| 0,88                                           | 105,1               | 29,9           | -60,1             | -17,1          | -225,5               | -64,2          | -225,5             | -64,2          |
| 0,88                                           | -179,5              | 30             | 102,8             | -17,1          | 385,4                | -64,2          | 385,4              | -64,2          |
| 0,84                                           | -170,8              | 22,6           | 97,7              | -12,9          | 366,6                | -48,5          | 366,6              | -48,5          |
| 0,78                                           | -159,4              | 13,7           | 91,2              | -7,8           | 342,1                | -29,4          | 342,1              | -29,4          |
| 0,73                                           | -148                | 5,4            | 84,7              | -3,1           | 317,7                | -11,7          | 317,7              | -11,7          |
| 0,67                                           | -136,6              | -2,2           | 78,2              | 1,3            | 293,2                | 4,7            | 293,2              | 4,7            |
| 0,61                                           | -125,2              | -9,2           | 71,7              | 5,3            | 268,8                | 19,7           | 268,8              | 19,7           |
| 0,56                                           | -113,8              | -15,5          | 65,2              | 8,9            | 244,4                | 33,3           | 244,4              | 33,3           |
| 0,5                                            | -102,5              | -21,2          | 58,6              | 12,2           | 219,9                | 45,6           | 219,9              | 45,6           |
| 0,45                                           | -91,1               | -26,3          | 52,1              | 15,1           | 195,5                | 56,5           | 195,5              | 56,5           |
| 0,39                                           | -79,7               | -30,8          | 45,6              | 17,6           | 171,1                | 66,1           | 171,1              | 66,1           |
| 0,33                                           | -68,3               | -34,6          | 39,1              | 19,8           | 146,6                | 74,2           | 146,6              | 74,2           |
| 0,28                                           | -56,9               | -37,8          | 32,6              | 21,6           | 122,2                | 81,1           | 122,2              | 81,1           |
| 0,22                                           | -45,5               | -40,3          | 26,1              | 23,1           | 97,8                 | 86,5           | 97,8               | 86,5           |
| 0,17                                           | -34,2               | -42,2          | 19,5              | 24,2           | 73,3                 | 90,6           | 73,3               | 90,6           |
| 0,11                                           | -22,8               | -43,5          | 13                | 24,9           | 48,9                 | 93,3           | 48,9               | 93,3           |
| 0,06                                           | -11,4               | -44,1          | 6,5               | 25,3           | 24,4                 | 94,7           | 24,4               | 94,7           |
| 0                                              | 0                   | -44,1          | 0                 | 25,3           | 0                    | 94,7           | 0                  | 94,7           |

Tabulka 8.7 - Maximální provozní zatížení výškového kormidla – posouvající síla a ohybový moment

| $z$   | $\Delta M_k$ | $M_k$         | $z$    | $\Delta M_k$ | $M_k$        |
|-------|--------------|---------------|--------|--------------|--------------|
| [m]   | [Nm]         | [Nm]          | [m]    | [Nm]         | [Nm]         |
| 1,395 | 0,00         | <b>0,00</b>   | 0,000  | -2,00        | <b>49,89</b> |
| 1,339 | -2,00        | <b>-2,00</b>  | -0,056 | -2,00        | <b>47,90</b> |
| 1,283 | -2,00        | <b>-3,99</b>  | -0,112 | -2,00        | <b>45,90</b> |
| 1,228 | -2,00        | <b>-5,99</b>  | -0,167 | -2,00        | <b>43,90</b> |
| 1,172 | -2,00        | <b>-7,98</b>  | -0,223 | -2,00        | <b>41,91</b> |
| 1,116 | -2,00        | <b>-9,98</b>  | -0,279 | -2,00        | <b>39,91</b> |
| 1,060 | -2,00        | <b>-11,97</b> | -0,335 | -2,00        | <b>37,92</b> |
| 1,004 | -2,00        | <b>-13,97</b> | -0,391 | -2,00        | <b>35,92</b> |
| 0,949 | -2,00        | <b>-15,97</b> | -0,446 | -2,00        | <b>33,93</b> |
| 0,893 | -2,00        | <b>-17,96</b> | -0,502 | -2,00        | <b>31,93</b> |
| 0,880 | -0,46        | <b>-18,42</b> | -0,558 | -2,00        | <b>29,94</b> |
| 0,880 | 99,78        | <b>81,36</b>  | -0,614 | -2,00        | <b>27,94</b> |
| 0,837 | -1,54        | <b>79,83</b>  | -0,670 | -2,00        | <b>25,94</b> |
| 0,781 | -2,00        | <b>77,83</b>  | -0,725 | -2,00        | <b>23,95</b> |
| 0,725 | -2,00        | <b>75,84</b>  | -0,781 | -2,00        | <b>21,95</b> |
| 0,670 | -2,00        | <b>73,84</b>  | -0,837 | -2,00        | <b>19,96</b> |
| 0,614 | -2,00        | <b>71,84</b>  | -0,893 | -2,00        | <b>17,96</b> |
| 0,558 | -2,00        | <b>69,85</b>  | -0,949 | -2,00        | <b>15,97</b> |
| 0,502 | -2,00        | <b>67,85</b>  | -1,004 | -2,00        | <b>13,97</b> |
| 0,446 | -2,00        | <b>65,86</b>  | -1,060 | -2,00        | <b>11,97</b> |
| 0,391 | -2,00        | <b>63,86</b>  | -1,116 | -2,00        | <b>9,98</b>  |
| 0,335 | -2,00        | <b>61,87</b>  | -1,172 | -2,00        | <b>7,98</b>  |
| 0,279 | -2,00        | <b>59,87</b>  | -1,228 | -2,00        | <b>5,99</b>  |
| 0,223 | -2,00        | <b>57,87</b>  | -1,283 | -2,00        | <b>3,99</b>  |
| 0,167 | -2,00        | <b>55,88</b>  | -1,339 | -2,00        | <b>2,00</b>  |
| 0,112 | -2,00        | <b>53,88</b>  | -1,395 | -2,00        | <b>0,00</b>  |
| 0,056 | -2,00        | <b>51,89</b>  |        |              |              |

Tabulka 8.8 - Průběhy kroutícího momentu výškového kormidla, případ manévrovacího zatížení,

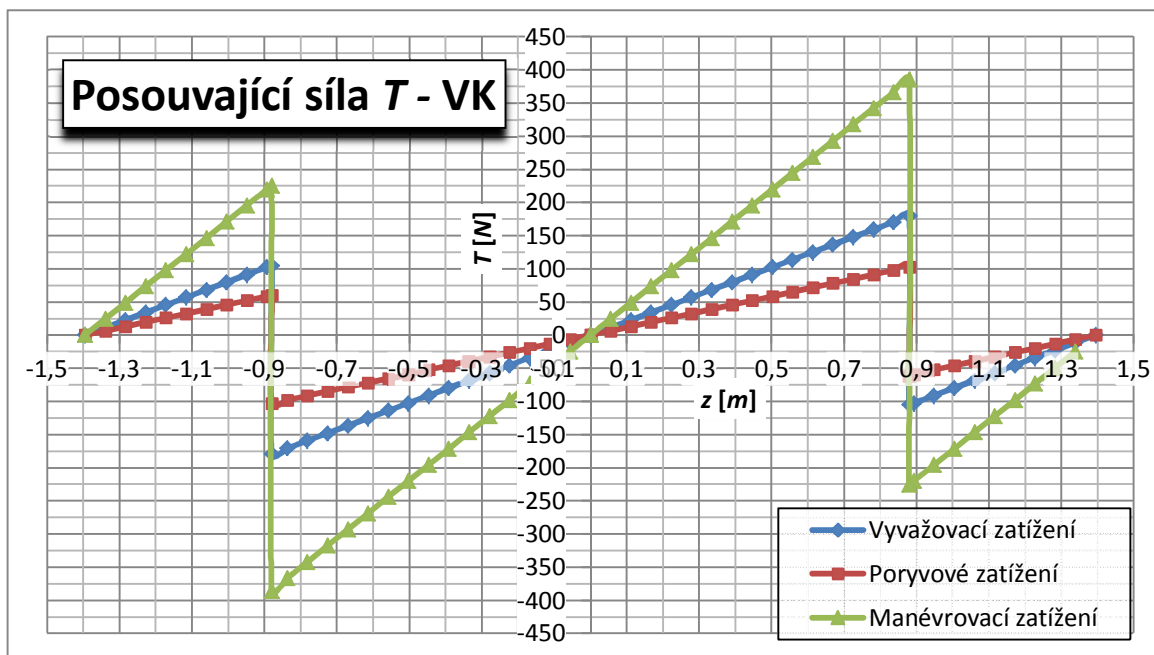
$$F_{VK} = -2475 \text{ N}$$

| Maximální provozní zatížení stabilizátoru |                     |                |                |                   |                |                |                      |                |                |                    |                |                |
|-------------------------------------------|---------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|
|                                           | Vyvažovací zatížení |                |                | Poryvové zatížení |                |                | Manévrovací zatížení |                |                | Maximální zatížení |                |                |
| Z                                         | T                   | M <sub>O</sub> | M <sub>K</sub> | T                 | M <sub>O</sub> | M <sub>K</sub> | T                    | M <sub>O</sub> | M <sub>K</sub> | T                  | M <sub>O</sub> | M <sub>K</sub> |
| [m]                                       | [N]                 | [Nm]           | [Nm]           | [N]               | [Nm]           | [Nm]           | [N]                  | [Nm]           | [Nm]           | [N]                | [Nm]           | [Nm]           |
| 1,40                                      | 0,0                 | 0,0            | 0,0            | 0,0               | 0,0            | 0,0            | 0,0                  | 0,0            | 0,0            | 0,0                | 0,0            | 0,0            |
| 1,34                                      | -39,8               | -2,2           | -8,0           | -38,4             | -2,1           | -8,8           | -25,1                | -1,4           | -2,3           | -39,8              | -2,2           | -8,8           |
| 1,28                                      | -79,7               | -6,7           | -16,1          | -76,7             | -6,4           | -17,5          | -50,1                | -4,2           | -4,7           | -79,7              | -6,7           | -17,5          |
| 1,23                                      | -119,5              | -13,3          | -24,1          | -115,1            | -12,8          | -26,3          | -75,2                | -8,4           | -7,0           | -119,5             | -13,3          | -26,3          |
| 1,17                                      | -159,4              | -22,2          | -32,2          | -153,5            | -21,4          | -35,1          | -100,3               | -14,0          | -9,4           | -159,4             | -22,2          | -35,1          |
| 1,12                                      | -199,2              | -33,3          | -40,2          | -191,8            | -32,1          | -43,8          | -125,3               | -21,0          | -11,7          | -199,2             | -33,3          | -43,8          |
| 1,06                                      | -239,1              | -46,7          | -48,3          | -230,2            | -45,0          | -52,6          | -150,4               | -29,4          | -14,0          | -239,1             | -46,7          | -52,6          |
| 1,00                                      | -278,9              | -62,3          | -56,3          | -268,6            | -59,9          | -61,3          | -175,4               | -39,2          | -16,4          | -278,9             | -62,3          | -61,3          |
| 0,95                                      | -318,8              | -80,0          | -64,4          | -306,9            | -77,1          | -70,1          | -200,5               | -50,3          | -18,7          | -318,8             | -80,0          | -70,1          |
| 0,89                                      | -358,6              | -100,0         | -72,4          | -345,3            | -96,3          | -78,9          | -225,6               | -62,9          | -21,1          | -358,6             | -100,0         | -78,9          |
| 0,88                                      | -367,7              | -104,8         | -74,3          | -354,1            | -100,9         | -80,9          | -231,3               | -65,9          | -21,6          | -367,7             | -104,8         | -80,9          |
| 0,88                                      | 628,4               | -104,8         | 126,9          | 605,0             | -100,9         | 138,2          | 395,3                | -65,9          | 36,9           | 628,4              | -104,8         | 138,2          |
| 0,84                                      | 597,7               | -79,1          | 120,7          | 575,5             | -76,1          | 131,4          | 376,0                | -49,7          | 35,1           | 597,7              | -79,1          | 131,4          |
| 0,78                                      | 557,8               | -47,9          | 112,7          | 537,1             | -46,1          | 122,7          | 350,9                | -30,1          | 32,7           | 557,8              | -47,9          | 122,7          |
| 0,73                                      | 518,0               | -19,0          | 104,6          | 498,7             | -18,3          | 113,9          | 325,8                | -12,0          | 30,4           | 518,0              | -19,0          | 113,9          |
| 0,67                                      | 478,1               | 7,7            | 96,6           | 460,4             | 7,4            | 105,2          | 300,8                | 4,8            | 28,1           | 478,1              | 7,7            | 105,2          |
| 0,61                                      | 438,3               | 32,1           | 88,5           | 422,0             | 30,9           | 96,4           | 275,7                | 20,2           | 25,7           | 438,3              | 32,1           | 96,4           |
| 0,56                                      | 398,4               | 54,3           | 80,5           | 383,6             | 52,3           | 87,6           | 250,6                | 34,2           | 23,4           | 398,4              | 54,3           | 87,6           |
| 0,50                                      | 358,6               | 74,4           | 72,4           | 345,3             | 71,6           | 78,9           | 225,6                | 46,8           | 21,1           | 358,6              | 74,4           | 78,9           |
| 0,45                                      | 318,8               | 92,1           | 64,4           | 306,9             | 88,7           | 70,1           | 200,5                | 58,0           | 18,7           | 318,8              | 92,1           | 70,1           |
| 0,39                                      | 278,9               | 107,7          | 56,3           | 268,6             | 103,7          | 61,3           | 175,4                | 67,7           | 16,4           | 278,9              | 107,7          | 61,3           |
| 0,33                                      | 239,1               | 121,0          | 48,3           | 230,2             | 116,5          | 52,6           | 150,4                | 76,1           | 14,0           | 239,1              | 121,0          | 52,6           |
| 0,28                                      | 199,2               | 132,2          | 40,2           | 191,8             | 127,2          | 43,8           | 125,3                | 83,1           | 11,7           | 199,2              | 132,2          | 43,8           |
| 0,22                                      | 159,4               | 141,1          | 32,2           | 153,5             | 135,8          | 35,0           | 100,3                | 88,7           | 9,4            | 159,4              | 141,1          | 35,0           |
| 0,17                                      | 119,5               | 147,7          | 24,1           | 115,1             | 142,2          | 26,3           | 75,2                 | 92,9           | 7,0            | 119,5              | 147,7          | 26,3           |
| 0,11                                      | 79,7                | 152,2          | 16,1           | 76,7              | 146,5          | 17,5           | 50,1                 | 95,7           | 4,7            | 79,7               | 152,2          | 17,5           |
| 0,06                                      | 39,8                | 154,4          | 8,0            | 38,4              | 148,7          | 8,8            | 25,1                 | 97,1           | 2,3            | 39,8               | 154,4          | 8,8            |
| 0,00                                      | 0,0                 | 154,4          | 0,0            | 0,0               | 148,7          | 0,0            | 0,0                  | 97,1           | 0,0            | 0,0                | 154,4          | 0,0            |

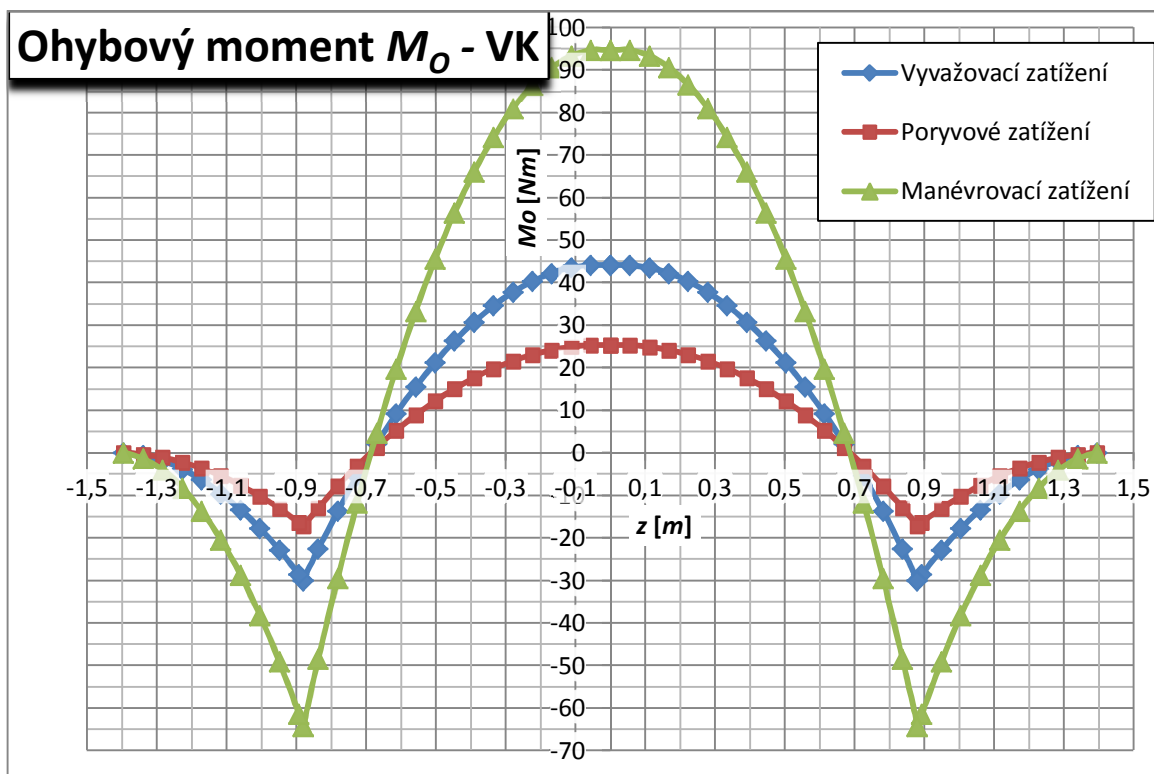
**Tabulka 8.9 - Maximální provozní zatížení stabilizátoru**

## 8.7. Průběhy zatížení

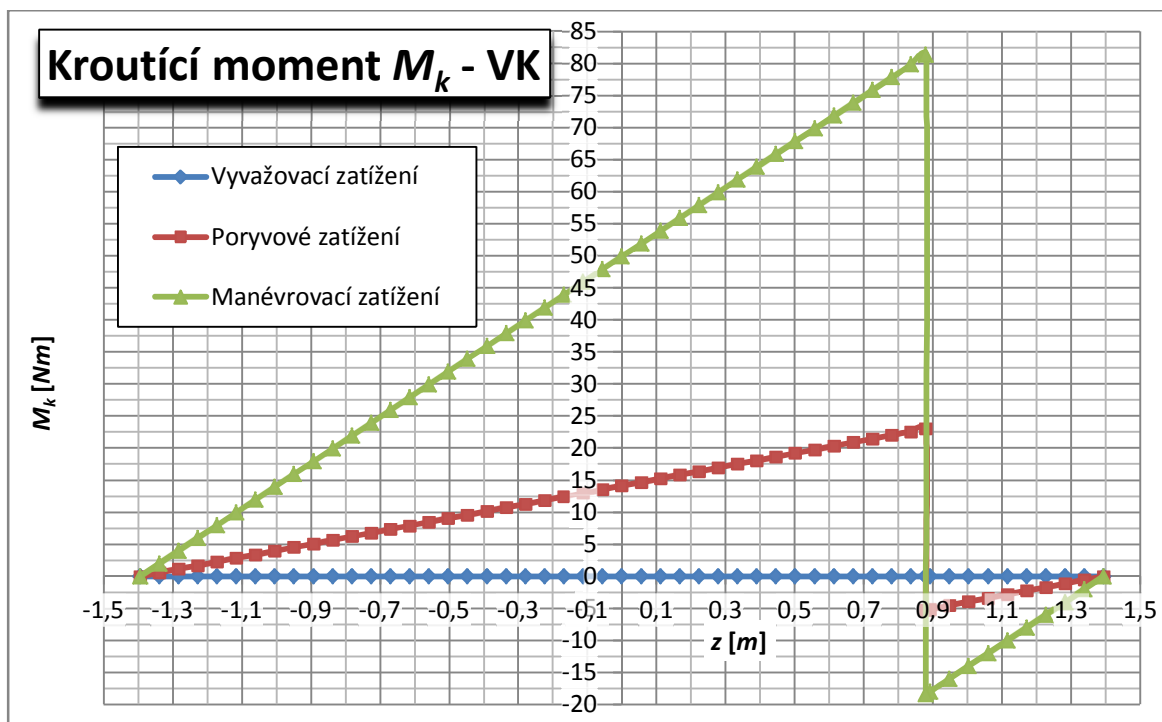
### 8.7.1. Průběhy zatížení výškového kormidla



Obrázek 8.5 - Průběh posouvající síly na výškovém kormidle



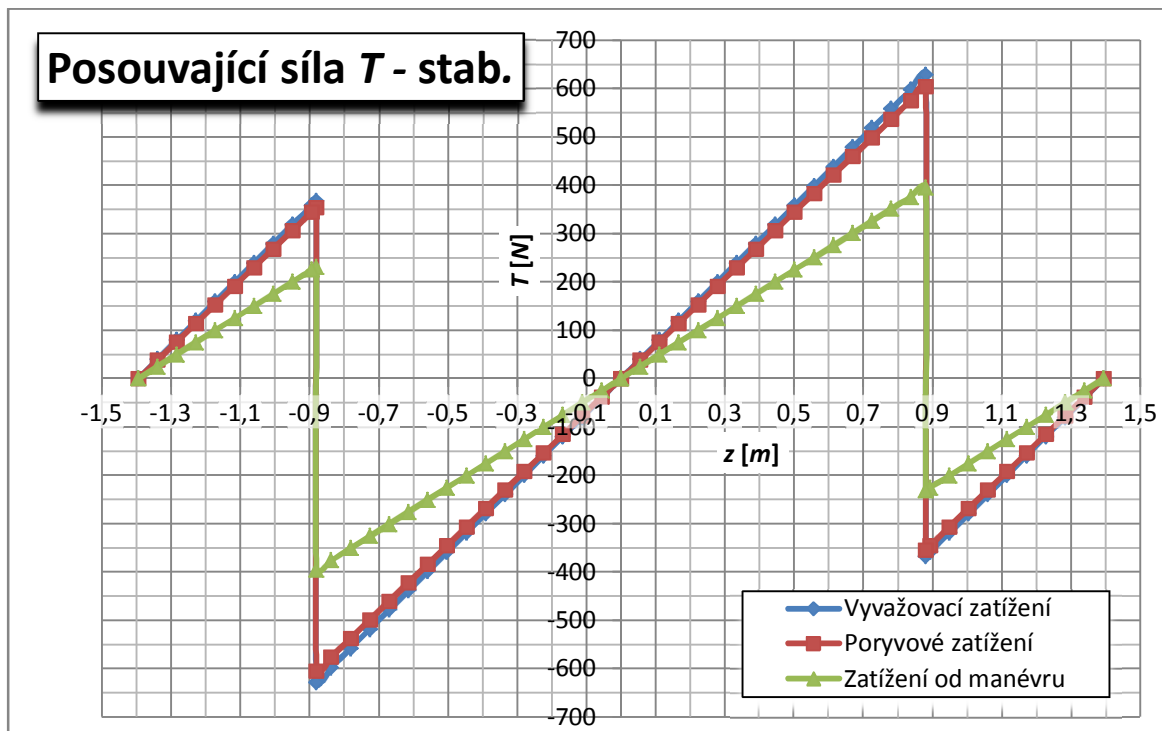
Obrázek 8.6 - Průběh ohybového momentu na výškovém kormidle



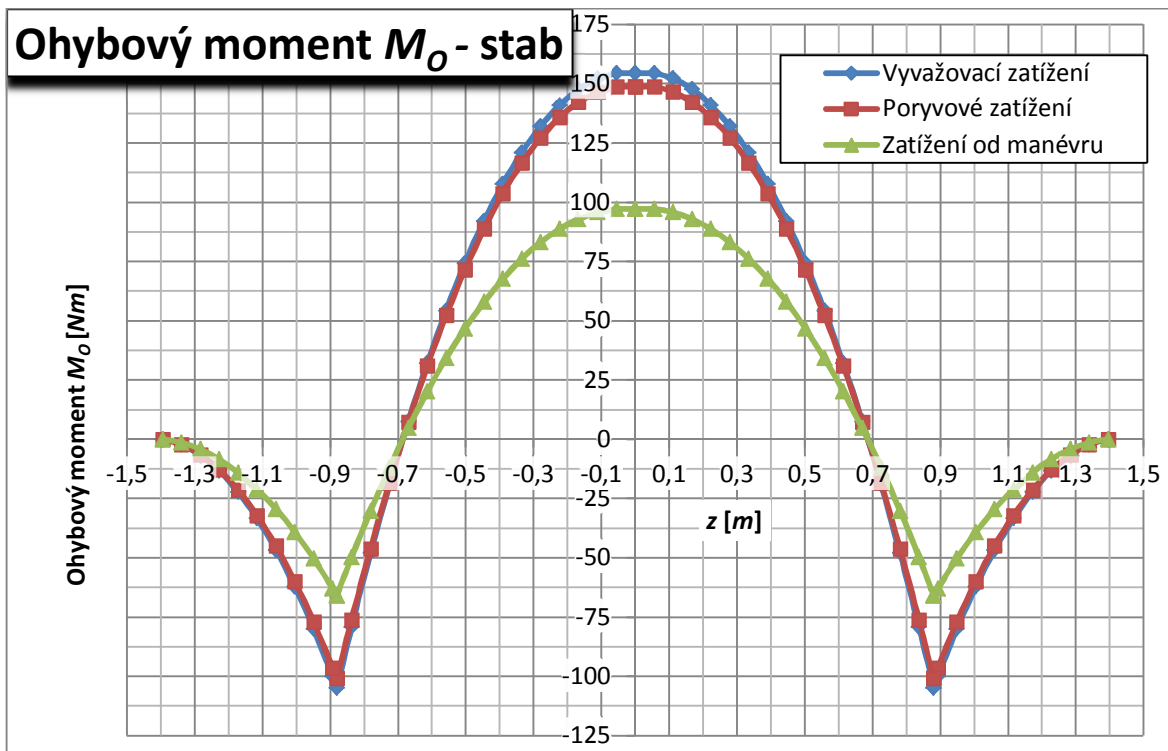
Obrázek 8.7 - Průběh kroutícího momentu na výškovém kormidle

### 8.7.2. Průběhy zatížení stabilizátoru

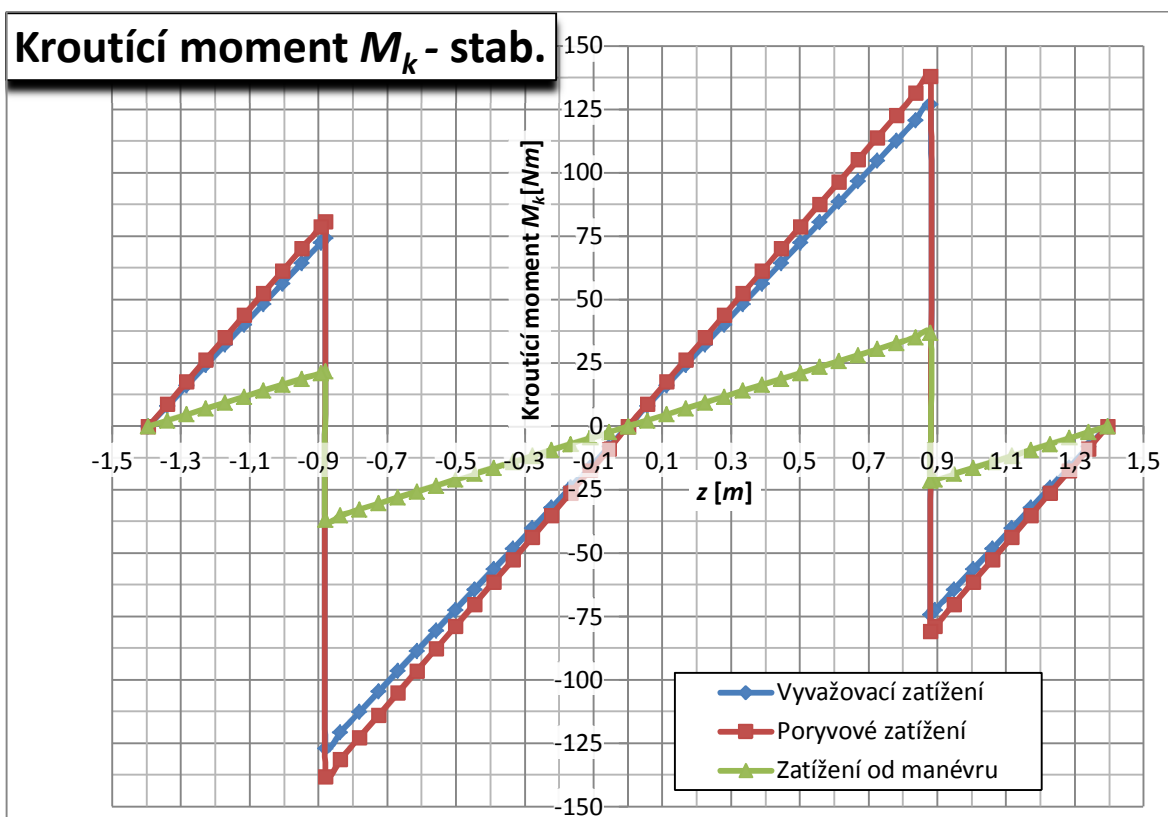
Průběhy na stabilizátoru jsou vykresleny na polorozpětí.



Obrázek 8.8 - Průběh posouvající síly na stabilizátoru



Obrázek 8.9 - Průběh ohybového momentu na stabilizátoru



Obrázek 8.10 - Průběh kroutícího momentu na stabilizátoru

## 8.8. Nesymetrické zatížení VOP

*Znění předpisu:*

### **CS-VLA 427 Nesymetrická zatížení [17]**

(a) Vodorovné ocasní plochy a jejich nosná konstrukce musí být navrženy pro nesymetrická zatížení, vznikající vlivem zatáčení a vrtulovým proudem v kombinaci se zatíženími předepsanými pro letové podmínky uvedené v CS-VLA 421 až 425.

(b) Nejsou-li k dispozici přesnější údaje, je možno u letounů, které jsou konvenční vzhledem k umístění motoru, křídel, ocasních ploch a tvaru trupu učinit následující předpoklady:

(1) Na jedné straně roviny symetrie letounu působí 100 % maximálního zatížení vyplývajícího z podmínek symetrického letu; a

(2) Následující procento tohoto zatížení musí být aplikováno na druhé straně: % =  $100 - 10(n - 1)$ , kde  $n$  je stanovený kladný provozní násobek, ale tato hodnota nesmí být větší než 80 %.

$$100 - 10 \cdot (n - 1) = 100 - 10 \cdot (4,7 - 1) = 63 \%$$

Toto zatížení lze rozdělit na 81,5% zatížení symetrického a 18,5 zatížení antisymetrického.

### **Antisymetrický moment:**

$$M_{X \text{ ANTI}} = M_O \cdot 0,185 \cdot 2 = (M_{O \text{ VK}} + M_{O \text{ STAB}}) \cdot 0,37$$

*Vysvětlení jednotlivých symbolů:*

$M_O$  ... ohybový moment v polovině VOP

$M_{O \text{ VK}}$  ... ohybový moment v polovině výškového kormidla od spojitého zatížení

$M_{O \text{ STAB}}$  ... ohybový moment v polovině stabilizátoru od spojitého zatížení

### **Maximální provozní hodnoty pro jednotlivé typy zatížení VOP:**

#### **Vyvažovací zatížení:**

$$M_{X \text{ ANTI vyvaž}} = (M_{O \text{ VK}} + M_{O \text{ STAB}})_{\text{vyvaž}} \cdot 0,37 = (44,1 + 154,4) \cdot 0,37 = 73,5 \text{ Nm}$$

#### **Poryvové zatížení:**

$$M_{X \text{ ANTI poryv}} = (M_{O \text{ VK}} + M_{O \text{ STAB}})_{\text{poryv}} \cdot 0,37 = (25,3 + 148,7) \cdot 0,37 = 64,4 \text{ Nm}$$

#### **Manévrovací zatížení:**

$$M_{X \text{ ANTI manevr}} = (M_{O \text{ VK}} + M_{O \text{ STAB}})_{\text{manevr}} \cdot 0,37 = (94,7 + 98,1) \cdot 0,37 = 71,3 \text{ Nm}$$

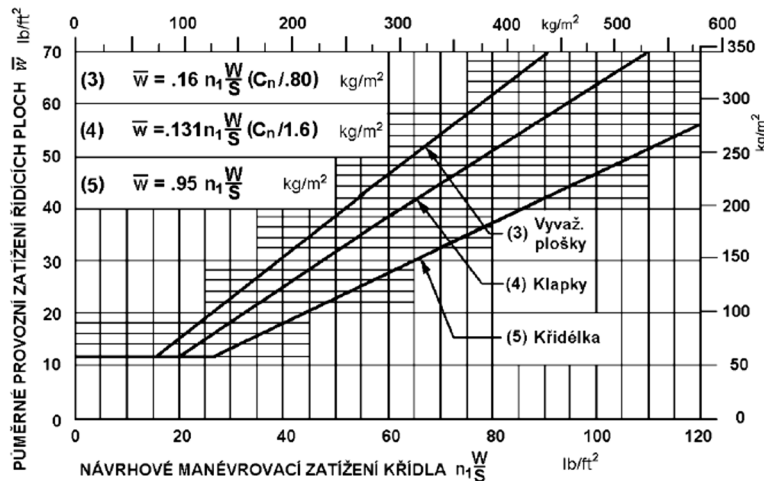
## 8.9. Zatížení vyvažovací plošky na VK

Znění předpisu CS-VLA:

### CS-VLA Dodatek A - A11 Zatížení řídicích ploch [17]

(c) Podmínky zatížení od řídicích ploch. Podmínka zatížení každé řídicí plochy musí být vyšetřena takto:

(1) Zjednodušení maximálního provozního zatížení plochy a jeho rozdělení na vodorovnou ocasní plochu, svislou ocasní plochu, křídélka, přistávací klapky a vyvažovací plošky jsou specifikovány v tabulce 2 a obrázcích A4 a A5 tohoto Dodatku. Je-li dáno více než jedno rozložení, musí být prošetřena všechna. Použití obrázku A4 je omezeno na svislé ocasní plochy se štíhlostí menší než 2,5 a na vodorovné ocasní plochy se štíhlostí menší než 5 a na mohutnost ocasních ploch větší než 0,4.



Obrázek 8.11 - Průměrné maximální zatížení řídicích ploch (obr A5, dodatek A [18])

Průměrné provozní zatížení vyvažovací plošky (dle výše uvedeného obrázku):

$$\bar{w} = 0,16 \cdot n_1 \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{c_n}{0,8}$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$n_1$  ... kladný provozní násobek při manévru

$W$  ... hmotnost letounu ( $W = 600 \text{ kg}$ )

$S$  ... Plocha křídla ( $S = 11,85 \text{ m}^2$ )

$$\bar{w} = 0,16 \cdot n_1 \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{c_n}{0,8} = \frac{0,16 \cdot 3,8 \cdot 600}{11,85} \cdot \left(\frac{0,8}{0,8}\right) = 30,7848 \text{ lb/ft}^2$$

$$\bar{w} = \frac{30,7848 \cdot 0,454}{0,093} \cdot 9,81 = 1474,275 \text{ Pa}$$

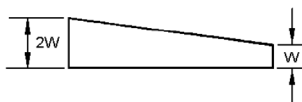
Liniové zatížení:

$$\bar{q}_{trim} = \bar{w} \cdot c_{trim} = 1474,275 \cdot 0,130 = 191,656 \frac{N}{m}$$

**Celková síla působící na plošku:**

$$F_{trim} = \overline{q_{trim}} \cdot b_{trim} = 191,656 \cdot 0,800 = 153,325 \text{ N}$$

**Výpočet působíště síly na vyvažovací plošku:**



**Obrázek 8.12 - Rozložení zatížení po hloubce vyvažovací plošky [18]**

Působíště síly na vyvažovací plošku bylo stanoveno na základě momentové rovnováhy obrazce z obrázku, převzatého z předpisu CS-VLA.

Působíště leží ve 44,44 % hloubky vyvažovací plošky.

$$x_{trim} = 0,4444 \cdot 0,13 = 0,0578 \text{ m}$$

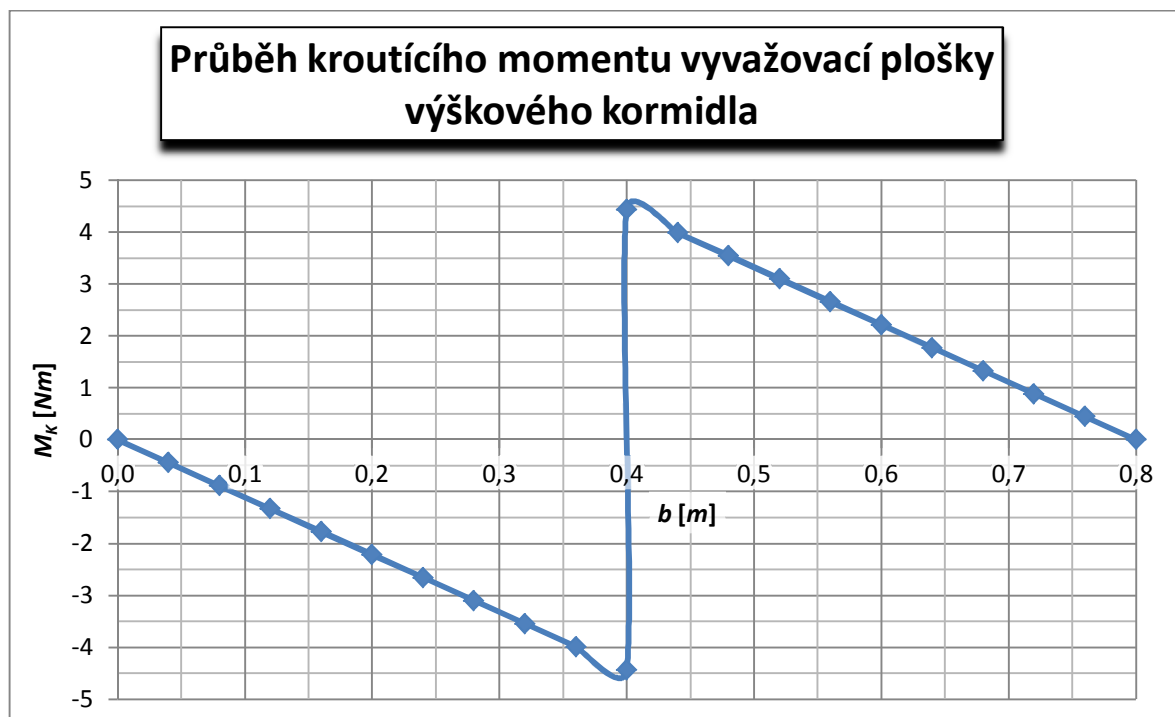
**Závěsový moment vyvažovací plošky:**

$$M_{zavës} = x_{trim} \cdot F_{trim} = 0,0578 \cdot 153,322 = 8,858 \text{ Nm}$$

| Výpočet zatížení vyvažovací plošky |                   |                   |                                              |               |                  |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------------------|---------------|------------------|
| $b$<br>[m]                         | $c_{trim}$<br>[m] | $x_{trim}$<br>[m] | Od liniového zatížení                        |               | Celkové zatížení |
|                                    |                   |                   | $\overline{q_{trim}}$<br>[Nm <sup>-1</sup> ] | $M_K$<br>[Nm] | $M_K$<br>[Nm]    |
| 0,80                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 0,00          | 0,00             |
| 0,76                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 0,44          | 0,44             |
| 0,72                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 0,89          | 0,89             |
| 0,68                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 1,33          | 1,33             |
| 0,64                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 1,77          | 1,77             |
| 0,60                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 2,21          | 2,21             |
| 0,56                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 2,66          | 2,66             |
| 0,52                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 3,10          | 3,10             |
| 0,48                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 3,54          | 3,54             |
| 0,44                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 3,99          | 3,99             |
| 0,40                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 4,43          | 4,43             |
| 0,40                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 4,43          | -4,43            |
| 0,36                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 4,87          | -3,99            |
| 0,32                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 5,31          | -3,54            |
| 0,28                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 5,76          | -3,10            |
| 0,24                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 6,20          | -2,66            |
| 0,20                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 6,64          | -2,21            |
| 0,16                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 7,09          | -1,77            |
| 0,12                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 7,53          | -1,33            |
| 0,08                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 7,97          | -0,89            |
| 0,04                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 8,42          | -0,44            |
| 0,00                               | 0,13              | 0,0578            | 191,565                                      | 8,86          | 0,00             |

**Tabulka 8.10 - Průběh kroutícího momentu na vyvažovací plošce výškového kormidla**

 ... závës řízení vyvažovací plošky



Obrázek 8.13 - Průběh krouťícího momentu vyvažovací plošky výškového kormidla

## 9. Průběhy zatížení SOP

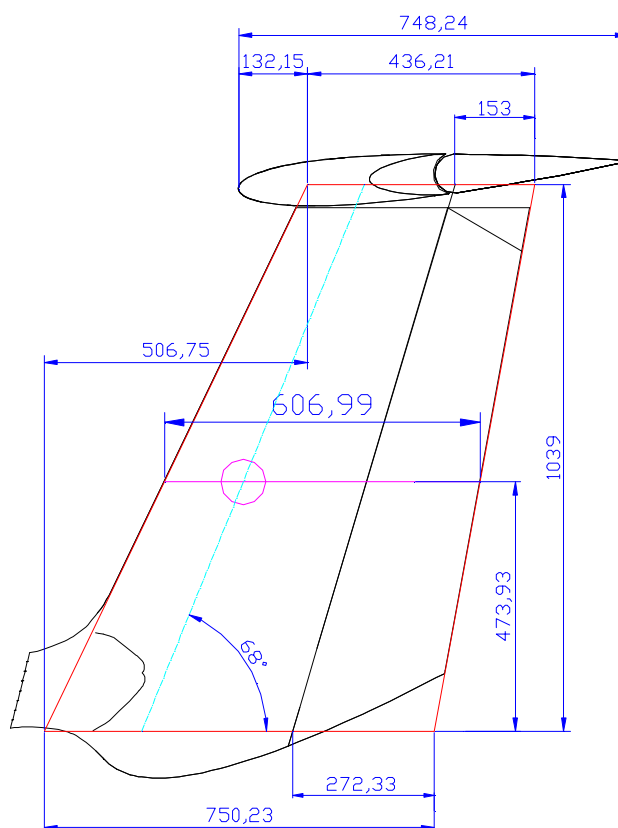
### 9.1. Geometrie SOP pro výpočet průběhů zatížení

| Geometrické údaje SOP                        |                                          |
|----------------------------------------------|------------------------------------------|
| Profil SOP                                   | NACA 0012                                |
| Plocha SOP                                   | $S_{SOP} = 2 \times 0,616 \text{ m}^2$   |
| Výška celková                                | $b_{SOP} = 1,04 \text{ m}$               |
| Štíhlost SOP                                 | $Ar_{SOP} = 1,752$                       |
| Zúžení SOP                                   | $\eta_{SOP} = 0,581$                     |
| Úhel šípu k 25 %                             | $\chi_{SOP} = 22^\circ$                  |
| Hloubka kořenového řezu                      | $c_{0\text{ SOP}} = 0,75 \text{ m}$      |
| Hloubka koncového řezu                       | $c_{k\text{ SOP}} = 0,436 \text{ m}$     |
| Hloubka střední aerodynamické tětiny SOP     | $c_{SAT\text{ SOP}} = 0,60699 \text{ m}$ |
| Kořenová hloubka kýlové plochy SOP           | $c_{kyl\ 0} = 0,478 \text{ m}$           |
| Koncová hloubka kýlové plochy SOP            | $c_{kyl\ k} = 0,283 \text{ m}$           |
| Vzdálenost počátku SAT od NH kořenového řezu | $x_{SAT\text{ SOP}} = 0,231 \text{ m}$   |
| Svislá vzdálenost SAT od kořenového profilu  | $z_{SAT\text{ SOP}} = 0,474 \text{ m}$   |

Tabulka 9.1 - Geometrické údaje SOP, převzaty z [17]

| Geometrické údaje směrového kormidla  |                               |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Plocha SK                             | $S_{SK} = 0,221 \text{ m}^2$  |
| Hloubka SK – kořenový řez             | $c_{0SK} = 0,272 \text{ m}$   |
| Hloubka SK – koncový řez              | $c_{kSK} = 0,153 \text{ m}$   |
| Vzdálenost osy otáčení – kořenový řez | $c_{000SK} = 0,047 \text{ m}$ |
| Vzdálenost osy otáčení – koncový řez  | $c_{00kSK} = 0,030 \text{ m}$ |
| Výchylka SK                           | $\zeta_{SK} = \pm 30^\circ$   |

Tabulka 9.2 - Geometrické údaje směrového kormidla, převzaty z [17]



Obrázek 9.1 - Rozměry a tvar SOP [17]

## 9.2. Poryvové zatížení SOP

Průběhy zatížení SOP byly počítány obdobně jako zatížení VOP.

Průběhy zatížení byly přepočteny ke skloněné ose  $y_{skl}$ :

$$y_{skl} = \frac{y}{\cos(22^\circ)}$$

#### CS-VLA 443 Poryvová zatížení [17]

- (a) Může být použito průměrné zatížení podle obrázku B5 a **rozdělení podle obrázku B8** v Dodatku B (viz AMC VLA 443).

Rozhodující provozní zatížení SOP od poryvu:

$$F_{SOP} = 747 \text{ N}$$

Průměrné poryvové zatížení SOP:

$$p = \frac{F_{SOP}}{S_{SOP}} = \frac{747}{0,616} = 1212,66 \text{ Pa}$$

### 9.3. Manévrovací zatížení SOP

#### CS-VLA 441 Zatížení při obratech [17]

- (b) Náhradou za požadavky podle pododstavce a(2), a(1) a (a)(3) tohoto odstavce je možné použít průměrné zatížení podle B 11 Dodatku B, obrázku B1 a rozložení podle obrázků B6, B7 a B8 dodatku B.

Pro výpočet byl uvažován počátek manévru, tvar rozložení je totožný jako pro manévrovací zatížení VOP.

Rozhodující provozní zatížení SOP od manévru:

$$F_{SOP} = 583 \text{ N}$$

Průměrné manévrovací zatížení SOP:

$$p = \frac{F_{SOP}}{S_{SOP}} = \frac{583}{0,616} = 946,43$$

## 9.4. Rozdělení spojitého zatížení na kýl a směrové kormidlo

|      |           |      |           |          |       | Poměrné zatížení |      | výslednice k NH |      | Spojité zatížení    |                     |                     |
|------|-----------|------|-----------|----------|-------|------------------|------|-----------------|------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $y$  | $y_{skl}$ | $c$  | $c_{kyl}$ | $c_{SK}$ | $c_z$ | $kyl$            | $SK$ | $kyl$           | $SK$ | $q$                 | $q_{kyl}$           | $q_{SK}$            |
| [m]  | [m]       | [m]  | [m]       | [m]      | [m]   | [-]              | [-]  | [-]             | [-]  | [Nm <sup>-1</sup> ] | [Nm <sup>-1</sup> ] | [Nm <sup>-1</sup> ] |
| 1,04 | 1,12      | 0,44 | 0,28      | 0,15     | 0,04  | 0,92             | 0,08 | 0,16            | 0,77 | 528,72              | 485,32              | 43,41               |
| 1,00 | 1,08      | 0,45 | 0,29      | 0,16     | 0,04  | 0,92             | 0,08 | 0,16            | 0,77 | 543,95              | 499,10              | 44,86               |
| 0,96 | 1,03      | 0,46 | 0,30      | 0,16     | 0,04  | 0,92             | 0,08 | 0,16            | 0,77 | 559,18              | 512,88              | 46,31               |
| 0,91 | 0,99      | 0,47 | 0,31      | 0,17     | 0,04  | 0,92             | 0,08 | 0,16            | 0,76 | 574,41              | 526,66              | 47,76               |
| 0,87 | 0,94      | 0,49 | 0,31      | 0,17     | 0,04  | 0,92             | 0,08 | 0,16            | 0,76 | 589,64              | 540,43              | 49,21               |
| 0,83 | 0,90      | 0,50 | 0,32      | 0,18     | 0,04  | 0,92             | 0,08 | 0,16            | 0,76 | 604,88              | 554,21              | 50,66               |
| 0,79 | 0,85      | 0,51 | 0,33      | 0,18     | 0,04  | 0,92             | 0,08 | 0,16            | 0,76 | 620,11              | 567,99              | 52,11               |
| 0,75 | 0,81      | 0,52 | 0,34      | 0,19     | 0,04  | 0,92             | 0,08 | 0,16            | 0,76 | 635,34              | 581,77              | 53,57               |
| 0,71 | 0,76      | 0,54 | 0,35      | 0,19     | 0,05  | 0,92             | 0,08 | 0,16            | 0,76 | 650,57              | 595,55              | 55,02               |
| 0,66 | 0,72      | 0,55 | 0,35      | 0,20     | 0,05  | 0,92             | 0,08 | 0,16            | 0,76 | 665,80              | 609,33              | 56,47               |
| 0,62 | 0,67      | 0,56 | 0,36      | 0,20     | 0,05  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 681,03              | 623,10              | 57,93               |
| 0,58 | 0,63      | 0,57 | 0,37      | 0,21     | 0,05  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 696,26              | 636,88              | 59,38               |
| 0,54 | 0,58      | 0,59 | 0,38      | 0,21     | 0,05  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 711,49              | 650,66              | 60,83               |
| 0,50 | 0,54      | 0,60 | 0,38      | 0,21     | 0,05  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 726,72              | 664,44              | 62,29               |
| 0,46 | 0,49      | 0,61 | 0,39      | 0,22     | 0,05  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 741,96              | 678,21              | 63,74               |
| 0,42 | 0,45      | 0,62 | 0,40      | 0,22     | 0,05  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 757,19              | 691,99              | 65,20               |
| 0,37 | 0,40      | 0,64 | 0,41      | 0,23     | 0,05  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 772,42              | 705,77              | 66,65               |
| 0,33 | 0,36      | 0,65 | 0,42      | 0,23     | 0,05  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 787,65              | 719,54              | 68,11               |
| 0,29 | 0,31      | 0,66 | 0,42      | 0,24     | 0,06  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 802,88              | 733,32              | 69,56               |
| 0,25 | 0,27      | 0,67 | 0,43      | 0,24     | 0,06  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 818,11              | 747,09              | 71,02               |
| 0,21 | 0,22      | 0,69 | 0,44      | 0,25     | 0,06  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 833,34              | 760,87              | 72,47               |
| 0,17 | 0,18      | 0,70 | 0,45      | 0,25     | 0,06  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 848,57              | 774,65              | 73,93               |
| 0,12 | 0,13      | 0,71 | 0,45      | 0,26     | 0,06  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 863,80              | 788,42              | 75,38               |
| 0,08 | 0,09      | 0,72 | 0,46      | 0,26     | 0,06  | 0,91             | 0,09 | 0,16            | 0,76 | 879,03              | 802,20              | 76,84               |
| 0,04 | 0,04      | 0,74 | 0,47      | 0,27     | 0,06  | 0,91             | 0,09 | 0,15            | 0,76 | 894,27              | 815,97              | 78,29               |
| 0,00 | 0,00      | 0,75 | 0,48      | 0,27     | 0,06  | 0,91             | 0,09 | 0,15            | 0,76 | 909,50              | 829,75              | 79,75               |

Tabulka 9.3 - Rozdělení průměrného zatížení na kýl a směrové kormidlo, poryvový případ

## 9.5. Nekombinované zatížení směrových kormidel

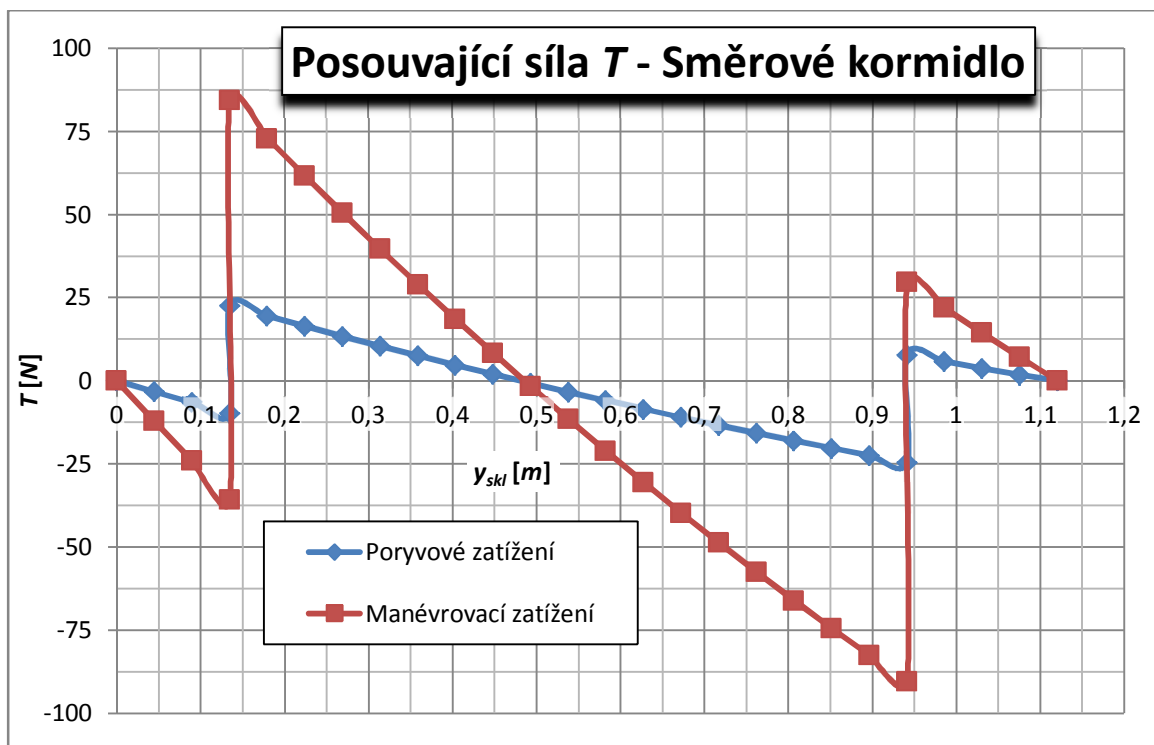
Pro výpočet průběhů zatížení směrových kormidel je uvažováno nekombinované zatížení. Rozhodujícím případem zatížení směrových kormidel je Manévrovací zatížení. Tabulky s výpočtem jsou uvedeny v příloze.

| Směrové kormidlo - manévrovací zatížení |        |        |
|-----------------------------------------|--------|--------|
| $T$                                     | $M_o$  | $M_k$  |
| [N]                                     | [Nm]   | [Nm]   |
| 0,00                                    | 0,00   | 0,00   |
| 7,10                                    | 0,30   | -1,69  |
| 14,41                                   | 0,89   | -3,46  |
| 21,93                                   | 1,80   | -5,32  |
| 29,65                                   | 3,04   | -7,27  |
| -90,55                                  | 3,04   | -7,27  |
| -82,61                                  | -0,40  | -9,35  |
| -74,47                                  | -3,49  | -11,52 |
| -66,11                                  | -6,24  | -13,78 |
| -57,54                                  | -8,63  | -16,14 |
| -48,76                                  | -10,66 | -18,60 |
| -39,78                                  | -12,31 | -21,16 |
| -30,58                                  | -13,58 | -23,83 |
| -21,17                                  | -14,46 | -26,59 |
| -11,56                                  | -14,94 | -29,47 |
| -1,73                                   | -15,01 | -32,45 |
| 8,30                                    | -14,67 | -35,55 |
| 18,55                                   | -13,90 | -38,76 |
| 29,01                                   | -12,69 | -42,08 |
| 39,67                                   | -11,04 | -45,52 |
| 50,55                                   | -8,94  | -49,07 |
| 61,63                                   | -6,38  | -52,75 |
| 72,93                                   | -3,35  | -56,55 |
| 84,43                                   | 0,16   | -60,48 |
| -35,77                                  | 0,16   | 10,43  |
| -24,06                                  | 0,08   | 6,32   |
| -12,13                                  | 0,04   | 1,00   |
| 0,00                                    | 0,00   | 0,00   |

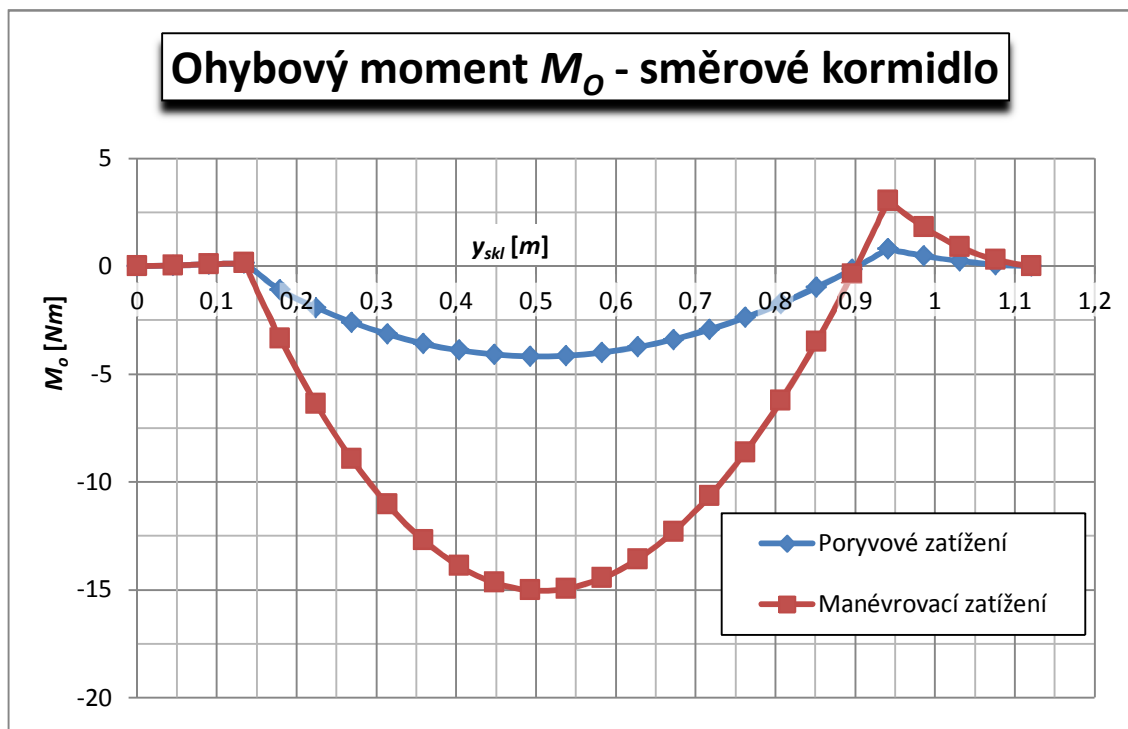
Tabulka 9.4 - Manévrovací zatížení směrového kormidla

Kroutící moment vztažený k ose otáčení směrového kormidla je vyrovnán silami v řízení.

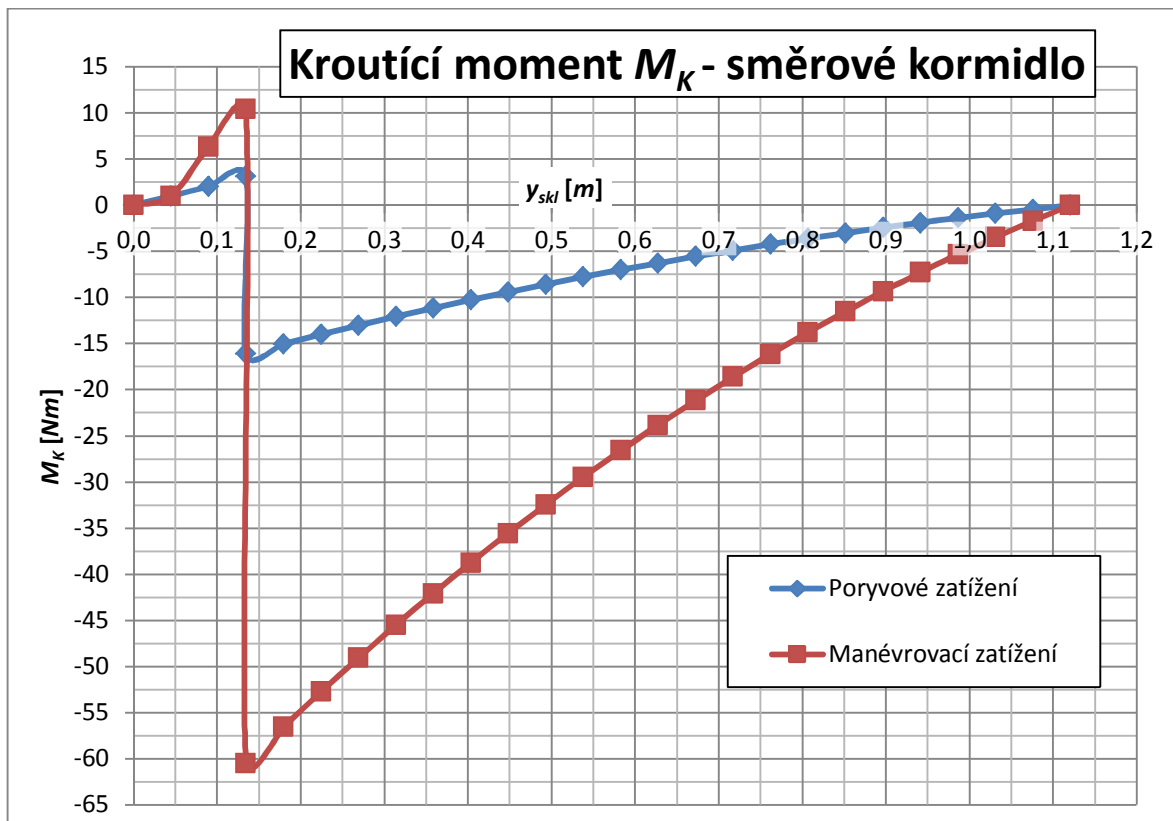
### 9.5.1. Průběhy zatížení SOP – směrové kormidlo



Obrázek 9.2 - Průběh posouvající síly na směrovém kormidle



Obrázek 9.3 - Průběh ohybového momentu na směrovém kormidle



Obrázek 9.4 - Průběh kroutícího momentu na směrovém kormidle

## 9.6. Kombinovaná zatížení ocasních ploch

Znění předpisu CS – VLA:

### CS-VLA 447 KOMBINOVANÁ ZATÍŽENÍ OCASNÍCH PLOCH

(a) Zatížení vodorovných ocasních ploch letounu v podmínkách odpovídajících bodu A nebo D V-n diagramu (uvažují se ty, které vedou k vyššímu vyvažovacímu zatížení) musí být kombinovány se zatížením svislých ocasních ploch určených v CS-VLA 441.

(b) Musí se předpokládat, že 75 % zatížení podle CS-VLA 423 pro vodorovné ocasní plochy a 75 % zatížení podle CS-VLA 441 pro svislé ocasní plochy působí současně.

Z nekombinovaných samostatných případů zatížení VOP a SOP byly vytvořeny kombinace současného zatížení VOP a SOP, viz tabulka níže.

Kombinace č.1 a 2 - odpovídají požadavkům CS-VLA (a), (b).

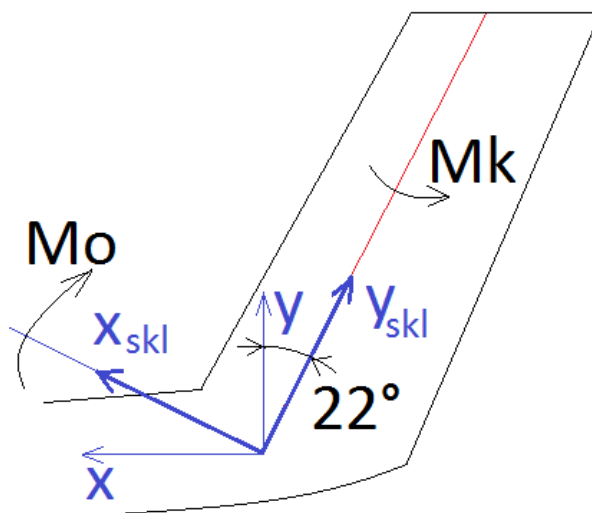
Kombinace č.3 - odpovídá poryvu na SOP dle CS-VLA 443 při ustáleném horizontálním letu při rychlosti  $V_c$ . Odpovídající vyvažovací zatížení VOP bylo stanoveno:

$$F_{VOP} = \frac{F_{vyvaž} + F_{SETR}}{2} = \frac{-461 - (8,5,9,81)}{2} = \frac{-544}{2} = -272 \text{ N}$$

| Kombinované zatížení VOP + SOP |           |           |                |                                                                                                                  |
|--------------------------------|-----------|-----------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Případ                         | $F_{VOP}$ | $F_{SOP}$ | $Mx_{antisym}$ | Popis případu                                                                                                    |
|                                | [N]       | [N]       | [Nm]           |                                                                                                                  |
| <b>Kombinace č. 1</b>          | -712      | 583       | 73,5           | Vyvažovací zatížení VOP (bod D obálky); Manévrovací zatížení SOP, antisymetrický klonivý moment na VOP           |
| <b>Kombinace č. 2</b>          | -506      | 437       | 53,5           | 75 % Manévrovacího zatížení VOP; 75 % manévrovacího zatížení SOP; 75 % antisymetrického klonivého momentu na VOP |
| <b>Kombinace č. 3</b>          | -272      | 747,5     | 73,5           | Vyvažovací zatížení VOP při $V_c$ ; poryvové zatížení SOP; antisymetrický klonivý moment na VOP                  |

Tabulka 9.5 - Kombinované zatížení VOP + SOP

## 9.7. Průběh posouvající síly na kýlech



Obrázek 9.5 - Skloněný souřadnicový systém

Přepočít momentů ke skloněnému souřadnicovému systému:

$$M_O = M_X \cdot \cos \gamma + M_Y \cdot \sin \gamma$$

$$M_K = -M_X \cdot \sin \gamma + M_Y \cdot \cos \gamma$$

Setrvačná síla VOP pro případy zatížení SOP je vypočtena dle následujícího vztahu:

$$F_{SZ VOP} = -m_{VOP} \cdot (\Delta n_{trans} \cdot g + \varepsilon_y - L_{VOP} t)$$

Vysvětlení jednotlivých symbolů:

$m_{VOP} = 8,5 \text{ kg}$ ; hmotnost VOP

$\Delta n_{trans}$  ... boční násobek z případu zatížení SOP

$\varepsilon_y$  ... úhlové zrychlení kolem osy y (viz případy zatížení SOP) [ $rad/s^2$ ]

$L_{VOPt}$  ... vzdálenost těžiště VOP a těžiště letounu [ $m$ ]

### 9.7.1. Popis jednotlivých kombinací

#### Kombinace 1

Zatížení kýlové plochy:

- Spojité zatížení odpovídající  $F_{SOP} = 583 \text{ N}$
- Silami v závěsech SK od spojitěho zatížení SK
- Silami a momentem v závěsech stabilizátoru:
  - o  $F_{VOP} = -506 \text{ N}$
  - o  $M_{xantisym} = 73,5 \text{ Nm}$
- Setrvačnou silou ve směru osy z od hmotnosti VOP:  $F_{szVOP} = -61 \text{ N}$

#### Kombinace 2

Zatížení kýlové plochy:

- Spojité zatížení odpovídající  $F_{SOP} = 747,5 \text{ N}$
- Silami v závěsech SK od spojitěho zatížení SK
- Silami a momentem v závěsech stabilizátoru:
  - o  $F_{VOP} = -506 \text{ N}$
  - o  $M_{xantisym} = 53,5 \text{ Nm}$

Setrvačnou silou ve směru osy z od hmotnosti VOP:  $F_{szVOP} = -46 \text{ N}$

#### Kombinace 3

Zatížení kýlové plochy:

- Spojité zatížení odpovídající  $F_{SOP} = 437 \text{ N}$
- Silami v závěsech SK od spojitěho zatížení SK
- Silami a momentem v závěsech stabilizátoru:
  - o  $F_{VOP} = -272 \text{ N}$
  - o  $M_{xantisym} = 73,5 \text{ Nm}$

Setrvačnou silou ve směru osy z od hmotnosti VOP:  $F_{szVOP} = -88 \text{ N}$

Tabulka výpočtu průběhu zatížení na kýlu - kombinace 1, 2, 3 jsou uvedeny v příloze.

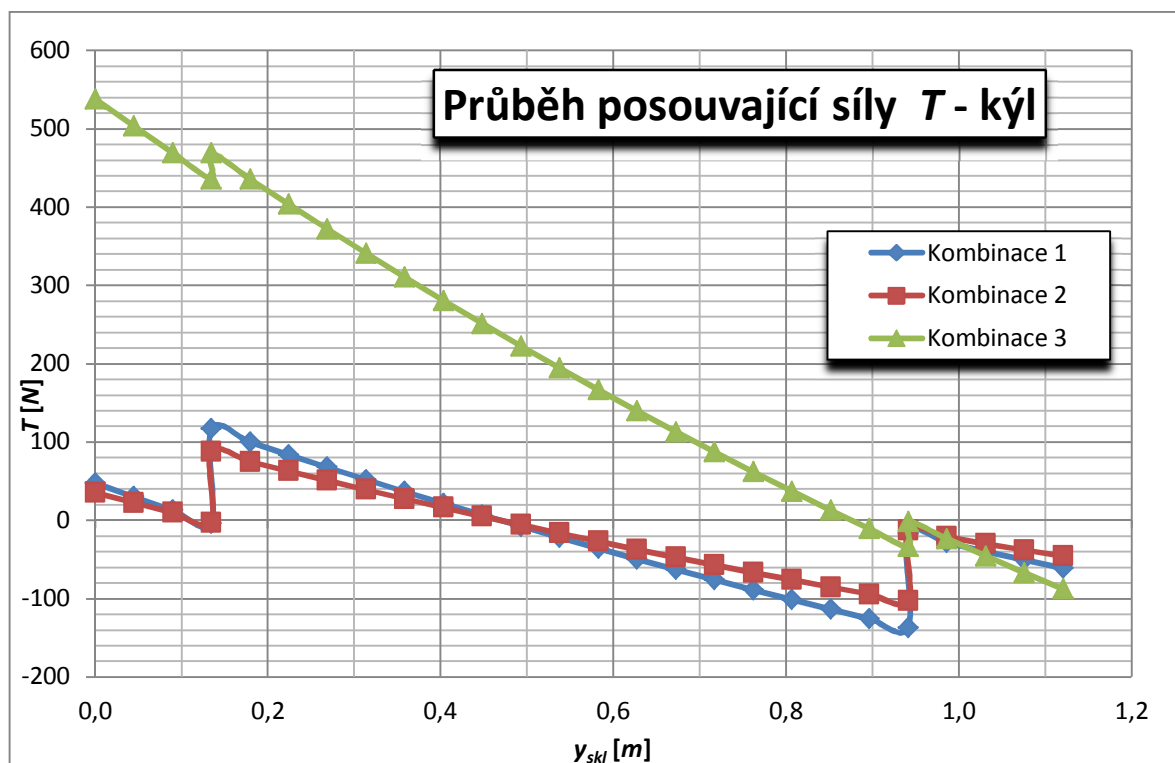
## 9.7.2. Maximální provozní hodnoty zatížení – kýlová plocha

Zatížení je uvažováno jako kombinované zatížení VOP + SOP

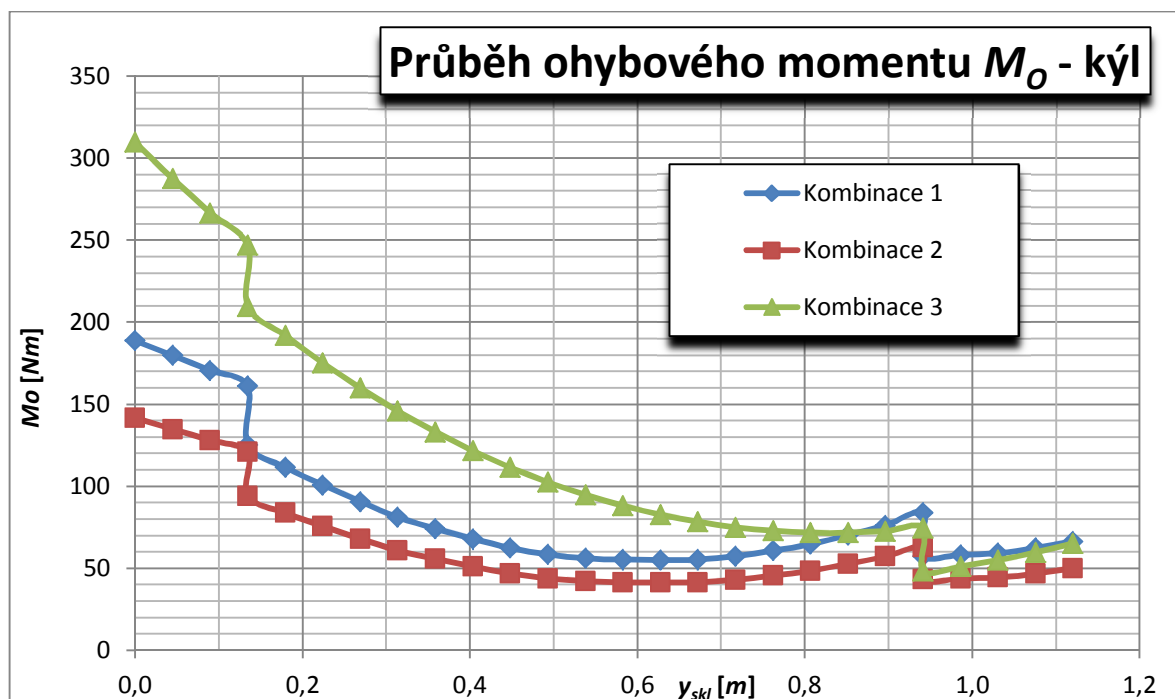
| Souřadnice |           | Kombinace 1 |       |       | Kombinace 2 |       |       | Kombinace 3 |       |       | Maximální hodnoty zatížení |       |       |
|------------|-----------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|
| $y$        | $y_{skl}$ | $T$         | $M_O$ | $M_K$ | $T$         | $M_O$ | $M_K$ | $T$         | $M_O$ | $M_K$ | $T$                        | $M_O$ | $M_K$ |
| [m]        | [m]       | [N]         | [Nm]  | [Nm]  | [N]         | [Nm]  | [Nm]  | [N]         | [Nm]  | [Nm]  | [N]                        | [Nm]  | [Nm]  |
| 1,039      | 1,121     | -61         | 66    | -32   | -46         | 50    | -24   | -88         | 65    | -35   | -88                        | 66    | -35   |
| 0,997      | 1,076     | -50         | 62    | -32   | -38         | 47    | -24   | -67         | 60    | -36   | -67                        | 62    | -36   |
| 0,956      | 1,031     | -40         | 59    | -33   | -30         | 44    | -25   | -45         | 55    | -36   | -45                        | 59    | -36   |
| 0,914      | 0,986     | -29         | 58    | -34   | -21         | 44    | -25   | -24         | 51    | -37   | -29                        | 58    | -37   |
| 0,873      | 0,941     | -17         | 57    | -35   | -13         | 43    | -26   | -2          | 48    | -38   | -17                        | 57    | -38   |
| 0,873      | 0,941     | -137        | 84    | 30    | -103        | 63    | 23    | -33         | 75    | 27    | -137                       | 84    | 30    |
| 0,831      | 0,896     | -126        | 76    | 29    | -94         | 57    | 22    | -10         | 73    | 27    | -126                       | 76    | 29    |
| 0,790      | 0,852     | -114        | 70    | 29    | -85         | 53    | 21    | 13          | 72    | 26    | -114                       | 72    | 29    |
| 0,748      | 0,807     | -101        | 65    | 28    | -76         | 49    | 21    | 37          | 72    | 25    | -101                       | 72    | 28    |
| 0,707      | 0,762     | -89         | 61    | 27    | -67         | 46    | 20    | 62          | 73    | 25    | -89                        | 73    | 27    |
| 0,665      | 0,717     | -76         | 57    | 26    | -57         | 43    | 20    | 87          | 75    | 24    | 87                         | 75    | 26    |
| 0,623      | 0,672     | -63         | 55    | 26    | -47         | 41    | 19    | 113         | 78    | 23    | 113                        | 78    | 26    |
| 0,582      | 0,628     | -50         | 55    | 25    | -37         | 41    | 19    | 140         | 83    | 23    | 140                        | 83    | 25    |
| 0,540      | 0,583     | -36         | 55    | 24    | -27         | 41    | 18    | 167         | 88    | 22    | 167                        | 88    | 24    |
| 0,499      | 0,538     | -22         | 56    | 23    | -16         | 42    | 17    | 194         | 95    | 21    | 194                        | 95    | 23    |
| 0,457      | 0,493     | -8          | 58    | 22    | -6          | 44    | 17    | 223         | 102   | 21    | 223                        | 102   | 22    |
| 0,416      | 0,448     | 7           | 62    | 22    | 5           | 47    | 16    | 251         | 111   | 20    | 251                        | 111   | 22    |
| 0,374      | 0,403     | 22          | 68    | 21    | 16          | 51    | 16    | 281         | 122   | 19    | 281                        | 122   | 21    |
| 0,332      | 0,359     | 37          | 74    | 20    | 28          | 56    | 15    | 311         | 133   | 19    | 311                        | 133   | 20    |
| 0,291      | 0,314     | 52          | 81    | 19    | 39          | 61    | 15    | 341         | 146   | 18    | 341                        | 146   | 19    |
| 0,249      | 0,269     | 68          | 91    | 19    | 51          | 68    | 14    | 372         | 160   | 17    | 372                        | 160   | 19    |
| 0,208      | 0,224     | 84          | 101   | 18    | 63          | 76    | 13    | 404         | 175   | 17    | 404                        | 175   | 18    |
| 0,166      | 0,179     | 100         | 112   | 17    | 75          | 84    | 13    | 436         | 192   | 16    | 436                        | 192   | 17    |
| 0,125      | 0,134     | 117         | 125   | 16    | 88          | 94    | 12    | 469         | 210   | 15    | 469                        | 210   | 16    |
| 0,125      | 0,134     | -4          | 161   | 109   | -3          | 121   | 82    | 436         | 247   | 108   | 436                        | 247   | 109   |
| 0,083      | 0,090     | 13          | 171   | 108   | 10          | 128   | 81    | 470         | 267   | 108   | 470                        | 267   | 108   |
| 0,042      | 0,045     | 30          | 180   | 107   | 23          | 135   | 81    | 504         | 287   | 107   | 504                        | 287   | 107   |
| 0,000      | 0,000     | 47          | 189   | 107   | 36          | 142   | 80    | 538         | 310   | 106   | 538                        | 310   | 107   |

Tabulka 9.6 - Provozní hodnoty kombinovaného zatížení kýlů

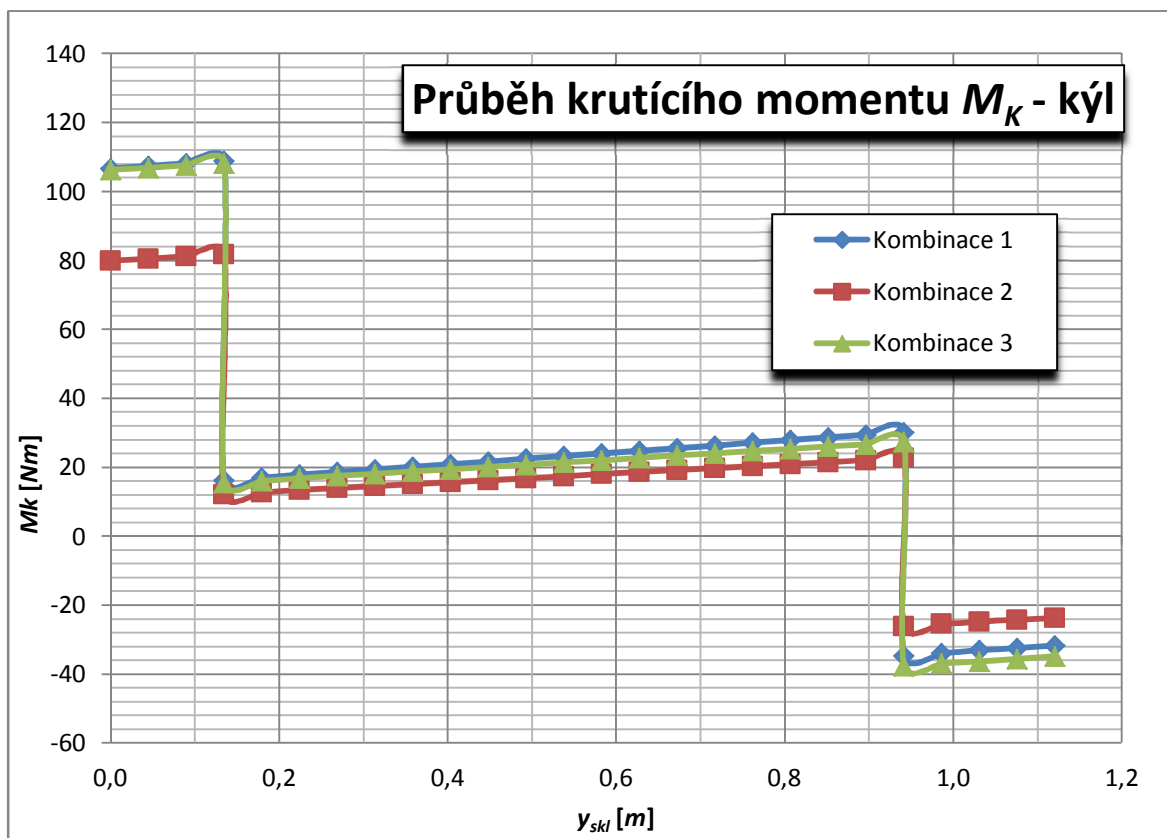
### 9.7.3. Průběhy zatížení – kýlová plocha



Obrázek 9.6 - Průběh posouvající síly - kýl



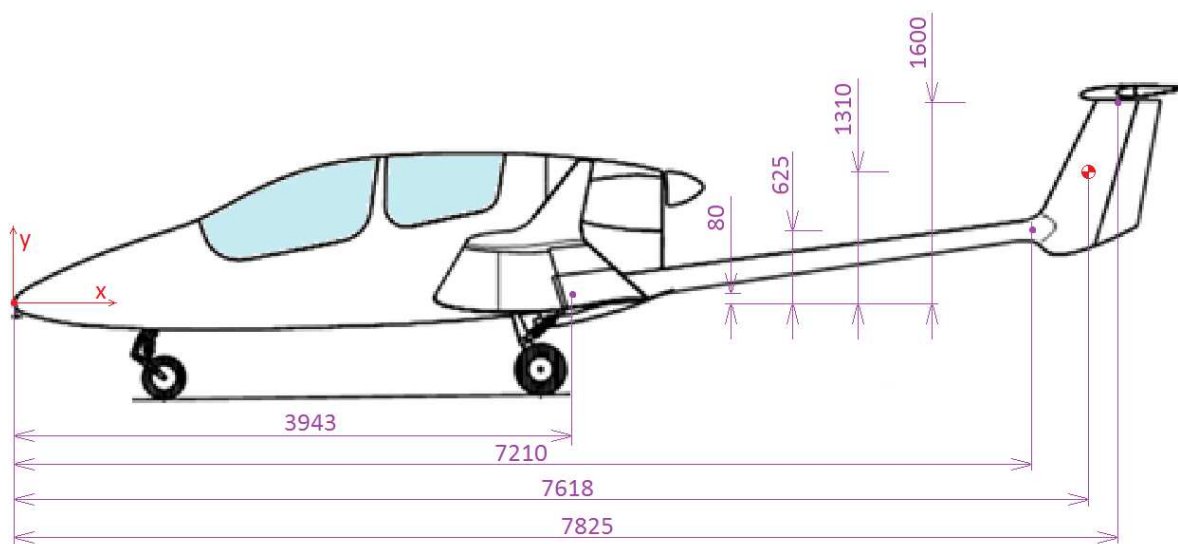
Obrázek 9.7 - Průběh ohybového momentu – kýl



Obrázek 9.8 - Průběh krutícího momentu - kýl

## 10. Zatížení trupových nosníků

### 10.1. Vstupní hodnoty a parametry výpočtu

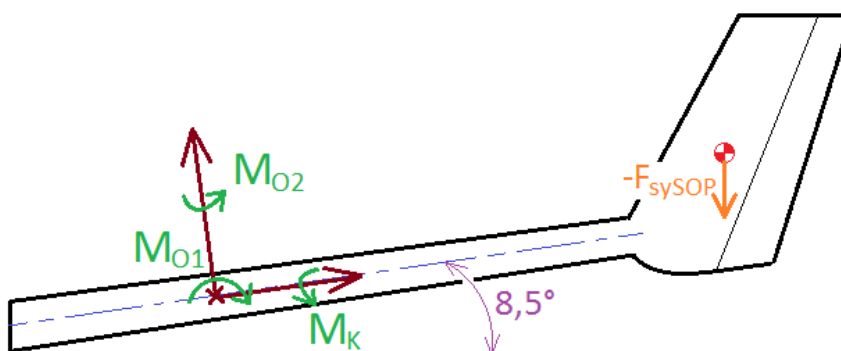


Obrázek 10.1 - Vstupní rozměry pro zatížení trupových nosníků

|                                           | $x$ [mm] | $y$ [mm] |
|-------------------------------------------|----------|----------|
| Uchycení trupových nosníků do centroplánu | 3943     | 80       |
| Napojení nosníků na kýl                   | 7210     | 625      |
| Těžiště SOP                               | 7825     | 1310     |
| Uchycení VOP                              | 7825     | 1600     |

Tabulka 10.1 - Poloha vztažená k souřadnicovému systému trupu (odečteno z CAD modelu)

Průběhy zatížení trupových nosníků jsou vypočteny od napojení SOP do koncového řezu, kterým je napojení nosníků k centroplánu. Průběhy jsou přepočteny k ose trupových nosníků ( $M_{O1}$ ,  $M_{O2}$ ,  $M_K$ ).



Obrázek 10.2 - Osa trupového nosníku

**Přepočet momentů do osy trupového nosníku:**

$$M_{O1} = M_z$$

$$M_{O2} = M_x \sin \gamma + M_y \cos \gamma$$

$$M_K = M_x \cos \gamma - M_y \sin \gamma$$

$\gamma$  ... Sklon osy trupového nosníku

*Při výpočtu je uvažováno kombinované zatížení:*

**Kombinace 1:**

- Vyvažovací zatížení VOP (bod D obálky)
- Manévrovací zatížení SOP

**Kombinace 2:**

- 75 % manévrovacího zatížení VOP
- 75 % manévrovací zatížení SOP

**Kombinace 3:**

- Vyvažovací zatížení VOP (při  $V_C$ )
- Poryvové zatížení SOP

#### Kombinace 4:

- Manévrovací zatížení VOP

**Setrvačná síla od hmotnosti VOP  $F_{szVOP}$  v případech zatížení SOP:**  
**viz zatížení kýlů**

Manévr:  $F_{szVOP} = -155 \text{ N}$

Poryv:  $F_{szVOP} = -110 \text{ N}$

**Setrvačná síla od hmotnosti SOP  $F_{sySOP}$  v případech zatížení VOP:**

*Vyvažovací zatížení VOP:*

$$F_{sySOP} = -m_{SOP} \cdot n \cdot g$$

$m_{SOP}$  ... Hmotnost SOP;  $m_{SOP} = 6 \text{ kg}$

$n$  ... Letový násobek

Kombinace 1:

$$F_{sySOP1} = -m_{SOP} \cdot n \cdot g = -6.3.8.9.81 = 223 \text{ N}$$

Kombinace 3:

$$F_{sySOP3} = -m_{SOP} \cdot n \cdot g = -6.1.9.81 = 59 \text{ N}$$

*Manévrovací zatížení VOP:*

$$F_{sySOP} = -m_{SOP} \cdot (g \cdot (1 + \Delta n_{trans}) + \varepsilon_z \cdot L_{SOP} t)$$

$\Delta n_{trans}$  ... Přírůstek letového násobku

$\varepsilon_z$  ... Uhlivé zrychlení kolem vodorovné osy z

$L_{SOP} t$  ... Vzdálenost těžiště SOP od těžiště letounu

Kombinace 4:

$$F_{sySOP} = -m_{SOP} \cdot (g \cdot (1 + \Delta n_{trans}) + \varepsilon_z \cdot L_{SOP} t) = -6 \cdot (9.81 \cdot (1 + (-0.3)) + 6.8.4.19) = -206 \text{ N}$$

Kombinace 2:

$$F_{sySOP} = 206.0.75 = -155 \text{ N}$$

## 10.2. Průběhy zatížení trupových nosníků - kombinace

**Kombinace č. 1:**

$$F_{VOP} = -712 \text{ N}$$

$$F_{SOP} = 583 \text{ N}$$

$$F_{sySOP1} = -223 \text{ N}$$

$$T_y = F_{VOP} + F_{sySOP1} = -935 \text{ N}$$

$$T_z = F_{SOP} + F_{szVOP} = 583 - 155 = 428 \text{ N}$$

**Kombinace č. 2:**

$$\begin{aligned}F_{VOP} &= -928 \text{ N} \\F_{SOP} &= 437 \text{ N} \\F_{sySOP2} &= -155 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_y &= F_{VOP} + F_{sySOP2} = -1083 \text{ N} \\T_z &= F_{SOP} + F_{szVOP} = 437 - 155 = 282 \text{ N}\end{aligned}$$

**Kombinace č. 3:**

$$\begin{aligned}F_{VOP} &= -465,5 \text{ N} \\F_{SOP} &= 583 \text{ N} \\F_{sySOP3} &= -59 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_y &= F_{VOP} + F_{sySOP3} = -525 \text{ N} \\T_z &= F_{SOP} + F_{szVOP} = 583 - 110 = 473 \text{ N}\end{aligned}$$

**Kombinace č. 4:**

$$\begin{aligned}F_{VOP} &= -1237 \text{ N} \\F_{SOP} &= 0 \text{ N} \\F_{sySOP3} &= -206 \text{ N}\end{aligned}$$

$$T_y = F_{VOP} + F_{sySOP3} = -1443 \text{ N}$$

*Hodnoty výpočtu jednotlivých kombinací jsou uvedeny v příloze.*

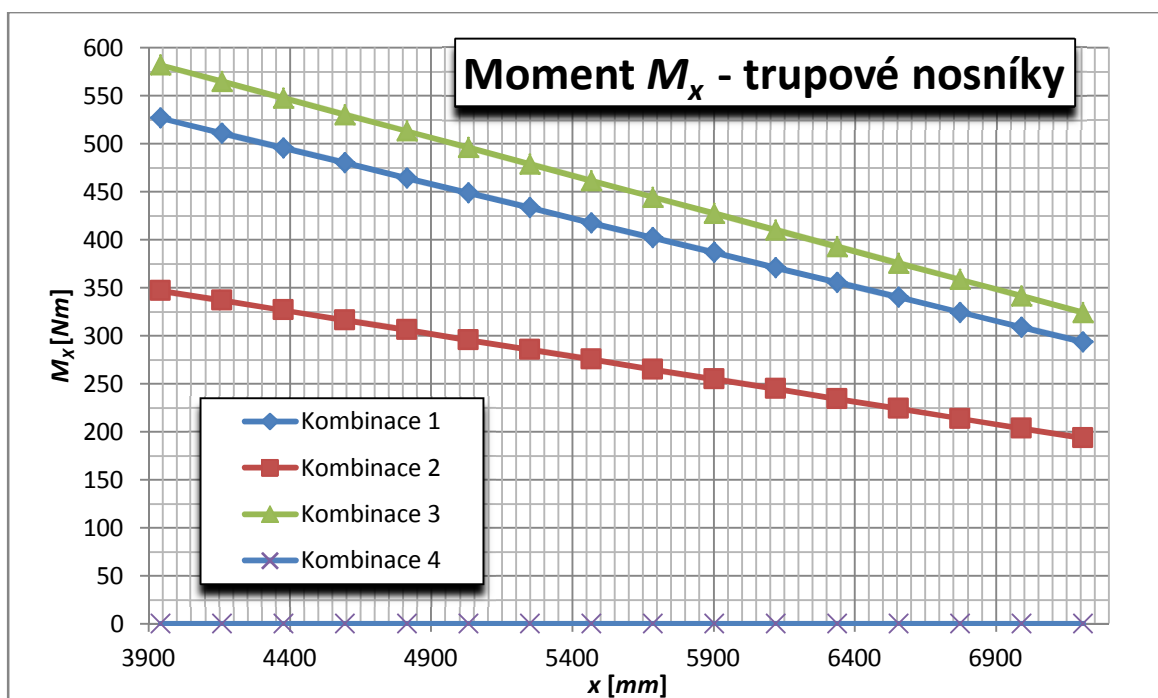
### 10.3. Maximální hodnoty průběhů zatížení trupových nosníků

Všechny vypočtené hodnoty zatížení jsou **provozní**. Souřadnice **x** a **y** jsou vztaženy k souřadnicovému systému trupu s počátkem ve špičce trupu letounu.

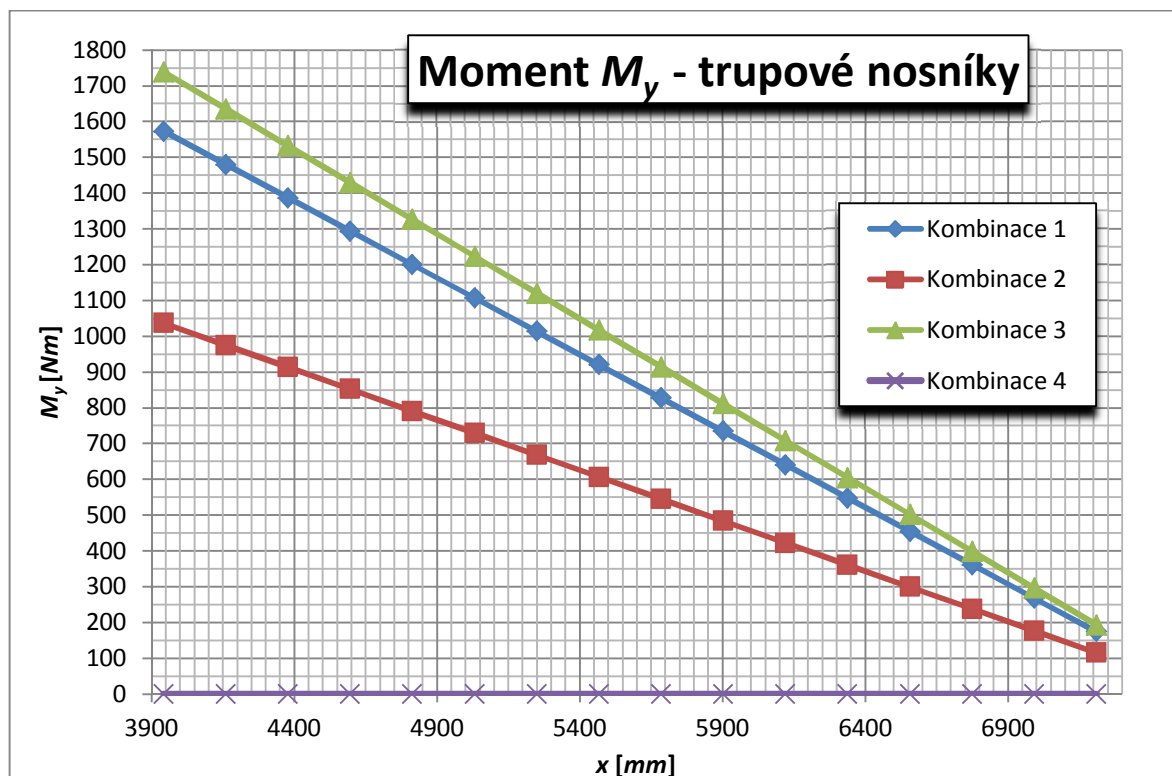
|          |          | Kombinace 3 |            | Kombinace 4 |               | Kombinace 4   |            | Kombinace 3 |  |
|----------|----------|-------------|------------|-------------|---------------|---------------|------------|-------------|--|
| $x$ [mm] | $y$ [mm] | $M_x$ [Nm]  | $M_y$ [Nm] | $M_z$ [Nm]  | $M_{O1}$ [Nm] | $M_{O2}$ [Nm] | $M_K$ [Nm] |             |  |
| 7210     | 625      | 324,0       | 193,0      | 887,4       | 887,4         | 238,8         | 291,9      |             |  |
| 6992     | 589      | 341,2       | 296,0      | 1201,7      | 1201,7        | 343,2         | 293,7      |             |  |
| 6774     | 552      | 358,4       | 399,0      | 1516,0      | 1516,0        | 447,6         | 295,5      |             |  |
| 6557     | 516      | 375,6       | 502,0      | 1830,3      | 1830,3        | 552,0         | 297,2      |             |  |
| 6339     | 480      | 392,7       | 605,1      | 2144,6      | 2144,6        | 656,5         | 299,0      |             |  |
| 6121     | 443      | 409,9       | 708,1      | 2458,9      | 2458,9        | 760,9         | 300,8      |             |  |
| 5903     | 407      | 427,1       | 811,1      | 2773,2      | 2773,2        | 865,3         | 302,5      |             |  |
| 5685     | 371      | 444,3       | 914,1      | 3087,4      | 3087,4        | 969,8         | 304,3      |             |  |
| 5468     | 334      | 461,5       | 1017,1     | 3401,7      | 3401,7        | 1074,2        | 306,1      |             |  |
| 5250     | 298      | 478,7       | 1120,2     | 3716,0      | 3716,0        | 1178,6        | 307,8      |             |  |
| 5032     | 262      | 495,9       | 1223,2     | 4030,3      | 4030,3        | 1283,0        | 309,6      |             |  |
| 4814     | 225      | 513,0       | 1326,2     | 4344,6      | 4344,6        | 1387,5        | 311,4      |             |  |
| 4596     | 189      | 530,2       | 1429,2     | 4658,9      | 4658,9        | 1491,9        | 313,2      |             |  |
| 4379     | 153      | 547,4       | 1532,2     | 4973,2      | 4973,2        | 1596,3        | 314,9      |             |  |
| 4161     | 116      | 564,6       | 1635,3     | 5287,4      | 5287,4        | 1700,7        | 316,7      |             |  |
| 3943     | 80       | 581,8       | 1738,3     | 5601,7      | 5601,7        | 1805,2        | 318,5      |             |  |

Tabulka 10.2 - Maximální hodnoty průběhů zatížení trupových nosníků

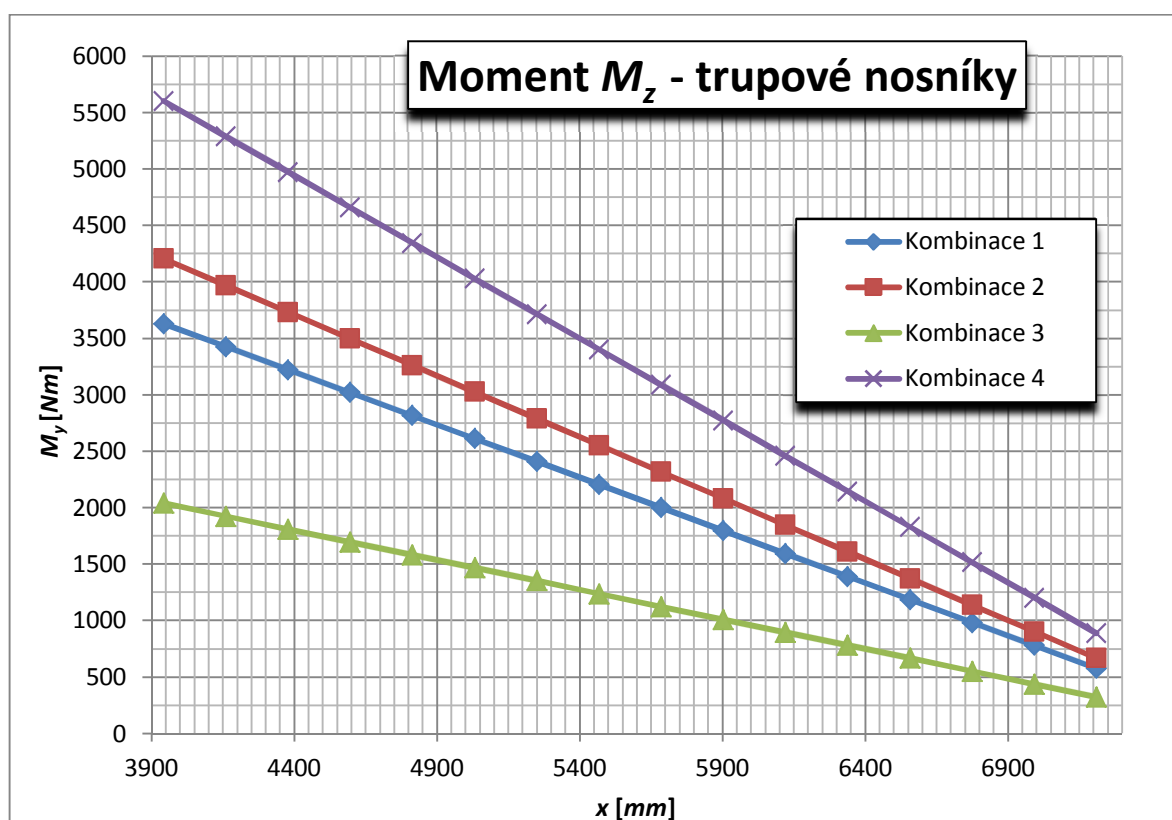
### 10.4. Průběhy momentů trupových nosníků



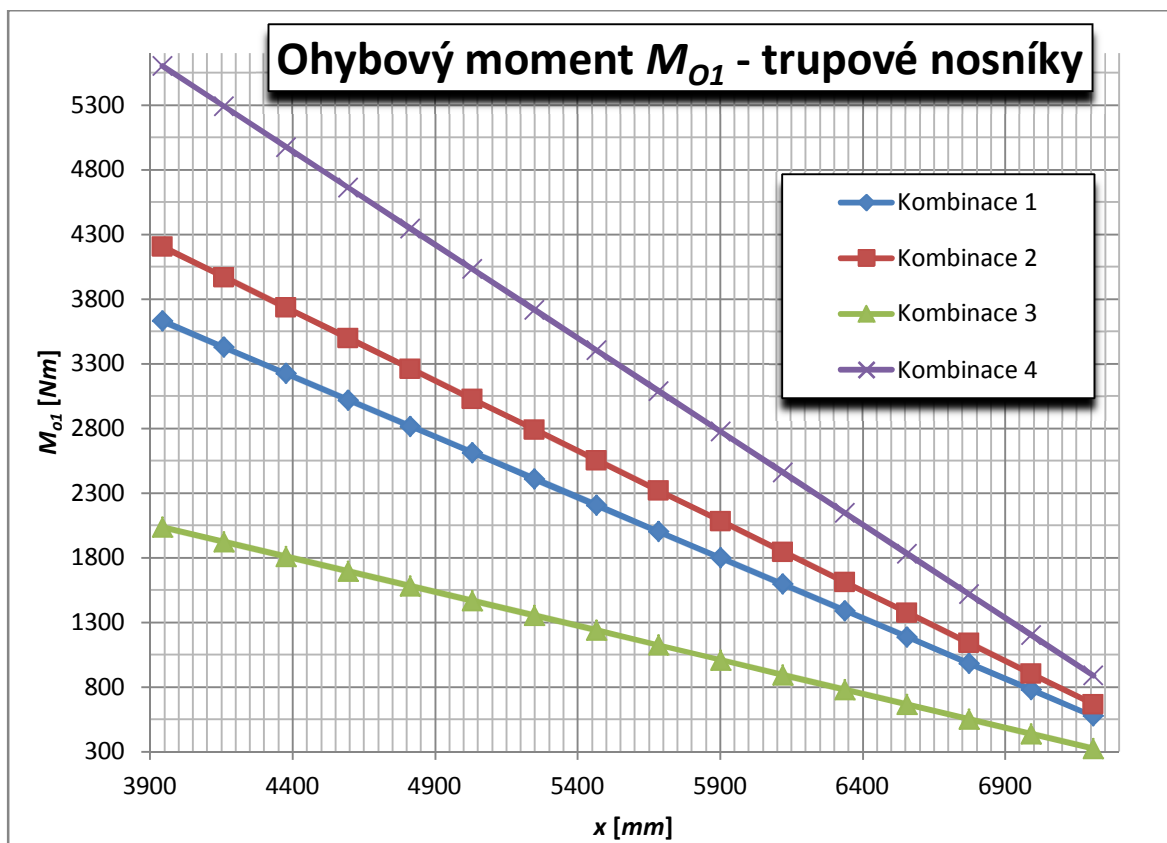
Obrázek 10.3 - Průběh momentu  $M_x$  trupového nosníku



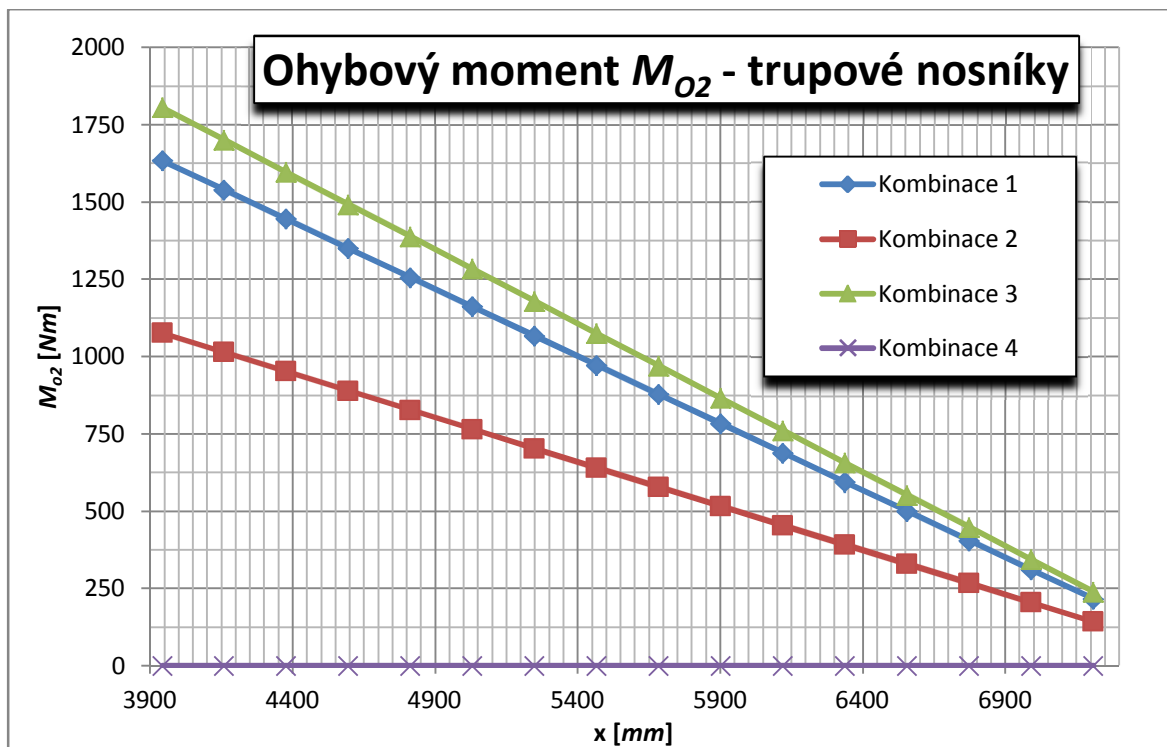
Obrázek 10.4 - Průběh momentu  $M_y$  trupového nosníku



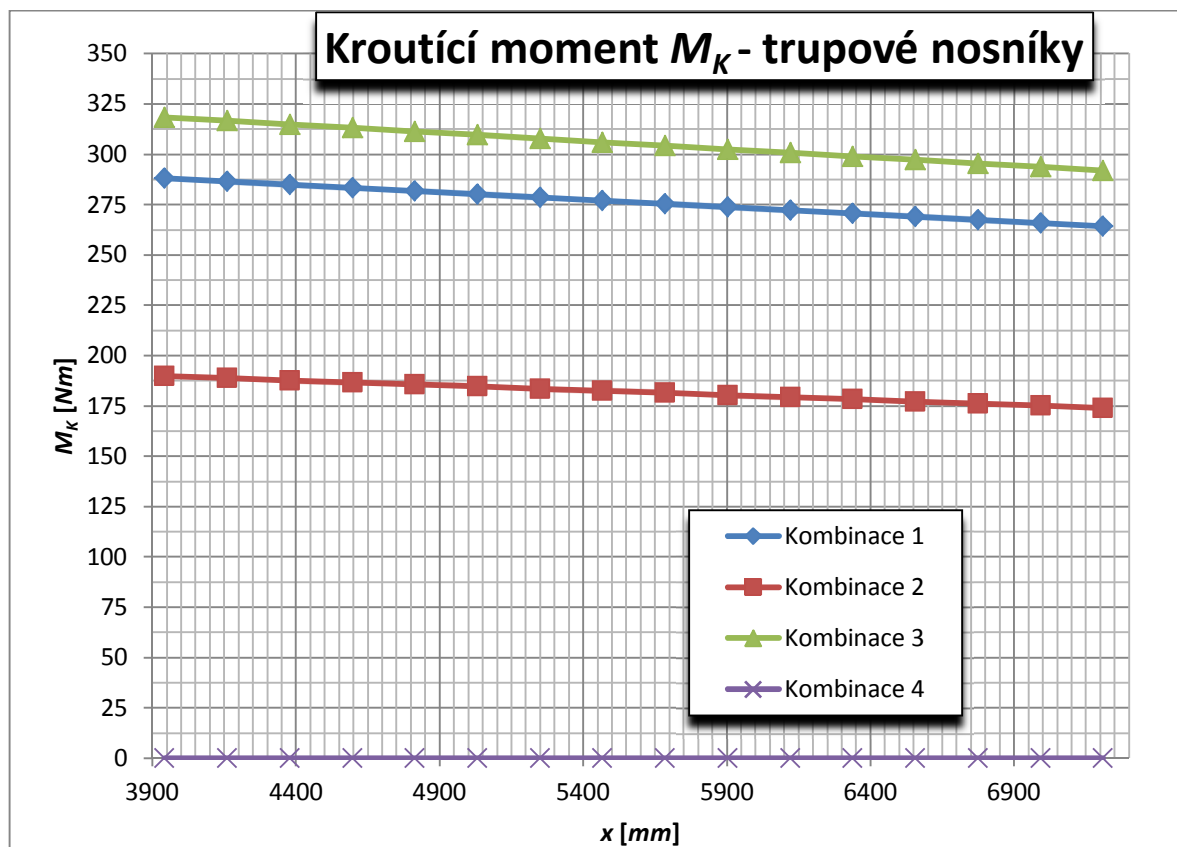
Obrázek 10.5 - Průběh momentu  $M_z$  trupového nosníku



Obrázek 10.6 - Ohybový moment  $M_{O1}$  trupového nosníku



Obrázek 10.7 - Ohybový moment  $M_{O2}$  trupového nosníku



Obrázek 10.8 - Kroutící moment  $M_K$  trupového nosníku

### Zhodnocení vypočtených výsledků:

Pro moment  $M_x$  a  $M_y$  je rozhodující kombinace 3, pro moment  $M_z$  je rozhodující kombinace 4, stejně tak pro ohybový moment  $M_{o1}$ . Pro ohybový moment  $M_{o2}$  je rozhodující kombinace 3, stejně tak pro kroutící moment  $M_K$ .

## 11. Zatížení podvozku

### 11.1. Základní vstupní data výpočtu

|                                       |                     |                |
|---------------------------------------|---------------------|----------------|
| Maximální vzletová hmotnost           | $m_{max} = 600$     | kg             |
| Plocha křídla                         | $S = 11,85$         | m <sup>2</sup> |
| Hloubka střední aerodynamické tětiny  | $c_{SAT} = 1,2736$  | m              |
| Počátek SAT vzhledem k počátku SS     | $x_{SAT} = 3,025$   | m              |
| Poloha předového kola k počátku SS    | $x_{pp} = 1,045$    | m              |
| Poloha hlavního kola k počátku SS     | $x_{HP} = 3,693$    | m              |
| Stlačení soustavy pneumatika + tlumič | $h_{stlač} = 0,162$ | m              |
| Účinnost gumových tlumičů             | $\eta = 0,5$        | -              |

Tabulka 11.1 - Základní vstupní data výpočtu pozemního zatížení

### Uvažované hmotnostní konfigurace pro výpočet:

- Maximální vzletová hmotnost, přední centráž:
  - $m_{max} = 600 \text{ kg}$
  - $X_T = 3,24 \text{ m}$
  - $Y_T = 0,41 \text{ m}$
  - Centráž: 16,9 %
- Maximální vzletová hmotnost, zadní centráž:
  - $m_{max} = 600 \text{ kg}$
  - $X_T = 3,44 \text{ m}$
  - $Y_T = 0,49 \text{ m}$
  - Centráž: 32,7 %

## 11.2. Podmínky a předpoklady pozemního zatížení

Znění předpisu CS-VLA:

### CS-VLA 473 Podmínky a předpoklady pozemního zatížení [18]

- (a) Požadavky pozemního zatížení dle této hlavy musí být splněny při maximální návrhové hmotnosti.
- (b) Zvolený maximální provozní násobek svislých setrvačných sil v těžišti letounu pro podmínky pozemního zatížení předepsaný v této hlavě, nesmí být menší než násobek, který by vznikl při přistávání klesací rychlosti:

$$V_{kl} = 0,51 \sqrt{\frac{mg}{S}}$$

Platí podmínka:  $2,13 \text{ m/s} < V_{kl} < 3,05 \text{ m/s}$ .

- (c) Je možno předpokládat, že vztlak křídla nepřesahující 2/3 hmotnosti letounu existuje po celou dobu přistávacího nárazu a působí v těžišti. Násobek pozemního zatížení může být roven násobku setrvačných sil, zmenšenému o výše uvedený poměr předpokládaného vztlaku křídla k hmotnosti letounu.
- (d) Jestliže se provádí zkoušky absorbované energie ke stanovení maximálních provozních násobků odpovídajících požadovaným provozním klesacím rychlostem, musí být tyto zkoušky provedeny podle CS-VLA 725.
- (e) V žádném případě nesmí být násobek zatížení setrvačnými silami použitý pro návrhové účely nižší než 2,67, rovněž tak maximální provozní násobek pro reakce od země při maximální návrhové hmotnosti nesmí být menší než 2,0; pokud takové nižší hodnoty nebudou překročeny při pojíždění rychlostmi do rychlosti vzletu po tak nerovném terénu, jaký lze v provozu očekávat.

### Výpočet klesací rychlosti:

$$V_{kl} = 0,51 \sqrt{\frac{mg}{S}} = 0,51 \sqrt{\frac{600 \cdot 9,81}{11,85}} = 2,41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Je vyhověna podmínka:  $2,13 \text{ m/s} < V_{kl} < 3,05 \text{ m/s}$

### Stanovení násobku zatížení:

Násobek zatížení je stanoven energetickou metodou. Energie spotřebovaná pro stlačení tlumiče musí být rovna součtu kinetické a potenciální energie letounu při přistání.

Kinetická energie letounu při klesání:

$$E_k = \frac{1}{2} m V_{kl}^2 = \frac{1}{2} 600 \cdot 2,41^2 = 1739,05 \text{ J}$$

Potenciální energie letounu (předpoklad, že  $L = 2/3G$ ):

$$E_p = \frac{1}{3} m g h_{stlač} = \frac{1}{3} 600 \cdot 9,81 \cdot 0,162 = 317,84 \text{ J}$$

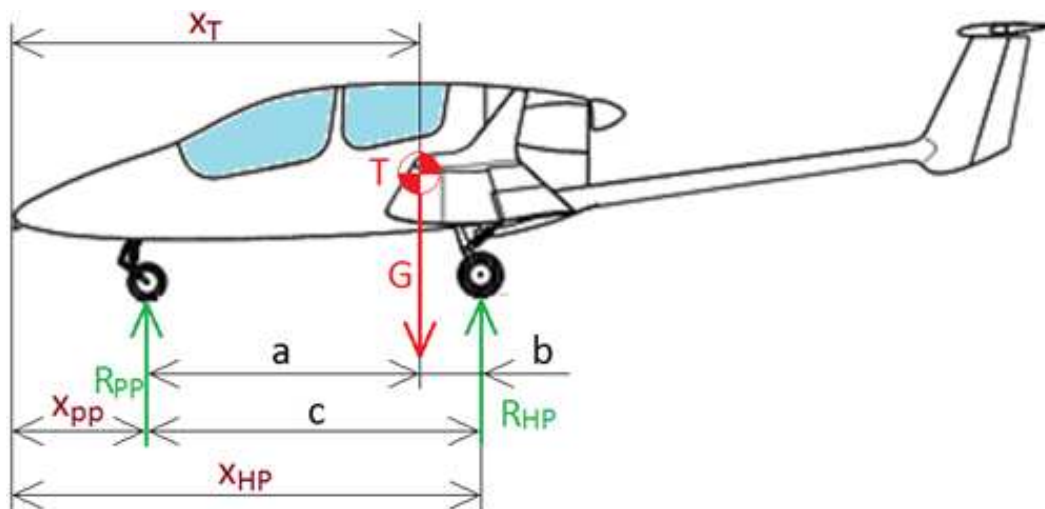
Reakční síla podvozku:

$$F_r = \frac{E_k + E_p}{2 y \eta} = \frac{1739,05 + 317,84}{0,162 \cdot 0,5} = 25393,78 \text{ N}$$

Násobek zatížení od setrvačných sil:

$$(n - n_L) = \frac{F_r}{mg} \Rightarrow n = \frac{F_r}{mg} + n_L = \frac{25393,78}{600 \cdot 9,81} + \frac{2}{3} = 4,98$$

## 11.3. Statické reakce na jednotlivé podvozkové nohy



Obrázek 11.1 - Statické reakce na podvozek

#### Poloha přistávacího zařízení:

Poloha předového podvozku ...  $x_{PP} = 1045 \text{ mm} = 1,045 \text{ m}$

Poloha hlavního podvozku ...  $x_{HP} = 3693 \text{ mm} = 3,693 \text{ m}$

Reakce na jednotlivé podvozkové nohy jsou určeny ze silové a momentové rovnováhy:

$$G = R_{PP} + 2R_{HP}$$

$$a R_{PP} = 2 b R_{HP}$$

Reakce na hlavní podvozek:

$$R_{HP} = \frac{1}{2} G \frac{a}{a+b} = \frac{1}{2} mg \frac{x_T - x_{PP}}{x_{HP} - x_{PP}}$$

Reakce na předový podvozek:

$$R_{PP} = G - 2R_{HP}$$

#### Výpočet statických reakcí na podvozkové nohy:

Konfigurace: maximální hmotnost, přední centráž:

$$R_{HP} = \frac{1}{2} G \frac{a}{a+b} = \frac{1}{2} mg \frac{x_T - x_{PP}}{x_{HP} - x_{PP}} = \frac{1}{2} 600,9,81 \cdot \frac{3,240 - 1,045}{3,693 - 1,043} = 2440 \text{ N}$$

$$R_{PP} = G - 2R_{HP} = 600,9,81 - 2 \cdot 2440 = 1006 \text{ N}$$

Konfigurace: maximální hmotnost, zadní centráž:

$$R_{HP} = \frac{1}{2} G \frac{a}{a+b} = \frac{1}{2} mg \frac{x_T - x_{PP}}{x_{HP} - x_{PP}} = \frac{1}{2} 600,9,81 \cdot \frac{3,442 - 1,045}{3,693 - 1,043} = 2664 \text{ N}$$

$$R_{PP} = G - 2R_{HP} = 600,9,81 - 2 \cdot 2664 = 558 \text{ N}$$

## 11.4. Vodorovné přistání

Znění předpisu CS – VLA:

#### CS-VLA 479 – Vodorovné přistání [18]

(a) Pro vodorovné přistání se předpokládá, že letoun bude v následujících polohách:

- (1) Letouny se záďovými koly, normální poloha vodorovného letu.
- (2) Letouny s předovými koly, polohy ve kterých -
  - (i) Předové a hlavní kola dosedají na zem současně; a
  - (ii) Hlavní kola dosedají na zem, předové kolo je téměř na zemi.

Poloha použitá v pododstavci (a)(2)(i) tohoto odstavce může být použita v analýze požadované v pododstavci (a)(2)(ii) tohoto odstavce.

(b) Složka odporu ne menší než 25 % maximálních svislých reakcí od země (neuvažuje se vztlak) musí být přiměřeně kombinována se svislými reakcemi.

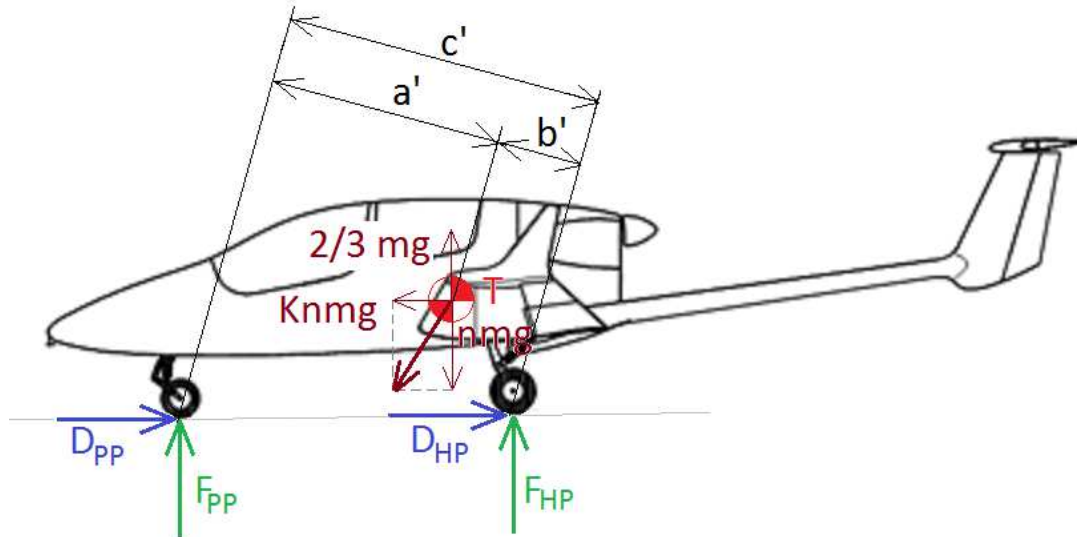
### CS-VLA 479 (a)(2)(i) – Vodorovné přistání se skloněnými reakcemi [18]

Příďové kolo a hlavní kola dosedají na zem současně.

Sklon reakcí plyne z bodu předpisu CS-VLA 479 (b). Poměr svislých a vodorovných reakcí je  $K = 0,25$ .

Pro úhel reakcí tedy platí:

$$\arctg(K) = 14,04^\circ$$



Obrázek 11.2 - Vodorovné přistání se skloněnými reakcemi

Zatížení příďového podvozku:

$$F_{PP} = \left(n - \frac{2}{3}\right) m g \frac{b'}{c'}$$

$$D_{PP} = K n m g \frac{b'}{c'}$$

Zatížení hlavního podvozku:

$$F_{HP} = \left(n - \frac{2}{3}\right) m g \frac{a'}{c'} \frac{1}{2}$$

$$D_{HP} = K n m g \frac{a'}{c'} \frac{1}{2}$$

Konfigurace maximální hmotnost, přední centráž:

- $a' = 1,89 \text{ m}$
- $b' = 0,68 \text{ m}$
- $c' = 2,57 \text{ m}$

$$F_{PP} = \left(n - \frac{2}{3}\right) m g \frac{b'}{c'} = \left(4,98 - \frac{2}{3}\right) \cdot \frac{600 \cdot 9,81 \cdot 0,68}{2,57} = 6717 \text{ N}$$

$$D_{PP} = K n m g \frac{b'}{c'} = 0,25 \cdot 4,98 \cdot 600 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,68}{2,57} = 1939 \text{ N}$$

$$F_{HP} = \left(n - \frac{2}{3}\right) m g \frac{a'}{c'} \frac{1}{2} = \left(4,98 - \frac{2}{3}\right) \cdot 600 \cdot 9,81 \cdot \frac{1,89}{2,57} \cdot \frac{1}{2} = 9335 \text{ N}$$

$$D_{HP} = K n m g \frac{a'}{c'} \frac{1}{2} = 0,25 \cdot 4,98 \cdot 600 \cdot 9,81 \cdot \frac{1,89}{2,57} \cdot \frac{1}{2} = 2695 \text{ N}$$

**Konfigurace maximální hmotnost, zadní centráž:**

- $a' = 2,07 \text{ m}$
- $b' = 0,50 \text{ m}$
- $c' = 2,57 \text{ m}$

$$F_{PP} = \left(n - \frac{2}{3}\right) m g \frac{b'}{c'} = \left(4,98 - \frac{2}{3}\right) \cdot \frac{600 \cdot 9,81 \cdot 0,5}{2,57} = 4939 \text{ N}$$

$$D_{PP} = K n m g \frac{b'}{c'} = 0,25 \cdot 4,98 \cdot 600 \cdot 9,81 \cdot \frac{0,5}{2,57} = 1426 \text{ N}$$

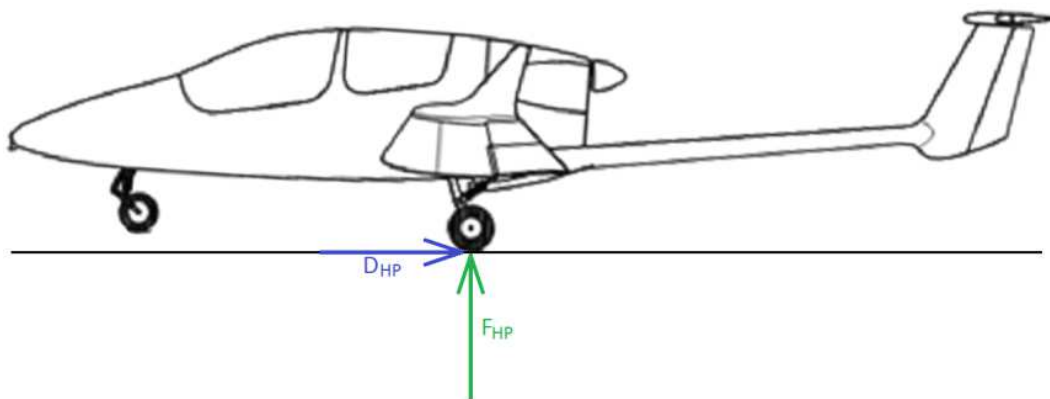
$$F_{HP} = \left(n - \frac{2}{3}\right) m g \frac{a'}{c'} \frac{1}{2} = \left(4,98 - \frac{2}{3}\right) \cdot 600 \cdot 9,81 \cdot \frac{2,07}{2,57} \cdot \frac{1}{2} = 10224 \text{ N}$$

$$D_{HP} = K n m g \frac{a'}{c'} \frac{1}{2} = 0,25 \cdot 4,98 \cdot 600 \cdot 9,81 \cdot \frac{2,07}{2,57} \cdot \frac{1}{2} = 2898 \text{ N}$$

## 11.5. Zatížení při přistání s předním kolem těsně nad zemí

V okamžiku dotknutí se přední kolo nachází těsně nad VPD, zatížení předního podvozku je nulové.

Viz. CS-VLA dodatek C [18].



**Obrázek 11.3 - Zatížení při přistání s předním kolem těsně nad zemí**

**Zatížení hlavního podvozku – jedna podvozková noha:**

$$F_{HP} = \left(n - \frac{2}{3}\right) m g \cdot \frac{1}{2} = \left(4,98 - \frac{2}{3}\right) \cdot 600 \cdot 9,81 \cdot \frac{1}{2} = 12694 \text{ N}$$

$$D_{HP} = K n m g = 0,25 \cdot 4,98 \cdot 600 \cdot 9,81 \cdot \frac{1}{2} = 3664 \text{ N}$$

## 11.6. Zatížení při přistání s velkým úhlem náběhu

*Znění předpisu:*

### CS-VLA 481 Podmínky přistání s velkým úhlem náběhu [18]

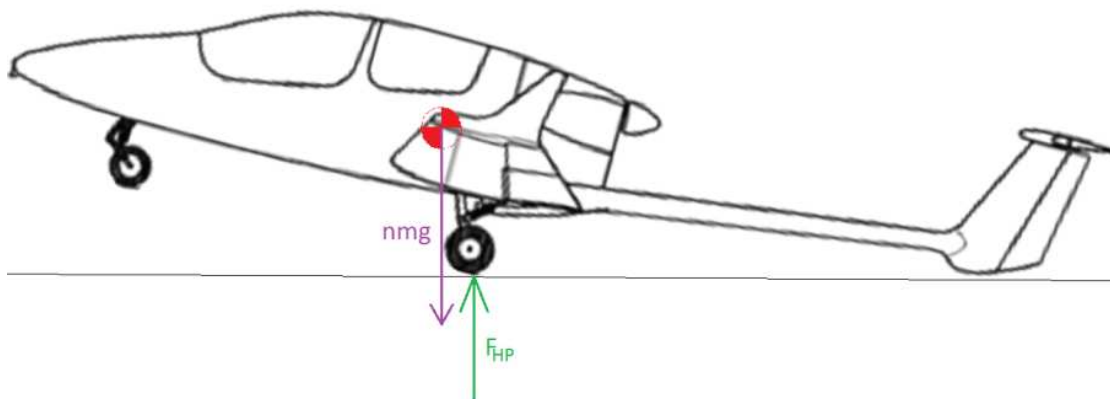
(a) Pro přistání s velkým úhlem náběhu se předpokládá, že letoun bude mít následující polohy:

- (1) Letouny se zádovými koly, poloha, ve které hlavní kola a zádové kolo dosedají na zem současně.
- (2) Letouny s předovými koly, pádová poloha nebo maximální úhel zachovávající určitou světlou výšku kterékoliv části letounu, podle toho, která vzdálenost je menší.

(b) Pro letouny buď se zádovými, nebo s předovými koly se předpokládá, že reakce od země jsou svislé a kola byla urychlena na příslušnou obvodovou rychlost před dosažením maximálního svislého zatížení.

Zatížení předního podvozku je nulové

Viz CS-VLA dodatek C



Obrázek 11.4 - Přistání s velkým úhlem náběhu

**Vertikální složka v těžišti:**

$$F_T = nmg = 4,98 \cdot 600 \cdot 9,81 = 29312 \text{ N}$$

**Zatížení hlavního podvozku pro jednu podvozkovou nohu:**

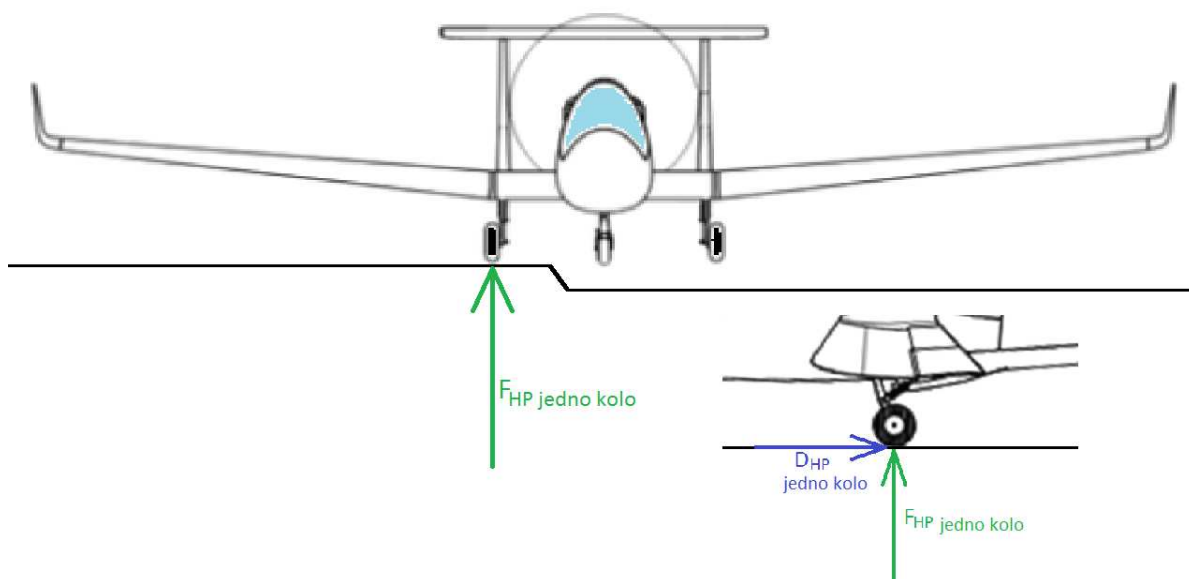
$$F_{HP} = \left(n - \frac{2}{3}\right) \cdot m \cdot g \cdot \frac{1}{2} = \left(4,98 - \frac{2}{3}\right) \cdot 600 \cdot 9,81 \cdot \frac{1}{2} = 12694 \text{ N}$$

## 11.7. Zatížení při přistání na jedno kolo

*Znění předpisu:*

### CS-VLA 483 Podmínky přistání na jedno kolo [18]

Při přistání na jedno kolo se předpokládá, že letoun je ve vodorovné poloze, jedna strana hlavního podvozku je v dotyku se zemí. V této poloze musí být reakce od země stejné, jako reakce získané podle CS-VLA 479.



Obrázek 11.5 - Zatížení při přistání na jedno kolo

**Vertikální složka zatížení podvozku:**

Maximální hmotnost, přední centráž:

$$F_{HP \text{ jedno kolo}} = F_{HP \text{ přední}} = 9335 \text{ N}$$

Maximální hmotnost, zadní centráž:

$$F_{HP \text{ jedno kolo}} = F_{HP \text{ přední}} = 10224 \text{ N}$$

**Odporová složka zatížení podvozku:**

Maximální hmotnost, přední centráž:

$$D_{HP \text{ jedno kolo}} = D_{HP \text{ přední}} = 2695 \text{ N}$$

Maximální hmotnost, zadní centráž:

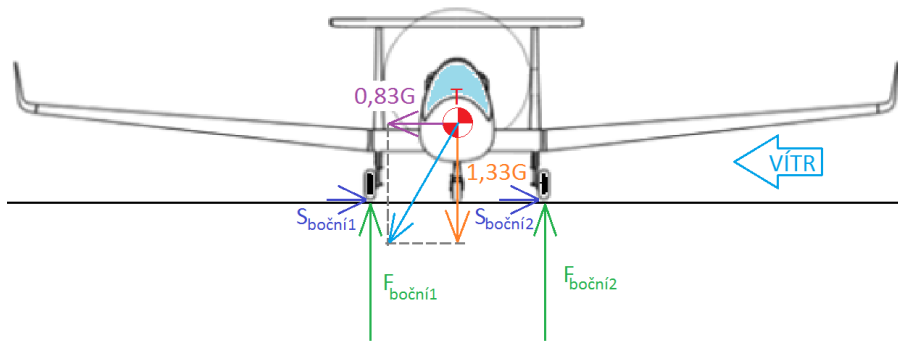
$$D_{HP \text{ jedno kolo}} = D_{HP \text{ přední}} = 2898 \text{ N}$$

## 11.8. Zatížení při přistání s bočním větrem

Znění předpisu CS-VLA:

**CS-VLA 485 Podmínky bočního zatížení [18]**

- (a) Pro boční zatížení se předpokládá, že letoun je ve vodorovné poloze a dotýká se země pouze koly hlavního podvozku, tlumiče a pneumatiky jsou stlačeny staticky.
- (b) Mezní násobek svislého zatížení musí být 1,33 se svislou reakcí od země, rovnoměrně rozdělenou mezi kola hlavního podvozku.
- (c) Mezní násobek bočních setrvačných sil musí být 0,83 s bočními pozemními reakcemi rozdělenými mezi kola hlavního podvozku takto:
  - (1) 0,5 (Mg) působí dovnitř na jedné straně; a
  - (2) 0,33 (Mg) působí vně na straně druhé.



Obrázek 11.6 - Zatížení při přistání s bočním větrem

Vertikální složka zatížení podvozku:

$$F_{boční1} = F_{boční2} = \frac{1,33mg}{2} = \frac{1,33.600.9,81}{2} = 3914 \text{ N}$$

Boční složka zatížení podvozku:

$$S_{boční1} = 0,5mg = 0,5.600.9,81 = 2943 \text{ N}$$

$$S_{boční2} = 0,33mg = 0,33.600.9,81 = 1942 \text{ N}$$

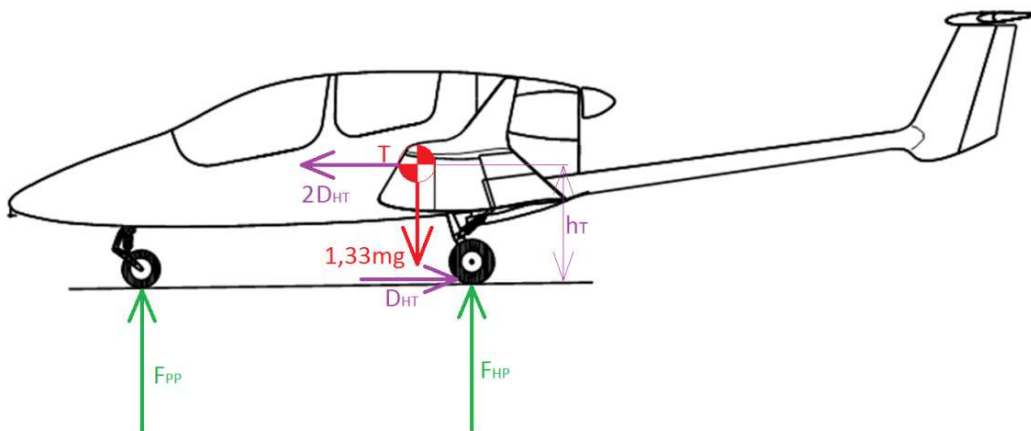
## 11.9. Zatížení při brzdění

Znění předpisu CS-VLA:

### CS-VLA 493 - Podmínky brzdění při pojíždění [18]

Pro podmínky brzdění při pojíždění, kdy jsou tlumiče a pneumatiky stlačeny staticky, platí následující požadavky:

- Provozní násobek svislého zatížení musí být 1,33
- Polohy letounu a dotyky se zemí musí odpovídat CS-VLA 479 pro vodorovná přistání.
- Odporová reakce je rovna svislé reakci na kole násobené součinitelem tření 0,8 a musí být zavedena v době dotyku se zemí do každého kola opatřeného brzdami. Odporová reakce nemusí překročit maximální hodnotu vyplývající z provozního brzdícího momentu.



Obrázek 11.7 - Zatížení při brzdění

Dle CS-VLA 493 (c) platí:

$$D_{HP} = 0,8 F_{HP}$$

Dle obrázku platí momentová rovnováha:

$$F_{PP}(x_{HP} - x_{PP}) = 2D_{HP} h_T + 1,33mg(x_{HP} - x_T)$$

Dále platí následující silová rovnováha:

$$F_{PP} + 2F_{HP} = 1,33mg$$

Po úpravě rovnic lze vyjádřit vertikální reakce na předový a hlavní podvozek:

$$F_{PP} = \frac{1,33mg(0,8h_T + x_{HP} - x_T)}{x_{HP} - x_{PP} + 0,8h_T}$$
$$F_{HP} = \frac{1,33mg - V_{PP}}{2}$$

### Výpočet pro jednotlivé konfigurace

Maximální hmotnost, přední centráž:

$$h_T = 0,9555 \text{ m}$$

$$F_{PP} = \frac{1,33mg(0,8h_T + x_{HP} - x_T)}{x_{HP} - x_{PP} + 0,8h_T} = \frac{1,33.600.9,81(0,8.0,9555 + 3,693 - 3,240)}{3,693 - 1,045 + 0,8.0,9555} = 2792 \text{ N}$$

$$F_{HP} = \frac{1,33mg - V_{PP}}{2} = \frac{1,33.600.9,81 - 2792}{2} = 2518 \text{ N}$$

$$D_{HP} = 0,8 F_{HP} = 0,8.2518 = 2015 \text{ N}$$

Maximální hmotnost, zadní centráž:

$$h_T = 1,0406 \text{ m}$$

$$F_{PP} = \frac{1,33mg(0,8h_T + x_{HP} - x_T)}{x_{HP} - x_{PP} + 0,8h_T} =$$
$$= \frac{1,33.600.9,81(0,8.1,0406 + 3,693 - 3,442)}{3,693 - 1,045 + 0,8.1,0406} = 2437 \text{ N}$$

$$F_{HP} = \frac{1,33mg - V_{PP}}{2} = \frac{1,33.600.9,81 - 2437}{2} = 2695 \text{ N}$$

$$D_{HP} = 0,8 F_{HP} = 0,8.2695 = 2156 \text{ N}$$

## 11.10. Dodatečné podmínky pro příďové podvozky

Znění předpisu:

### CS-VLA 499 – Dodatečné podmínky pro příďové podvozky [18]

Pro určení pozemního zatížení příďových kol a jejich uchycení se předpokládá, že tlumiče a pneumatiky jsou ve statické poloze a musí být splněny tyto podmínky:

- (a) Pro zatížení směrem dozadu musí být tyto složky mezní síly na ose kola -
  - (1) Svislá složka 2,25 krát statické zatížení na kolo; a
  - (2) Odporová složka 0,8 krát svislé zatížení.
- (b) Pro zatížení směrem dopředu musí být tyto složky mezní síly při dotyku se zemí:
  - (1) Svislá složka 2,25 krát statické zatížení na kolo; a
  - (2) Odporová složka 0,4 krát svislé zatížení.
- (c) Pro boční zatížení musí být tyto složky mezní síly při styku se zemí:
  - (1) Svislá složka 2,25 krát statické zatížení na kolo; a
  - (2) Odporová složka 0,7 krát svislé zatížení.

| Konfigurace                                 | Odstavec předpisu |         | (a)      |          | (b)      |          | (c)      |          |
|---------------------------------------------|-------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                             | $m$               | Centráž | $F_{pp}$ | $D_{pp}$ | $F_{pp}$ | $D_{pp}$ | $F_{pp}$ | $S_{pp}$ |
|                                             | [kg]              | [%]     | [N]      | [N]      | [N]      | [N]      | [N]      | [N]      |
| Maximální vzletová hmotnost, přední centráž | 600               | 16,9    | 2264     | 1811     | 2264     | -905     | 2264     | 1585     |
| Maximální vzletová hmotnost, zadní centráž  | 600               | 32,7    | 1256     | 1005     | 1256     | -503     | 1256     | 879      |

Tabulka 11.2 - Dodatečné podmínky pro příďové podvozky

## 11.11. Přehled vypočtených výsledků pozemního zatížení

Použitá zkratka:

PN ... podvozková noha

| Statické reakce na jednotlivé podvozkové nohy |           |                           |
|-----------------------------------------------|-----------|---------------------------|
| $m = 600 \text{ kg}$ ; přední centráž         | Přední PN | $R_{pp} = 1006 \text{ N}$ |
|                                               | Hlavní PN | $R_{Hp} = 2440 \text{ N}$ |
| $m = 600 \text{ kg}$ ; zadní centráž          | Přední PN | $R_{pp} = 558 \text{ N}$  |
|                                               | Hlavní PN | $R_{Hp} = 2664 \text{ N}$ |

Tabulka 11.3 - Statické reakce na jednotlivé podvozkové nohy

| <b>Vodorovné přistání se skloněnými reakcemi</b>           |           |                            |
|------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------|
| <b><math>m = 600 \text{ kg};</math><br/>přední centráž</b> | Přední PN | $F_{PP} = 6717 \text{ N}$  |
|                                                            |           | $D_{PP} = 1939 \text{ N}$  |
|                                                            | Hlavní PN | $F_{HP} = 9335 \text{ N}$  |
|                                                            |           | $D_{HP} = 2495 \text{ N}$  |
| <b><math>m = 600 \text{ kg};</math><br/>zadní centráž</b>  | Přední PN | $F_{PP} = 4939 \text{ N}$  |
|                                                            |           | $D_{PP} = 1426 \text{ N}$  |
|                                                            | Hlavní PN | $F_{HP} = 10224 \text{ N}$ |
|                                                            |           | $D_{HP} = 2898 \text{ N}$  |

Tabulka 11.4 - Vodorovné přistání se skloněnými reakcemi

| <b>Zatížení při přistání s předním kolem těsně nad zemí</b> |                               |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Hlavní PN                                                   | $F_{HP} = 12694 \text{ N}$    |
|                                                             | $D_{HP} = 3664 \text{ N}$     |
| <b>Zatížení při přistání s velkým úhlem náběhu</b>          |                               |
| Hlavní PN                                                   | $F_{HP} = 12694 \text{ N}$    |
| <b>Zatížení při přistání s bočním větrem</b>                |                               |
| Hlavní PN - strana odkud vane vítr                          | $F_{boční1} = 3914 \text{ N}$ |
|                                                             | $S_{boční1} = 2943 \text{ N}$ |
| Hlavní PN - druhá strana                                    | $F_{boční2} = 3914 \text{ N}$ |
|                                                             | $S_{boční2} = 1943 \text{ N}$ |

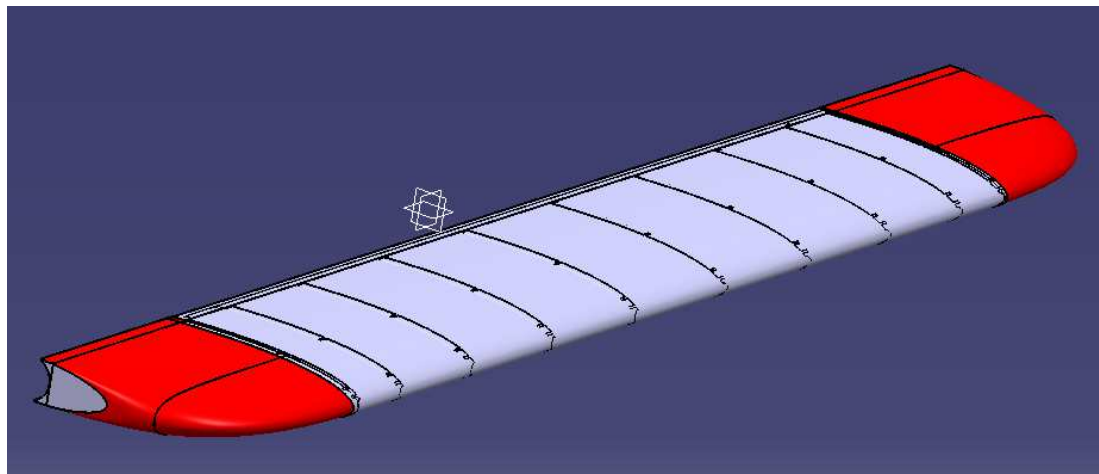
Tabulka 11.5 - Zatížení při přistání s předním kolem těsně nad zemí, s velkým úhlem náběhu, s bočním větrem

| <b>Zatížení při přistání na jedno kolo</b>                 |           |                            |
|------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------|
| <b><math>m = 600 \text{ kg};</math><br/>přední centráž</b> | Hlavní PN | $F_{HP} = 9335 \text{ N}$  |
|                                                            |           | $D_{HP} = 2694 \text{ N}$  |
| <b><math>m = 600 \text{ kg};</math> zadní centráž</b>      | Hlavní PN | $F_{HP} = 10224 \text{ N}$ |
|                                                            |           | $D_{HP} = 2898 \text{ N}$  |

Tabulka 11.6 - Zatížení při přistání na jedno kolo

## 12. Návrh a pevnostní výpočet stabilizátoru

Stabilizátor je navržen jako jedonosníková, jednodutinová tenkostěnná konstrukce s nosníkem, který uzavírá dutinu. Pro stanovení napětí v základních nosných prvcích jedonosníkové konstrukce jsou použity jednoduché vztahy, plynoucí ze stavební mechaniky leteckých konstrukcí.

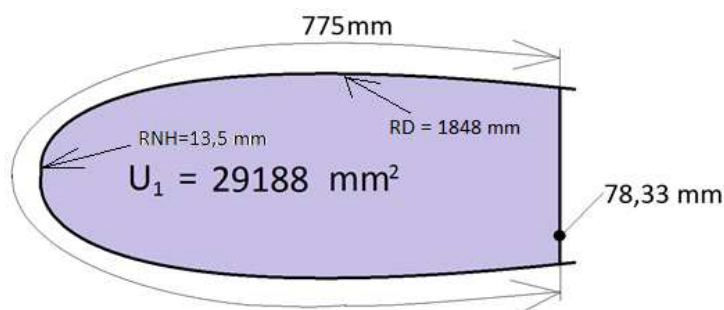


Obrázek 12.1 - Stabilizátor

### 12.1. Vstupní geometrické parametry do pevnostního výpočtu

|                                  |          | Dutina |
|----------------------------------|----------|--------|
| Plocha dutiny                    | $[mm^2]$ | 29188  |
| Délka potahu dutiny              | $[mm]$   | 773    |
| Tloušťka potahu dutiny           | $[mm]$   | 0,4    |
| Poloměr náběžné hrany            | $[mm]$   | 13,5   |
| Největší poloměr dutiny          | $[mm]$   | 1249   |
| Vzdálenost mezi žebry - kritická | $[mm]$   | 255    |

Tabulka 12.1 - Vstupní geometrické parametry pevnostního výpočtu stabilizátoru



Obrázek 12.2 - Geometrické charakteristiky

| Maximální provozní zatížení |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| Posouvající síla $T$        | $T = 650 \text{ N}$    |
| Ohybový moment $M_o$        | $M_o = 165 \text{ Nm}$ |
| Kroutící moment $M_k$       | $M_k = 140 \text{ Nm}$ |

Tabulka 12.2 - Hodnoty maximálního provozního zatížení

Maximální posouvající síla působí v místech závěsů ke kýlům, maximální ohybový moment působí v polorozpětí stabilizátoru, maximální kroutící moment působí opět v místech závěsů ke kýlům.

## 12.2. Pevnostní návrh a kontrola pásnic nosníku

Síly v pásnicích nosníku vyvolané účinkem ohybového momentu:

$$F_h = |F_d| = \frac{M_{o \text{ poč}}}{H_{ef}} [N]$$

$M_{o \text{ poč}}$  ... početní ohybový moment;  $M_{o \text{ poč}} = M_o \cdot 1,5 = 165 \cdot 1,5 = 250 \text{ Nm}$

$H_{ef}$  ... efektivní výška nosníku; pro tento výpočet byla použita zjednodušená forma výpočtu:  $H_{ef} = 0,9 \cdot h = 0,9 \cdot 78 = 70 \text{ mm}$

$$F_h = |F_d| = \frac{M_{o \text{ poč}}}{H_{ef}} = \frac{250000}{70} = 3572 \text{ N}$$

Návrh průřezu pásnic:

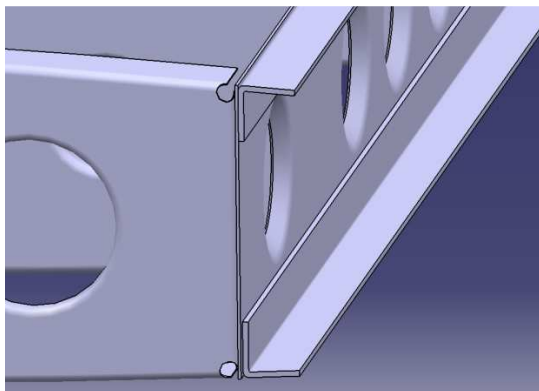
Plocha průřezu pásnic je stanovena na základě dovoleného napětí:

- V tahu (horní pásnice stabilizátoru);  $\sigma_{kr} = 0,9R_m$
- V tlaku (dolní pásnice stabilizátoru); zvoleno  $\sigma_{kr} = 250 \text{ MPa}$  (pro návrh)

$$\text{Napětí v pásnicích: } \sigma = \frac{F}{A_p} [\text{MPa}]$$

$$\text{Vyjádření plochy pásnice: } A_p = \frac{F}{\sigma_{kr}} = \frac{3572}{250} = 14,3 \text{ mm}^2$$

Zvolený profil pásnice:



Obrázek 12.3 - Pásnice nosníku stabilizátoru

Zvolená pásnice typu L; 15x15x1,5;  $A = 43,4 \text{ mm}^2$ ;  $J = 900 \text{ mm}^4$

Průřez pásnice byl zvolen s ohledem na bezproblémovou montáž, přestože vychází prvek jako předimenzovaný.

Součinitel rezervy tažené pásnice:

$$\eta_{taž} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma} = \frac{0,9R_m}{\frac{3572}{43,4}} = \frac{0,9 \cdot 390}{\frac{3572}{43,4}} = 4,26$$

Z důvodů zjednodušení konstrukce, montáže a malých sil do pásnic bude horní i dolní pásnice totožná. U tlačných pásnic je ještě provedena kontrola stability.

Kritické napětí tlačné pásnice (graf 2.6 [20]):  $\frac{b}{s} = 10$

$$\sigma_{kr} = 265 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy tlačné pásnice:  $\eta_{tlač} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma} = \frac{265}{\frac{3572}{43,4}} = 3,22$

#### Závěr a vyhodnocení:

Pásnice byly kontrolovány v místě největšího ohybového momentu, tedy v polovině rozpětí stabilizátoru. Pásnice vychází jako předimenzovaná, avšak profil s menší průřezovou plochou by bylo obtížné nýtovat, proto byl s ohledem na montáž zvolen profil 15x15x1,5.

### 12.3. Pevnostní návrh a kontrola potahu

Pro kontrolu potahu je rozhodující kroutící moment, který je maximální v místech závěsů ke kýlům. Stabilizátor je navrhován jako jednodutinová konstrukce.

K určení smykového napětí v potahu se využívá veličiny konstantní smykový tok  $q_k$ , který je pro uzavřenou dutinu vyjádřen pomocí Bredtova vztahu:

$$q_k = \frac{M_{k\text{ poč}}}{2U} [\text{Nm}^{-1}]$$

$M_{k\text{ poč}}$  ... početní kroutící moment;  $M_{k\text{ poč}} = M_K \cdot 1,5 = 140 \cdot 1,5 = 210 \text{ Nm}$

$U$  ... průřezová plocha dutiny;  $U = 29188 \text{ mm}^2$

$$q_k = \frac{M_{k\text{ poč}}}{2U} = \frac{210000}{2 \cdot 29188} = 3,6 \text{ Nmm}^{-1}$$

#### 12.3.1. Výpočet únosnosti potahu

Dovolené napětí ve smyku:  $\tau_{dov} = \frac{R_m}{2}$

Zvolené kritické napětí ve smyku pro návrh:  $\tau_{kr} = 150 \text{ MPa}$

Výpočet smykového napětí v potahu:  $\tau = \frac{M_K}{2U \cdot t} [\text{MPa}]$

$t$  ... tloušťka potahu (předpokládá se, že tloušťka potahu je konstantní;  $t = 0,4 \text{ mm}$ )

$$\tau = \frac{210000}{2.29188.0,4} = 9 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy únosnosti potahu:  $\eta_{pot} = \frac{\tau_{kr}}{\tau} = \frac{150}{9} = 16,7$

#### **Závěr a vyhodnocení:**

Z výpočtu vyplývá, že s ohledem na únosnost je předimenzovaný. Rozhodující je však stabilita potahu.

#### **12.3.2. Kontrola poloměru náběžné hrany na ztrátu stability**

Kontrola poloměru náběžné hrany je řešena jako kontrola stability válce zatěžovaného smykem.

Poloměr náběžné hrany:  $R_{NH} = 13,5 \text{ mm}$

$$\frac{l}{\sqrt{R_{NH} \cdot t_1}} \cdot \frac{t_1}{R_{NH}} = \frac{255}{\sqrt{13,5.0,4}} \cdot \frac{0,4}{13,5} = 3,25$$

Koeficient  $k_{\tau RNH}$  odečtený z grafu [20]:  $k_{\tau RNH} = 0,72$

Kritické napětí:

$$\tau_{krNH} = k_{\tau RNH} \cdot E \cdot \frac{t_1}{R_{NH}} \cdot \sqrt{\frac{R_{NH} \cdot t_1}{l}} = 0,72.72000 \cdot \frac{0,4}{13,5} \cdot \sqrt{\frac{13,5.0,4}{255}} = 146,63 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:  $\tau_1 = \frac{|q_1|}{t_1} = \frac{3,6}{0,4} = 9 \text{ MPa}$

Součinitel rezervy:  $\eta_{NH} = \frac{\tau_{krNH}}{\tau_1} = \frac{146,6}{9} = 16,3$

#### **Závěr a vyhodnocení:**

Z výpočtu plyne, že náběžná hrana stabilizátoru není náchylná na ztrátu stability.

#### **12.3.3. Kontrola největšího poloměru dutiny na ztrátu stability**

Délka potahu horní části dutiny:  $l_{1PD} = \frac{s}{2} = \frac{775}{2} = 387,5 \text{ mm}$

Délka potahu horní části dutiny bez náběžné hrany:

$$l_{pot1} = l_{1PD} - R_{NH} = 387,5 - 13,5 = 374 \text{ mm}$$

Koeficient kritického smykového napětí odečtený z grafu [20]:

$$\frac{l_{pot1}}{l} = 1,5; k_{\tau PD1} = 35$$

Kritické napětí:

$$\tau_{krPD1} = k_{\tau PD1} \cdot E_1 \cdot \left(\frac{t_1}{l}\right)^2 = 35.72000 \cdot \left(\frac{0,4}{255}\right)^2 = 6,32 \text{ MPa}$$

Vliv zakřivení potahu:

$$\tau_{kr1} = \tau_{krPD1} + 0,1 \cdot E \cdot \frac{t_1}{R_{1D}} = 6,32 + 0,1 \cdot 72000 \cdot \frac{0,4}{1249} = 8,5 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:  $\tau_{1PD} = \frac{|q_1|}{t_1} = 9 \text{ MPa}$

Součinitel rezervy:  $\eta_{1PD} = \frac{\tau_{kr1}}{\tau_{1PD}} = \frac{8,5}{9} = 0,94$

#### Závěr a vyhodnocení:

Z výpočtu vyplývá, že při maximálním krouťícím momentu může pole potahu ztratit stabilitu (může se zvlnit), avšak nijak výrazně, tento stav není nijak nebezpečný. Při horizontálním letu by ke zvlnění dojít nemělo.

### 12.4. Pevnostní návrh a kontrola stojiny

Při výpočtu smykového napětí ve stojině je třeba uvážit, že stojina je namáhána současně jak posouvající silou  $T_y$  a také krouťícím momentem  $M_K$ , neboť je součástí uzavřené dutiny torzní skříně. Pro výpočet smykového napětí ve stojině  $\tau_s$  je nutno využít výsledného smykového toku:

$$q_v = q_k + q_s \text{ [Nmm}^{-1}\text{]}$$

$q_k$  ... smykový tok od krouťícího momentu; určí se za pomoci Bredtova vztahu

$q_s$  ... smykový tok ve stojině od posouvající síly  $T_y$ , je určen ze vztahu:

$$q_s = \frac{T_{y \text{ poč}}}{h_{ef}} \text{ [Nmm}^{-1}\text{]}$$

$T_{y \text{ poč}}$  ... početní hodnota posouvající síly;  $T_{y \text{ poč}} = T \cdot 1,5 = 650 \cdot 1,5 = 975 \text{ N}$

$h_{ef}$  ... efektivní výška nosníku;  $h_{ef} = 70 \text{ mm}$

$$q_s = \frac{T_{y \text{ poč}}}{h_{ef}} = \frac{975}{70} = 13,9 \text{ Nmm}^{-1}$$

$$q_v = q_k + q_s = 3,6 + 13,9 = 17,5 \text{ Nmm}^{-1}$$

#### 12.4.1. Kontrola na ztrátu stability, zvlnění

Koeficient kritického smykového napětí odečtený z grafu [20]:  $k_\tau = 8,05$

Kritické napětí:  $\tau_{kr} = k_\tau \cdot E \cdot \left(\frac{t}{h_{ef}}\right)^2 = 8,05 \cdot 72000 \cdot \left(\frac{0,6}{70}\right)^2 = 42,6 \text{ MPa}$

Smykové napětí ve stojině:  $\tau = \frac{q_v}{t} = \frac{17,5}{0,6} = 29,2 \text{ MPa}$

Součinitele rezervy:  $\eta = \frac{\tau_{kr}}{\tau} = \frac{42,6}{29,2} = 1,46$

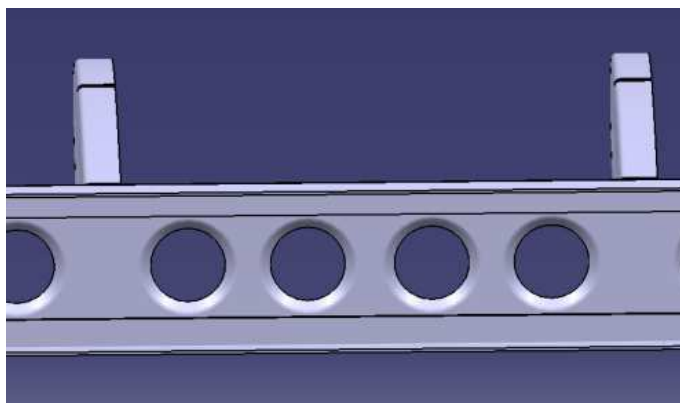
#### Závěr a vyhodnocení:

Z výpočtu plyne, že stojina je stabilní a nedojde k jejímu zvlnění.

#### 12.4.2. Kontrola na únosnost

Únosnost hladké desky odečtená z grafu [20] pro  $t_h = 0,6 \text{ mm}$ :

$$q_{pt} = 45 \text{ Nmm}^{-1}$$



Průměr odlehčovacích otvorů  
stojiny nosníku:  
 $D = 40 \text{ mm}$

Obrázek 12.4 - Stojina s  
odlehčovacími otvory

Smykový tok stojiny s otvorem v zadním nosníku:

$$q_{p1} = q_{pt} \cdot \left( 1 - \left( \frac{D}{h_{ef}} \right) \right) = 45 \cdot \left( 1 - \left( \frac{40}{70} \right) \right) = 19,71 \text{ Nmm}^{-1}$$

Součinitele rezervy:  $\eta_1 = \frac{q_{p1}}{q_{v1}} = \frac{19,3}{17,5} = 1,11$

#### Závěr a vyhodnocení:

Průměr odlehčovacích otvorů ve stojině byl zvolen s ohledem na celkovou únosnost stojiny. Součinitel rezervy pro zvolené parametry vyšel 1,11.

## 12.5. Kontrola nýtových spojů

### 12.5.1. Nýtový spoj pásnice a stojiny nosníků

#### Volba nýtů a rozestup:

Průměr nýtu:  $d_n = 2,6 \text{ mm}$

Únosnost nýtu na střih (tabulka 4.1) [19]:  $F_{nýt} = 1265 \text{ N}$

Rozestup nýtu:  $t_{nýt} = 45 \text{ mm}$

#### Kontrola na únosnost

Smykový tok ve stojině od posouvající síly:  $q = 13,9 \text{ Nmm}^{-1}$

Síla na jeden nýt:  $F_{1nýt} = q \cdot t_{nýt} = 13,9 \cdot 45 = 626 \text{ N}$

Součinitel rezervy:  $\eta_{nýt stojina} = \frac{F_{nýt}}{F_{1nýt}} = \frac{1265}{626} = 2,02$

### 12.5.2. Nýtový spoj pásnice a potahu

#### Volba nýtů a rozestup:

Nýt FABORY: PLUS AL/OC.ZN TRH.NÝT VB 3,0x4 mm (Půlkulatá hlava)

Průměr nýtu:  $d_n = 3 \text{ mm}$

Únosnost nýtu na střih (katalog FABORY):  $F_{nýt} = 1020 \text{ N}$

Rozestup nýtu:  $t_{nýt} = 40 \text{ mm}$

### Kontrola na únosnost

Smykový tok v potahu od kroutícího momentu:  $q = 3,6 \text{ Nmm}^{-1}$

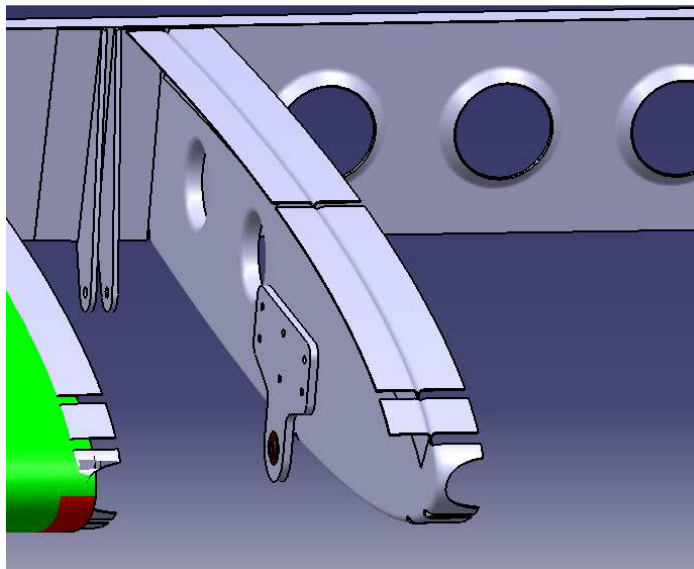
Síla na jeden nýt:  $F_{1nýt} = q \cdot t_{nýt} = 3,6 \cdot 40 = 144 \text{ N}$

Součinitel rezervy:  $\eta_{nýt \text{ potah}} = \frac{F_{nýt}}{F_{1nýt}} = \frac{1020}{144} = 7,03$

### Závěr a vyhodnocení:

Volba nýtů a jejich rozestup byl ověřen pevnostním výpočtem.

## 12.6. Kontrola závěsového žebra



Obrázek 12.5 - Závěsové žebro

### Kontrola na smyk v řezu předního závěsu:

$$\tau = \frac{T_{poč}}{He \cdot s_z} [\text{MPa}]$$

$T$  ... posouvající síla v místě předního závěsu (kritické vyvažovací zatížení);

$T_{poč} = 1,5 \cdot T = 1,5 \cdot 541,7 = 812,5 \text{ N}$

$He$  ... Výška žebra v kritickém řezu;  $He = 74 \text{ mm}$

$s_z$  ... tloušťka žebra;  $s_z = 0,6 \text{ mm}$

$$\tau = \frac{T_{poč}}{He \cdot s_z} = \frac{812,5}{74 \cdot 0,6} = 18,3 \text{ MPa}$$

Kritické smykové napětí:

$$\tau_{kr} = k_{\tau} \cdot E \cdot \left( \frac{t}{h_{ef}} \right)^2 = 8,25 \cdot 72000 \cdot \left( \frac{0,6}{70} \right)^2 = 39,1 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy:

$$\eta_{\text{žebro}} = \frac{\tau_{kr}}{\tau} = \frac{39,1}{18,3} = 2,13$$

**Kontrola lemu žebra:**

Síla do lemu žebra od kroutícího momentu:

$$N_{lem} = \frac{M_k}{He} = \frac{140000}{74} = 1892 \text{ N}$$

Napětí v lemu žebra:

$$\sigma_{lem} = \frac{N_{lem}}{b \cdot s_z} = \frac{1892}{35,0,6} = 90 \text{ MPa}$$

$b$  ... šířka lemu ; závěsové žebro je zesíleno druhým lemem ( $19+16 = 35 \text{ mm}$ )

Kritické tlakové napětí v lemu (Graf 2.6) [20]:  $\sigma_{krLEM} = 190 \text{ MPa}$

Součinitel rezervy:

$$\eta_{LEM} = \frac{\sigma_{krLEM}}{\sigma_{lem}} = \frac{190}{90} = 2,1$$

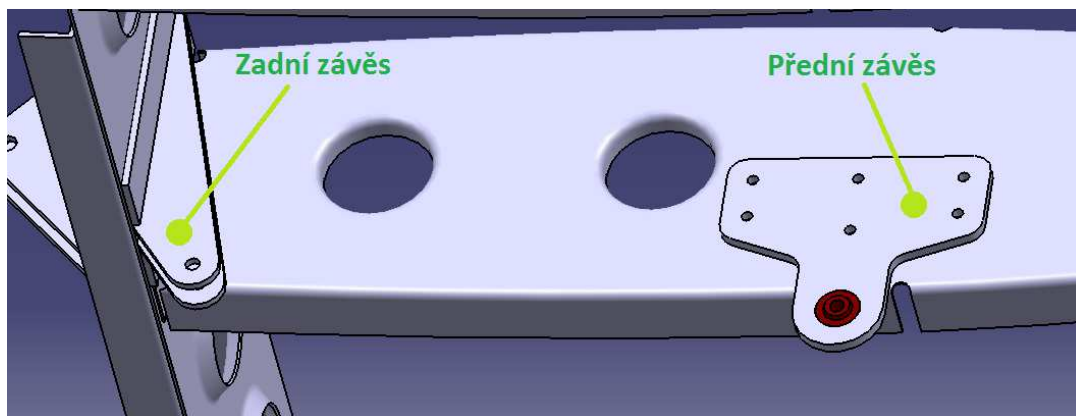
**Závěr a vyhodnocení:**

Jako kritické bylo vybráno závěsové žebro. Byla provedena kontrola na smyk stojiny žebra, dále byl zkontrolován lem žebra. Pro obě hodnoty vyšel součinitel rezervy  $>1$ . Konstrukční prvek vyhovuje.

## 12.7. Návrh a kontrola závěsů stabilizátoru

### 12.7.1. Zatížení kýlových závěsů

Stabilizátor je uchycen ke kýlům na čtyřbodovém závěsu. Síly působící na zadní závěsy lze určit z průběhu posouvající síly manévrovacího případu zatížení podle dodatku B, obr. B7. Pro přední závěsy je rozhodující vyvažovací zatížení dle dodatku B, obr. B6 předpisu CS-VLA.



Obrázek 12.6 - Kýlové závěsy stabilizátoru

### Přední závěsy:

Posouvající síla v řezu závěsu – vyvažovací případ (viz průběhy zatížení na stabilizátoru):

$$F_{vyvaž} = 995,4 \text{ N}$$

Síla přepočtená k přednímu závěsu:

$$F_{ZávPřed} = 995,4 \cdot \frac{0,15,3 + 0,45,2}{0,15,3 + 0,45,2 + 0,4,1} = 770 \text{ N}$$

### Zadní závěsy:

Posouvající síla v řezu závěsu – manévrovací případ (viz průběhy zatížení na stabilizátoru):

$$F_{manévr} = 626,6 \text{ N}$$

Síla přepočtená k zadnímu závěsu:

$$F_{ZávZAD} = \frac{626,6 \cdot 3}{2} = 939,9 \text{ N}$$

$F_{manévr}$  ... Hodnota manévrovacího zatížení

### Početní zatížení závěsů:

Pro závěsy byl zvolen součinitel bezpečnosti **6,67**.

| Zatížení závěsů |                  |                 |
|-----------------|------------------|-----------------|
| Závěsy          | Provozní hodnota | Početní hodnota |
| Přední          | 770 N            | 5005 N          |
| Zadní           | 940 N            | 6110 N          |

Tabulka 12.3 - Souhrn zatížení závěsů

## 12.7.2. Návrh kýlových závěsů a výběr kloubových ložisek

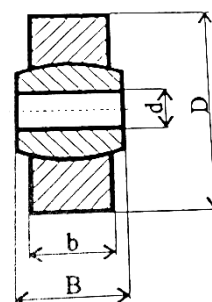
### Pevnostní kontrola kloubových ložisek:

Spojení stabilizátoru a kýlů musí dovolovat určitou deformaci, proto byla vybrána kloubová ložiska.

Pro přední závěsy jsou vybrány kloubová ložiska, zadní závěsy jsou typu vidlice.

| $d$ [mm] | $D$ [mm] | $b$ [mm] | $B$ [mm] | Radiální únosnost $P_r$ (nepohyblivé spoje) [N] |
|----------|----------|----------|----------|-------------------------------------------------|
| 4        | 12       | 3        | 5        | 21600                                           |

Tabulka 12.4 - Výběr kloubových ložisek [20]



Radiální únosnost platí pro výběr oka (vnější rozměr)  $3xD$  a  $R_m = 900 \text{ MPa}$ , pro zmenšení oka a jiný materiál se tato únosnost musí snížit.

Zvolený vnější průměr oka: 25 mm, materiál:  $R_m = 400 \text{ MPa}$

Snižující koeficient: 0,52 (viz tab 4.5 [20])

Radiální únosnost kloubového ložiska:  $Pr = 0,52 \cdot 21600 = 11232 \text{ N}$

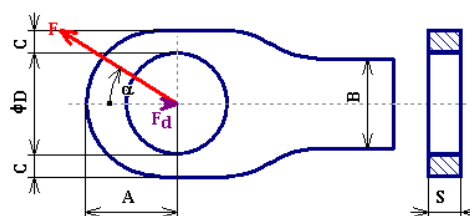
Součinitele rezervy kloubových ložisek:

$$\text{Přední závěs: } \eta_{\text{přední}} = \frac{Pr}{F_{\text{ZávPřed}}} = \frac{11232}{5005} = 2,24$$

### Kontrola ok závěsů:

Kontrola ok závěsů připojujících stabilizátor ke kýlům byla provedena pomocí softwaru *MiniStatik*:

| Vstupní hodnoty do programu MiniStatik |              |      |             |      |
|----------------------------------------|--------------|------|-------------|------|
| Vstupní hodnoty                        | Přední závěs |      | Zadní závěs |      |
| Mez pevnosti materiálu                 | 390          |      | [MPa]       |      |
| Mez kluzu materiálu                    | 255          |      | [MPa]       |      |
| Tahová síla                            | 5005         | [N]  | 3055        | [N]  |
| Tlaková síla                           | 5005         | [N]  | 3055        | [N]  |
| Úhel $\alpha$                          | 0            | [°]  | 25          | [°]  |
| D                                      | 14           | [mm] | 4           | [mm] |
| C                                      | 5,5          | [mm] | 5           | [mm] |
| A                                      | 12           | [mm] | 14          | [mm] |
| B                                      | 25           | [mm] | 14          | [mm] |
| S                                      | 3            | [mm] | 3           | [mm] |
| Vliv nepřesnosti výroby                | 1            | [-]  | 1           | [-]  |
| Vliv druhu zatížení                    | 1            | [-]  | 1           | [-]  |



Obrázek 12.7 - Ilustrace oka z programu MiniStatik

Tabulka 12.5 - Vstupní hodnoty pro kontrolu ok

| Součinitele bezpečnosti s ohledem na deformaci kontrolovaného prvku |                                                    |                                                  |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Charakter pevnostní kontroly                                        | Kontrola oka předního závěsu stabilizátoru ke kýlu | Kontrola ok zadních závěsů stabilizátoru ke kýlu |
| Utržení oka                                                         | 1,31                                               | 1,98                                             |
| Roztržení oka a vysmeknutí čepu                                     | 1,13                                               | 1,42                                             |
| Otlačení oka                                                        | 2,59                                               | 1,49                                             |

Tabulka 12.6 - Výsledné součinitele bezpečnosti pro kontrolu ok závěsu stabilizátoru ke kýlům

### Závěr a vyhodnocení:

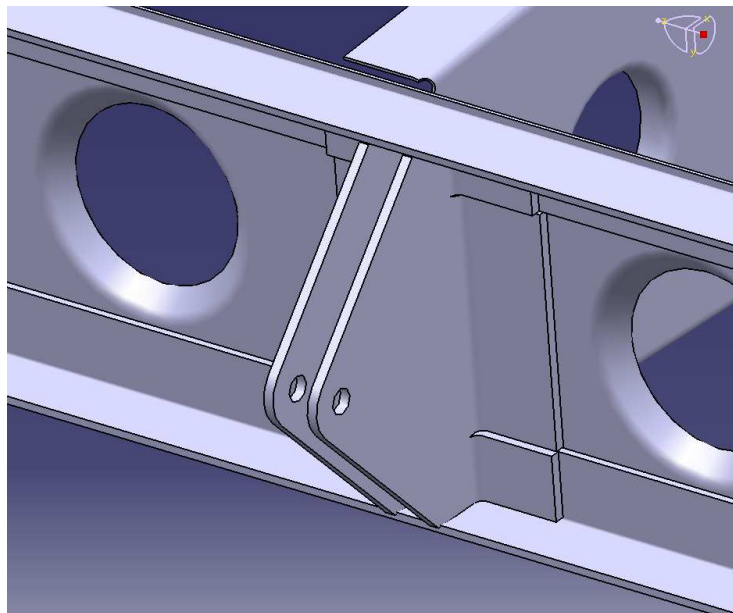
Kloubová ložiska závěsů byla zkontrolována na únosnost a oka závěsů byla zkontrolována na utržení, roztržení a otlačení. Pro všechny prvky je faktor rezervy  $> 1$ . Prvky vyhovují.

### 12.7.3. Návrh a kontrola závěsů výškového kormidla

Závěsy k výškovému kormidlu jsou vyrobeny ze dvou duralových ohýbaných plechů tloušťky  $t = 2 \text{ mm}$  (viz obrázek níže).

Početní síla v závěsu výškového kormidla:  $F_{ZávVK} = 611,6,67 = 4070 \text{ N}$

Početní síla do jednoho oka:  $F_{oko} = \frac{F_{ZávVK}}{2} = 2035 \text{ N}$



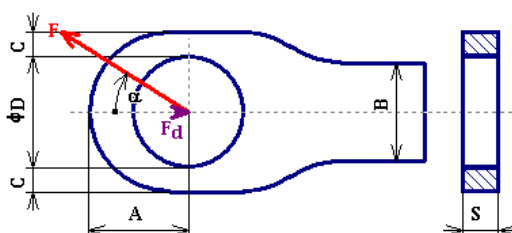
Obrázek 12.8 - Závěs VK

Oka závěsu byly zkontrolovány s pomocí programu *MiniStatik*:

Zvolený materiál: 424201.61

Vstupní hodnoty do programu *MiniStatik*:

| Vstupní hodnoty         |      |       |
|-------------------------|------|-------|
| Mez pevnosti materiálu  | 390  | [MPa] |
| Mez kluzu materiálu     | 255  | [MPa] |
| Tahová síla             | 2035 | [N]   |
| Tlaková síla            | 2035 | [N]   |
| Úhel $\alpha$           | 90   | [°]   |
| D                       | 5    | [mm]  |
| C                       | 10   | [mm]  |
| A                       | 7,5  | [mm]  |
| B                       | 25   | [mm]  |
| S                       | 2    | [mm]  |
| Vliv nepřesnosti výroby | 1    | [-]   |
| Vliv druhu zatížení     | 1    | [-]   |



Obrázek 12.9 - Ilustrace závěsu v Programu MS

Tabulka 12.7 - Vstupní hodnoty do výpočtu závěsů k VK

Výsledné hodnoty součinitelů bezpečnosti pro oko závěsu VK (s ohledem na deformaci kontrolovaného prvku):

| Charakter pevnostní kontroly    | Kontrola oka závěsu VK |
|---------------------------------|------------------------|
| Utržení oka                     | 3,66                   |
| Roztržení oka a vysmeknutí čepu | 1,36                   |
| Otlačení oka                    | 1,63                   |

Tabulka 12.8 - Součinitele bezpečnosti pro závěsy stabilizátoru k VK

#### Závěr a vyhodnocení:

Závěsy výškového kormidla byly zkontrolovány na utržení, roztržení oka a vysmeknutí čepu a na otlačení oka. Pro všechny případy vyšel koeficient rezervy > 1. Prvek vyhovuje.

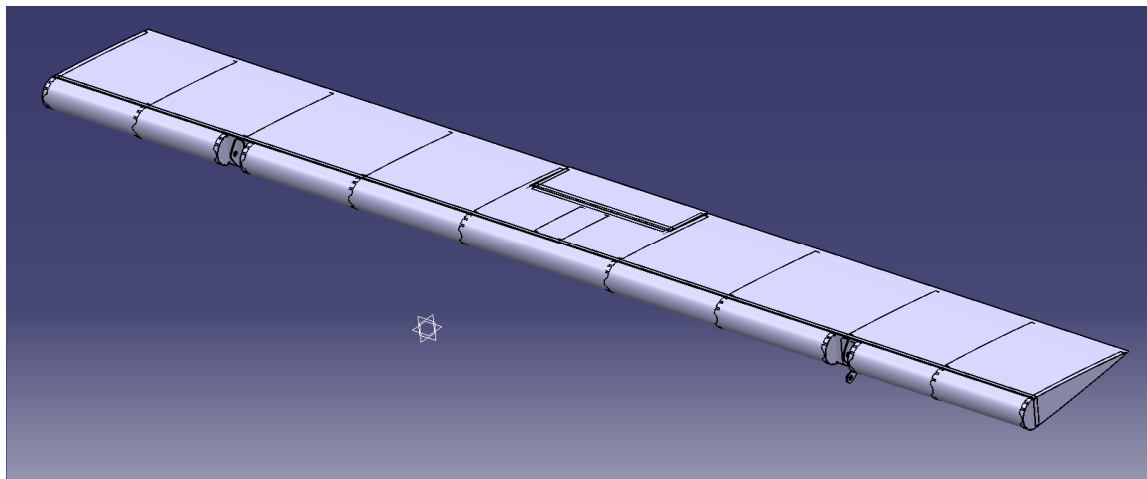
### 12.8. Přehled vypočtených součinitelů rezervy konstrukčních prvků stabilizátoru

| Přehled součinitelů rezervy - stabilizátor |                                               |                    |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------|
| Konstrukční prvek                          |                                               | Součinitel rezervy |
|                                            |                                               | $\eta$ [-]         |
| Pásnice nosníku                            | Tažené                                        | 4,26               |
|                                            | Tlačené                                       | 3,22               |
| Potah                                      | Únosnost                                      | 16,7               |
|                                            | Ztráta stability na náběžné hraně             | 16,3               |
|                                            | Ztráta stability největší poloměru dutiny     | 0,94               |
| Stojina                                    | Ztráta stability, zvlnění                     | 1,46               |
|                                            | Únosnost                                      | 1,11               |
| Závěsové žebro                             | Kontrola na smyk                              | 2,13               |
|                                            | Kontrola lemu                                 | 2,1                |
| Nýtové spoje                               | Spoj pásnice a stojiny (plný nýt $\phi 2,6$ ) | 2,02               |
|                                            | Pásnice a potah (nýt FABORY $\phi 3$ )        | 7,03               |
| Přední závěs                               | Kloubové ložisko přední závěs                 | 2,24               |
|                                            | Utržení oka předního závěsu                   | 1,23               |
|                                            | Roztržení oka a vysmeknutí čepu               | 1,15               |
|                                            | Otlačení oka                                  | 2,29               |
| Zadní závěs - vidlička                     | Utržení oka předního závěsu                   | 4,12               |
|                                            | Roztržení oka a vysmeknutí čepu               | 1,65               |
|                                            | Otlačení oka                                  | 1,72               |
| Závěs VK                                   | Utržení oka                                   | 3,66               |
|                                            | Roztržení oka a vysmeknutí čepu               | 1,36               |
|                                            | Otlačení oka                                  | 1,63               |

Tabulka 12.9 - Přehled součinitelů rezervy pro stabilizátor

## 13. Návrh a pevnostní výpočet výškového kormidla

Výškové kormidlo je navrženo jako celokovová tenkostěnná jednonosníková konstrukce.

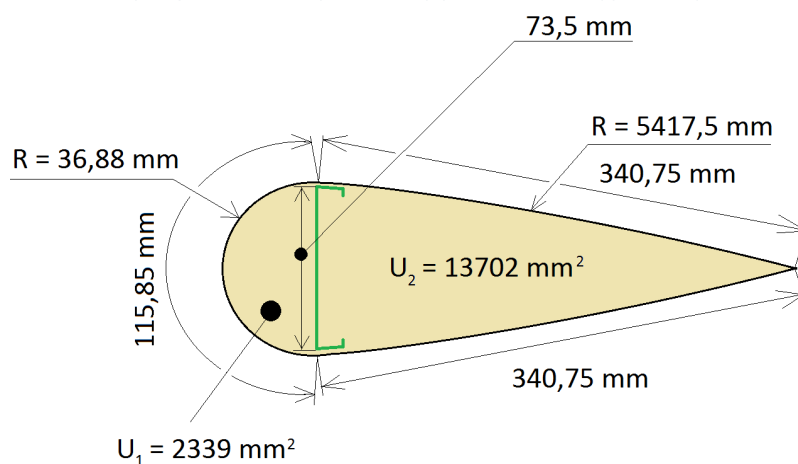


Obrázek 13.1 - Výškové kormidlo

### 13.1. Vstupní geometrické parametry pro pevnostní výpočet

|                                  |                    | Dutina |
|----------------------------------|--------------------|--------|
| Plocha přední dutiny             | [mm <sup>2</sup> ] | 2339   |
| Plocha zadní dutiny              | [mm <sup>2</sup> ] | 13702  |
| Délka potahu přední dutiny       | [mm]               | 115,85 |
| Tloušťka potahu dutiny           | [mm]               | 0,4    |
| Poloměr náběžné hrany            | [mm]               | 13,5   |
| Největší poloměr dutiny          | [mm]               | 1249   |
| Vzdálenost mezi žebry - kritická | [mm]               | 225    |

Tabulka 13.2 - Vstupní geometrické parametry pevnostního výpočtu výškového kormidla



Obrázek 13.3 - Geometrické charakteristiky průřezu výškového kormidla

| Maximální provozní zatížení |                       |
|-----------------------------|-----------------------|
| Posouvající síla $T$        | $T = 375 \text{ N}$   |
| Ohybový moment $M_o$        | $M_o = 95 \text{ Nm}$ |
| Kroutící moment $M_k$       | $M_k = 89 \text{ Nm}$ |

**Tabulka 13.1 - Hodnoty maximálního provozního zatížení**

Maximální posouvající síla působí v místech závěsů ke stabilizátoru, maximální ohybový moment působí v polorozpětí výškového kormidla, maximální kroutící moment působí v místě zavedení páky řízení.

## 13.2. Pevnostní návrh a kontrola pásnic nosníku

Nosník výškového kormidla je navržen z ohýbaného plechu tloušťky  $t = 0,6 \text{ mm}$ . Je odlehčen otvory, které jsou lemovány. Stojina a pásnice nosníku jsou zkontrolovány pevnostním výpočtem.

Síly v pásnicích nosníku vyvolané účinkem ohybového momentu:

$$F_h = |F_d| = \frac{M_{o \text{ poč}}}{H_{ef}} [N]$$

$M_{o \text{ poč}}$  ... početní ohybový moment;  $M_{o \text{ poč}} = M_o \cdot 1,5 = 95 \cdot 1,5 = 143 \text{ Nm}$

$H_{ef}$  ... efektivní výška nosníku;  $H_{ef} = 0,973,5 = 66 \text{ mm}$

$$F_h = |F_d| = \frac{M_{o \text{ poč}}}{H_{ef}} = \frac{143000}{66} = 2167 \text{ N}$$

### Návrh průřezu pásnic:

Plocha průřezu pásnic je stanovena na základě dovoleného napětí:

- V tahu (horní pásnice stabilizátoru);  $\sigma_{kr} = 0,9R_m$
- V tlaku (horní pásnice stabilizátoru); zvoleno  $\sigma_{kr} = 250 \text{ MPa}$  (pro první návrh)

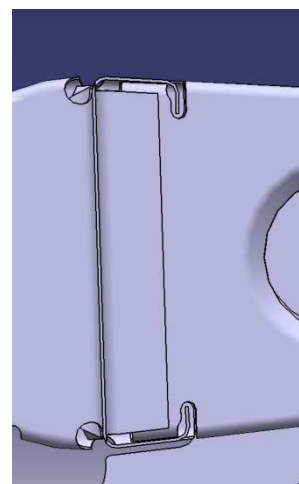
Napětí v pásnicích:  $\sigma = \frac{F}{A_p} [\text{MPa}]$

Vyjádření plochy pásnice (návrhová):

$$A_p = \frac{F}{\sigma_{kr}} = \frac{2167}{250} = 8,7 \text{ mm}^2$$

### Zvolený profil:

Kvůli malému zatížení výškového kormidla byl zvolen nosník z ohýbaného plechu tloušťky  $0,6 \text{ mm}$ . Kontrola na taženou část nosníku pozbývá významu. Pro tlačnou část je provedena kontrola stability.



**Obrázek 13.4 - Zvolený profil nosníku VK**

#### Lokální stabilita profilů při tlaku:

Deska č. 1:  $\frac{b}{s} = \frac{6,5}{0,6} = 10,83$

Graf (2.6) [20]:  $\sigma_{kr} = 260 \text{ MPa}$

Deska č. 2:  $\frac{b}{s} = \frac{17}{0,6} = 28,3$

Graf (2.6) [20]:  $\sigma_{kr} = 260 \text{ MPa}$

Plocha průřezu části nosníku přenášející ohybový moment:

$$A_p = (17 + 2.6)0,6 = 17,4 \text{ mm}^2$$

Součinitel rezervy tlačené pásnice:

$$\eta_{tlač} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma} = \frac{260}{\frac{2167}{17,4}} = 2,09$$

#### Závěr a vyhodnocení:

Rozhodující profil byl zvolen s ohledem na jednoduchost výroby. Součinitel rezervy tlačené části profilu byl vypočten výše a jeho hodnota je 2,09. Prvek vyhovuje.

### 13.3. Pevnostní návrh a kontrola potahu

Potah je z plechu tloušťky  $t = 0,5 \text{ mm}$ , je dělený na spodní a horní část.

K určení smykového napětí v potahu se využívá veličiny konstantní smykový tok  $q_k$ , který je pro uzavřenou dutinu vyjádřen pomocí Bredtova vztahu:

$$q_k = \frac{M_{k\text{ poč}}}{2U} [\text{Nm}^{-1}]$$

$M_{k\text{ poč}}$  ... početní kroutící moment;  $M_{k\text{ poč}} = M_K \cdot 1,5 = 89.1,5 = 133,5 \text{ Nm}$

$U$  ... plocha dutiny;  $U = 13702 \text{ mm}^2$  (Je vybrána plocha zadní dutiny VK, protože v místě největšího kroutícího momentu je přední dutina přerušena.)

$$q_k = \frac{133500}{2 \cdot 13702} = 4,9 \text{ Nmm}^{-1}$$

#### 13.3.1. Výpočet únosnosti potahu

Dovolené napětí ve smyku:  $\tau = \frac{R_m}{2}$

Zvolené kritické napětí ve smyku:  $\tau_{kr} = 150 \text{ MPa}$

Výpočet smykového napětí v potahu:

$$\tau = \frac{M_K}{2U \cdot t} [\text{MPa}]$$

$t$  ... tloušťka potahu (předpokládá se, že tloušťka potahu je konstantní;  $t = 0,4 \text{ mm}$ )

$$\tau = \frac{133500}{2 \cdot 13702 \cdot 0,4} = 12,18 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy únosnosti potahu:

$$\eta_{pot} = \frac{\tau_{kr}}{\tau} = \frac{150}{12,18} = 12,3$$

### 13.3.2. Kontrola poloměru náběžné hrany na ztrátu stability

Kontrola poloměru náběžné hrany je řešena jako kontrola válce zatěžovaného smykem. Při kontrole náběžné hrany není přerušení vzato v úvahu.

$$R_{NH} = 36,9 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{\sqrt{R_{NH} \cdot t_1}} \cdot \frac{t_1}{R_{NH}} = \frac{225}{\sqrt{36,9 \cdot 0,4}} \cdot \frac{0,4}{36,9} = 0,634$$

Koeficient  $k_{\tau RNH}$  odečtený z grafu (3.2) [20]:  $k_{\tau RNH} = 0,74$

Kritické napětí:

$$\tau_{krNH} = k_{\tau RNH} \cdot E \cdot \frac{t_1}{R_{NH}} \cdot \sqrt{\frac{R_{NH} \cdot t_1}{l}} = 0,74 \cdot 72000 \cdot \frac{0,4}{36,9} \cdot \sqrt{\frac{36,9 \cdot 0,4}{225}} = 75,5 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau = \frac{133500}{2.16041 \cdot 0,4} = 10,4 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy:

$$\eta_{NH} = \frac{\tau_{krNH}}{\tau_1} = \frac{75,5}{10,4} = 7,26$$

### Závěr a vyhodnocení:

Podobně jako náběžná hrana stabilizátoru vychází náběžná hrana výškového kormidla jako předimenzovaná.

### 13.3.3. Kontrola největšího poloměru dutiny na ztrátu stability

Kontrola největšího poloměru dutiny je řešena jako kontrola stability zakřivené desky zatížené smykem.

$$\text{Délka potahu horní části dutiny: } l_{1HD} = 340,75 \text{ mm}$$

Koeficient kritického smykového napětí odečtený z grafu [20]:  $k_{\tau HD} = 40$

Kritické napětí:

$$\tau_{krPD1} = k_{\tau PD1} \cdot E_1 \cdot \left(\frac{t_1}{l}\right)^2 = 40 \cdot 72000 \cdot \left(\frac{0,4}{341}\right)^2 = 9,1 \text{ MPa}$$

Vliv zakřivení potahu:

$$\tau_{kr1} = \tau_{krPD1} + 0,1 \cdot E \cdot \frac{t_1}{R_{1D}} = 9,1 + 0,1 \cdot 72000 \cdot \frac{0,4}{5417,5} = 9,63 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_{1HD} = \frac{|q_k|}{t_1} = 12,25 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy:

$$\eta_{1PD} = \frac{\tau_{kr1}}{\tau_{1PD}} = \frac{9,63}{12,25} = 0,79$$

#### Závěr a vyhodnocení:

Podobně jako u stabilizátoru je největší poloměr dutiny citlivý na ztrátu stability, avšak při horizontálním letu by ke ztrátě stability dojít nemělo.

### 13.4. Pevnostní návrh a kontrola stojiny

Při výpočtu smykového napětí ve stojině je třeba uvážit, že stojina je namáhána současně jak posouvající silou  $T_y$  a také kroutícím momentem  $M_K$ , neboť je součástí uzavřené dutiny torzní skříně. Pro výpočet smykového napětí ve stojině  $\tau_s$  je nutno využít výsledného smykového toku:

$$q_v = q_k + q_s \text{ [Nmm}^{-1}\text{]}$$

$q_k$  ... smykový tok od kroutícího momentu; určí se za pomoci Bredtova vztahu

$q_s$  ... smykový tok ve stojině od posouvající síly  $T_y$ , je určen ze vztahu:

$$q_s = \frac{T_{y \text{ poč}}}{h_{ef}} \text{ [Nmm}^{-1}\text{]}$$

$T_{y \text{ poč}}$  ... početní hodnota posouvající síly;  $T_{y \text{ poč}} = T \cdot 1,5 = 375,15 = 562,5 \text{ N}$

$h_{ef}$  ... efektivní výška nosníku;  $h_{ef} = 66,15 \text{ mm}$

$$q_s = \frac{T_{y \text{ poč}}}{h_{ef}} = \frac{562,5}{66,15} = 8,5 \text{ Nmm}^{-1}$$

$$q_v = q_k + q_s = 4,9 + 8,5 = 13,4 \text{ Nmm}^{-1}$$

#### 13.4.1. Kontrola stojiny na ztrátu stability, zvlnění

Koeficient kritického smykového napětí odečtený z grafu [20]:  $k_\tau = 8,06$

Kritické napětí:

$$\tau_{kr} = k_\tau \cdot E \cdot \left( \frac{t}{h_{ef}} \right)^2 = 8,06 \cdot 72000 \cdot \left( \frac{0,6}{66,15} \right)^2 = 47,74 \text{ MPa}$$

Smykové napětí ve stojině:

$$\tau = \frac{q_v}{t} = \frac{13,4}{0,6} = 22,3 \text{ MPa}$$

Součinitele rezervy:

$$\eta = \frac{\tau_{kr}}{\tau} = \frac{47,7}{22,3} = 2,14$$

#### Závěr a vyhodnocení:

Stojina je navržena tak, že nedojde k jejímu zvlnění. Součinitel rezervy je 2,14.

### 13.4.2. Kontrola stojiny na únosnost

Únosnost hladké desky odečtená z grafu [20] pro  $t_h = 0,6 \text{ mm}$ :

$$q_{pt} = 52 \text{ Nmm}^{-1}$$

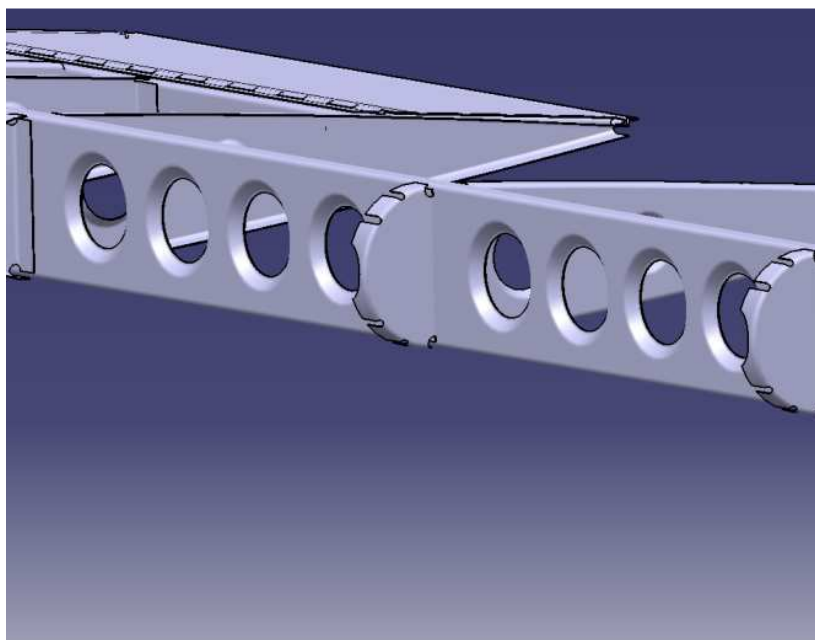
Průměr odlehčovacího otvoru nosníku:  $D = 38 \text{ mm}$

Smykový tok stojiny s otvorem v zadním nosníku:

$$q_{p1} = q_{pt} \cdot \left(1 - \left(\frac{D}{h_{ef}}\right)\right) = 52 \cdot \left(1 - \left(\frac{38}{66,15}\right)\right) = 22,13 \text{ Nmm}^{-1}$$

Součinitele rezervy:

$$\eta_1 = \frac{q_{p1}}{q_{v1}} = \frac{22,13}{13,4} = 1,65$$



Obrázek 13.5 - Odlehčovací otvory ve stojině

#### Závěr a vyhodnocení:

Z výpočtu vyplývá, že stojina má dostatečnou únosnost a při daném průměru odlehčovacích otvorů faktor rezervy dosahuje hodnoty 1,65.

## 13.5. Kontrola nýtových spojů

### 13.5.1. Nýtový spoj pásnice a potahu

#### **Volba nýtů a rozestup:**

Nýt FABORY: PLUS AL/OC.ZN TRH.NÝT VB 3,0x4 mm (Půlkulatá hlava)

Průměr nýtu:  $d_n = 3 \text{ mm}$

Únosnost nýtu na střih (katalog FABORY):  $F_{nýt} = 1020 \text{ N}$

Rozestup nýtu:  $t_{nýt} = 40 \text{ mm}$

### Kontrola na únosnost

Smykový tok v potahu od kroutícího momentu:  $q = 4,9 \text{ Nmm}^{-1}$

Síla na jeden nýt:  $F_{1nýt} = q \cdot t_{nýt} = 4,9 \cdot 40 = 196 \text{ N}$

Součinitel rezervy:

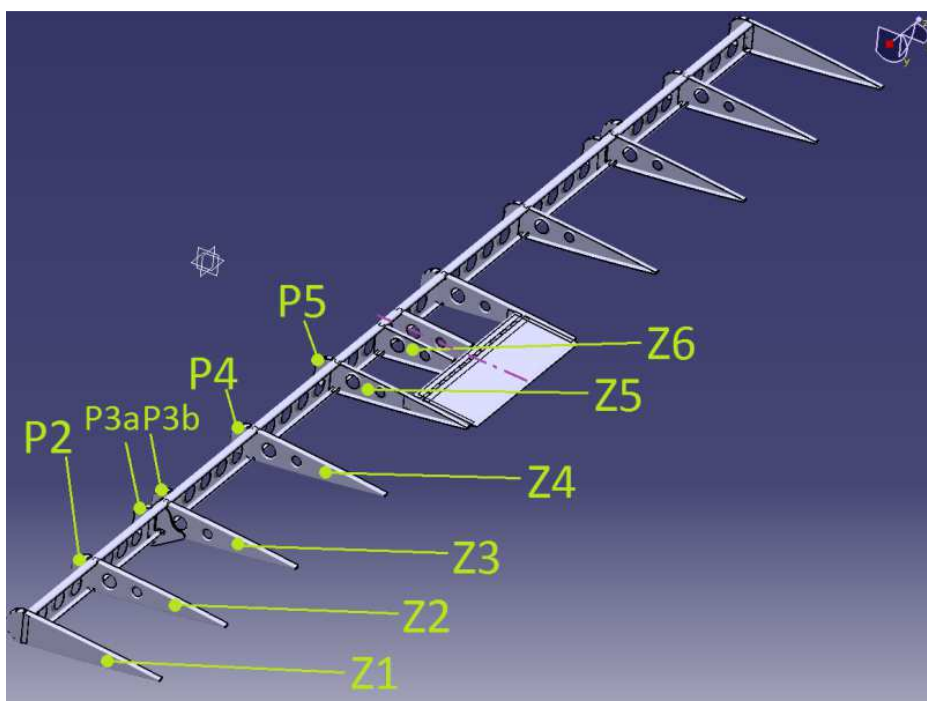
$$\eta_{nýt \text{ potah}} = \frac{F_{nýt}}{F_{1nýt}} = \frac{1020}{196} = 5,2$$

### Závěr a vyhodnocení:

Použité nýty a jejich umístění byly zvoleny s ohledem na celkovou únosnost konstrukce.

## 13.6. Návrh a kontrola žeber

Žebra jsou navržena z plechu o tloušťce 0,4 mm nebo 0,5 mm (viz. následující tabulka). Žebra jsou odlehčena lemovanými otvory.



Obrázek 13.6 - Systém žeber VK

| Zadní žebra              | Z1  | Z2  | Z3  | Z4  | Z5  | Z6  |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tloušťka plechu $t$ [mm] | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Přední žebra             | P2  | P3a | P3b | P4  | P4  |     |
| Tloušťka plechu $t$ [mm] | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |     |

Tabulka 13.2 - Tloušťka žeber VK

### Kontrola na smyk

Na smyk bylo kontrolováno žebro P2, Z2.

$$\tau = \frac{T_{poč}}{He \cdot s_z} [MPa]$$

$T$  ... posouvající síla (kritické manévrovací zatížení);

$$T_{poč} = 1,5 \cdot T = 1,5 \cdot 375 = 562 \text{ N}$$

$He$  ... Výška žebra v kritickém řezu;  $He = 73 \text{ mm}$

$s_z$  ... tloušťka žebra

$$\tau = \frac{T_{poč}}{He \cdot s_z} = \frac{562}{73 \cdot 0,5} = 19,3 \text{ MPa}$$

Kritické smykové napětí:

$$\tau_{kr} = k_\tau \cdot E \cdot \left( \frac{t}{h_{ef}} \right)^2 = 8,472000 \cdot \left( \frac{0,5}{73} \right)^2 = 28,4 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy:

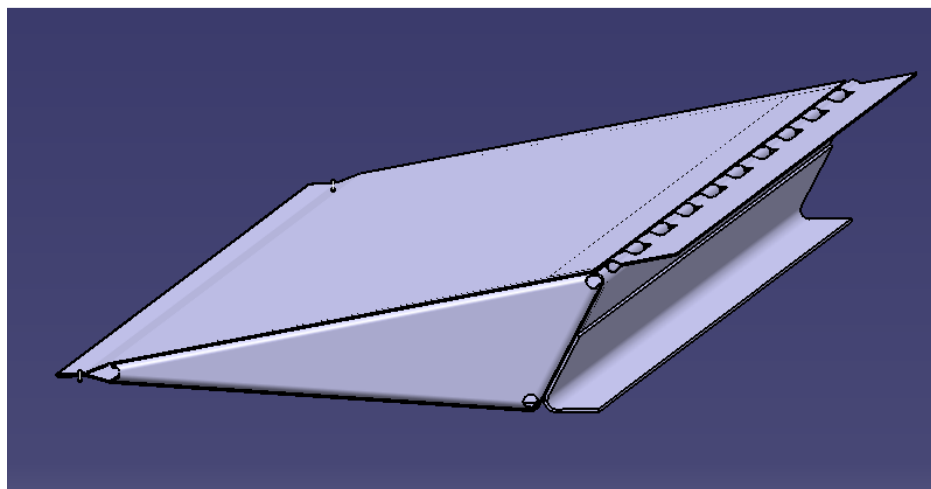
$$\eta_{žebro} = \frac{\tau_{kr}}{\tau} = \frac{28,4}{19,3} = 1,47$$

### Závěr a vyhodnocení:

Jako kritické bylo vybráno žebro v blízkosti řídicího závěsu. Byla provedena kontrola na smyk stojiny žebra. Součinitel rezervy  $>1$ . Konstrukční prvek vyhovuje.

## 13.7. Návrh vyvažovací plošky

Vyvažovací ploška byla navržena jako jednodutinová konstrukce, uchycená na klavírovém závěsu. Je ovládána elektromechanickou vzpěrou, pro kterou je vymezen prostor ve výškovém kormidle. Vyvažovací ploška je složená ze dvou uzavíracích žeber a potahu o tloušťce  $t = 0,4 \text{ mm}$ , který je dále zkontrolován výpočtem.



Obrázek 13.7 - Vyvažovací ploška

#### Geometrická specifikace:

- Plocha dutiny vyvažovací plošky:  $U = 1658 \text{ mm}^2$
- Největší poloměr dutiny:  $R = 3936 \text{ mm}$
- Délka příslušná největšímu poloměru:  $l = 116 \text{ mm}$

Vyvažovací ploška je zatížena kroutícím momentem:  $M_{k_{prov}} = 4,43 \text{ Nm}$

Početní kroutící moment:  $M_{k_{poč}} = 1,5 \cdot 4430 = 6645 \text{ Nmm}$

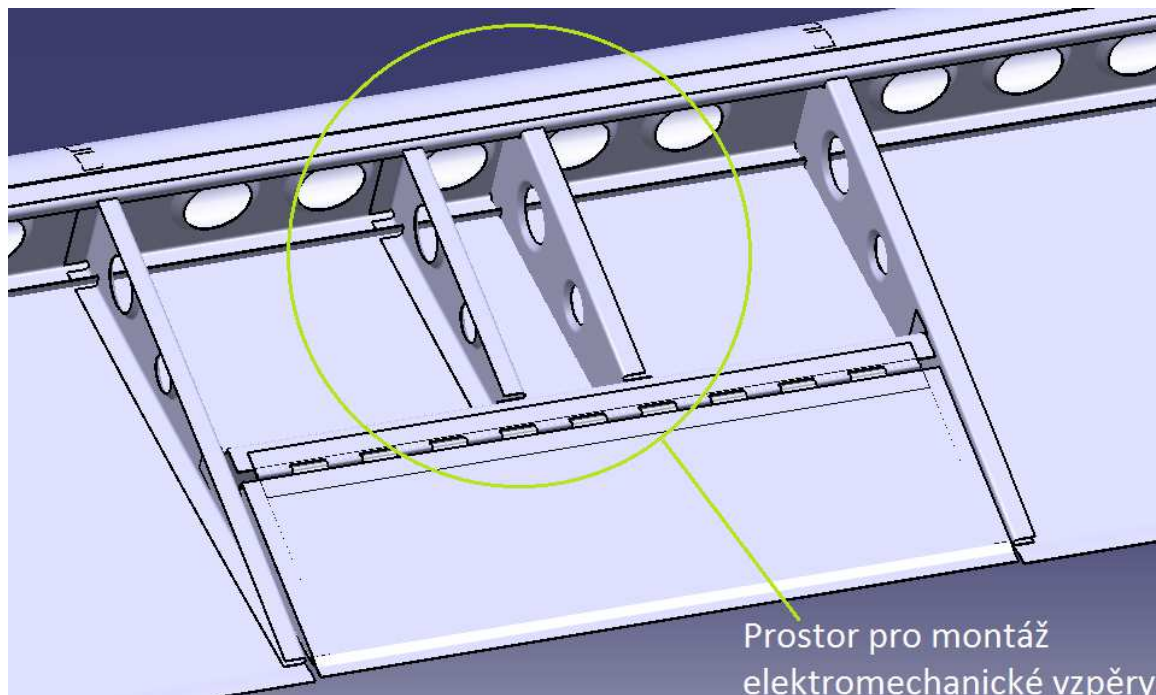
Smykové napětí v potahu vyvažovací plošky:  $\tau = \frac{M_{k_{poč}}}{2Ut} = \frac{6645}{2 \cdot 1658 \cdot 0,4} = 5 \text{ MPa}$

Stabilita potahu:

Kritické napětí (viz. graf 3.2 [20]):  $\tau_{kr} = 6,5 \text{ MPa}$

Součinitel rezervy:  $\eta_{plošky} = \frac{6,5}{5} = 1,3$

Na následující ilustraci je zobrazen prostor pro montáž elektromechanické vzpěry, která vychyluje vyvažovací plošku a je ovládána elektricky z kabiny letounu.



Obrázek 13.8 - Prostor pro montáž elektromechanické vzpěry pro ovládání trimu na VK

#### Závěr a zhodnocení:

Z výpočtu vyplývá, že potah vyvažovací plošky neztratí stabilitu.

### 13.8. Kontrola závěsů výškového kormidla a páky řízení

Provozní zatížení závěsů VK:  $F_{Z_{VK}} = 610 \text{ N}$

Početní zatížení závěsů VK:  $F_{Z_{poč}} = 6,67 \cdot 610 = 4069 \text{ N}$

### 13.8.1. Výběr a kontrola ložisek

#### Výběr ložisek pro závěsy výškového kormidla

(viz tabulka 4.6 [20]):

| $d$ [mm] | $D$ [mm] | $b$ [mm] | $B$ [mm] | Radiální únosnost $Pr$<br>(pohyblivé spoje) [N] |
|----------|----------|----------|----------|-------------------------------------------------|
| 4        | 12       | 3        | 5        | 10800                                           |

Tabulka 13.3 - Únosnost ložisek

Radiální únosnost platí pro výběr oka  $3xD$  a  $R_m = 900 \text{ MPa}$ , pro zmenšení oka a jiný materiál se tato únosnost musí snížit pomocí snižujícího koeficientu.

Zvolený vnější průměr oka:  $25 \text{ mm}$ , materiál:  $R_m = 400 \text{ MPa}$

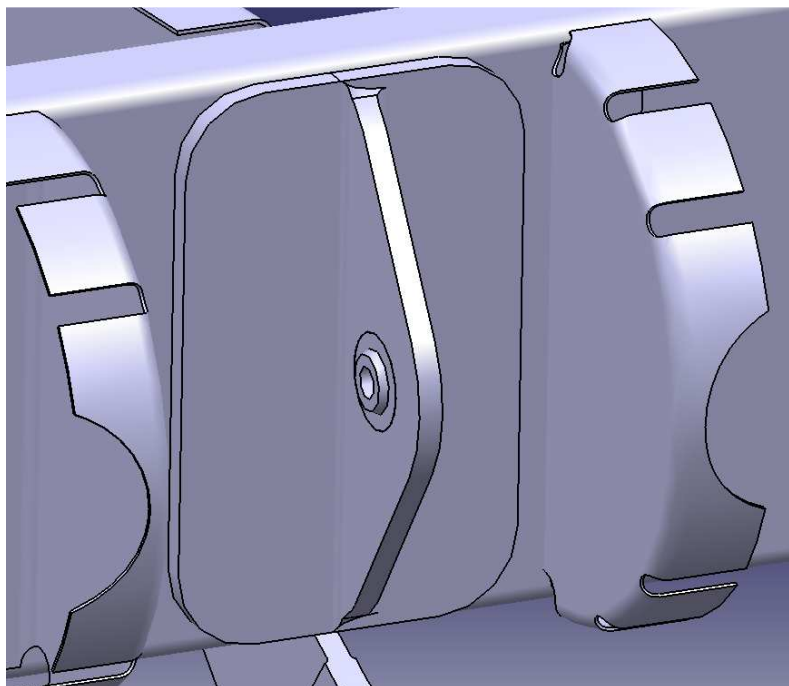
Snižující koeficient:  $0,52$  (viz tab 4,5 [20])

Radiální únosnost kloubového ložiska:  $Pr = 0,52 \cdot 10800 = 5616 \text{ N}$

Součinitele rezervy kloubového ložiska:  $\eta_{zaves} = \frac{Pr}{F_{ZávPřed}} = \frac{5616}{4069} = 1,38$

#### Závěr a vyhodnocení:

Kloubové ložisko vyhovuje a přenesení početní zatížení s rezervou 1,38.



Obrázek 13.9 - Závěs výškového kormidla

#### Výběr ložiska pro páku řízení výškového kormidla

Pro páku řízení bude použito stejné kloubové ložisko, jako pro závěs VK.

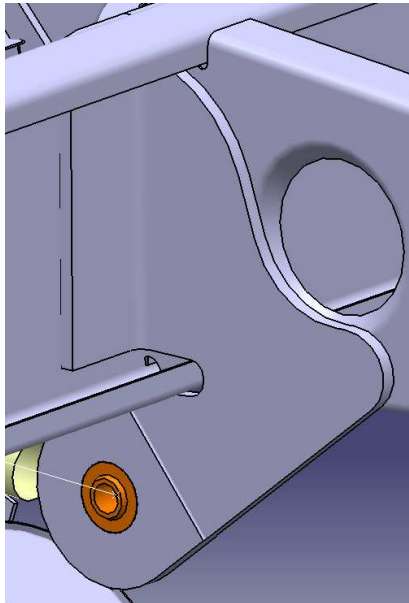
Závěsový moment výškového kormidla (provozní hodnota):  $M_{závěs} = 99 \text{ Nm}$

Síla do řízení (provozní hodnota):  $F_{řiz} = \frac{M_{závěs}}{l} = \frac{99000}{60} = 1650 \text{ N}$

Početní hodnota síly do řízení (součinitel bezpečnosti dle CS-VLA 657 [18]:  $f_z = 6,67$

$$F_{\text{říz}_{\text{poč}}} = 1650 \cdot 6,67 = 11006 \text{ N}$$

(viz tabulka 4.6 [20]):



| $d$<br>[mm] | $D$<br>[mm] | $b$<br>[mm] | $B$<br>[mm] | Radiální únosnost $Pr$<br>(pohyblivé spoje) [N] |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------------------------------------|
| 6           | 14          | 4           | 6           | 18000                                           |

Tabulka 13.4 - Únosnost ložisek [20]

Snižující koeficient: 0,63 (viz graf 4,5 [20])

Radiální únosnost kloubového ložiska:

$$Pr = 0,63 \cdot 18000 = 11340 \text{ N}$$

Součinitele rezervy únosnosti kloubového ložiska:

$$\eta_{\text{ložpáka}} = \frac{Pr}{F_{\text{ZávPřed}}} = \frac{11340}{11006} = 1,03$$

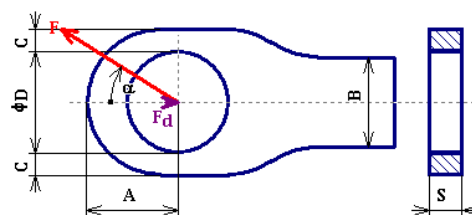
**Závěr a vyhodnocení:** Kloubové ložisko vyhovuje.

Obrázek 13.10 - Páka řízení VK

### 13.8.2. Kontrola ok závěsů a páky řízení

Kontrola ok závěsů a oka ovládací páky výškového kormidla byla provedena pomocí softwaru *MiniStatik*:

| Vstupní hodnoty do programu <i>MiniStatik</i> |       |      |             |
|-----------------------------------------------|-------|------|-------------|
| Vstupní hodnoty                               | Závěs |      | Páka řízení |
| Mez pevnosti materiálu                        | 390   |      | [MPa]       |
| Mez kluzu materiálu                           | 255   |      | [MPa]       |
| Tahová síla                                   | 4069  | [N]  | 11006 [N]   |
| Tlaková síla                                  | 4069  | [N]  | 11006 [N]   |
| Úhel $\alpha$                                 | 90    | [°]  | 25 [°]      |
| $D$                                           | 12    | [mm] | 14 [mm]     |
| $C$                                           | 11    | [mm] | 25 [mm]     |
| $A$                                           | 17    | [mm] | 14 [mm]     |
| $B$                                           | 30    | [mm] | 61 [mm]     |
| $S$                                           | 4     | [mm] | 3 [mm]      |
| Vliv nepřesnosti výroby                       | 1     | [-]  | 1 [-]       |
| Vliv druhu zatížení                           | 1     | [-]  | 1 [-]       |



Obrázek 13.11 - Ilustrace oka z programu *MiniStatik*

Tabulka 13.5 - Vstupní hodnoty pro kontrolu ok

| Součinitele bezpečnosti s ohledem na deformaci kontrolovaného prvku |                               |                                       |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Charakter pevnostní kontroly                                        | Kontrola oka ovládací páky VK | Kontrola ok závěsů výškového kormidla |
| Utržení oka                                                         | 1,41                          | 6,19                                  |
| Roztržení oka a vysmeknutí čepu                                     | 1,19                          | 1,81                                  |
| Otlačení oka                                                        | 1,56                          | 2,54                                  |

Tabulka 13.6 - Výsledné součinitele bezpečnosti pro kontrolu ok u VK

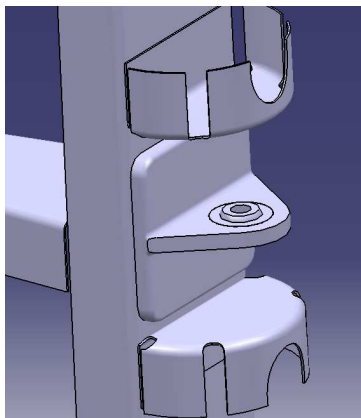
### 13.9. Přehled vypočtených součinitelů rezervy konstrukčních prvků výškového kormidla

| Přehled součinitelů rezervy - výškové kormidlo |                                           |                    |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------|
| Konstrukční prvek                              |                                           | Součinitel rezervy |
|                                                |                                           | $\eta$ [-]         |
| Pásnice nosníku                                | Tlačené                                   | 2,09               |
| Potah                                          | Únosnost                                  | 12,3               |
|                                                | Ztráta stability na náběžné hraně         | 7,26               |
|                                                | Ztráta stability největší poloměru dutiny | 0,79               |
| Stojina                                        | Ztráta stability, zvlnění                 | 2,14               |
|                                                | Únosnost                                  | 1,65               |
| Žebro                                          | Smyk                                      | 1,47               |
| Nýtové spoje                                   | Pásnice a potah                           | 5,2                |
| Vyvažovací ploška                              | Stabilita potahu                          | 1,3                |
| Závěs VK                                       | Únosnost ložiska                          | 1,38               |
|                                                | Kontrola oka na utržení                   | 6,19               |
|                                                | Roztržení oka a vysmeknutí čepu           | 1,81               |
|                                                | Otlačení oka                              | 2,54               |
| Páka řízení                                    | Únosnost ložiska                          | 1,03               |
|                                                | Kontrola oka na utržení                   | 1,41               |
|                                                | Roztržení oka a vysmeknutí čepu           | 1,19               |
|                                                | Otlačení oka                              | 1,56               |

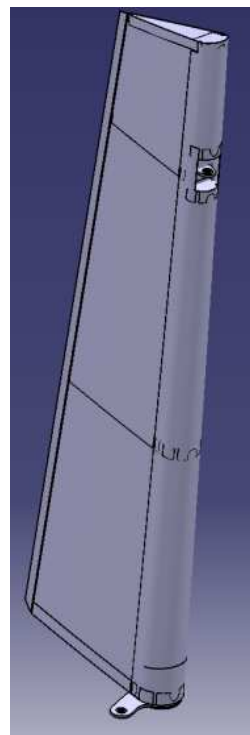
Obrázek 13.12 - přehled součinitelů rezervy konstr. prvků VK

## 14. Návrh a pevnostní výpočet směrového kormidla

Směrové kormidlo je navrženo jako celokovová tenkostěnná jednonosíková konstrukce. Pevnostní kontrola je provedena ve třech řezech.

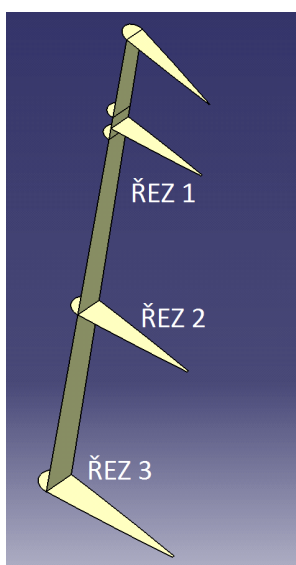


Obrázek 14.1 - Provedení horního závěsu SK



Obrázek 14.2 - Směrové kormidlo

### 14.1. Systémový model směrového kormidla a vstupní geometrické parametry výpočtu



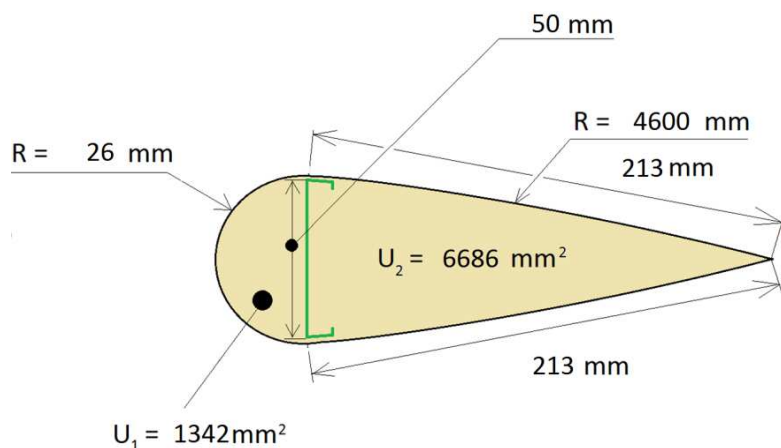
Obrázek 14.3 - Řezy SK

Tabulka 14.1 - geometrické parametry výpočtu

| Kontrolní poloha | Plocha přední dutiny | Plocha zadní dutiny | Efektivní výška nosníku |
|------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
|                  | $U_1 [mm^2]$         | $U_2 [mm^2]$        | $He [mm]$               |
| Řez I            | 660                  | 3317                | 34                      |
| Řez II           | 979                  | 4910                | 47                      |
| Řez III          | 1342                 | 6686                | 50                      |

- Tloušťka potahu:  $t = 0,4 \text{ mm}$
- Vzdálenost mezi žebry; pole u řezu III =  $328 \text{ mm}$

### ŘEZ III



Obrázek 14.4 - Průřezové charakteristiky SK

## 14.2. Zatěžovací hodnoty zatížení pro pevnostní kontrolu

- **Řez I:** Poloha horního závěsu SK (kontrola je zaměřená na kontrolu stojiny)
  - Provozní hodnota posouvající síly:  $T_{prov} = 92 \text{ N}$ ;
  - početní hodnota posouvající síly.:  $T_{poč} = 138 \text{ N}$
  - Vliv kroutícího momentu není brán v úvahu.
- **Řez II:** Poloha největšího ohybového momentu SK - střední část SK (Kontrola je zaměřená na kontrolu pásnic nosníku)
  - Provozní hodnota ohybového momentu:  $Mo_{prov} = 15 \text{ Nm}$ ; početní hodnota ohybového momentu:  $Mo_{poč} = 23 \text{ Nm}$
- **Řez III:** Poloha dolního závěsu SK (kontrola je zaměřená na kontrolu stojiny a potahu)
  - Provozní hodnota posouvající síly:  $T_{prov} = 84 \text{ N}$ ;
  - početní hodnota posouvající síly:  $T_{poč} = 126 \text{ N}$
  - Provozní hodnota kroutícího momentu:  $Mk_{prov} = 60 \text{ Nm}$ ;
  - početní hodnota kroutícího momentu:  $Mk_{poč} = 90 \text{ Nm}$

## 14.3. Pevnostní kontrola v poloze ŘEZ 1

### Pevnostní kontrola stojiny na únosnost

V tomto řezu je brána v úvahu pouze posouvající síla, zatížení konstrukce od kroutícího momentu není bráno v úvahu.

Stojina není odlehčena tvory, pro nízkou hodnotu efektivní výšky.

Smykový tok ve stojině od posouvající síly:

$$q_I = \frac{T}{H_{ef}} = \frac{138}{34} = 4,06 \text{ Nmm}^{-1}$$

Únosnost duralové stojiny [20] – tabulka 3.7:

$$\frac{h}{s} = \frac{34}{0,6} = 56,67$$

$$q_p = 72 \text{ Nmm}^{-1}$$

Součinitel rezervy pro ŘEZ I:

$$\eta_I = \frac{q_p}{q_I} = \frac{72}{4,06} = 17,73$$

## 14.4. Pevnostní kontrola v poloze ŘEZ 2

### Pevnostní kontrola pásnic nosníku



Obrázek 14.5 - Nosník SK

Plocha průřezu pásnic nosníku je totožná pro všechny řezy.

Síla do pásnic nosníku:

$$F = \frac{M_{O_{poč}}}{H_{ef}} = \frac{22500}{47} = 479 \text{ N}$$

Plocha průřezu pásnice  $A_p$ :

$$A_p = 12 \cdot 0,6 = 7,2 \text{ mm}^2$$

**Kontrola v tahu:**

Napětí v pásnici (tah):

$$\sigma_{TAH} = \frac{F}{A_p} = \frac{479}{7,2} = 66,5 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy tažené pásnice:

$$\eta_{II \text{ tah}} = \frac{0,9R_m}{66,5} = \frac{0,9 \cdot 430}{66,5} = 5,8$$

**Kontrola na ztrátu stability v tlaku [19] tabulka 2.6:**

Štíhlost průřezu desky:

$$\frac{b}{s} = \frac{12}{0,6} = 20$$

$$\sigma_{kr} = 200 \text{ MPa}$$

$$\eta_{II \text{ tlak}} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma} = \frac{200}{66,5} = 3$$

**Závěr a vyhodnocení:**

Tlačené pásnice nosníku směrového kormidla byly zkontrolovány na zatížení v tlaku. Součinitel rezervy je 3 => pásnice je stabilní.

## 14.5. Pevnostní kontrola v poloze ŘEZ 3

### **Pevnostní kontrola stojiny na únosnost a pevnostní kontrola potahu**

Je předpokládáno, že krut přenáší dutina 2. V dolní třetině stojiny nosníku SK jsou odlehčovací otvory.

#### 14.5.1. Kontrola stojiny na únosnost

Smykový tok od kroutícího momentu:

$$q_k = \frac{M_K}{2U} = \frac{90000}{2.6686} = 6,73 \text{ Nmm}^{-1}$$

Smykový tok od posouvající síly:

$$q_s = \frac{T_{III}}{Hef_{III}} = \frac{126}{50} = 2,52 \text{ Nmm}^{-1}$$

Výsledný smykový tok ve stojině:  $q_v = q_k + q_s = 6,73 + 2,52 = 9,3 \text{ Nmm}^{-1}$

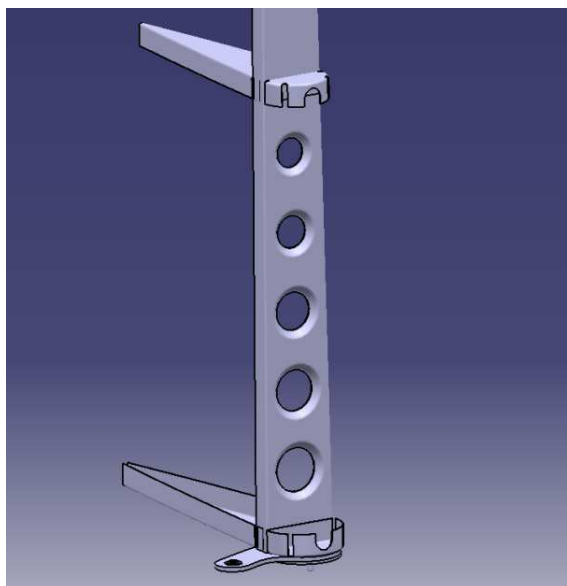
Únosnost hladké desky bez otvorů [19] tabulka: 3.7  $q_p = 62 \text{ Nmm}^{-1}$

Únosnost stojiny s otvory; průměr otvorů  $D = 30 \text{ mm}$ :

$$q = q_p \left(1 - \frac{D}{h_{ef}}\right) = 62 \left(1 - \frac{35}{50}\right) = 18,6 \text{ Nmm}^{-1}$$

Součinitel rezervy stojiny:

$$\eta_{III \text{ stojina}} = \frac{q_v}{q} = \frac{18,6}{9,3} = 2$$



**Obrázek 14.6 - Stojina SK s odlehčovacími otvory**

#### **Závěr a vyhodnocení:**

Únosnost stojiny je dostatečná s faktorem rezervy 2.

#### 14.5.2. Kontrola stojiny na ztrátu stability, zvlnění

Koeficient kritického smykového napětí odečtený z grafu [20]:  $k_{\tau} = 8,06$

Kritické napětí:

$$\tau_{kr} = k_{\tau} \cdot E \cdot \left( \frac{t}{h_{ef}} \right)^2 = 8,06 \cdot 72000 \cdot \left( \frac{0,6}{50} \right)^2 = 83,6 \text{ MPa}$$

Smykové napětí ve stojině:

$$\tau = \frac{q_v}{t} = \frac{9,3}{0,6} = 15,5 \text{ MPa}$$

Součinitele rezervy:

$$\eta_{III \text{ zvlnění}} = \frac{\tau_{kr}}{\tau} = \frac{83,6}{15,5} = 5,4$$

**Závěr:** Stojina není citlivá na zvlnění.

#### 14.5.3. Pevnostní kontrola potahu

**Výpočet únosnosti potahu**

Dovolené napětí ve smyku:  $\tau = \frac{R_m}{2}$

Zvolené kritické napětí ve smyku:  $\tau_{kr} = 150 \text{ MPa}$

Výpočet smykového napětí v potahu:

$$\tau = \frac{M_K}{2U \cdot t} [\text{MPa}]$$

$t$  ... tloušťka potahu (předpokládá se, že tloušťka potahu je konstantní;  $t = 0,4 \text{ mm}$ )

$$\tau = \frac{90000}{2 \cdot 6686 \cdot 0,4} = 16,82 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy únosnosti potahu:

$$\eta_{III \text{ pot}} = \frac{\tau_{kr}}{\tau} = \frac{150}{16,82} = 8,9$$

#### 14.5.4. Kontrola poloměru náběžné hrany

$R_{NH} = 26 \text{ mm}$

$$\frac{l}{\sqrt{R_{NH} \cdot t_1}} \cdot \frac{t_1}{R_{NH}} = \frac{328}{\sqrt{26 \cdot 0,4}} \cdot \frac{0,4}{26} = 1,565$$

Koeficient  $k_{\tau_{RNH}}$  odečtený z grafu (3.2) [20]:  $k_{\tau_{RNH}} = 0,74$

Kritické napětí:

$$\tau_{krNH} = k_{\tau_{RNH}} \cdot E \cdot \frac{t_1}{R_{NH}} \cdot \sqrt{\frac{R_{NH} \cdot t_1}{l}} = 0,74 \cdot 72000 \cdot \frac{0,4}{26} \cdot \sqrt{\frac{26 \cdot 0,4}{328}} = 81,3 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy:

$$\eta_{NH} = \frac{\tau_{krNH}}{\tau} = \frac{81,3}{16,82} = 4,83 \Rightarrow \text{náběžná hrana není citlivá na ztrátu stability.}$$

Zatížení směrového kormidla je menší než zatížení výškového kormidla. Rozteč nýtů by měla být stejná, proto kontrola nýtových spojů nebyla provedena. Je předpokládáno, že součinitele rezervy nýtových spojů u směrového kormidla jsou větší než u výškového kormidla.

## 14.6. Kontrola závěsů SK

### Horní závěs směrového kormidla

Provozní zatížení horního závěsu SK:  $F_{prov} = 120 \text{ N}$

Početní zatížení horního závěsu SK:  $F_{poč} = 6,67 \cdot 120 = 800 \text{ N}$

Výběr kloubového ložiska (viz 4.5 [20]):

| $d \text{ [mm]}$ | $D \text{ [mm]}$ | $b \text{ [mm]}$ | $B \text{ [mm]}$ | Radiální únosnost $P_r$<br>(pohyblivé spoje) [N] |
|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------------------------|
| 4                | 12               | 3                | 5                | 10800                                            |

Tabulka 14.2 - Únosnost kloubového ložiska

Snižující koeficient: 0,35  $\rightarrow P_r = 0,35 \cdot 10800 = 3780 \text{ N}$

Součinitel bezpečnosti:  $\eta_{lož} = \frac{3780}{800} = 4,7$

**Závěr:** ložisko vyhovuje.

### Kontrola oka závěsu

Oko bylo zkontrolováno programem *MiniStatik* obdobně jako výše závěsy VK. Kontrola proběhla s ohledem na deformaci prvku.

| Charakter pevnostní kontroly    | Kontrola oka horního závěsu SK |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Utržení oka                     | 3,78                           |
| Roztržení oka a vysmeknutí čepu | 3,92                           |
| Otlačení oka                    | 12,92                          |

Tabulka 14.3 - Výsledné hodnoty součinitelů rezervy pro kontrolu oka horního závěsu SK

**Závěr:** Oko horního závěsu SK je bezpečné.

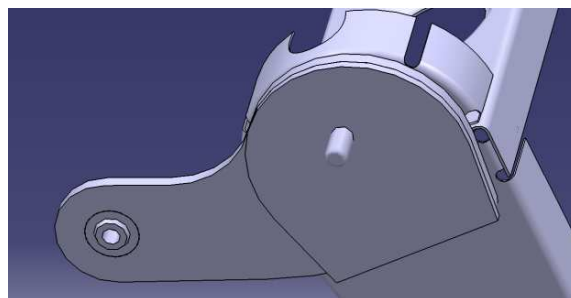
### Kontrola dolního závěsu

Dolní závěs je typu ocelového čepu  $\phi 4 \text{ mm}$ . Je provedena jednoduchá kontrola na smyk:

$$F_{poč} = 800 \text{ N} \rightarrow \tau = \frac{F}{\frac{\pi r^2}{4}} = 254 \text{ MPa}$$

Materiál čepu: L-ROL.6 –  $R_m = 640 \text{ MPa}$

$$\tau_{kr} = \frac{R_m}{2} = 320 \text{ MPa}$$



Obrázek 14.7 - Dolní závěs SK

Součinitel rezervy:  $\eta = \frac{320}{254} = 1,26 \Rightarrow$  Dolní závěs **vyhovuje**.

## 14.7. Přehled součinitelů rezervy konstr. prvků SK

| <i>Přehled součinitelů rezervy - směrové kormidlo</i> |                                 |                    |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Konstrukční prvek                                     |                                 | Součinitel rezervy |
|                                                       |                                 | $\eta [-]$         |
| Únosnost stojiny v poloze ŘEZ I                       |                                 | 17,73              |
| Pevnostní kontrola pásnic - ŘEZ II - tažené           |                                 | 5,8                |
| Pevnostní kontrola pásnic - ŘEZ II - tlačené          |                                 | 3                  |
| Únosnost stojiny v poloze ŘEZ III                     |                                 | 2                  |
| Kontrola stojiny na zvlnění v poloze ŘEZ III          |                                 | 5,4                |
| Únosnost potahu - ŘEZ III                             |                                 | 8,9                |
| Kontrola poloměru náběžné hrany - ŘEZ III             |                                 | 4,83               |
| <b>Horní závěs<br/>směrového<br/>kormidla</b>         | Únosnost kloubového ložiska     | 4,7                |
|                                                       | Utržení oka závěsu              | 3,78               |
|                                                       | Roztržení oka a vysmeknutí čepu | 3,92               |
|                                                       | Otlačení oka                    | 12,92              |
| Kontrola čepu dolního závěsu na smyk                  |                                 | 1,26               |

**Tabulka 14.4 - Přehled součinitelů rezervy konstrukčních prvků směrového kormidla**

## 15. Návrh a pevnostní kontrola kýlů

Kýly jsou navrženy jako dvounosníková konstrukce. Byla provedena pevnostní kontrola pásnic nosníků a stojen v místě maximálního ohybového momentu a maximální posouvající síly. Potah byl zkontrolován v místě řezu 1 (viz obrázek 15.2 níže).

### 15.1. Pevnostní návrh a kontrola pásnic kýlových nosníků

Nosníky jsou takřka totožné. Liší se pouze efektivní výškou  $H_{ef}$  a tloušťkou stojiny  $t$ . Pro pásnice je použit profil 15x15x1, jehož průřezová plocha je  $29,4 \text{ mm}^2$ .

#### 15.1.1. Síly v pásnicích nosníků vyvolané účinkem ohybového momentu

Kontrola pásnic nosníku je provedena v nejnižším místě kýlu, kde působí maximální ohybový moment.

Kvadratické momenty průřezu jednotlivých nosníků:

$$J_x = H_{ef}^2 \cdot \frac{A_p}{2}$$

**Zadní nosník:**

$H_{efZAD}$  ... Efektivní výška zadního nosníku;  $H_{efZAD} = 0,9 \cdot h_{ZAD} = 0,9 \cdot 66 = 60 \text{ mm}$   
( $h_{ZAD} = 66 \text{ mm}$ : z 3D modelu)

$A_p$  ... Plocha pásnice 15 x 15 x 1;  $A_p = 29,4 \text{ mm}^2$  [20]

$$J_{xZAD} = H_{efZAD}^2 \cdot \frac{A_p}{2} = 60^2 \cdot \frac{29,4}{2} = 26463 \text{ mm}^4$$

**Přední nosník:**

$H_{efPRED} = 0,9 \cdot h_{PRED} = 0,9 \cdot 80 = 72 \text{ mm}$

( $h_{PRED} = 80 \text{ mm}$ : z 3D modelu)

$$J_{xPRED} = H_{efPRED}^2 \cdot \frac{A_p}{2} = 72^2 \cdot \frac{29,4}{2} = 38880 \text{ mm}^4$$

**Síly do pásnic nosníků**

$M_{O\text{poč}}$  ... početní ohybový moment;  $M_{O\text{poč}} = M_O \cdot 1,5 = 310 \cdot 1,5 = 465 \text{ Nm}$

**Zadní nosník:**

$$F_{ZAD} = \frac{M_{O\text{poč}} \cdot \frac{J_{xZAD}}{\sum J_x}}{H_{efZAD}} = \frac{465 \cdot \frac{26463}{65343}}{60} = 3170 \text{ N}$$

**Přední nosník:**

$$F_{PRED} = \frac{M_{O\text{poč}} \cdot \frac{J_{xPRED}}{\sum J_x}}{H_{efPRED}} = \frac{465 \cdot \frac{38880}{65343}}{72} = 3843 \text{ N}$$

### **Napětí v pásnicích nosníku**

**Zadní nosník:**

$$\sigma_{ZAD} = \frac{F_{ZAD}}{A_p} = \frac{3170}{29,4} = 108 \text{ MPa}$$

**Přední nosník:**

$$\sigma_{Před} = \frac{F_{Před}}{A_p} = \frac{3843}{29,4} = 131 \text{ MPa}$$

Kritické napětí v tlaku pro profil 15x15x1 odečteno z grafu 2.6 [20]:

$$\sigma_{KR} = 230 \text{ MPa}$$

### **Součinitele rezervy pro namáhání pásnic v tlaku**

**Zadní nosník:**

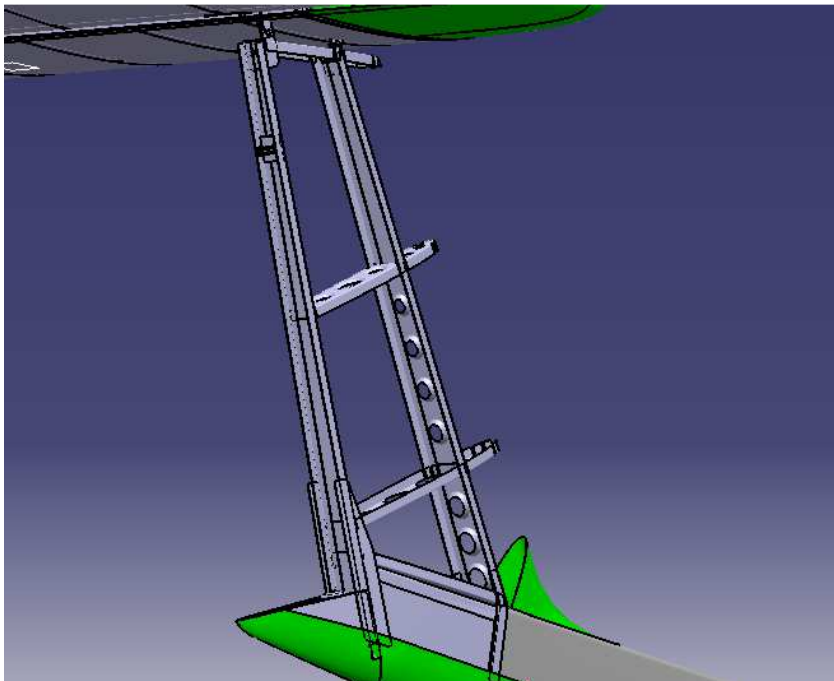
$$\eta_{ZAD} = \frac{230}{108} = 2,13$$

**Přední nosník:**

$$\eta_{Před} = \frac{230}{131} = 1,75$$

### **Závěr a vyhodnocení:**

Pásnice namáhané ohybovým momentem byly zkontrolovány na stabilitu v tlaku. Součinitele rezervy > 1. Pásnice vyhovují.



**Obrázek 15.1 - Nosníky kýlu**

## 15.2. Pevnostní návrh a kontrola potahu kýlu

Pro kontrolu potahu je rozhodující krouticí moment, který je maximální v místě uchycení k nosníkům.

$M_{K\text{poč}}$  ... početní krouticí moment;  $M_{K\text{poč}} = M_K \cdot 1,5 = 110,1,5 = 165 \text{ Nm}$

$U$  ... plocha dutiny;  $U = 24847 \text{ mm}^2$

$$q_K = \frac{M_{K\text{poč}}}{2U} = \frac{165000}{2 \cdot 24847} = 3,3 \text{ Nmm}^{-1}$$

### Výpočet únosnosti potahu

Dovolené napětí ve smyku:

$$\tau_{dov} = \frac{R_m}{2}$$

Zvolené kritické napětí ve smyku pro návrh:

$$\tau_{kr} = 150 \text{ MPa}$$

Výpočet smykového napětí v potahu:

$$\tau = \frac{M_K}{2U \cdot t} [\text{MPa}]$$

$t$  ... tloušťka potahu (předpokládá se, že tloušťka potahu je konstantní;  $t = 0,4 \text{ mm}$ )

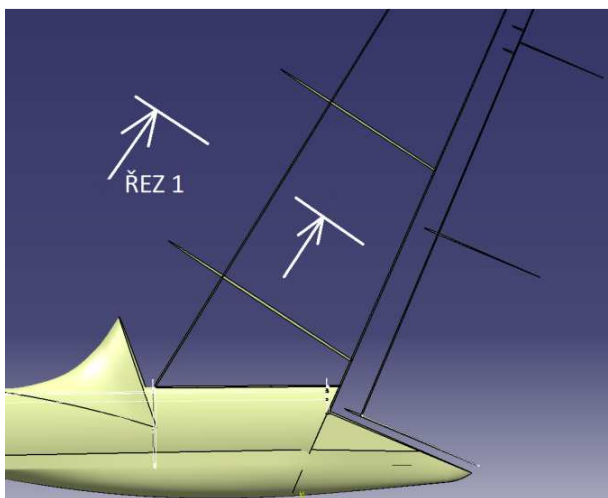
$$\tau = \frac{165000}{2 \cdot 24847 \cdot 0,4} = 8,3 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy únosnosti potahu:

$$\eta_{pot} = \frac{\tau_{kr}}{\tau} = \frac{150}{8,3} = 18,1$$

### 15.2.1. Kontrola poloměru náběžné hrany na ztrátu stability

Kontrola poloměru náběžné hrany je řešena jako kontrola stability válce, zatěženého smykem. Kontrola stability je provedena v poloze „Řez 1“.



Obrázek 15.2 - Poloha řezu 1 - kontrola poloměru náběžné hrany

**Základní geometrické charakteristiky:**

Délka dutiny:  $l = 340 \text{ mm}$

Plocha dutiny v řezu 1:  $U_1 = 21496 \text{ mm}^2$

Poloměr náběžné hrany:  $R_{NH} = 12,5 \text{ mm}$

Kroutící moment v řezu 1:  $M_{K1 \text{ prov}} = 24 \text{ Nm}$

Smykový tok v řezu 1 od krutu:

$$q_{K1} = \frac{M_{K1 \text{ poč}}}{2U} = \frac{24000 \cdot 1,5}{2 \cdot 21496} = 0,84 \text{ Nmm}^{-1}$$

Koeficient  $k_{\tau_{RNH}}$  odečtený z grafu [20]:

$$\frac{l}{\sqrt{R_{NH} \cdot t_1}} \cdot \frac{t_1}{R_{NH}} = \frac{340}{\sqrt{12,5 \cdot 0,4}} \cdot \frac{0,4}{12,5} = 4,87$$
$$k_{\tau_{RNH}} = 0,72$$

Kritické napětí:

$$\tau_{krNH} = k_{\tau_{RNH}} \cdot E \cdot \frac{t_1}{R_{NH}} \cdot \sqrt{\frac{R_{NH} \cdot t_1}{l}} = 0,72 \cdot 72000 \cdot \frac{0,4}{12,5} \cdot \sqrt{\frac{12,5 \cdot 0,4}{340}} = 134,53 \text{ MPa}$$

Smykové napětí:

$$\tau_1 = \frac{|q_{K1}|}{t_1} = \frac{0,84}{0,4} = 2,1 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy:

$$\eta_{NH} = \frac{\tau_{krNH}}{\tau_1} = \frac{134,53}{2,1} = 64$$

**Závěr a vyhodnocení:**

Z výpočtu plyne, že náběžná hrana kýlu není náchylná na ztrátu stability.

### 15.2.2. Kontrola největšího poloměru dutiny na ztrátu stability

Kontrola byla také provedena v poloze ŘEZ 1.

Délka potahu horní části dutiny:  $l_{1PD} = 340 \text{ mm}$

$$k_{\tau_{PD1}} = 40$$

Kritické napětí:

$$\tau_{krPD1} = k_{\tau_{PD1}} \cdot E_1 \cdot \left(\frac{t_1}{l}\right)^2 = 40 \cdot 72000 \cdot \left(\frac{0,4}{340}\right)^2 = 4 \text{ MPa}$$

Vliv zakřivení potahu:

$$\tau_{kr1} = \tau_{krPD1} + 0,1 \cdot E \cdot \frac{t_1}{R_{1D}} = 4 + 0,1 \cdot 72000 \cdot \frac{0,4}{1626} = 5,8 \text{ MPa}$$

Součinitel rezervy:

$$\eta_{1PD} = \frac{\tau_{kr1}}{\tau_{1PD}} = \frac{5,8}{2,1} = 2,76$$

### **Závěr a vyhodnocení:**

Z výpočtu vyplývá, že i při největším zatížení by měl být potah stabilní.

## **15.3. Pevnostní návrh a kontrola stojiny**

Kontrola je provedena v místě uchycení k nosníku (nejnižší poloha kýlu).  
Je nutné použít výsledný smykový tok ve stojině:

$$q_v = q_k + q_s [Nmm^{-1}]$$

Početní posouvající síla:  $T_{poč} = T \cdot 1,5 = 538,1,5 = 807 \text{ N}$

### **Zadní nosník:**

$$T_{ZAD} = T_{poč} \frac{Jx_{ZAD}}{\sum Jx} = 807,0,405 = 377 \text{ N}$$

### **Přední nosník:**

$$T_{před} = T_{poč} \frac{Jx_{před}}{\sum Jx} = 807,0,595 = 480 \text{ N}$$

### **15.3.1. Kontrola stojiny na ztrátu stability, zvlnění**

#### **Zadní nosník:**

Koeficient kritického smykového napětí odečtený z grafu [20]:  $k_\tau = 8,25$

Kritické napětí:

$$\tau_{kr} = k_\tau \cdot E \cdot \left( \frac{t}{h_{ef}} \right)^2 = 8,25 \cdot 72000 \cdot \left( \frac{0,6}{60} \right)^2 = 59,4 \text{ MPa}$$

Smykové napětí ve stojině:

$$\tau = \frac{q_v}{t} = \frac{8 + 3,3}{0,6} = 18,8 \text{ MPa}$$

Součinitele rezervy:

$$\eta = \frac{\tau_{kr}}{\tau} = \frac{59,4}{18,8} = 3,15$$

#### **Přední nosník:**

Koeficient kritického smykového napětí odečtený z grafu [20]:  $k_\tau = 8,20$

Kritické napětí:

$$\tau_{kr} = k_\tau \cdot E \cdot \left( \frac{t}{h_{ef}} \right)^2 = 8,20 \cdot 72000 \cdot \left( \frac{0,5}{72} \right)^2 = 28,5 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{q_v}{t} = \frac{6,7 + 3,3}{0,6} = 16,7 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{\tau_{kr}}{\tau} = \frac{28,5}{16,7} = 1,7$$

### **Závěr a vyhodnocení:**

Z výpočtu plyne, že stojina předního nosníku kýlu je stabilní a nedojde k jejímu zvlnění.

### 15.3.2. Kontrola stojiny na únosnost

Únosnost hladké desky odečtená z grafu 3.7 [20]:

**Zadní nosník:**  $t_h = 0,6 \text{ mm}$ :  $q_{pzad} = 52 \text{ Nmm}^{-1}$

Součinitele rezervy:

$$\eta_{ZAD} = \frac{q_{pzad}}{q_{vzad}} = \frac{52}{11,3} = 4,6$$

**Přední nosník:**  $t_h = 0,5 \text{ mm}$ :  $q_{před} = 30 \text{ Nmm}^{-1}$

Průměr odlehčovacího otvoru nosníku (v kontrolním řezu):  $D = 35 \text{ mm}$

Smykový tok stojiny s otvorem v zadním nosníku:

$$q_{p1} = q_{pt} \cdot \left(1 - \left(\frac{D}{h_{ef}}\right)\right) = 30 \cdot \left(1 - \left(\frac{35}{60}\right)\right) = 12,5 \text{ Nmm}^{-1}$$

Součinitele rezervy:

$$\eta_1 = \frac{q_{p\text{ před}}}{q_{v\text{ před}}} = \frac{12,5}{10} = 1,25$$

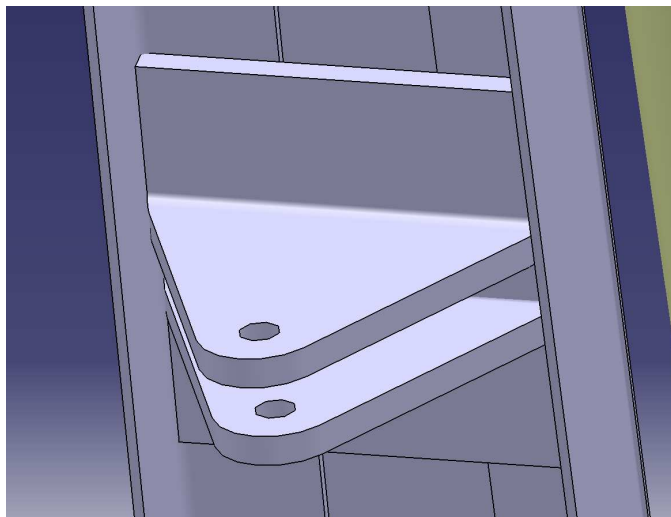
#### Závěr a vyhodnocení:

Stojina zadního nosníku je bez odlehčovacích otvorů, proto její součinitel rezervy dosahuje hodnoty 4,6; tedy vyhovuje.

Průměr odlehčovacích otvorů ve stojině předního nosníku byl zvolen s ohledem na celkovou únosnost stojiny. Součinitel rezervy pro zvolené parametry vyšel 1,25. Stojina předního nosníku také vyhovuje.

### 15.4. Návrh a kontrola horního závěsu směrového kormidla

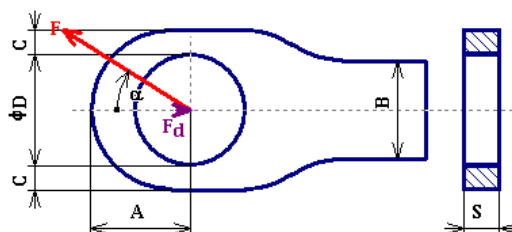
Horní závěs směrového kormidla na kýlu je stylu vidlice, do které se zasouvá oko s kloubovým ložiskem na směrovém kormidle. Jednotlivé části závěsu jsou vyrobeny z profilu o tloušťce 2 mm. Pevnostní kontrola ok je provedena pomocí program *MiniStatik*.



Obrázek 15.3 - Horní závěs SK na kýlu

Početní hodnota zatížení jednoho oka:  $F_{poč} = 400 \text{ N}$

| Vstupní hodnoty         |     |       |
|-------------------------|-----|-------|
| Mez pevnosti materiálu  | 390 | [MPa] |
| Mez kluzu materiálu     | 255 | [MPa] |
| Tahová síla             | 400 | [N]   |
| Tlaková síla            | 400 | [N]   |
| Úhel $\alpha$           | 90  | [°]   |
| D                       | 4   | [mm]  |
| C                       | 5   | [mm]  |
| A                       | 6   | [mm]  |
| B                       | 14  | [mm]  |
| S                       | 2   | [mm]  |
| Vliv nepřesnosti výroby | 1   | [-]   |
| Vliv druhu zatížení     | 1   | [-]   |



Obrázek 15.4 - Ilustrace závěsu v Programu MS

Tabulka 15.1 - Vstupní hodnoty pro kontrolu oka do programu *MiniStatik*

| Charakter pevnostní kontroly    | Kontrola oka horního závěsu SK – součinitele rezervy |
|---------------------------------|------------------------------------------------------|
| Utržení oka                     | 9,31                                                 |
| Roztržení oka a vysmeknutí čepu | 5,54                                                 |
| Otlačení oka                    | 6,75                                                 |

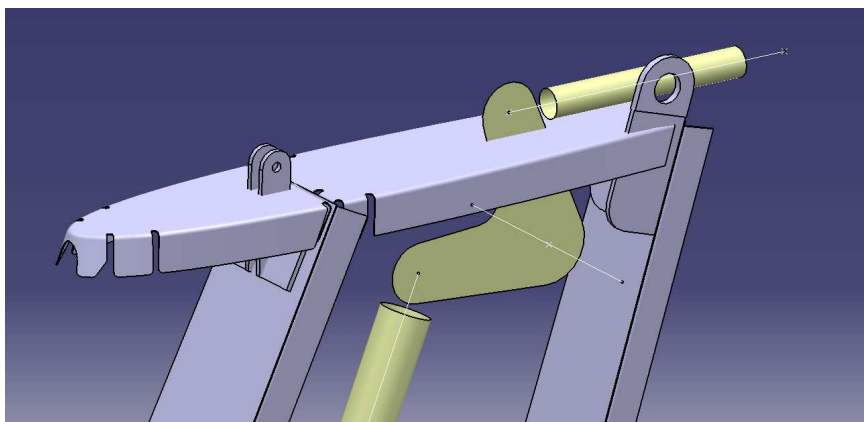
Tabulka 15.2 - Výsledné součinitele rezervy vypočtené programem *MiniStatik*

#### Závěr a vyhodnocení:

Horní závěs směrového kormidla na kýlu byl zkontrolován na utržení oka, roztržení oka a vysmeknutí čepu a otlačení oka. Kontrola byla provedena s ohledem na deformaci prvku. Pro vstupní hodnoty uvedeny v tabulce 15.1 vyšly součinitele rezervy  $> 1$ . Závěs vyhovuje.

### 15.5. Návrh a kontrola závěsů k stabilizátoru

Stabilizátor je uchycen na čtyřbodovém závěsu na kýlech. Přední závěsy jsou typu vidlice, zadní závěsy jsou oka s kloubovými ložisky. Pevnostní návrh spočívá ve výběru kloubového ložiska a kontroly ok závěsu.



Obrázek 15.5 - Závěsy stabilizátoru na kýlech

### Zatížení závěsů:

Přední závěs:  $F_{před_{poč}} = 5005 \text{ N}$

Zadní závěs:  $F_{zad_{poč}} = 6110 \text{ N}$

### Výběr ložiska zadního závěsu [20]:

| $d \text{ [mm]}$ | $D \text{ [mm]}$ | $b \text{ [mm]}$ | $B \text{ [mm]}$ | Radiální únosnost $P_r$<br>(nepohyblivé spoje) [N] |
|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------------------------------------|
| 4                | 12               | 3                | 5                | 21600                                              |

**Tabulka 15.3 – Výběr kloubového ložiska**

Snižující součinitel únosnosti kloubového ložiska (4.5 [20]): **0,52**

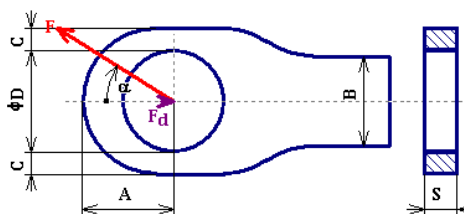
Únosnost kloubového ložiska po zvážení uložení:  $F_{lož} = 0,52 \cdot 21600 = 11232 \text{ N}$

Součinitel rezervy únosnosti kloubového ložiska:  $\eta_{lož} = \frac{F_{lož}}{F_{zad_{poč}}} = \frac{11232}{6110} = 1,84$

### Kontrola ok závěsů:

Kontrola ok závěsů připojujících stabilizátor ke kýlům byla provedena pomocí softwaru *MiniStatik*:

| Vstupní hodnoty do programu <i>MiniStatik</i> |              |      |             |      |
|-----------------------------------------------|--------------|------|-------------|------|
| Vstupní hodnoty                               | Přední závěs |      | Zadní závěs |      |
| Mez pevnosti materiálu                        | 390          |      | [MPa]       |      |
| Mez kluzu materiálu                           | 255          |      | [MPa]       |      |
| Tahová síla                                   | 2503         | [N]  | 6110        | [N]  |
| Tlaková síla                                  | 2503         | [N]  | 6110        | [N]  |
| Úhel $\alpha$                                 | 0            | [°]  | 15          | [°]  |
| D                                             | 4            | [mm] | 12          | [mm] |
| C                                             | 4,5          | [mm] | 6,5         | [mm] |
| A                                             | 6,5          | [mm] | 12,5        | [mm] |
| B                                             | 13           | [mm] | 25          | [mm] |
| S                                             | 2            | [mm] | 3           | [mm] |
| Vliv nepřesnosti výroby                       | 1            | [-]  | 1           | [-]  |
| Vliv druhu zatížení                           | 1            | [-]  | 1           | [-]  |



**Obrázek 15.6 - Ilustrace oka z programu *MiniStatik***

**Tabulka 15.4 - Vstupní hodnoty pro kontrolu ok**

| Součinitele bezpečnosti s ohledem na deformaci kontrolovaného prvku |                                                    |                                                  |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Charakter pevnostní kontroly                                        | Kontrola oka předního závěsu stabilizátoru ke kýlu | Kontrola ok zadních závěsů stabilizátoru ke kýlu |
| Utržení oka                                                         | 1,49                                               | 1,17                                             |
| Roztržení oka a vysmeknutí čepu                                     | 1,03                                               | 1,15                                             |
| Otlačení oka                                                        | 1,2                                                | 1,85                                             |

**Tabulka 15.5 - Výsledné součinitele bezpečnosti pro kontrolu ok závěsu stabilizátoru ke kýlům**

#### Závěr a vyhodnocení:

Oka předních závěsů typu vidlice byly zkontrolovány pomocí programu *MiniStatik* a vyhovují. Stejně tak vyhovuje oko pro kloubové ložisko zadního závěsu. Kloubové ložisko zadního závěsu má dostatečnou únosnost s faktorem rezervy 1,84.

### 15.6. Přehled vypočtených součinitelů rezervy pro kýlové plochy

| <b>Přehled vypočtených součinitelů rezervy kýlových ploch</b>  |                           |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------|
| <b>Konstrukční prvek</b>                                       | <b>Součinitel rezervy</b> |
| Pásnice zadního nosníku                                        | 2,13                      |
| Pásnice předního nosníku                                       | 1,75                      |
| Únosnost potahu                                                | 18,1                      |
| Kontrola poloměru náběžné hrany na ztrátu stability            | 64                        |
| Kontrola největšího poloměru dutiny na ztrátu stability        | 2,76                      |
| Kontrola stojiny předního nosníku na ztrátu stability, zvlnění | 1,7                       |
| Kontrola stojiny zadního nosníku na ztrátu stability, zvlnění  | 3,15                      |
| Kontrola stojiny předního nosníku na únosnost                  | 1,25                      |
| Kontrola stojiny zadního nosníku na únosnost                   | 4,6                       |
| Únosnost kloubového ložiska                                    | 1,84                      |

Tabulka 15.6 - Přehled vypočtených součinitelů rezervy pro kýlové plochy

## 16. Návrh a pevnostní kontrola trupových nosníků

Pevnostní kontrola pásnic nosníku je provedena v kořenovém řezu ( $x = 3943 \text{ mm}$ ) a ve středním řezu ( $x = 5650 \text{ mm}$ ). Je použita trupová souřadnicová soustava s počátkem v nose trupu, osa  $x$  směřuje dozadu. Potah je kontrolován v kořenovém řezu a v koncovém řezu.

### 16.1. Rozhodující hodnoty zatížení trupových nosníků

**Zatížení v kořenovém řezu:**

$$M_{1O1prov} = 5601,7 \text{ Nm} \rightarrow M_{O1poč} = 1,5 \cdot 5601,7 = 8402,6 \text{ Nm}$$

$$M_{1O2prov} = 1805 \text{ Nm} \rightarrow M_{O2poč} = 1,5 \cdot 1805 = 2707,5 \text{ Nm}$$

$$M_{1K1prov} = 318,5 \text{ Nm} \rightarrow M_{K1poč} = 1,5 \cdot 318,5 = 477,8 \text{ Nm}$$

**Zatížení ve středním řezu:**

$$M_{2O1prov} = 3121 \text{ Nm} \rightarrow M_{O1poč} = 1,5 \cdot 3121 = 4682 \text{ Nm}$$

$$M_{2O2prov} = 985 \text{ Nm} \rightarrow M_{O2poč} = 1,5 \cdot 985 = 1478 \text{ Nm}$$

**Pro návrh potahu je třeba kontrola i v koncovém řezu:**

$$M_{3K2prov} = 293,7 \text{ Nm} \rightarrow M_{K1poč} = 1,5 \cdot 293,7 = 440,6 \text{ Nm}$$

### 16.2. Geometrické charakteristiky

Geometrické charakteristiky nosníku jsou odečteny z 3D CAD modelu:

**Charakteristiky v kořenovém řezu ( $x = 3943 \text{ mm}$ ):**

Výšky nosníku v kořenovém řezu:

$$h_{1I} = 157 \text{ mm} \rightarrow H_{1efI} = 0,9 \cdot 157 = 141 \text{ mm}$$

Šířka nosníku v kořenovém řezu:

$$h_{1II} = 98 \text{ mm} \rightarrow H_{1efII} = 0,9 \cdot 98 = 88 \text{ mm}$$

Plocha kořenové dutiny:

$$U_{koren} = 19300 \text{ mm}^2$$

**Charakteristiky ve středním řezu ( $x = 5650 \text{ mm}$ ):**

Výšky nosníku ve středním řezu:

$$h_{2I} = 132 \text{ mm} \rightarrow H_{2efI} = 0,9 \cdot 132 = 119 \text{ mm}$$

Šířka nosníku ve středním řezu:

$$h_{2II} = 82 \text{ mm} \rightarrow H_{2efII} = 0,9 \cdot 82 = 74 \text{ mm}$$

**Charakteristiky v koncovém řezu ( $x = 7360 \text{ mm}$ ):**

Výšky nosníku v koncovém řezu:

$$h_{3I} = 120 \text{ mm} \rightarrow H_{3efI} = 0,9 \cdot 120 = 108 \text{ mm}$$

Šířka nosníku v koncovém řezu:

$$h_{3II} = 56 \text{ mm} \rightarrow H_{3efII} = 0,9 \cdot 56 = 50 \text{ mm}$$

### 16.3. Zatížení konstrukce od momentu $M_{OI}$

**Kořenový řez:**

Síla do pásnice od momentu  $M_{OI}$ :  $F_{1pásI} = \frac{M_{1OI_{poč}}}{2 \cdot H_{1efI}} = \frac{8402600}{2 \cdot 141,8} = 29628,35 \text{ N}$

**Koncový řez:**

Síla do pásnice od momentu  $M_{OI}$ :  $F_{2pásI} = \frac{M_{2OI_{poč}}}{2 \cdot H_{2efI}} = \frac{468200000}{2 \cdot 119} = 19672 \text{ N}$

**Návrh průřezu pásnice:**

Trupový nosník je konstruovaný jako tenkostěnná čtyřpásnicová konstrukce. Potah tvoří duralový plech o tloušťce 0,5 mm.



Obrázek 16.1 - Pásnice trupového nosníku

Pásnice trupového nosníku jsou navrženy jako ohýbané profily z duralového plechu tloušťky  $t = 2,2 \text{ mm}$ ; délka ramene profilů je 20 mm, koncový ohyb je 5 mm.

V kořenové části je profil zesílen vloženým vnitřním profilem o délce  $l = 1705 \text{ mm}$  s tloušťkou stěny  $t = 1,2 \text{ mm}$ . Toto zesílení je použito pouze v kořenové části nosníku (největší ohybový moment).

Naopak v koncové části jsou z pásnic odfrézovány koncové ohyby (minimální ohybový moment). Tato úprava vede ke snížení hmotnosti konstrukce.

Plochy pásnic nosníku v kořenovém řezu:  $A_{p_{kořen}} = 115 + 41 = 156 \text{ mm}^2$

Plochy pásnic nosníku ve středním řezu:  $A_{p_{střed}} = 115 \text{ mm}^2$

Napětí v pásnicích od síly  $F_{1pásI}$  (kořenový řez):  $\sigma_{1I} = \frac{F_{1pásI}}{A_{p_{kořen}}} = \frac{29628,4}{156} = 190 \text{ MPa}$

Napětí v pásnicích od síly  $F_{2pásI}$  (střední řez):  $\sigma_{2I} = \frac{F_{2pásI}}{A_{p_{střed}}} = \frac{19672}{115} = 171 \text{ MPa}$

Kritické napětí v pásnici (viz. Graf 2.6 [20]):  $\sigma_{kr} = 280 \text{ MPa}$

Součinitel rezervy pro zatížení v kořenovém řezu od  $M_{OI1}$ :  $\eta_{1I} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{1I}} = \frac{280}{190} = 1,47$

Součinitel rezervy pro zatížení ve středním řezu od  $M_{OI2}$ :  $\eta_{2I} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{2I}} = \frac{280}{171} = 1,63$

### 16.4. Zatížení od momentu $M_{OII}$

**Kořenový řez:**

Síla do pásnice v kořenovém řezu od  $M_{OII}$ :  $F_{1pásII} = \frac{M_{1OII_{poč}}}{2 \cdot H_{efII}} = \frac{2707500}{2 \cdot 88} = 15383 \text{ N}$

**Napětí v pásnicích od síly  $F_{1pásII}$  :**  $\sigma_{1II} = \frac{F_{1pásII}}{A_p} = \frac{15383}{156} = 98,6 \text{ MPa}$

**Součinitel rezervy pro zatížení od  $M_{OII1}$ :**  $\eta_{1II} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{II}} = \frac{280}{98,6} = 2,84$

**Střední řez:**

**Síla do pásnice ve středním řezu od  $M_{OII2}$ :**  $F_{2pásII} = \frac{M_{2OII_{poč}}}{2.H_{efII}} = \frac{1478000}{2.74} = 9986 \text{ N}$

**Napětí v pásnicích od síly  $F_{2pásII}$  :**  $\sigma_{2II} = \frac{F_{2pásII}}{A_p} = \frac{9986}{115} = 87 \text{ MPa}$

**Součinitel rezervy pro zatížení od  $M_{OII2}$ :**  $\eta_{2II} = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{2II}} = \frac{280}{87} = 3,22$

**Závěr a vyhodnocení:**

Z vypočtených hodnot plyne, že pro kontrolu pásnic nosníku je rozhodující ohybový moment  $M_{OII1}$ . Součinitele rezervy jsou  $> 1$  >> **pásnice vyhovují.**

## 16.5. Kontrola potahu

Kontrola potahu je provedena pouze v kořenovém řezu. V koncovém řezu je potah dostatečně zpevněn příložkami a ke zvlnění by nemělo dojít.

**Kořenový řez:**

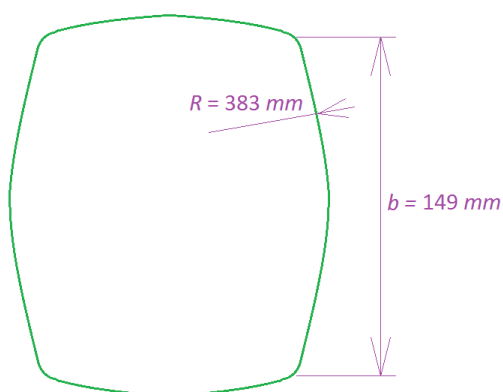
**Smykové napětí v potahu:**  $\tau = \frac{M_{K1_{poč}}}{2.U_{koren}.t_1} = \frac{477,8}{2.19300.0,5} = 24,76 \text{ MPa}$

Kontrola na únosnost potahu (zvoleno  $\tau_{kr} = 150 \text{ MPa}$ ) :

$$\eta_{unosnost} = \frac{\tau_{kr}}{\tau_I} = \frac{150}{24,76} = 6,06$$

**Kontrola potahu na ztrátu stability**

Kontrola největšího poloměru:



Hodnoty odečtené z podkladů 3.2 [20]:

Kritický součinitel smyku zakřivené desky:

$$k_\tau = 18$$

Smykové napětí:

$$\tau_{kr} = k_\tau E \left( \frac{t}{b} \right)^2 = 18.72000. \left( \frac{0,5}{149,0,9} \right)^2 = 18 \text{ MPa}$$

**Obrázek 16.2 - Geometrické charakteristiky pro výpočet stability potahu**

Pro obecné uchycení okrajů:

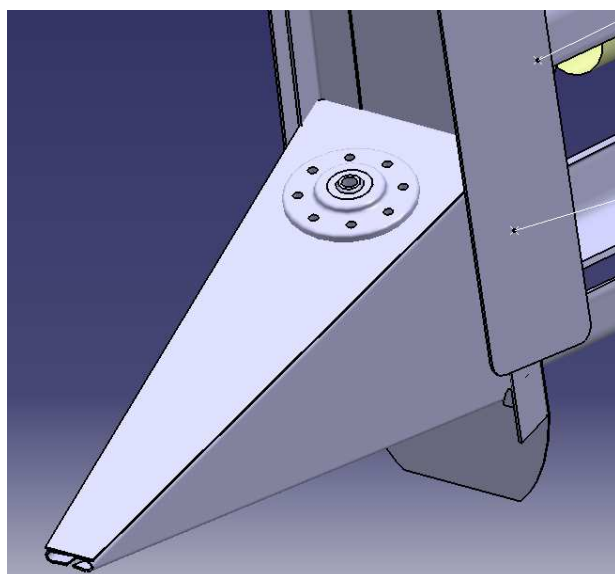
$$\tau_{kr} = \tau_{kr} + 0,1E \frac{t}{r} = 18 + \frac{0,172000 \cdot 0,5}{383} = 27,4 \text{ MPa}$$

**Součinitel rezervy:**  $\eta_{stabPOT_{koren}} = \frac{\tau_{kr}}{\tau} = \frac{27,4}{24,8} = 1,1$

### Závěr a vyhodnocení:

Potah v kořenovém řezu byl zkontrolován na únosnost a na ztrátu stability. Součinitel rezervy pro ztrátu stability potahu vyšel 1,1; což je dostatečná hodnota. Potah by měl být stabilní.

## 16.6. Návrh dolního závěsu směrového kormidla



Obrázek 16.3 - Dolní závěs směrového kormidla

Dolní závěs je složen z kloubového ložiska, které je vsazeno do skříně. Je zkontrolována únosnost kloubového ložiska.

### Kloubové ložisko (4.5 viz [20]):

| $d$<br>[mm] | $D$<br>[mm] | $b$<br>[mm] | $B$<br>[mm] | Radiální únosnost $P_r$<br>(pohyblivé spoje) [N] |
|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------------------------------|
| 5           | 14          | 4           | 6           | 18000                                            |

Tabulka 16.1 - Kloubové ložisko

Zatížení dolního závěsu:  $F_{poč} = 800 \text{ N}$

Součinitel rezervy:  $\eta_{klb} = \frac{18000 \cdot 0,55}{800} = 14,4$

## 16.7. Přehled součinitelů rezervy pro trupové nosníky

|                                                            |                                 |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Kontrola pásnic - zatížení od $M_{OI}$ (v kořenovém řezu)  | $\eta_I = 1,67$                 |
| Kontrola pásnic - zatížení od $M_{OII}$ (v kořenovém řezu) | $\eta_{II} = 3,24$              |
| Kontrola potahu - kořenový řez - únosnost                  | $\eta_{únosnost\ kořen} = 6,06$ |
| Kontrola potahu - kořenový řez - stabilita                 | $\eta_{STAB\ kořen} = 1,1$      |
| Kontrola potahu - koncový řez - únosnost                   | $\eta_{únosnost\ konec} = 4,18$ |
| Kontrola potahu - koncový řez - stabilita                  | $\eta_{STAB\ konec} = 1,36$     |
| Kontrola únosnosti kloubového ložiska                      | $\eta_{klb} = 14,4$             |

Tabulka 16.2 - Přehled vypočtených součinitelů rezervy pro trupové nosníky

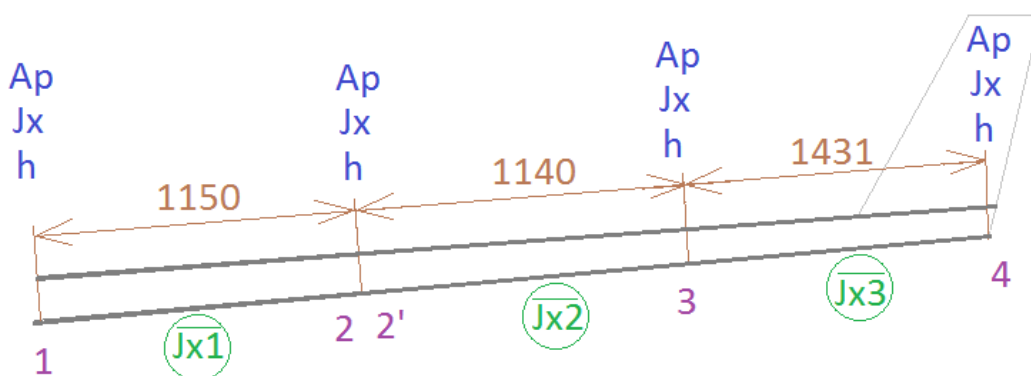
## 16.8. Výpočet velikosti deformace trupového nosníku

### 16.8.1. Vstupní hodnoty výpočtu

Zatěžující síla na jeden nosník (viz zatížení trupových nosníků):

$$F_{kombinace4} = 1443N$$

Geometrické charakteristiky pro výpočet deformace nosníku:



Obrázek 16.4 - Geometrické charakteristiky pro výpočet průhybu nosníku

Efektivní výšky nosníku:

| Výšky nosníku          | Efektivní výšky nosníku                    |
|------------------------|--------------------------------------------|
| $h_1 = 165 \text{ mm}$ | $h_{ef1} = 0,9 \cdot 165 = 149 \text{ mm}$ |
| $h_2 = 136 \text{ mm}$ | $h_{ef2} = 0,9 \cdot 136 = 122 \text{ mm}$ |
| $h_3 = 126 \text{ mm}$ | $h_{ef3} = 0,9 \cdot 126 = 113 \text{ mm}$ |
| $h_4 = 120 \text{ mm}$ | $h_{ef4} = 0,9 \cdot 120 = 108 \text{ mm}$ |

Tabulka 16.3 - Efektivní výšky nosníku

Plocha pásnic a výpočet kvadratického momentu průřezu nosníku:

Kvadratický moment průřezu nosníku:  $J_x = 2 \cdot (2A_p) \left( \frac{h_{ef}}{2} \right)^2$

| Plocha pásnice                  | Kvadratický moment průřezu       |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 $A_{p1} = 156 \text{ mm}^2$   | $J_{x1} = 3463356 \text{ mm}^4$  |
| 2 $A_{p2} = 156 \text{ mm}^2$   | $J_{x2} = 2321904 \text{ mm}^4$  |
| 2' $A_{p2'} = 115 \text{ mm}^2$ | $J_{x2'} = 1711660 \text{ mm}^4$ |
| 3 $A_{p3} = 100 \text{ mm}^2$   | $J_{x3} = 1276900 \text{ mm}^4$  |
| 4 $A_{p4} = 85 \text{ mm}^2$    | $J_{x4} = 991440 \text{ mm}^4$   |

Tabulka 16.4 - Výpočet kvadratického momentu průřezů nosníku

Průměrný kvadratický moment pro jednotlivé sekce:

$$\overline{J_{x1}} = \frac{J_{x1} + J_{x2}}{2} = 2892630 \text{ mm}^4$$

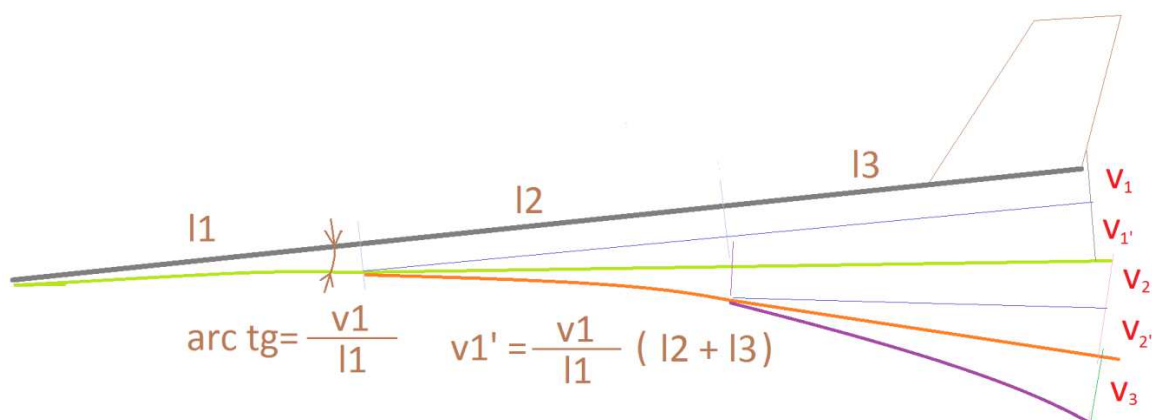
$$\overline{J_{x2}} = \frac{J_{x2'} + J_{x3}}{2} = 1494280 \text{ mm}^4$$

$$\overline{J_{x3}} = \frac{J_{x3} + J_{x4}}{2} = 1134170 \text{ mm}^4$$

## 16.8.2. Výpočet deformace

### Výpočet deformací nosníku:

Deformace nosníku je spočtena ve třech segmentech. Uvažuje se pouze deformace od ohybu, deformace od smyku není brána v potaz. Je započteno posunutí ostatních nezatížených segmentů vlivem deformace segmentu zatíženého.



Tabulka 16.5 - Výpočet deformací nosníku

Posunutí od posouvající síly:

$$v = F \cdot \frac{l^3}{3E\overline{J_x}} \text{ [mm]}$$

Posunutí nezatížených segmentů:

Je předpokládáno, že průhyb bude značně malý, a proto bylo zvoleno lineární řešení:

$$v_1' = \frac{v_1}{l_1} (l_2 + l_3); \quad v_2' = \frac{v_2}{l_2} l_3$$

$$v_1 = \frac{1443.1150^3}{3.72000.2892630} = 3,51 \text{ mm}$$

$$v_{1'} = \frac{3,51}{1150} \cdot (1140 + 1431) = 7,85 \text{ mm}$$

$$v_2 = \frac{1443.1140^3}{3.72000.1494280} = 6,62 \text{ mm}$$

$$v_{2'} = \frac{6,62}{1140} \cdot 1431 = 8,31 \text{ mm}$$

$$v_3 = \frac{1443.1431^3}{3.72000.1134170} = 17,26 \text{ mm}$$

$$\sum v = 3,51 + 7,85 + 6,62 + 8,31 + 17,26 = 43,55 \text{ mm} \approx 44 \text{ mm}$$

#### **Závěr a vyhodnocení:**

Z výpočtu vyplývá, že deformace nosníku není kritická a při maximálním provozním zatížení bude dosahovat přibližně 44 mm. Nemělo by dojít vlivem deformace k výraznější změně úhlu náběhu VOP.

#### **16.8.3. Uchycení kýlů k trupovým nosníkům**

Kýlové plochy jsou uchyceny k nosníkům pomocí přílozek, které jsou vedené na lemy trupových přepážek. Příložky přenášejí ohybový moment a kroutící moment kýlové plochy.

Rozhodující případ zatížení:  $M_{O_{prov}} = 310 \text{ Nm} \gg M_{O_{poč}} = 310.1,5 = 465 \text{ Nm}$

Efektivní rozteč přílozek zadního nosníku:  $H_{ef_{zad}} = 61 \text{ mm}$

Efektivní rozteč přílozek předního nosníku:  $H_{ef_{před}} = 75 \text{ mm}$

Tlaková síla do přílozek zadního nosníku:

$$F_{ZAD} = \frac{M_{O_{poč}} \cdot \frac{J_{x_{ZAD}}}{\sum J_x}}{H_{ef_{ZAD}}} = \frac{465 \cdot \frac{26463}{65343}}{61} = 3087 \text{ N}$$

Tlaková síla do přílozek předního nosníku:

$$F_{Před} = \frac{M_{O_{poč}} \cdot \frac{J_{x_{Před}}}{\sum J_x}}{H_{ef_{Před}}} = \frac{465 \cdot \frac{38880}{65343}}{75} = 3689 \text{ N}$$

Napětí v příločkách – zadní nosník:

$$\sigma_{ZAD} = \frac{F_{ZAD}}{A_p} = \frac{3087}{50,0,8} = 77,175 \text{ MPa}$$

Napětí v příločkách – přední nosník:

$$\sigma_{Před} = \frac{F_{Před}}{A_p} = \frac{3689}{19,1,2} = 162 \text{ MPa}$$

Kritické napětí v tlaku pro příložky odečteno z grafu 2.6 [20]:

$$\sigma_{KR_{zadni}} = 110 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{KR_{predni}} = 170 \text{ MPa}$$

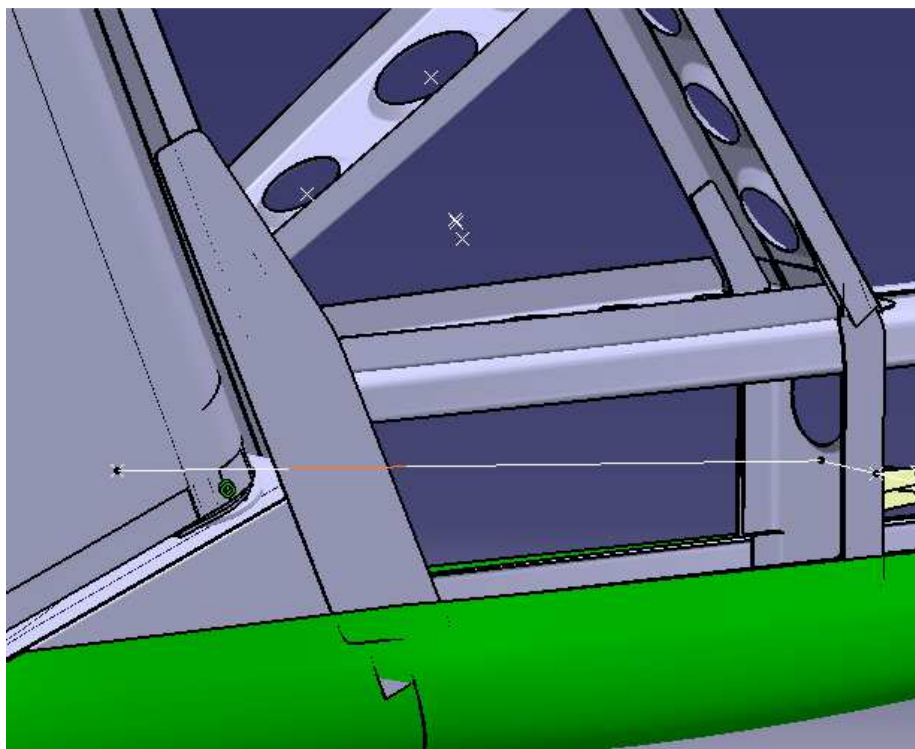
**Součinitele rezervy pro namáhání příložek v tlaku**

**Zadní nosník - příložka:**

$$\eta_{ZAD} = \frac{110}{77} = 1,46$$

**Přední nosník - příložka:**

$$\eta_{Před} = \frac{170}{162} = 1,05$$



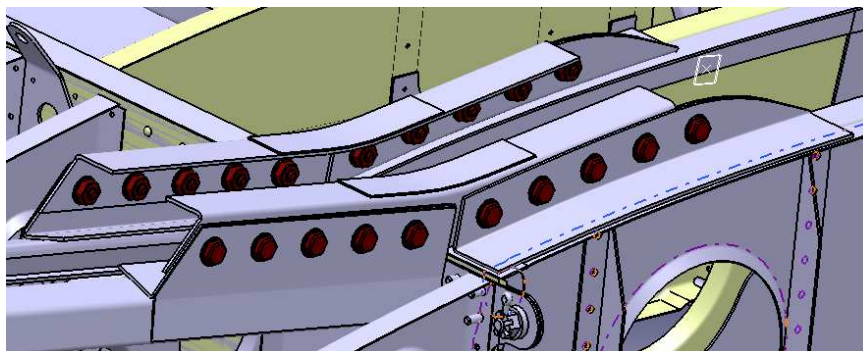
**Obrázek 16.5 - Uchycení kýlů k trupovým nosníkům**

**Závěr a vyhodnocení:**

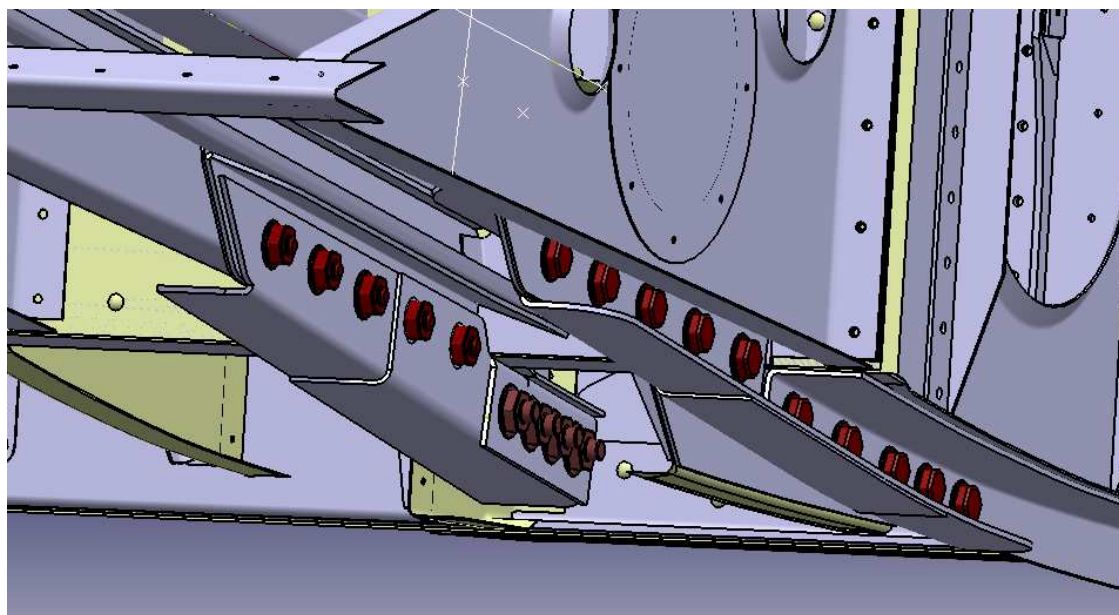
Součinitel rezervy zadních příložek je 1,46; příložka dané zatížení přenesou bez problému. U přední příložky je však součinitel rezervy pouhých 1,05; předpokládá se však, že dané zatížení bude přenášet také potah, který není započítán, tudíž lze konstatovat, že i přední příložka dané zatížení přenesou bez problémů.

## 16.9. Návrh a kontrola uchycení trupových nosníků k centroplánu

Trupové nosníky jsou sestaveny ze čtyř pásnic, tyto pásnice přenáší zatížení od ohybových momentů trupových nosníků. Každá pásnice je s pomocí spoje uchycena do centroplánu. Spoj je složen z přílozek, pěti šroubů M5 a duralového profilu, který je schopen dané zatížení přenést. Zatížení je poté přenášeno do centroplánu ve třech případech opět s pomocí spoje, složeného z pěti šroubů M5. Ve čtvrtém případě (dolní vnitřní spoj - viz obrázek níže) je použito čtyřech šroubů M7. Použití menšího počtu větších šroubů je nutné kvůli menší délce styčné plochy způsobené výřezem v centroplánu pro nohu zatahovacího podvozku. Spoje jsou zobrazeny na obrázcích níže. Žebra centroplánu jsou zesíleny pomocnými lemy a vnitřní žebro je ve spodní části zesíleno. Pevnostní kontrola částí centroplánu však není v rozsahu této práce provedena. Pevnostní kontrola spoje obsahuje kontrolu šroubových spojů, kontrolu vyrovnávacích profilů na smyk v určeném kritickém průřezu a kontrolu stability spojovacích profilů. Kontrolované části jsou vždy doplněny obrázkem.



Obrázek 16.6 - Horní část spoje trupového nosníku s centroplánem



Obrázek 16.7 - Spodní část spoje trupového nosníku s centroplánem

### 16.9.1. Geometrické údaje a zatížení spoje

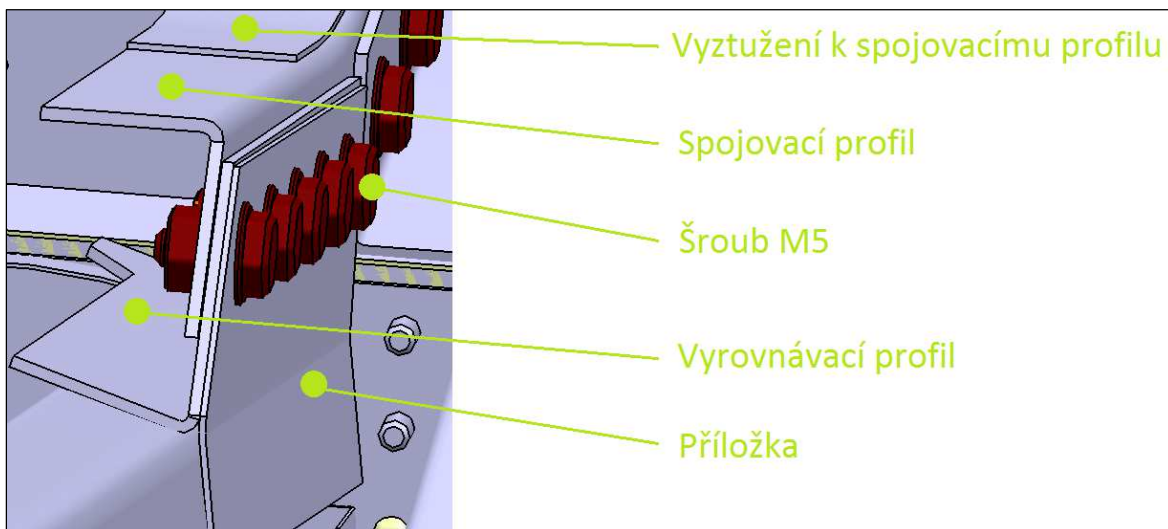
Efektivní výška spoje:  $h = 239 \text{ mm}$ ;  $H_{ef} = h \cdot 0,9 = 239 \cdot 0,9 = 215 \text{ mm}$

Početní ohybový moment (viz zatížení trupových nosníků):

$$M_{z_{poč}} = 5602,15 = 8403 \text{ Nm}$$

Síla od ohybového momentu do spoje:  $F_{spoj} = \frac{M_{z_{poč}}}{2 \cdot H_{ef}} = 19542 \text{ N}$

**Jednotlivé součásti spoje:**



Obrázek 16.8 - Součásti spoje

### 16.9.2. Pevnostní kontrola šroubového spoje 5xM5

Únosnost šroubu M5 ve smyku:

$$F_{smyk} = \frac{\alpha_v f_{U/B} A}{\gamma_{M2}}$$

$\alpha_v = 0,6$  ... Pro pevnostní třídu 8.8  
 $f_{U/B} = 800 \text{ MPa}$  ... Pro pevnostní třídu 8.8

$A$  ... Plocha průřezu šroubu;

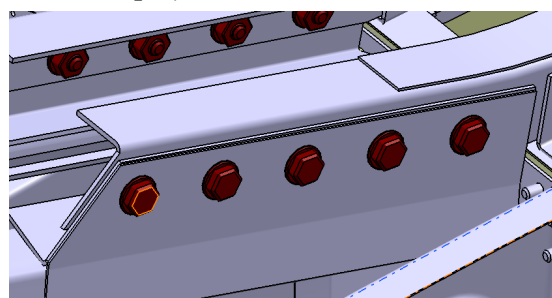
$$A_{M5} = \frac{(0,85 \cdot 5)^2 \cdot \pi}{4} = 14,19 \text{ mm}^2$$

$\gamma_{M2} = 1,5$  ... součinitel bezpečnosti šroubového spoje

$$F_{smyk} = \frac{\alpha_v f_{U/B} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 14,19}{1,5} = 4540,8 \text{ N}$$

Únosnost pěti šroubů M5:  $F_{spojM5} = 5 \cdot 4540,8 = 22704 \text{ N}$

Součinitel rezervy šroubových spojů M5 ve spoji:  $\eta = \frac{F_{spojM5}}{F_{spoj}} = \frac{22704}{19542} = 1,16$



Obrázek 16.9 - Šroubový spoj 5xM5

### 16.9.3. Šroubový spoj 4xM7

Únosnost šroubu M7 ve smyku:

$\alpha_v = 0,6$  ... Pro pevnostní třídu 6.8

$f_{U/B} = 600 \text{ MPa}$  ... Pro pevnostní třídu 6.8

A ... Plocha průřezu šroubu;

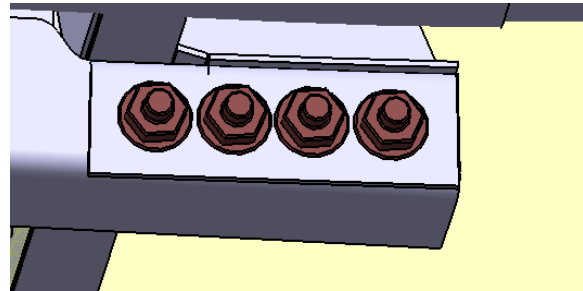
$$A_{M7} = \frac{(0,85 \cdot 7)^2 \cdot \pi}{4} = 27,8 \text{ mm}^2$$

$\gamma_{M2} = 1,5$  ... součinitel bezpečnosti  
šroubového spoje

$$F_{smyk} = \frac{\alpha_v f_{U/B} A_{M7}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 600 \cdot 27,8}{1,5} = 6672 \text{ N}$$

Únosnost čtyř šroubů M7:  $F_{spojM7} = 4 \cdot 6672 = 26688 \text{ N}$

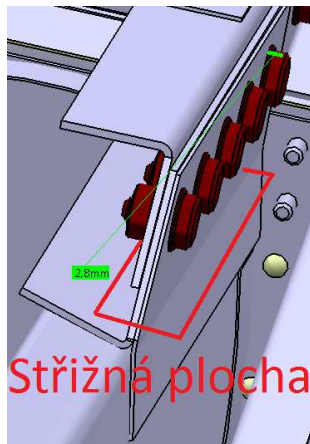
Součinitel rezervy šroubových spojů M7 ve spoji:  $\eta = \frac{F_{spojM7}}{F_{spoj}} = \frac{26688}{19542} = 1,36$



Obrázek 16.10 - Pevnostní spoj 4xM7

### 16.9.4. Kontrola vyrovnávacího profilu a příločky

Horní část – strana k nosníku:



Vyrovnávací profil je kontrolován na stříh.

Střižná plocha:  $A_{střih} = t \cdot l = 2,8 \cdot 214 = 599 \text{ mm}^2$

Početní hodnota zatěžující síly:  $F_{střih} = 19542 \text{ N}$

Napětí ve stříhu:  $\tau_{rov1} = \frac{F_{střih}}{A_{střih}} = \frac{19542}{599} = 32,62 \text{ MPa}$

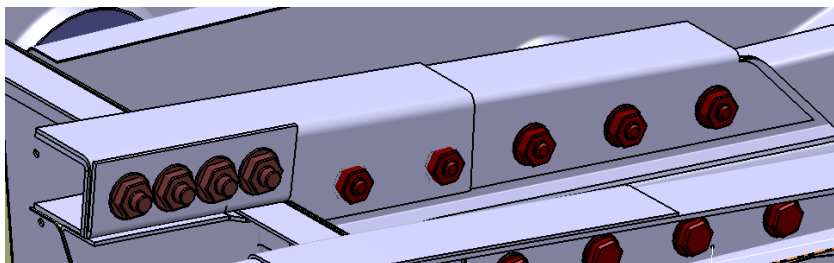
Materiál: Z42401.61:  $R_m = 390 \text{ MPa}$

Součinitel rezervy:  $\eta = \frac{\frac{1}{2} \cdot 390}{32,62} = 5,9$

Vzhledem k vysokému součiniteli rezervy není kontrola ostatních střižných ploch provedena.

Obrázek 16.11 - Kontrola na stříh

### 16.9.5. Kontrola spojovacího profilu se zesílením



Obrázek 16.12 - Spojovací profil - dolní vnitřní

Kontrola stability spojovacího profilu se zesílením byla provedena pouze na spodní tlačené straně.

Průřezová plocha v kritickém místě:

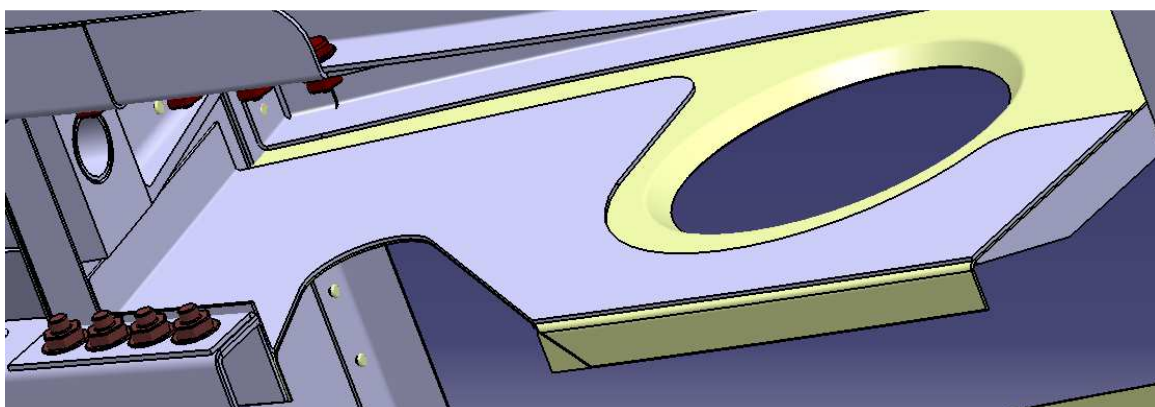
$$A = A_{prof} + A_{zes} = 95,4 + 73,5 = 169 \text{ mm}^2$$

Zatěžující síla:  $F_{tlač} = 19542 \text{ N}$

Napětí v součástech:  $\sigma_{tlač} = \frac{F_{tlač}}{A} = \frac{19542}{169} = 115,6 \text{ MPa}$

Kritické napětí (viz 2.6 [20]):  $\sigma_{kr} = 190 \text{ MPa}$

Součinitel rezervy:  $\eta = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma_{tlač}} = \frac{190}{115,6} = 1,64$



Obrázek 16.13 - Zesílení žebra centroplánu

#### 16.9.6. Přehled součinitelů rezervy pro uchycení trupových nosníků k centroplánu

| Přehled součinitelů rezervy pro uchycení trupových nosníků k centroplánu |                    |
|--------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Prvek                                                                    | Součinitel rezervy |
| Šroubový spoj 4xM7                                                       | 1,16               |
| Šroubový spoj 5xM6                                                       | 1,36               |
| Kontrola vyrovnávacího profilu a příložky                                | 5,9                |
| Kontrola spojovacího profilu se zesílením                                | 1,64               |

Tabulka 16.6 - Přehled součinitelů rezervy pro uchycení trupových nosníků k centroplánu

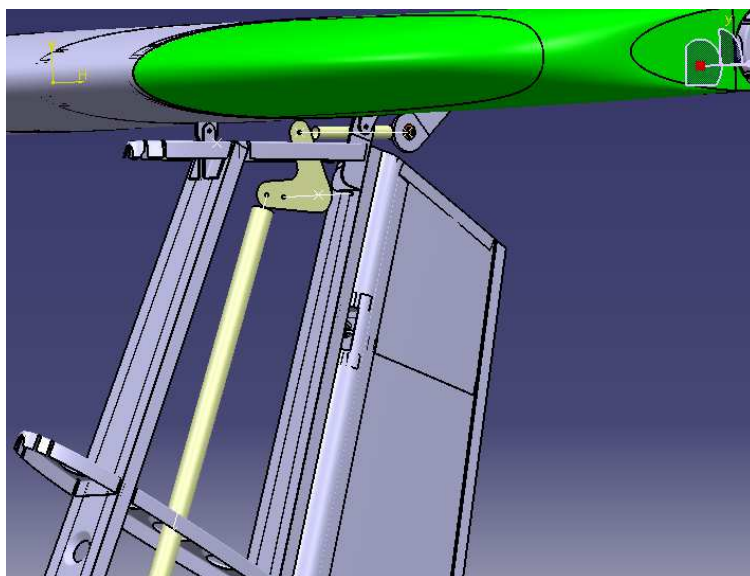
#### Závěr a vyhodnocení:

Tento návrh uchycení nosníků do centroplánu poukazuje na možnost vytvoření rozebíratelného spoje, který by mohl být výhodný nejen z hlediska montáže. Z pevnostního hlediska byla provedena kontrola vybraných prvků, jejichž vypočtené součinitele rezervy jsou vedeny v tabulce 16.6 výše. Z pevnostního hlediska prvky vyhovují. Bylo by však nutné provést pevnostní kontrolu celého centroplánu.

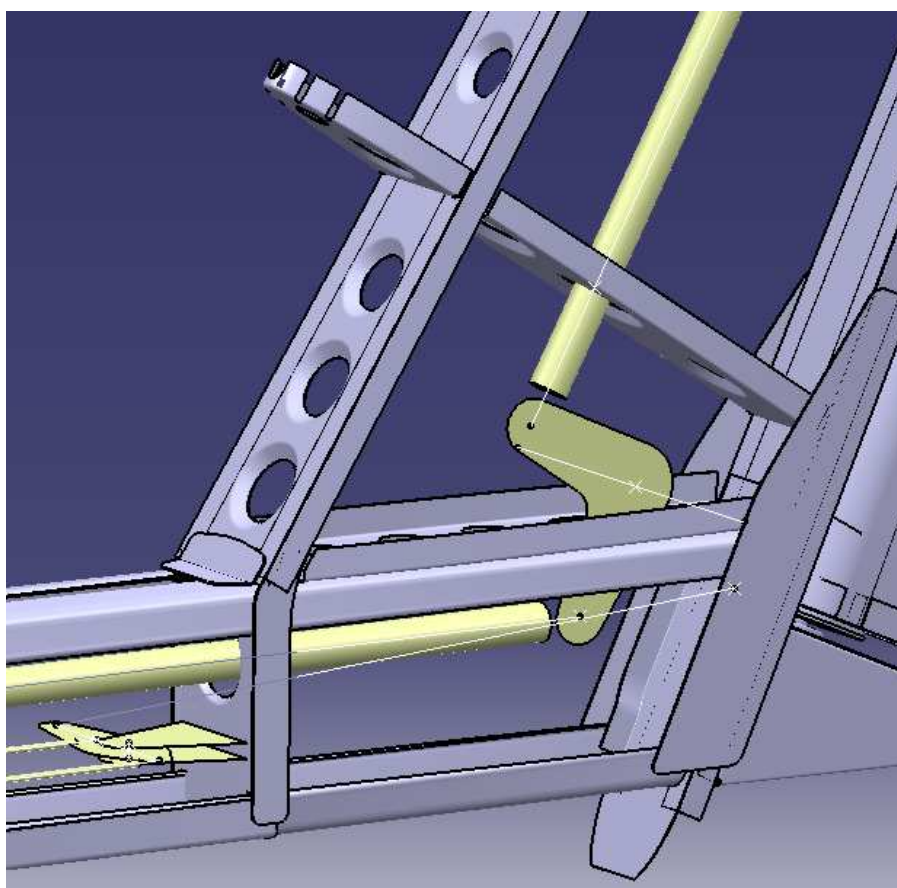
## 17. Systém řízení

V této kapitole je popsán systém řízení výškového a směrového kormidla v trupových nosnících a kýlových plochách. Řízení výškového kormidla je řešeno systémem táhel a pák.

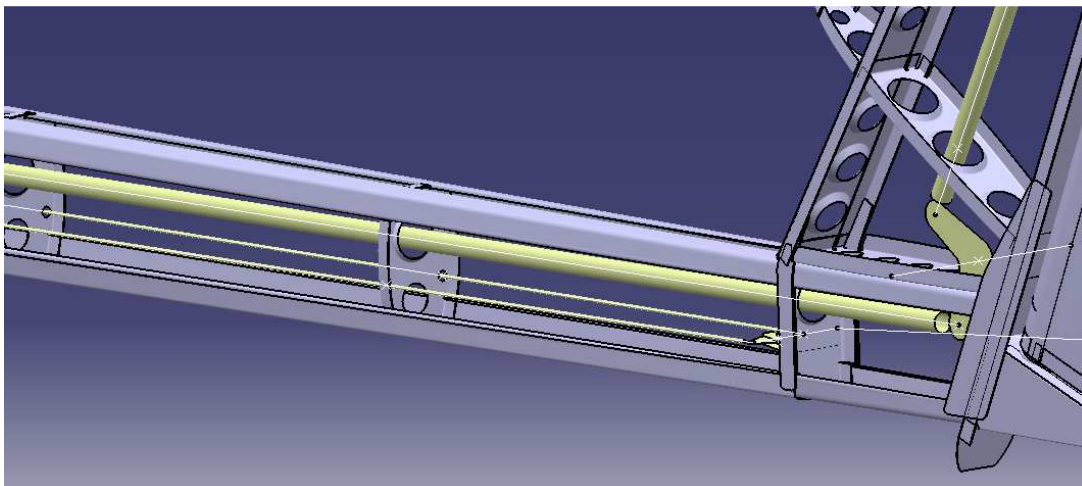
Táhla řízení výškového kormidla jsou vedena v levém trupovém nosníku a v levé kýlové ploše. Změny směrů táhel jsou řešeny úhlovými pákami. Táhlo v nosníku musí být podepřeno na několika místech kvůli stabilitě.



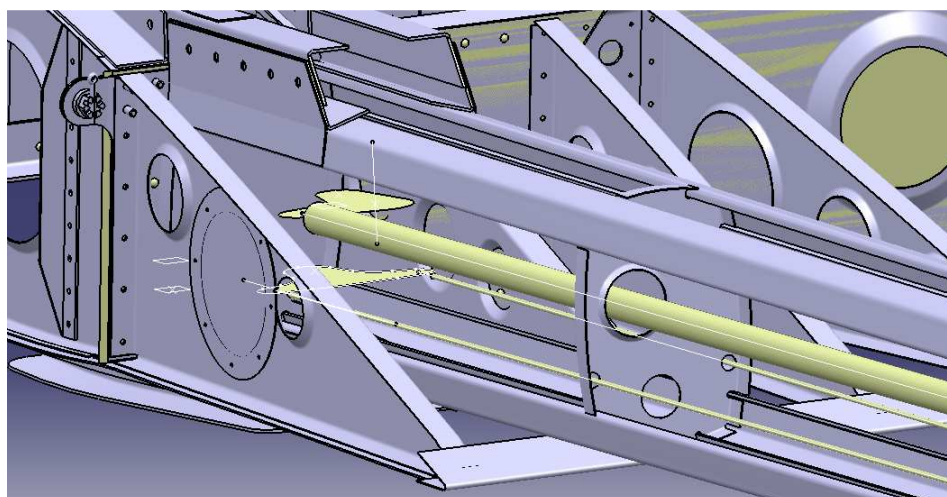
Obrázek 17.1 - Táhlo řízení VK v kýlu



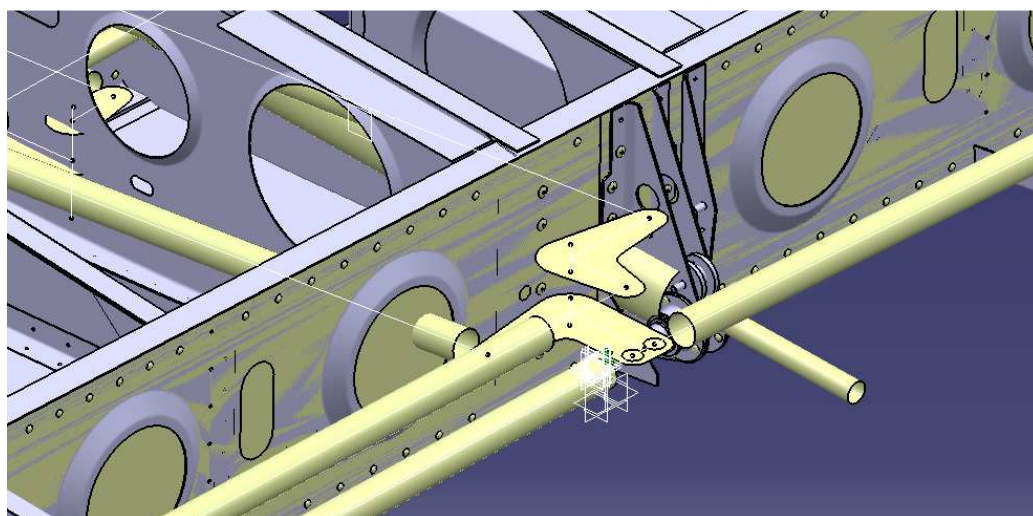
Obrázek 17.2 - Úhlová páka a táhla řízení VK



Obrázek 17.3 - Táhlo v nosníku

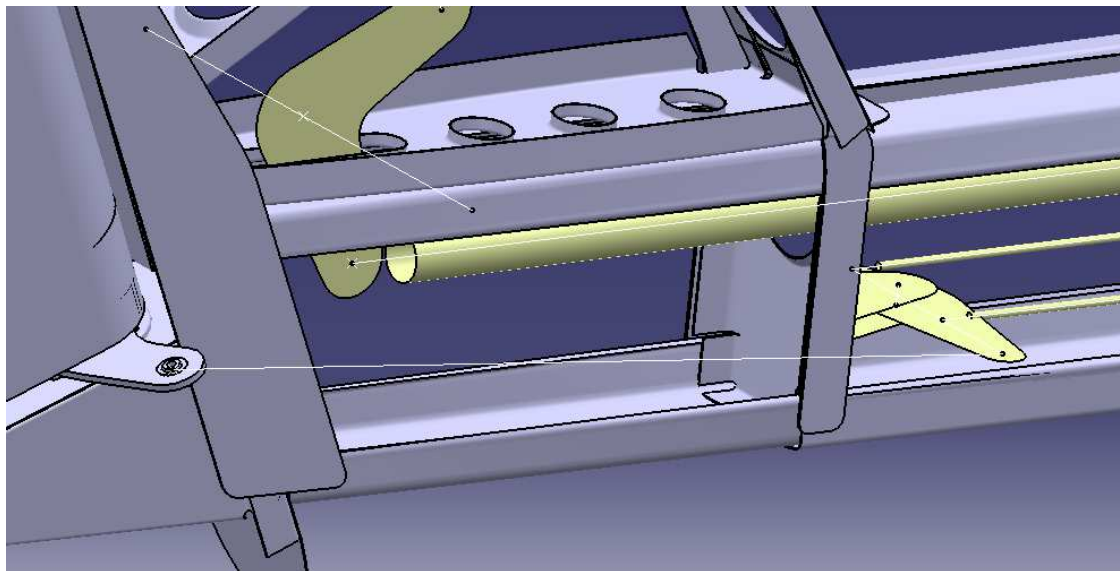


Obrázek 17.4 - Zavedení táhla z centroplánu

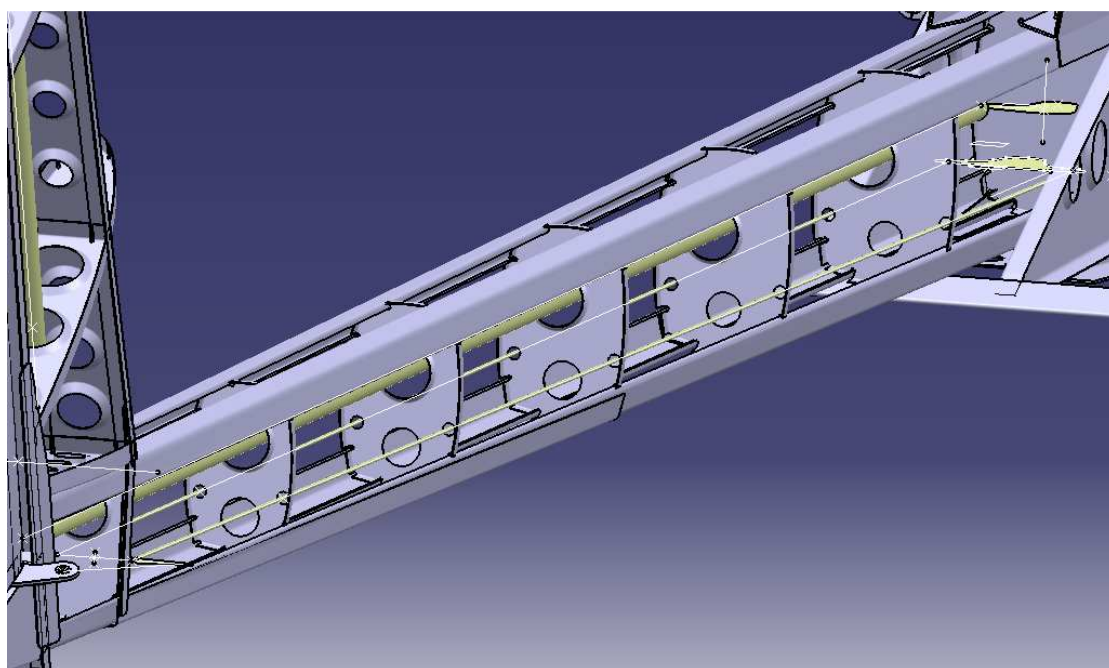


Obrázek 17.5 - Systém řízení v centroplánu

Řízení směrových kormidel je vedeno v obou trupových nosnících pomocí lan. Z centroplánu je vedeno řízení pomocí táhla, které je převedeno na lanové řízení, které je taženo trupovým nosníkem až ke kýlové ploše. Směrové kormidlo je opět řízeno táhlem, které je vedeno venkovní stranou trupového nosníku.

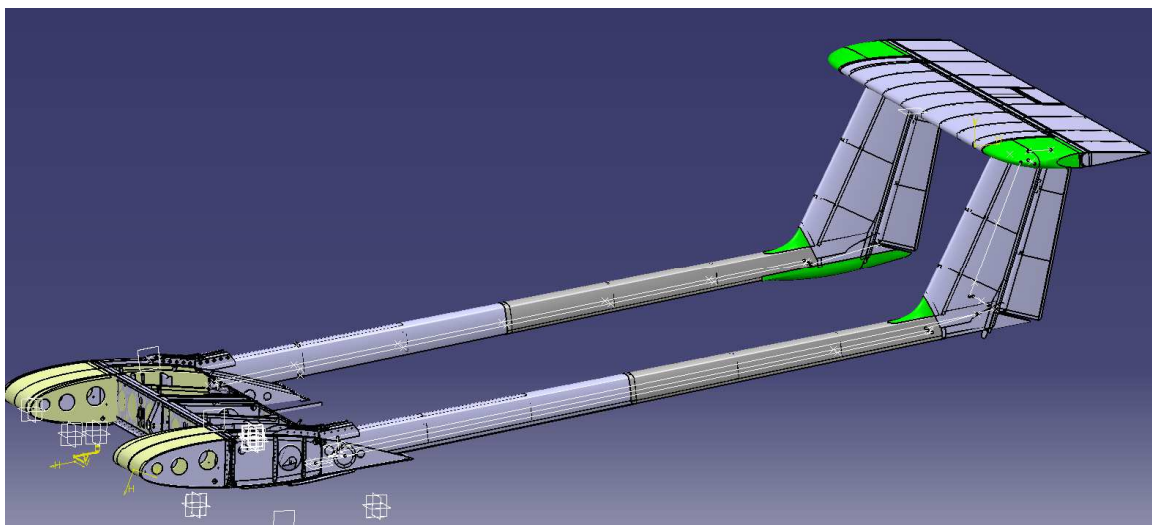


Obrázek 17.6 - Táhl řízení SK

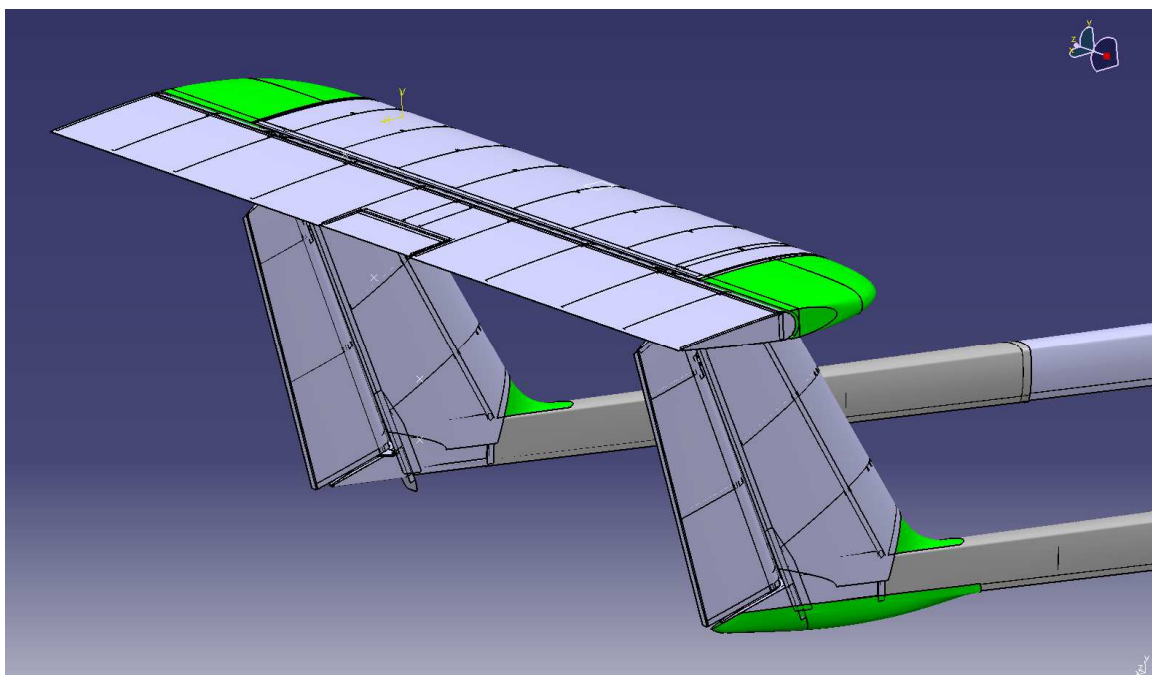


Obrázek 17.7 - Vedení lan řízení a táhla VK

## 18. Ilustrace návrhu

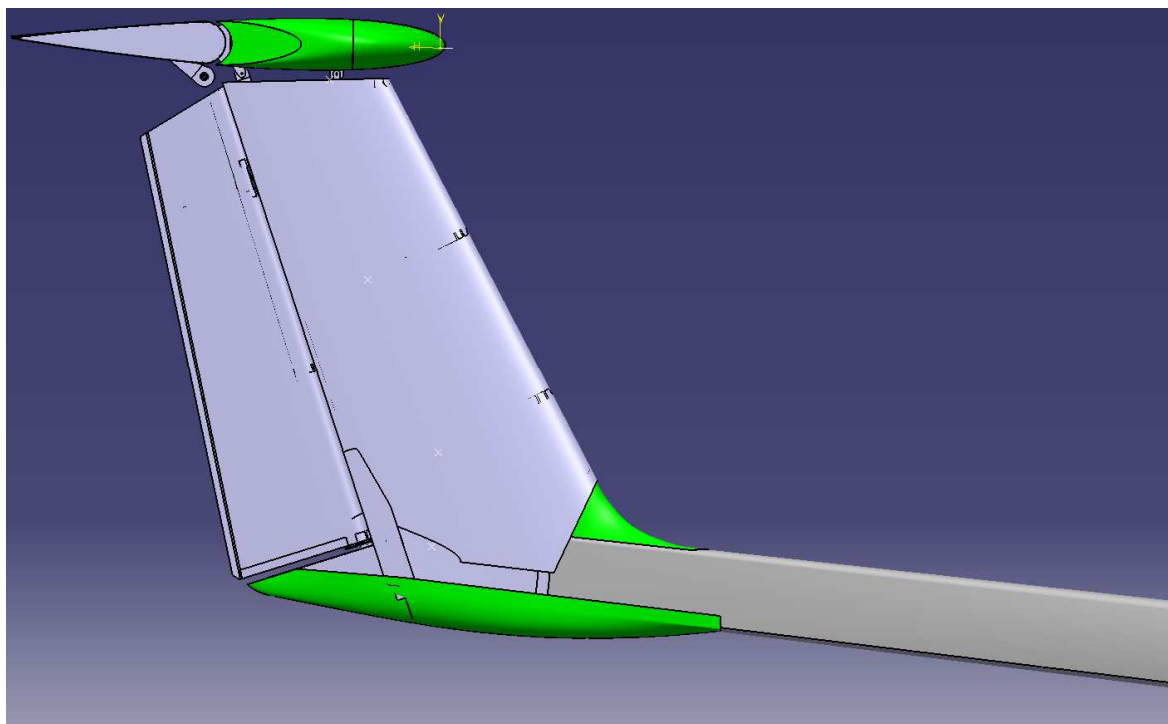


Obrázek 18.1 - Nosníky, VOP, SOP

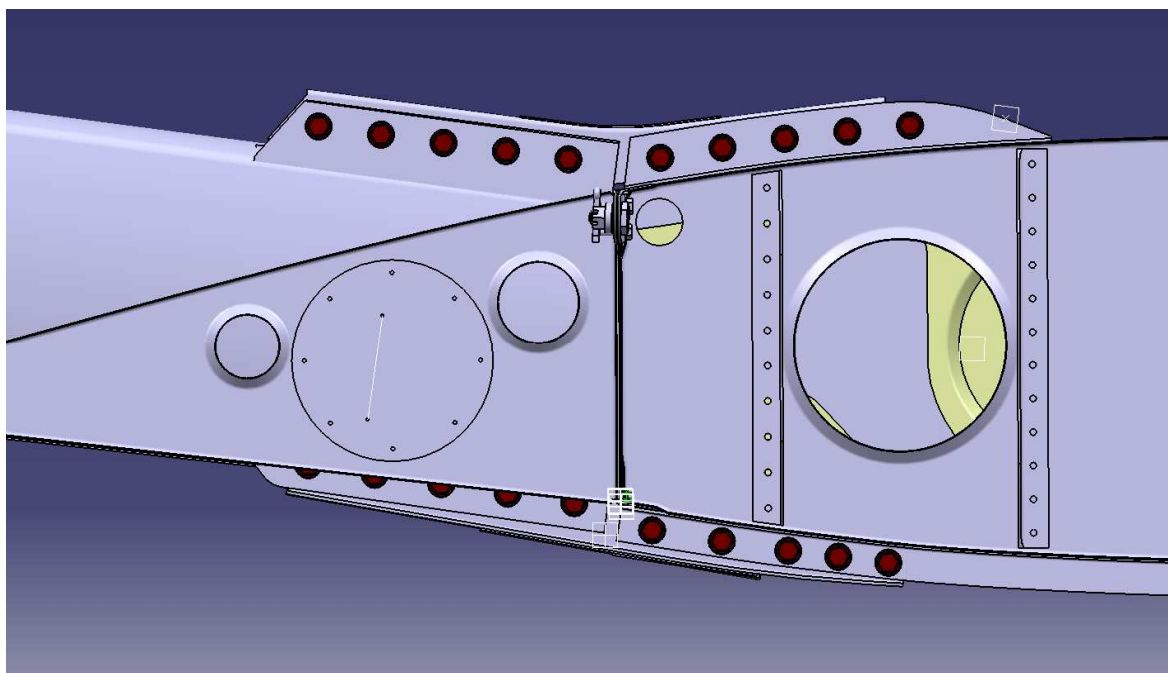


Obrázek 18.2 - Ocasní plochy

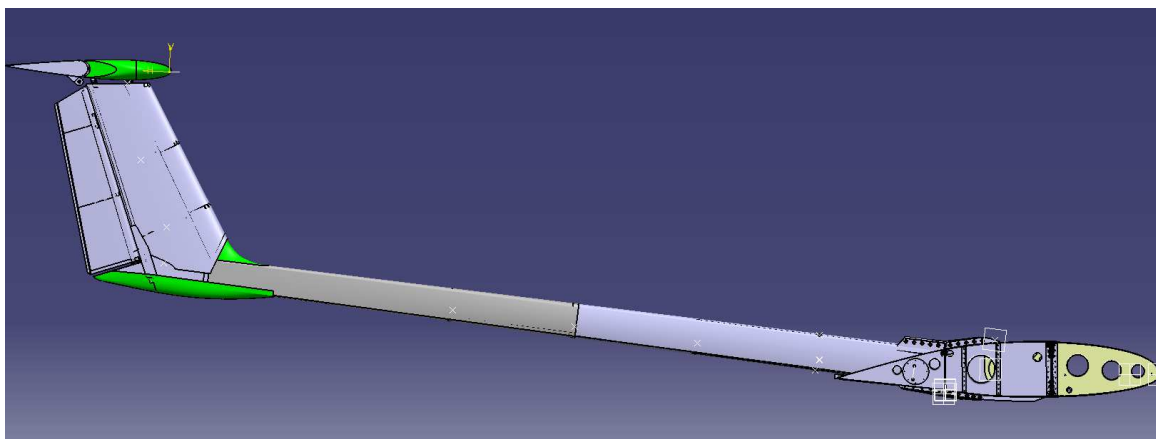
Na obrázcích jsou **zelenou barvou** vyznačeny nekovové kompozitní díly.



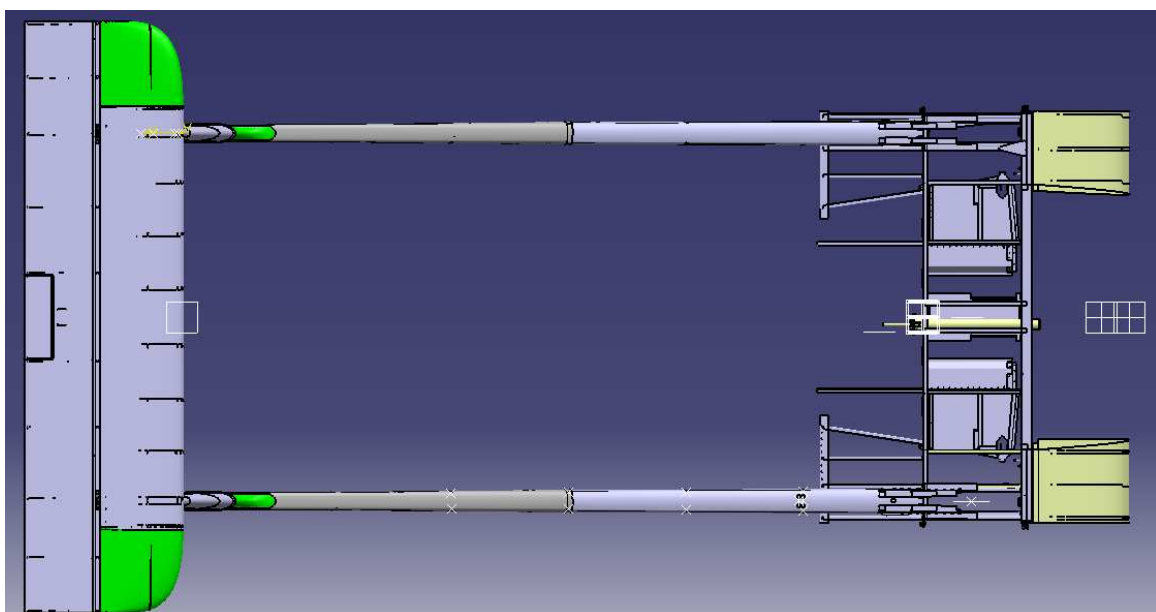
Obrázek 18.3 - Kýl a směrové kormidlo



Obrázek 18.4 - Detail uchycení nosníku do centroplánu



Obrázek 18.5 - Pohled ze strany



Obrázek 18.6 - Pohled shora

## 19. Technologické zpracování

Letoun VUT – 081 KONDOR by měl splňovat požadavky evropského předpisu ELSA s technologií stavební konstrukce. Jednotlivé díly by měly být vyráběny technologií „díрка na díрку“, kterou se zabývá česká společnost TechProAviation sídlící v Olomouci. Celá technologie je založena na obrábění součástí s využitím výpočetní techniky – tedy CNC strojů.

### 19.1. Základní pojmy

#### **CAD – Computer – Aided Design [21]**

Česky lze tento termín přeložit jako *počítačem podporované projektování*. Tímto termínem je nazvaná činnost, kdy konstruktér používá pro návrh pokročilé grafické programy. CAD programy obsahují grafické, geometrické, matematické a inženýrské nástroje. Slouží k navrhování výkresů, modelování součástí a sestav nebo simulování různých dějů, která se mohou vyskytovat ve skutečném světě. Pokročilé CAD aplikace mohou provádět pevnostní výpočty, analýzy různých dějů či řízení výrobních systémů.

#### **CAM – Computer – Aided Manufacturing [22]**

Český překlad je *počítačová podpora obrábění*. Jde o použití počítačového softwaru pro programování CNC strojů. V praxi to znamená, že CAM software je schopen pro daný známý CNC stroj navrhnout optimální dráhy nástroje či obrobku. V ideálním případě by měl software zaručit nejefektivnější výrobu, tedy nejmenší opotřebování nástroje, nejmenší energetickou stopu, malé množství odpadu po obrábění a měl by zaručit maximální produkci výrobku. První využití CAM systémů bylo u velkých společností v leteckém či automobilovém průmyslu. Jedním z prvních CAM systémů byl UNISURF, který vyvinula firma Renault v roce 1971 pro návrh a výrobu karoserií automobilů.

Hlavní představitelé CAM systémů jsou Catia (CAD, CAM, CAE), HSMWorks, Kovoprog, SolidCAM, InventorCAM a další.

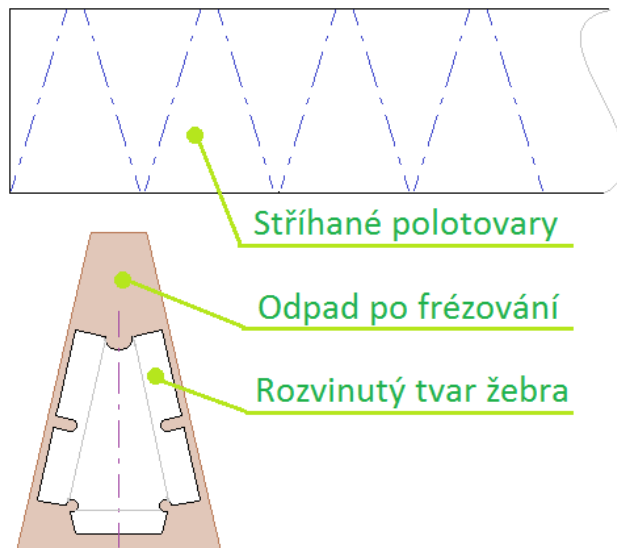
### 19.2. Číslicově řízený výrobní stroj – CNC

Tyto stroje jsou charakteristické tím, že ovládání pracovních funkcí stroje je prováděno řídicím systémem. Pojem CNC (*Computer Numerical Control*) značí počítačem číslicově řízený stroj. CNC stroje se řídí programem, který řídí silové prvky stroje a zaručuje požadovanou výrobu součástí. Tyto stroje lze snadno přizpůsobit jiné obdobné výrobě, pracují v automatizovaném cyklu, který je zajištěn číslicovým řízením.

## 19.3. Dělení materiálu pro plošné tváření pomocí strojů CNC

### 19.3.1. Obrysové frézování

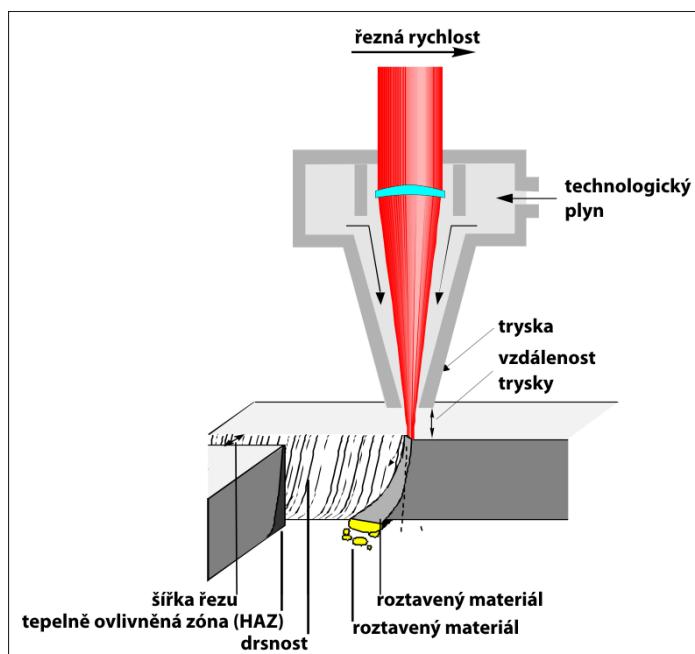
Obrysové frézování vede k získání přesných rozvinutých tvarů budoucích žeber, přepážek a stojin. Navrstvením nastříhaných polotovarů je možno frézovat větší počet plošných dílů současně. Tato technologie vede k velkému zvýšení produktivity.



Obrázek 19.1 - Obrysové frézování obrysového tvaru žebra

### 19.3.2. Řezání materiálu laserem

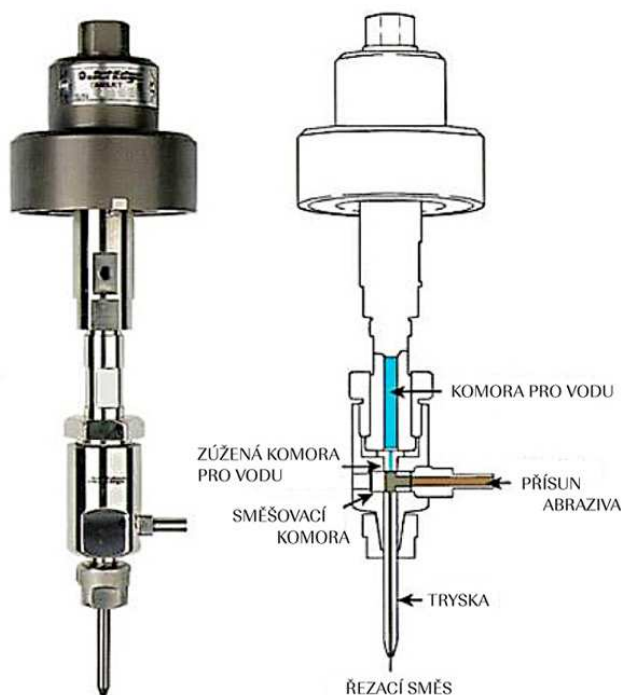
Dělení materiálu laserem funguje na principu zahřátí materiálu v místě spáry na teplotu až 100 000 °C, dochází k velmi rychlému tavení a vyfukování dusíkem či argonem. Řezná spára je velmi úzká a tepelně ovlivněná oblast je velmi malá. Pohyb řezací hlavy je řízen výpočetní technikou.



Obrázek 19.2 - Řezání laserem [24]

### 19.3.3. Řezání vodním paprskem s abrazivem

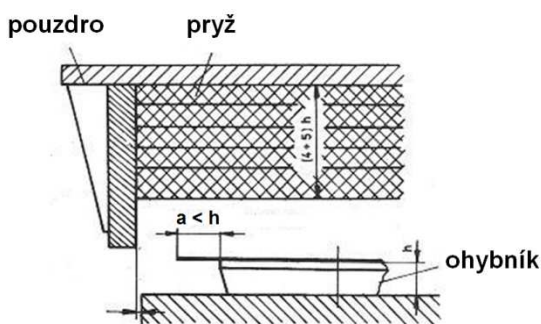
Princip řezání materiálu vodním paprskem je dán obroušováním děleného materiálu vodním paprskem o tlaku až  $650 \text{ MPa}$ , přitom paprsek vstupuje z trysky rychlostí až  $1000 \text{ m/s}$ . Pro řezání kovových dílů jsou do vodního paprsku přimíchávány abrazivní látky o vhodné zrnitosti. Šířka řezné spáry je  $0,8 - 1,6 \text{ mm}$ . Mezi výhody řezání vodním paprskem patří vysoká kvalita řezané hrany s minimem otřepů a absence tepelně ovlivněné oblasti. Řezná hlava a její pohyb je řízen počítačem dle programu.



Obrázek 19.3 - Řezání vodním paprskem [25]

### 19.4. Výroba dílců s lemy a prolisy – tváření nepevným nástrojem

Nepevným nástrojem je možné ohýbat vnější lemy, ale také prolisy a lemy otvorů. Ohýbání lemů může být spojeno s vystřihováním otvorů a výřezů.



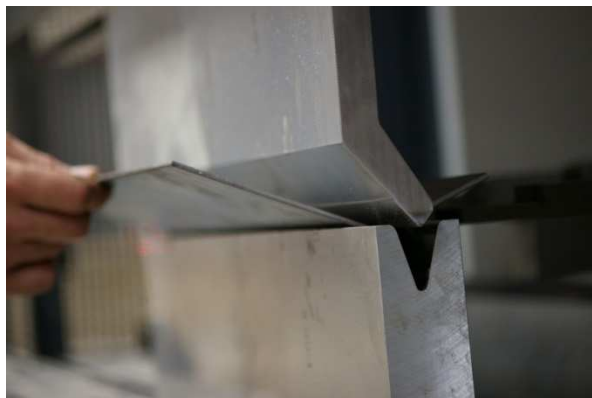
Obrázek 19.5 - Tváření nepevným nástrojem [26]



Obrázek 19.4 - Ohýbání lemů žeber [27]

## Ohyb na ohraňovacím lisu

Pomocí ohraňovacího lisu lze tvarovat potahové panely, ale také vyrábět ohýbané profily nahrazující profily tažené. Zakřivení je dáno velikostí zdvihu nástroje a roztečí podpěr.



**Obrázek 19.6 - Ohyb na ohraňovacím lisu [28]**

## 20. Závěr

Cílem práce „Návrh letounu VUT – 081 KONDOR ve dvoutrupové variantě“ bylo navrhnout zadní část nekonvenčního letounu KONDOR. Konstrukční návrh byl zaměřen na konstrukci stabilizátoru, výškového kormidla, směrového kormidla, kýlových ploch a trupových nosníků OP. Důležitým úkolem byl návrh zástavby trupových nosníků do konstrukce centroplánu, která je převzata z letounu Skyleader 600 se zatahovacím podvozkem.

V první části práce byl proveden výpočet základních výkonů letounu KONDOR, výpočet obálky zatížení, stanovení zatížení ocasních ploch a přistávacího zatížení. Základními zdroji dat byly aerostatické podklady a hmotnostní rozbor letounu VUT 081. Výpočet zatížení ocasních ploch byl proveden analogicky jako výpočet zatížení OP letounu MARABU na základě zapůjčené výpočtové zprávy *LU26-2007-001.L*.

V průběhu zpracování projektu bylo rozhodnuto o změně uspořádání motorového lože, které bude uchyceno ke kompozitnímu trupu letounu a ne do zástavby centroplánu. Z tohoto důvodu nebyl konstrukční návrh motorového lože v této práci proveden, avšak bylo stanoveno zatížení motorového lože, které je uvedeno v příloze této práce.

Druhá část práce obsahuje především pevnostní výpočty a konstrukční provedení jednotlivých částí letounu a jejich spojení. Konstrukční návrh byl zaměřen především na možnost uplatnění stavebnicové konstrukce. Při návrhu byly brány v úvahu technologické možnosti firmy *TechProAviation*, v které se budou jednotlivé součásti letounu vyrábět.

V samotném závěru práce jsou zmíněny možnosti počítačového projektování a počítačem řízeného obrábění, které ve velké míře může zjednodušit a zefektivnit sériovou výrobu letounů.

Tato práce neobsahuje pevnostní kontrolu centroplánu, která bude pro konstrukční provedení neodmyslitelná. Právě centroplán spojuje všechny majoritní dílce dohromady. Systém řízení výškového a směrového kormidla je v této práci řešen pouze demonstrativně, kinematika řízení je převzata z poskytnutého modelu a pevnostní výpočty řízení nejsou v rámci tohoto projektu provedeny.

## 21. Seznam použitých zdrojů

- [1] Jane's: All the World's Aircraft (všech vydání)
- [2] časopisecká literatura
- [3] Niu, M.C.Y: Airframe Structural design, Conmilit LTD, 1991.
- [4] Návrh trupu letounu VUT 001 Marabu. *Asociace strojních inženýrů ČR* [online]. 2010 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.asicr.cz/bulletin/listopad-2010/#articl-1>
- [5] Technická specifikace letounu JA 600. *Skyleader* [online]. 2011 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://www.skyleader.aero/en/products/skyleader-600/technical-data.ep/>
- [6] SLAVÍK, Svatomír. Stavba letadel. Vyd. 1. ČVUT, 1997. ISBN 80-010-1671-4.
- [7] CHVÁLA, V. Stodvacetakilový Song. *Pilot: časopis LAA*. 2011, roč. 2011, č. 12.
- [8] *Song: the best 120 kg ultralight airplane* [online]. 2011 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.songairplane.com/>
- [9] Sparrow ML. *Sparrow ML* [online]. 2013 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: [http://www.flying-directory.com/popup\\_info.php?action=aircraft&id=59281](http://www.flying-directory.com/popup_info.php?action=aircraft&id=59281)
- [10] Picture of the Sparrow ML aircraft. *Airliners* [online]. 2013 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.airliners.net/photo/Sparrow-ML/1910070/M/>
- [11] Cessna Skymaster. Wikipedia [online]. 2006 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Cessna\\_Skymaster](http://en.wikipedia.org/wiki/Cessna_Skymaster)
- [12] Info o motoru ROTAX 912 iS. *TEVESO* [online]. 2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://roko.rabbitdesign.cz/?topic=instalace-noveho-motoru-rotax-912-is>
- [13] Technické parametry motoru ROTAX 912 iS. *TEVESO* [online]. 2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://www.teveso.cz/letecke-motory/912-is-techn\\_parametry.pdf](http://www.teveso.cz/letecke-motory/912-is-techn_parametry.pdf)
- [14] 912 iS The new engine evolution has arrived. *TEVESO* [online]. 2012 [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: [http://www.teveso.cz/pdf/912-iS\\_imagefolder.pdf](http://www.teveso.cz/pdf/912-iS_imagefolder.pdf)
- [15] DANĚK, Vladimír. *Mechanika letu*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 293 s. ISBN 978-80-7204-659-1.
- [16] MALIŠ, Michal. LETECKÝ ÚSTAV VUT V BRNĚ. *Hmotnostní rozbor letounu VUT - 081 KONDOR: LU59-2012-081.W*. Brno, 2012.
- [17] DOUPNÍK, Petr. LETECKÝ ÚSTAV VUT V BRNĚ. *AEROSTATICKÉ PODKLADY LETOUNU VUT-081 KONDOR: LU57-2012-081.AD*. Brno, 2012.
- [18] ÚCL. CS-VLA. 2009. Dostupné z: <http://www.caa.cz/file/5588>

- 
- [19] VANĚK, František. LETECKÝ ÚSTAV VUT V BRNĚ. *Zatížení ocasních ploch a zadní části trupu letounu VUT - 001 MARABU: LU26-2007-001.L.* Brno, 2007.
  - [20] ČTVERÁK, MERTL a PÍŠTĚK. LETECKÝ ÚSTAV VUT V BRNĚ. *Soubor podkladů pro pevnostní výpočty leteckých konstrukcí.* Brno, 1997.
  - [21] CAD: Computer - Aided Design. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Wikimedia Foundation, 2013 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Computer\\_aided\\_design](http://cs.wikipedia.org/wiki/Computer_aided_design)
  - [22] CAM: Computer - Aided Manufacturing. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Wikimedia Foundation, 2013 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Computer\\_aided\\_design](http://cs.wikipedia.org/wiki/Computer_aided_design)
  - [23] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.
  - [24] Laserové řezání. *Lao: Lasery a optika* [online]. 2011 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
  - [25] Řezání vodním paprskem. *PKIT* [online]. 2008 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
  - [26] KLEMENT J. *Plošné tváření: přednáška*. 2012.
  - [27] Lisování. *TechProAviation* [online]. 2011 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://techproaviation.cz/katalog-detail/vyroba/lisovani?lang=cz> -
  - [28] Ohýbání na ohraňovacích lisech. *Raven* [online]. 2012 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.ravencz.cz/sluzby/ohybani-vypalku-na-ohranovacich-lisech/>

## 22. Seznam obrázků

|                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Obrázek 1.1 - Použitý souřadnicový systém.....                                                    | 15  |
| Obrázek 1.2 - VUT 081 KONDOR – CAD model.....                                                     | 16  |
| Obrázek 1.3 - Základní geometrické charakteristiky letounu (převzato z [17]) .....                | 17  |
| Obrázek 1.4 - Letoun VUT 001 MARABU [4] .....                                                     | 18  |
| Obrázek 1.5 - Skylander 600 [5] .....                                                             | 19  |
| Obrázek 1.6 - Letoun SONG [8] .....                                                               | 20  |
| Obrázek 1.7 - Sparrow ML [10] .....                                                               | 21  |
| Obrázek 1.8 - Cessna 336.....                                                                     | 21  |
| Obrázek 1.9 - Virgin Atlantic Global Flyer .....                                                  | 21  |
| Obrázek 2.1 - Centráže v % SAT pro komerční verzi VUT 081 [16].....                               | 27  |
| Obrázek 2.2 - Centráže v % SAT pro speciální verzi letounu VUT 081 [16].....                      | 27  |
| Obrázek 2.3 - Systémový výkres křídla letounu VUT – 081 KONDOR [16].....                          | 28  |
| Obrázek 3.1 - Systémový výkres křídla [17] .....                                                  | 30  |
| Obrázek 3.2 - Vztahové čáry letounu VUT 081 Kondor [17] .....                                     | 31  |
| Obrázek 3.3 - Vztahová čára letounu VUT 081 KONDOR - klapky vysunuty [17].....                    | 32  |
| Obrázek 3.4 - Aerodynamická polára letounu dle výchylek klapky [17].....                          | 33  |
| Obrázek 4.1 - Pokles výkonu motoru s výškou letu [12] .....                                       | 35  |
| Obrázek 4.2 - Závislost stoupací rychlosti na rychlosti letu.....                                 | 35  |
| Obrázek 4.3 - Určení klouzavosti letounu KONDOR.....                                              | 36  |
| Obrázek 4.4 - Rychlostní polára klouzavého letu.....                                              | 37  |
| Obrázek 4.5 - Graf pro určení $(C_L)_{MP}$ .....                                                  | 38  |
| Obrázek 4.6 - Délka rozjezdu letounu v závislosti na rychlosti - start z travnaté plochy .....    | 40  |
| Obrázek 4.7 - Délka rozjezdu letounu v závislosti na rychlosti - start z betonové plochy .....    | 41  |
| Obrázek 5.1 - Obálka zatížení.....                                                                | 48  |
| Obrázek 7.1 - Vyvážení aerodynamického klopivého momentu a momentu od hmotových sil letounu ..... | 50  |
| Obrázek 7.2 - Zatížení SOP.....                                                                   | 61  |
| Obrázek 8.1 - Rozměry a tvar VOP, převzato z [17] a upraveno.....                                 | 68  |
| Obrázek 8.2 - Rozdělení vyvažovacího zatížení, dodatek B [18] .....                               | 69  |
| Obrázek 8.3 - Rozdělení porybového zatížení [18] .....                                            | 71  |
| Obrázek 8.4 - Rozdělení zatížení dle dodatku B [18].....                                          | 73  |
| Obrázek 8.5 - Průběh posouvající síly na výškovém kormidle .....                                  | 78  |
| Obrázek 8.6 - Průběh ohybového momentu na výškovém kormidle .....                                 | 78  |
| Obrázek 8.7 - Průběh kroutícího momentu na výškovém kormidle.....                                 | 79  |
| Obrázek 8.8 - Průběh posouvající síly na stabilizátoru.....                                       | 79  |
| Obrázek 8.9 - Průběh ohybového momentu na stabilizátoru.....                                      | 80  |
| Obrázek 8.10 - Průběh kroutícího momentu na stabilizátoru .....                                   | 80  |
| Obrázek 8.11 - Průměrné maximální zatížení řídících ploch (obr A5, dodatek A [18]) .....          | 82  |
| Obrázek 8.12 - Rozložení zatížení po hloubce vyvažovací plošky [18] .....                         | 83  |
| Obrázek 8.13 - Průběh kroutícího momentu vyvažovací plošky výškového kormidla.....                | 84  |
| Obrázek 9.1 - Rozměry a tvar SOP [17] .....                                                       | 85  |
| Obrázek 9.2 - Průběh posouvající síly na směrovém kormidle .....                                  | 89  |
| Obrázek 9.3 - Průběh ohybového momentu na směrovém kormidle.....                                  | 89  |
| Obrázek 9.4 - Průběh kroutícího momentu na směrovém kormidle .....                                | 90  |
| Obrázek 9.5 - Skloněný souřadnicový systém .....                                                  | 91  |
| Obrázek 9.6 - Průběh posouvající síly - kýl .....                                                 | 94  |
| Obrázek 9.7 - Průběh ohybového momentu – kýl.....                                                 | 94  |
| Obrázek 9.8 - Průběh kroutícího momentu - kýl .....                                               | 95  |
| Obrázek 10.1 - Vstupní rozměry pro zatížení trupových nosníků .....                               | 95  |
| Obrázek 10.2 - Osa trupového nosníku .....                                                        | 96  |
| Obrázek 10.3 - Průběh momentu $M_x$ trupového nosníku .....                                       | 99  |
| Obrázek 10.4 - Průběh momentu $M_y$ trupového nosníku .....                                       | 100 |
| Obrázek 10.5 - Průběh momentu $M_z$ trupového nosníku .....                                       | 100 |
| Obrázek 10.6 - Ohybový moment $M_{O1}$ trupového nosníku.....                                     | 101 |
| Obrázek 10.7 - Ohybový moment $M_{O2}$ trupového nosníku.....                                     | 101 |
| Obrázek 10.8 - Kroutící moment $M_k$ trupového nosníku .....                                      | 102 |
| Obrázek 11.1 - Statické reakce na podvozek.....                                                   | 104 |

|                                                                                           |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Obrázek 11.2 - Vodorovné přistání se skloněnými reakcemi.....                             | 106 - |
| Obrázek 11.3 - Zatížení při přistání s předním kolem těsně nad zemí.....                  | 107 - |
| Obrázek 11.4 - Přistání s velkým úhlem náběhu.....                                        | 108 - |
| Obrázek 11.5 - Zatížení při přistání na jedno kolo .....                                  | 109 - |
| Obrázek 11.6 - Zatížení při přistání s bočním větrem .....                                | 110 - |
| Obrázek 11.7 - Zatížení při brzdění.....                                                  | 110 - |
| Obrázek 12.1 - Stabilizátor .....                                                         | 114 - |
| Obrázek 12.2 - Geometrické charakteristiky .....                                          | 114 - |
| Obrázek 12.3 - Pásnice nosníku stabilizátoru .....                                        | 115 - |
| Obrázek 12.4 - Stojina s odlehčovacími otvory.....                                        | 119 - |
| Obrázek 12.5 - Závěsové žebro .....                                                       | 120 - |
| Obrázek 12.6 - Kýlové závěsy stabilizátoru .....                                          | 121 - |
| Obrázek 12.7 - Ilustrace oka z programu MiniStatik .....                                  | 123 - |
| Obrázek 12.8 - Závěs VK.....                                                              | 124 - |
| Obrázek 12.9 - Ilustrace závěsu v Programu MS.....                                        | 124 - |
| Obrázek 13.1 - Výškové kormidlo .....                                                     | 126 - |
| Tabulka 13.2 - Vstupní geometrické parametry pevnostního výpočtu výškového kormidla ..... | 126 - |
| Obrázek 13.3 - Geometrické charakteristiky průřezu výškového kormidla .....               | 126 - |
| Obrázek 13.4 - Zvolený profil nosníku VK.....                                             | 127 - |
| Obrázek 13.5 - Odlehčovací otvory ve stojině .....                                        | 131 - |
| Obrázek 13.6 - Systém žeber VK.....                                                       | 132 - |
| Obrázek 13.7 - Vyvažovací ploška.....                                                     | 133 - |
| Obrázek 13.8 - Prostor pro montáž elektromechanické vzpěry pro ovládání trimu na VK.....  | 134 - |
| Obrázek 13.9 - Závěs výškového kormidla .....                                             | 135 - |
| Obrázek 13.10 - Páka řízení VK.....                                                       | 136 - |
| Obrázek 13.11 - Ilustrace oka z programu MiniStatik .....                                 | 136 - |
| Obrázek 13.12 - přehled součinitelů rezervy konstr. prvků VK.....                         | 137 - |
| Obrázek 14.1 - Provedení horního závěsu SK .....                                          | 138 - |
| Obrázek 14.2 - Směrové kormidlo .....                                                     | 138 - |
| Obrázek 14.3 - Řezy SK .....                                                              | 138 - |
| Obrázek 14.4 - Průřezové charakteristiky SK.....                                          | 139 - |
| Obrázek 14.5 - Nosník SK .....                                                            | 140 - |
| Obrázek 14.6 - Stojina SK s odlehčovacími otvory.....                                     | 141 - |
| Obrázek 14.7 - Dolní závěs SK .....                                                       | 143 - |
| Obrázek 15.1 - Nosníky kýlu.....                                                          | 146 - |
| Obrázek 15.2 - Poloha řezu 1 - kontrola poloměru náběžné hrany .....                      | 147 - |
| Obrázek 15.3 - Horní závěs SK na kýlu .....                                               | 150 - |
| Obrázek 15.4 - Ilustrace závěsu v Programu MS.....                                        | 151 - |
| Obrázek 15.5 - Závěsy stabilizátoru na kýlech.....                                        | 151 - |
| Obrázek 15.6 - Ilustrace oka z programu MiniStatik .....                                  | 152 - |
| Obrázek 16.1 - Pásnice trupového nosníku.....                                             | 155 - |
| Obrázek 16.2 - Geometrické charakteristiky pro výpočet stability potahu .....             | 156 - |
| Obrázek 16.3 - Dolní závěs směrového kormidla.....                                        | 157 - |
| Obrázek 16.4 - Geometrické charakteristiky pro výpočet průhybu nosníku.....               | 158 - |
| Obrázek 16.5 - Uchycení kýlů k trupovým nosníkům.....                                     | 161 - |
| Obrázek 16.6 - Horní část spoje trupového nosníku s centroplánem .....                    | 162 - |
| Obrázek 16.7 - Spodní část spoje trupového nosníku s centroplánem .....                   | 162 - |
| Obrázek 16.8 - Součásti spoje .....                                                       | 163 - |
| Obrázek 16.9 - šroubový spoj 5xM5 .....                                                   | 163 - |
| Obrázek 16.10 - Pevnostní spoj 4xM7 .....                                                 | 164 - |
| Obrázek 16.11 - Kontrola na střih.....                                                    | 164 - |
| Obrázek 16.12 - Spojovací profil - dolní vnitřní .....                                    | 164 - |
| Obrázek 16.13 - Zesílení žebra centroplánu .....                                          | 165 - |
| Obrázek 17.1 - Táhlo řízení VK v kýlu.....                                                | 166 - |
| Obrázek 17.2 - Úhlová páka a táhla řízení VK.....                                         | 166 - |
| Obrázek 17.3 - Táhlo v nosníku .....                                                      | 167 - |
| Obrázek 17.4 - Zavedení táhla z centroplánu .....                                         | 167 - |
| Obrázek 17.5 - Systém řízení v centroplánu.....                                           | 167 - |
| Obrázek 17.6 - Táhlo řízení SK.....                                                       | 168 - |
| Obrázek 17.7 - Vedení lan řízení a táhla VK.....                                          | 168 - |

|                                                               |         |
|---------------------------------------------------------------|---------|
| Obrázek 18.1 - Nosníky, VOP, SOP .....                        | - 169 - |
| Obrázek 18.2 - Ocasní plochy.....                             | - 169 - |
| Obrázek 18.3 - Kýl a směrové kormidlo .....                   | - 170 - |
| Obrázek 18.4 - Detail uchycení nosníku do centroplánu.....    | - 170 - |
| Obrázek 18.5 - Pohled ze strany.....                          | - 171 - |
| Obrázek 18.6 - Pohled shora.....                              | - 171 - |
| Obrázek 19.1 - Obrysové frézování obrysového tvaru žebra..... | - 173 - |
| Obrázek 19.2 - Řezání laserem [24].....                       | - 173 - |
| Obrázek 19.3 - Řezání vodním paprskem [25].....               | - 174 - |
| Obrázek 19.4 - Ohýbání lemů žeber [27] .....                  | - 174 - |
| Obrázek 19.5 - Tváření nepevným nástrojem [26] .....          | - 174 - |
| Obrázek 19.6 - Ohyb na ohrožovacím lisu [28] .....            | - 175 - |

## 23. Seznam tabulek

|                                                                                                                                                        |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tabulka 1.1 - Seznam použitých symbolů .....                                                                                                           | - 14 - |
| Tabulka 1.2 - Seznam použitých zkratk.....                                                                                                             | - 15 - |
| Tabulka 1.3 - Základní rozměry a prázdná hmotnost letounu MARABU .....                                                                                 | - 18 - |
| Tabulka 1.4 - Skyleader 600 [5].....                                                                                                                   | - 19 - |
| Tabulka 2.1 - Hmotnostní rozbor - výstroj .....                                                                                                        | - 22 - |
| Tabulka 2.2 - Hmotnostní rozbor - pohonná skupina .....                                                                                                | - 22 - |
| Tabulka 2.3 - Hmotnostní rozbor - konstrukce draku .....                                                                                               | - 23 - |
| Tabulka 2.4 - Hmotnostní rozbor - podvozková skupina.....                                                                                              | - 23 - |
| Tabulka 2.5 - Prázdná hmotnost letounu.....                                                                                                            | - 23 - |
| Tabulka 2.6 - Užitečné zatížení.....                                                                                                                   | - 24 - |
| Tabulka 2.7 - Hm. konfigurace - komerční verze letounu - přistávací konfigurace .....                                                                  | - 24 - |
| Tabulka 2.8 - Hm. konfigurace - komerční verze letounu - letová konfigurace .....                                                                      | - 25 - |
| Tabulka 2.9 - Hm. konfigurace - sledovací verze letounu - přistávací konfigurace .....                                                                 | - 25 - |
| Tabulka 2.10 - Hm. konfigurace - sledovací verze letounu - letová konfigurace.....                                                                     | - 26 - |
| Tabulka 2.11 - Rozsahy hmotností a centrází.....                                                                                                       | - 26 - |
| Tabulka 2.12 - Vstupní hodnoty pro výpočet SAT.....                                                                                                    | - 28 - |
| Tabulka 4.1 - Hodnoty dosažení maximální stoupací rychlosti $V_z$ při rychlosti letu $V$ .....                                                         | - 36 - |
| Tabulka 4.2 - Pádové rychlosti pro hmotnostní konfiguraci $m = 600 \text{ kg}$ , pro různé výšky MSA.....                                              | - 39 - |
| Tabulka 4.3 - Pozemní délka přistání.....                                                                                                              | - 43 - |
| Tabulka 5.1 - Základní vstupní data pro výpočet obálek zatížení.....                                                                                   | - 44 - |
| Tabulka 5.2 - Návrhové rychlosti.....                                                                                                                  | - 47 - |
| Tabulka 5.3 - Násobky zatížení .....                                                                                                                   | - 47 - |
| Tabulka 7.1 - Vstupní hodnoty pro výpočet případů zatížení VOP a SOP: převzaty převážně z [17] .....                                                   | - 49 - |
| Tabulka 7.2 - Vyvažovací zatížení pro maximální hmotnost $m = 600 \text{ kg}$ .....                                                                    | - 52 - |
| Tabulka 7.3 - Vyvažovací zatížení pro minimální hmotnost $m = 439 \text{ kg}$ .....                                                                    | - 52 - |
| Tabulka 7.4 - Výsledné hodnoty zatížení VOP od poryvu, maximální hmotnost $m = 600 \text{ kg}$ , $J_z = 1060 \text{ kg.m}^2$ .....                     | - 57 - |
| Tabulka 7.5 - Výsledné hodnoty zatížení VOP od poryvu, minimální hmotnost $m = 427 \text{ kg}$ , $J_z = 863 \text{ kg.m}^2$ .....                      | - 57 - |
| Tabulka 7.6 - Zatížení VOP od manévru, minimální hmotnost $m = 427 \text{ kg}$ .....                                                                   | - 60 - |
| Tabulka 7.7 - Zatížení VOP od manévru, maximální hmotnost $m = 600 \text{ kg}$ .....                                                                   | - 60 - |
| Tabulka 7.8 - Výsledné hodnoty zatížení VOP .....                                                                                                      | - 60 - |
| Tabulka 7.9 - Poryvové zatížení, minimální hmotnost $m = 427 \text{ kg}$ , $V_C = 216 \text{ km.h}^{-1}$ .....                                         | - 63 - |
| Tabulka 7.10 - Poryvové zatížení, maximální hmotnost $m = 600 \text{ kg}$ , $V_C = 216 \text{ km.h}^{-1}$ .....                                        | - 63 - |
| Tabulka 7.11 - Manévrové zatížení SOP (1); $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ , $\delta_{SK} = 30^\circ$ , minimální hmotnost .....                         | - 65 - |
| Tabulka 7.12 - Manévrové zatížení SOP (1); $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ , $\delta_{SK} = 30^\circ$ , maximální hmotnost.....                          | - 65 - |
| Tabulka 7.13 - Manévrové zatížení SOP (2); $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ , $\delta_{SK} = 30^\circ$ , $\theta = 19,5^\circ$ , minimální hmotnost.....  | - 66 - |
| Tabulka 7.14 - Manévrové zatížení SOP (2); $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ , $\delta_{SK} = 30^\circ$ , $\theta = 19,5^\circ$ , maximální hmotnost ..... | - 66 - |
| Tabulka 7.15 - Manévrové zatížení SOP (3); $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ , $\delta_{SK} = 0^\circ$ , $\theta = 15^\circ$ , minimální hmotnost.....     | - 66 - |
| Tabulka 7.16 - Manévrové zatížení SOP (3); $V_A = 160 \text{ km.h}^{-1}$ , $\delta_{SK} = 0^\circ$ , $\theta = 15^\circ$ , maximální hmotnost.....     | - 66 - |
| Tabulka 7.17 - Výsledné hodnoty zatížení SOP.....                                                                                                      | - 66 - |
| Tabulka 8.1 - Geometrické údaje VOP, převzato z [17].....                                                                                              | - 67 - |
| Tabulka 8.2 - Geometrické údaje VK, převzato z [17] .....                                                                                              | - 67 - |
| Tabulka 8.3 - Geometrické údaje vyvažovací plošky, převzato z [17] .....                                                                               | - 68 - |
| Tabulka 8.4 - Rozdělení zatížení na stabilizátor a výškovku - vyvažovací zatížení.....                                                                 | - 71 - |
| Tabulka 8.5 - Rozdělení zatížení na stabilizátor a výškovku – poryvové zatížení .....                                                                  | - 72 - |
| Tabulka 8.6 - Rozdělení zatížení na stabilizátor a výškovku – manévrovací zatížení.....                                                                | - 74 - |



|                                                                                                                 |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tabulka 8.7 - Maximální provozní zatížení výškového kormidla – posouvající síla a ohybový moment .....          | 75 -  |
| Tabulka 8.8 - Průběhy kroutícího momentu výškového kormidla, případ manévrovacího zatížení, .....               | 76 -  |
| Tabulka 8.9 - Maximální provozní zatížení stabilizátoru .....                                                   | 77 -  |
| Tabulka 8.10 - Průběh kroutícího momentu na vyvažovací plošce výškového kormidla .....                          | 83 -  |
| Tabulka 9.1 - Geometrické údaje SOP, převzaty z [17] .....                                                      | 84 -  |
| Tabulka 9.2 - Geometrické údaje směrového kormidla, převzaty z [17] .....                                       | 85 -  |
| Tabulka 9.3 - Rozdělení průměrného zatížení na kýl a směrové kormidlo, porybový případ .....                    | 87 -  |
| Tabulka 9.4 - Manévrovací zatížení směrového kormidla .....                                                     | 88 -  |
| Tabulka 9.5 - Kombinované zatížení VOP + SOP .....                                                              | 91 -  |
| Tabulka 9.6 - Provozní hodnoty kombinovaného zatížení kýlů .....                                                | 93 -  |
| Tabulka 10.1 - Poloha vztažená k souřadnicovému systému trupu (odečteno z CAD modelu) .....                     | 96 -  |
| Tabulka 10.2 - Maximální hodnoty průběhů zatížení trupových nosníků .....                                       | 99 -  |
| Tabulka 11.1 - Základní vstupní data výpočtu pozemního zatížení .....                                           | 102 - |
| Tabulka 11.2 - Dodatečné podmínky pro příďové podvozky .....                                                    | 112 - |
| Tabulka 11.3 - Statické reakce na jednotlivé podvozkové nohy .....                                              | 112 - |
| Tabulka 11.4 - Vodorovné přistání se skloněnými reakcemi .....                                                  | 113 - |
| Tabulka 11.5 - Zatížení při přistání s předním kolem těsně nad zemí, s velkým úhlem náběhu, s bočním větrem ... | 113 - |
| Tabulka 11.6 - Zatížení při přistání na jedno kolo .....                                                        | 113 - |
| Tabulka 12.1 - Vstupní geometrické parametry pevnostního výpočtu stabilizátoru .....                            | 114 - |
| Tabulka 12.2 - Hodnoty maximálního provozního zatížení .....                                                    | 115 - |
| Tabulka 12.3 - Souhrn zatížení závěsů .....                                                                     | 122 - |
| Tabulka 12.4 - Výběr kloubových ložisek [20] .....                                                              | 122 - |
| Tabulka 12.5 - Vstupní hodnoty pro kontrolu ok .....                                                            | 123 - |
| Tabulka 12.6 - Výsledné součinitele bezpečnosti pro kontrolu ok závěsu stabilizátoru ke kýlům .....             | 123 - |
| Tabulka 12.7 - Vstupní hodnoty do výpočtu závěsů k VK .....                                                     | 124 - |
| Tabulka 12.8 - Součinitele bezpečnosti pro závěsy stabilizátoru k VK .....                                      | 125 - |
| Tabulka 12.9 - Přehled součinitelů rezervy pro stabilizátor .....                                               | 125 - |
| Tabulka 13.1 - Hodnoty maximálního provozního zatížení .....                                                    | 127 - |
| Tabulka 13.2 - Tloušťka žeber VK .....                                                                          | 132 - |
| Tabulka 13.3 - Únosnost ložisek .....                                                                           | 135 - |
| Tabulka 13.4 - Únosnost ložisek [20] .....                                                                      | 136 - |
| Tabulka 13.5 - Vstupní hodnoty pro kontrolu ok .....                                                            | 136 - |
| Tabulka 13.6 - Výsledné součinitele bezpečnosti pro kontrolu ok u VK .....                                      | 137 - |
| Tabulka 14.1 - geometrické parametry výpočtu .....                                                              | 138 - |
| Tabulka 14.2 - Únosnost kloubového ložiska .....                                                                | 143 - |
| Tabulka 14.3 - Výsledné hodnoty součinitelů rezervy pro kontrolu oka horního závěsu SK .....                    | 143 - |
| Tabulka 14.4 - Přehled součinitelů rezervy konstrukčních prvků směrového kormidla .....                         | 144 - |
| Tabulka 15.1 - Vstupní hodnoty pro kontrolu oka do programu <i>MiniStatik</i> .....                             | 151 - |
| Tabulka 15.2 - Výsledné součinitele rezervy vypočtené programem <i>MiniStatik</i> .....                         | 151 - |
| Tabulka 15.3 - Výběr kloubového ložiska .....                                                                   | 152 - |
| Tabulka 15.4 - Vstupní hodnoty pro kontrolu ok .....                                                            | 152 - |
| Tabulka 15.5 - Výsledné součinitele bezpečnosti pro kontrolu ok závěsu stabilizátoru ke kýlům .....             | 152 - |
| Tabulka 15.6 - Přehled vypočtených součinitelů rezervy pro kýlové plochy .....                                  | 153 - |
| Tabulka 16.1 - Kloubové ložisko .....                                                                           | 157 - |
| Tabulka 16.2 - Přehled vypočtených součinitelů rezervy pro trupové nosníky .....                                | 157 - |
| Tabulka 16.3 - Efektivní výšky nosníku .....                                                                    | 158 - |
| Tabulka 16.4 - Výpočet kvadratického momentu průřezů nosníku .....                                              | 158 - |
| Tabulka 16.5 - Výpočet deformací nosníku .....                                                                  | 159 - |
| Tabulka 16.6 - Přehled součinitelů rezervy pro uchycení trupových nosníků k centroplánu .....                   | 165 - |





## Seznam příloh

|     |                                                                       |        |
|-----|-----------------------------------------------------------------------|--------|
| 1.  | VÝPOČET STOUPACÍCH RYCHLOSTÍ, ÚHLU STOUPÁNÍ A GRADIENTU STOUPÁNÍ..... | - 1 -  |
| 2.  | VÝPOČET RYCHLOSTNÍ POLÁRY.....                                        | - 6 -  |
| 3.  | DÉLKA POZEMNÍ FÁZE VZLETU.....                                        | - 7 -  |
| 4.  | VÝPOČET OBÁLKY ZATÍŽENÍ – ZNĚNÍ PŘEDPISU .....                        | - 8 -  |
| 5.  | POPIS PÍSTOVÉHO MOTORU ROTAX 912 IS.....                              | - 9 -  |
| 6.  | ZATÍŽENÍ MOTOROVÉHO LOŽE.....                                         | - 13 - |
| 7.  | ZATÍŽENÍ VOP – ZNĚNÍ PŘEDPISU.....                                    | - 18 - |
| 8.  | ČASOVÝ PRŮBĚH PRO ROZHODUJÍCÍ PŘÍPAD ZATÍŽENÍ OD MANÉVRU .....        | - 20 - |
| 9.  | ZATÍŽENÍ SOP – ZNĚNÍ PŘEDPISU .....                                   | - 21 - |
| 10. | ČASOVÝ PRŮBĚH PRO ROZHODUJÍCÍ PŘÍPAD ZATÍŽENÍ SOP OD MANÉVRU .....    | - 22 - |
| 11. | HODNOTY PRŮBĚHŮ ZATÍŽENÍ NA VOP .....                                 | - 23 - |
| 12. | HODNOTY PRŮBĚHŮ ZATÍŽENÍ NA SOP.....                                  | - 30 - |
| 13. | VÝPOČET PRŮBĚHŮ ZATÍŽENÍ TRUPOVÝCH NOSNÍKŮ .....                      | - 35 - |

## 1. Výpočet stoupacích rychlostí, úhlu stoupání a gradientu stoupání

| $V$<br>[km/h] | $V$<br>[m/s] | $C_L$<br>[-] | $C_D$<br>[-] | $P_v$<br>[W] | $T_v$<br>[N] | $D$<br>[N] | $\Delta T$<br>[N] | $\gamma$<br>[rad] | $\gamma$<br>[°] | $V_z$<br>[m/s] | gradient<br>[%] |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 75            | 20,83        | 1,87         | 0,2664       | 58800        | 2822,4       | 839,3      | 1983,1            | 0,343638105       | 19,70           | 7,02           | 33,69           |
| 77,5          | 21,53        | 1,75         | 0,2298       | 58800        | 2731,4       | 773,0      | 1958,4            | 0,339188609       | 19,44           | 7,16           | 33,27           |
| 80            | 22,22        | 1,64         | 0,2009       | 58800        | 2646,0       | 720,1      | 1925,9            | 0,333335898       | 19,11           | 7,27           | 32,72           |
| 82,5          | 22,92        | 1,54         | 0,1778       | 58800        | 2565,8       | 677,7      | 1888,1            | 0,326557113       | 18,72           | 7,35           | 32,08           |
| 85            | 23,61        | 1,45         | 0,1590       | 58800        | 2490,4       | 643,4      | 1847,0            | 0,31918257        | 18,30           | 7,41           | 31,38           |
| 87,5          | 24,31        | 1,37         | 0,1436       | 58800        | 2419,2       | 615,5      | 1803,7            | 0,311442855       | 17,85           | 7,45           | 30,64           |
| 90            | 25,00        | 1,30         | 0,1307       | 58800        | 2352,0       | 592,9      | 1759,1            | 0,303499854       | 17,40           | 7,47           | 29,89           |
| 92,5          | 25,69        | 1,23         | 0,1199       | 58800        | 2288,4       | 574,5      | 1713,9            | 0,295467527       | 16,94           | 7,48           | 29,12           |
| 95            | 26,39        | 1,16         | 0,1107       | 58800        | 2228,2       | 559,6      | 1668,6            | 0,287426032       | 16,48           | 7,48           | 28,35           |
| 97,5          | 27,08        | 1,11         | 0,1029       | 58800        | 2171,1       | 547,7      | 1623,4            | 0,279431463       | 16,02           | 7,47           | 27,58           |
| 100           | 27,78        | 1,05         | 0,0961       | 58800        | 2116,8       | 538,2      | 1578,6            | 0,271522643       | 15,56           | 7,45           | 26,82           |
| 102,5         | 28,47        | 1,00         | 0,0902       | 58800        | 2065,2       | 530,8      | 1534,4            | 0,26372592        | 15,12           | 7,42           | 26,07           |
| 105           | 29,17        | 0,95         | 0,0851       | 58800        | 2016,0       | 525,3      | 1490,7            | 0,256058594       | 14,68           | 7,39           | 25,33           |
| 107,5         | 29,86        | 0,91         | 0,0805       | 58800        | 1969,1       | 521,3      | 1447,8            | 0,248531374       | 14,25           | 7,35           | 24,60           |
| 110           | 30,56        | 0,87         | 0,0765       | 58800        | 1924,4       | 518,7      | 1405,7            | 0,241150172       | 13,82           | 7,30           | 23,88           |
| 112,5         | 31,25        | 0,83         | 0,0730       | 58800        | 1881,6       | 517,3      | 1364,3            | 0,233917402       | 13,41           | 7,24           | 23,18           |
| 115           | 31,94        | 0,79         | 0,0698       | 58800        | 1840,7       | 517,0      | 1323,7            | 0,226832949       | 13,00           | 7,18           | 22,49           |
| 117,5         | 32,64        | 0,76         | 0,0669       | 58800        | 1801,5       | 517,6      | 1283,9            | 0,219894874       | 12,61           | 7,12           | 21,81           |
| 120           | 33,33        | 0,73         | 0,0644       | 58800        | 1764,0       | 519,2      | 1244,8            | 0,213099946       | 12,22           | 7,05           | 21,15           |
| 122,5         | 34,03        | 0,70         | 0,0621       | 58800        | 1728,0       | 521,5      | 1206,5            | 0,206444028       | 11,83           | 6,98           | 20,50           |
| 125           | 34,72        | 0,67         | 0,0599       | 58800        | 1693,4       | 524,5      | 1168,9            | 0,199922379       | 11,46           | 6,90           | 19,86           |
| 127,5         | 35,42        | 0,65         | 0,0580       | 58800        | 1660,2       | 528,2      | 1132,0            | 0,193529864       | 11,09           | 6,81           | 19,23           |
| 130           | 36,11        | 0,62         | 0,0563       | 58800        | 1628,3       | 532,5      | 1095,8            | 0,187261122       | 10,73           | 6,72           | 18,62           |
| 132,5         | 36,81        | 0,60         | 0,0547       | 58800        | 1597,6       | 537,4      | 1060,2            | 0,181110684       | 10,38           | 6,63           | 18,01           |
| 135           | 37,50        | 0,58         | 0,0532       | 58800        | 1568,0       | 542,8      | 1025,2            | 0,175073067       | 10,04           | 6,53           | 17,42           |
| 137,5         | 38,19        | 0,56         | 0,0518       | 58800        | 1539,5       | 548,7      | 990,8             | 0,169142833       | 9,70            | 6,43           | 16,83           |
| 140           | 38,89        | 0,54         | 0,0506       | 58800        | 1512,0       | 555,0      | 957,0             | 0,163314641       | 9,36            | 6,32           | 16,26           |
| 142,5         | 39,58        | 0,52         | 0,0494       | 58800        | 1485,5       | 561,8      | 923,7             | 0,157583282       | 9,03            | 6,21           | 15,69           |
| 145           | 40,28        | 0,50         | 0,0483       | 58800        | 1459,9       | 569,0      | 890,9             | 0,151943696       | 8,71            | 6,10           | 15,14           |
| 147,5         | 40,97        | 0,48         | 0,0473       | 58800        | 1435,1       | 576,5      | 858,6             | 0,146390994       | 8,39            | 5,98           | 14,59           |
| 150           | 41,67        | 0,47         | 0,0464       | 58800        | 1411,2       | 584,5      | 826,7             | 0,140920462       | 8,08            | 5,85           | 14,05           |
| 152,5         | 42,36        | 0,45         | 0,0455       | 58800        | 1388,1       | 592,8      | 795,3             | 0,13552757        | 7,77            | 5,72           | 13,51           |
| 155           | 43,06        | 0,44         | 0,0447       | 58800        | 1365,7       | 601,4      | 764,2             | 0,13020797        | 7,46            | 5,59           | 12,98           |
| 157,5         | 43,75        | 0,42         | 0,0439       | 58800        | 1344,0       | 610,4      | 733,6             | 0,124957496       | 7,16            | 5,45           | 12,46           |
| 160           | 44,44        | 0,41         | 0,0432       | 58800        | 1323,0       | 619,7      | 703,3             | 0,119772164       | 6,87            | 5,31           | 11,95           |
| 162,5         | 45,14        | 0,40         | 0,0426       | 58800        | 1302,6       | 629,3      | 673,3             | 0,114648162       | 6,57            | 5,16           | 11,44           |
| 165           | 45,83        | 0,39         | 0,0419       | 58800        | 1282,9       | 639,2      | 643,7             | 0,109581849       | 6,28            | 5,01           | 10,94           |
| 167,5         | 46,53        | 0,37         | 0,0413       | 58800        | 1263,8       | 649,4      | 614,4             | 0,104569748       | 5,99            | 4,86           | 10,44           |
| 170           | 47,22        | 0,36         | 0,0408       | 58800        | 1245,2       | 659,8      | 585,3             | 0,099608538       | 5,71            | 4,70           | 9,94            |
| 172,5         | 47,92        | 0,35         | 0,0402       | 58800        | 1227,1       | 670,6      | 556,5             | 0,09469505        | 5,43            | 4,53           | 9,46            |
| 175           | 48,61        | 0,34         | 0,0397       | 58800        | 1209,6       | 681,6      | 528,0             | 0,08982626        | 5,15            | 4,36           | 8,97            |
| 177,5         | 49,31        | 0,33         | 0,0393       | 58800        | 1192,6       | 692,9      | 499,7             | 0,084999281       | 4,87            | 4,19           | 8,49            |
| 180           | 50,00        | 0,32         | 0,0388       | 58800        | 1176,0       | 704,4      | 471,6             | 0,080211357       | 4,60            | 4,01           | 8,01            |
| 182,5         | 50,69        | 0,32         | 0,0384       | 58800        | 1159,9       | 716,2      | 443,7             | 0,075459857       | 4,33            | 3,82           | 7,54            |
| 185           | 51,39        | 0,31         | 0,0380       | 58800        | 1144,2       | 728,2      | 416,0             | 0,07074227        | 4,06            | 3,63           | 7,07            |
| 187,5         | 52,08        | 0,30         | 0,0376       | 58800        | 1129,0       | 740,4      | 388,5             | 0,066056196       | 3,79            | 3,44           | 6,60            |
| 190           | 52,78        | 0,29         | 0,0372       | 58800        | 1114,1       | 752,9      | 361,2             | 0,061399342       | 3,52            | 3,24           | 6,14            |
| 192,5         | 53,47        | 0,28         | 0,0369       | 58800        | 1099,6       | 765,7      | 334,0             | 0,056769519       | 3,25            | 3,03           | 5,67            |
| 195           | 54,17        | 0,28         | 0,0366       | 58800        | 1085,5       | 778,6      | 306,9             | 0,052164632       | 2,99            | 2,82           | 5,21            |

Tabulka P. 1 - Výpočet stoupacích rychlostí, úhlu stoupání a gradientu stoupání; 0 m MSA



| V      | V     | $C_L$ | $C_D$  | $P_v$ | $T_v$  | D     | $\Delta T$ | $\gamma$ | $V_z$ | gradient |
|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|------------|----------|-------|----------|
| [km/h] | [m/s] | [-]   | [-]    | [W]   | [N]    | [N]   | [N]        | [rad]    | [m/s] | [%]      |
| 75     | 20,83 | 1,87  | 0,2664 | 52000 | 2496,0 | 761,7 | 1734,3     | 0,299096 | 6,14  | 28,15    |
| 77,5   | 21,53 | 1,75  | 0,2298 | 52000 | 2415,5 | 701,4 | 1714,1     | 0,295491 | 6,27  | 27,91    |
| 80     | 22,22 | 1,64  | 0,2009 | 52000 | 2340,0 | 653,5 | 1686,5     | 0,290604 | 6,37  | 27,52    |
| 82,5   | 22,92 | 1,54  | 0,1778 | 52000 | 2269,1 | 615,0 | 1654,1     | 0,284863 | 6,44  | 27,04    |
| 85     | 23,61 | 1,45  | 0,1590 | 52000 | 2202,4 | 583,8 | 1618,5     | 0,278565 | 6,49  | 26,49    |
| 87,5   | 24,31 | 1,37  | 0,1436 | 52000 | 2139,4 | 558,6 | 1580,9     | 0,271917 | 6,53  | 25,89    |
| 90     | 25,00 | 1,30  | 0,1307 | 52000 | 2080,0 | 538,0 | 1542,0     | 0,265065 | 6,55  | 25,27    |
| 92,5   | 25,69 | 1,23  | 0,1199 | 52000 | 2023,8 | 521,3 | 1502,4     | 0,258114 | 6,56  | 24,62    |
| 95     | 26,39 | 1,16  | 0,1107 | 52000 | 1970,5 | 507,8 | 1462,7     | 0,251135 | 6,56  | 23,97    |
| 97,5   | 27,08 | 1,11  | 0,1029 | 52000 | 1920,0 | 497,0 | 1423,0     | 0,244182 | 6,55  | 23,32    |
| 100    | 27,78 | 1,05  | 0,0961 | 52000 | 1872,0 | 488,4 | 1383,6     | 0,23729  | 6,53  | 22,66    |
| 102,5  | 28,47 | 1,00  | 0,0902 | 52000 | 1826,3 | 481,7 | 1344,7     | 0,230484 | 6,50  | 22,01    |
| 105    | 29,17 | 0,95  | 0,0851 | 52000 | 1782,9 | 476,6 | 1306,2     | 0,223781 | 6,47  | 21,37    |
| 107,5  | 29,86 | 0,91  | 0,0805 | 52000 | 1741,4 | 473,0 | 1268,4     | 0,217191 | 6,43  | 20,73    |
| 110    | 30,56 | 0,87  | 0,0765 | 52000 | 1701,8 | 470,7 | 1231,1     | 0,210721 | 6,39  | 20,10    |
| 112,5  | 31,25 | 0,83  | 0,0730 | 52000 | 1664,0 | 469,4 | 1194,6     | 0,204373 | 6,34  | 19,48    |
| 115    | 31,94 | 0,79  | 0,0698 | 52000 | 1627,8 | 469,1 | 1158,7     | 0,198149 | 6,29  | 18,87    |
| 117,5  | 32,64 | 0,76  | 0,0669 | 52000 | 1593,2 | 469,7 | 1123,5     | 0,192048 | 6,23  | 18,27    |
| 120    | 33,33 | 0,73  | 0,0644 | 52000 | 1560,0 | 471,1 | 1088,9     | 0,186066 | 6,17  | 17,68    |
| 122,5  | 34,03 | 0,70  | 0,0621 | 52000 | 1528,2 | 473,2 | 1054,9     | 0,180202 | 6,10  | 17,10    |
| 125    | 34,72 | 0,67  | 0,0599 | 52000 | 1497,6 | 476,0 | 1021,6     | 0,174451 | 6,03  | 16,53    |
| 127,5  | 35,42 | 0,65  | 0,0580 | 52000 | 1468,2 | 479,3 | 988,9      | 0,168809 | 5,95  | 15,97    |
| 130    | 36,11 | 0,62  | 0,0563 | 52000 | 1440,0 | 483,2 | 956,8      | 0,163273 | 5,87  | 15,42    |
| 132,5  | 36,81 | 0,60  | 0,0547 | 52000 | 1412,8 | 487,7 | 925,2      | 0,157837 | 5,79  | 14,87    |
| 135    | 37,50 | 0,58  | 0,0532 | 52000 | 1386,7 | 492,5 | 894,1      | 0,152496 | 5,70  | 14,34    |
| 137,5  | 38,19 | 0,56  | 0,0518 | 52000 | 1361,5 | 497,9 | 863,6      | 0,147247 | 5,60  | 13,81    |
| 140    | 38,89 | 0,54  | 0,0506 | 52000 | 1337,1 | 503,6 | 833,5      | 0,142086 | 5,51  | 13,29    |
| 142,5  | 39,58 | 0,52  | 0,0494 | 52000 | 1313,7 | 509,8 | 803,9      | 0,137006 | 5,41  | 12,77    |
| 145    | 40,28 | 0,50  | 0,0483 | 52000 | 1291,0 | 516,3 | 774,7      | 0,132005 | 5,30  | 12,27    |
| 147,5  | 40,97 | 0,48  | 0,0473 | 52000 | 1269,2 | 523,2 | 746,0      | 0,127078 | 5,19  | 11,77    |
| 150    | 41,67 | 0,47  | 0,0464 | 52000 | 1248,0 | 530,4 | 717,6      | 0,122221 | 5,08  | 11,27    |
| 152,5  | 42,36 | 0,45  | 0,0455 | 52000 | 1227,5 | 537,9 | 689,6      | 0,11743  | 4,96  | 10,78    |
| 155    | 43,06 | 0,44  | 0,0447 | 52000 | 1207,7 | 545,8 | 662,0      | 0,112702 | 4,84  | 10,30    |
| 157,5  | 43,75 | 0,42  | 0,0439 | 52000 | 1188,6 | 553,9 | 634,6      | 0,108033 | 4,72  | 9,82     |
| 160    | 44,44 | 0,41  | 0,0432 | 52000 | 1170,0 | 562,4 | 607,6      | 0,103419 | 4,59  | 9,35     |
| 162,5  | 45,14 | 0,40  | 0,0426 | 52000 | 1152,0 | 571,1 | 580,9      | 0,098858 | 4,46  | 8,88     |
| 165    | 45,83 | 0,39  | 0,0419 | 52000 | 1134,5 | 580,0 | 554,5      | 0,094346 | 4,32  | 8,42     |
| 167,5  | 46,53 | 0,37  | 0,0413 | 52000 | 1117,6 | 589,3 | 528,3      | 0,08988  | 4,18  | 7,95     |
| 170    | 47,22 | 0,36  | 0,0408 | 52000 | 1101,2 | 598,8 | 502,4      | 0,085457 | 4,03  | 7,50     |
| 172,5  | 47,92 | 0,35  | 0,0402 | 52000 | 1085,2 | 608,5 | 476,7      | 0,081075 | 3,88  | 7,04     |
| 175    | 48,61 | 0,34  | 0,0397 | 52000 | 1069,7 | 618,5 | 451,2      | 0,076731 | 3,73  | 6,59     |
| 177,5  | 49,31 | 0,33  | 0,0393 | 52000 | 1054,6 | 628,7 | 425,9      | 0,072422 | 3,57  | 6,15     |
| 180    | 50,00 | 0,32  | 0,0388 | 52000 | 1040,0 | 639,2 | 400,8      | 0,068147 | 3,40  | 5,70     |
| 182,5  | 50,69 | 0,32  | 0,0384 | 52000 | 1025,8 | 649,9 | 375,9      | 0,063902 | 3,24  | 5,26     |
| 185    | 51,39 | 0,31  | 0,0380 | 52000 | 1011,9 | 660,8 | 351,1      | 0,059686 | 3,07  | 4,82     |
| 187,5  | 52,08 | 0,30  | 0,0376 | 52000 | 998,4  | 671,9 | 326,5      | 0,055496 | 2,89  | 4,38     |
| 190    | 52,78 | 0,29  | 0,0372 | 52000 | 985,3  | 683,3 | 302,0      | 0,051331 | 2,71  | 3,95     |
| 192,5  | 53,47 | 0,28  | 0,0369 | 52000 | 972,5  | 694,8 | 277,7      | 0,047189 | 2,52  | 3,51     |
| 195    | 54,17 | 0,28  | 0,0366 | 52000 | 960,0  | 706,6 | 253,4      | 0,043068 | 2,33  | 3,08     |

Tabulka P. 2 - Výpočet stoupacích rychlostí, úhlu stoupání a gradientu stoupání; 1000 m MSA



Letecký ústav – VUT Fakulta strojního inženýrství v Brně  
Diplomová práce - Návrh letounu VUT 081 Kondor v dvoutrupové variantě  
Bc. Filip Suk

| V      | V     | $C_L$ | $C_D$  | $P_v$ | $T_v$  | D     | $\Delta T$ | $\gamma$    | $\gamma$ | $V_z$ | gradient |
|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|------------|-------------|----------|-------|----------|
| [km/h] | [m/s] | [-]   | [-]    | [W]   | [N]    | [N]   | [N]        | [rad]       | [°]      | [m/s] | [%]      |
| 75     | 20,83 | 1,87  | 0,2664 | 45600 | 2188,8 | 689,6 | 1499,2     | 0,257542723 | 14,76    | 5,31  | 22,93    |
| 77,5   | 21,53 | 1,75  | 0,2298 | 45600 | 2118,2 | 635,1 | 1483,1     | 0,2547191   | 14,60    | 5,42  | 22,85    |
| 80     | 22,22 | 1,64  | 0,2009 | 45600 | 2052,0 | 591,7 | 1460,3     | 0,250721424 | 14,37    | 5,51  | 22,63    |
| 82,5   | 22,92 | 1,54  | 0,1778 | 45600 | 1989,8 | 556,8 | 1433,0     | 0,245933563 | 14,10    | 5,58  | 22,29    |
| 85     | 23,61 | 1,45  | 0,1590 | 45600 | 1931,3 | 528,6 | 1402,7     | 0,240622389 | 13,79    | 5,63  | 21,88    |
| 87,5   | 24,31 | 1,37  | 0,1436 | 45600 | 1876,1 | 505,7 | 1370,4     | 0,234975304 | 13,47    | 5,66  | 21,42    |
| 90     | 25,00 | 1,30  | 0,1307 | 45600 | 1824,0 | 487,1 | 1336,9     | 0,229124887 | 13,13    | 5,68  | 20,92    |
| 92,5   | 25,69 | 1,23  | 0,1199 | 45600 | 1774,7 | 472,0 | 1302,7     | 0,223165375 | 12,79    | 5,69  | 20,39    |
| 95     | 26,39 | 1,16  | 0,1107 | 45600 | 1728,0 | 459,8 | 1268,2     | 0,217163866 | 12,45    | 5,69  | 19,85    |
| 97,5   | 27,08 | 1,11  | 0,1029 | 45600 | 1683,7 | 450,0 | 1233,7     | 0,211168047 | 12,11    | 5,68  | 19,30    |
| 100    | 27,78 | 1,05  | 0,0961 | 45600 | 1641,6 | 442,2 | 1199,4     | 0,205211598 | 11,76    | 5,66  | 18,75    |
| 102,5  | 28,47 | 1,00  | 0,0902 | 45600 | 1601,6 | 436,1 | 1165,4     | 0,199318015 | 11,43    | 5,64  | 18,19    |
| 105    | 29,17 | 0,95  | 0,0851 | 45600 | 1563,4 | 431,6 | 1131,9     | 0,193503351 | 11,09    | 5,61  | 17,64    |
| 107,5  | 29,86 | 0,91  | 0,0805 | 45600 | 1527,1 | 428,3 | 1098,8     | 0,187778191 | 10,76    | 5,57  | 17,09    |
| 110    | 30,56 | 0,87  | 0,0765 | 45600 | 1492,4 | 426,2 | 1066,2     | 0,182149092 | 10,44    | 5,53  | 16,54    |
| 112,5  | 31,25 | 0,83  | 0,0730 | 45600 | 1459,2 | 425,0 | 1034,2     | 0,176619646 | 10,12    | 5,49  | 16,00    |
| 115    | 31,94 | 0,79  | 0,0698 | 45600 | 1427,5 | 424,8 | 1002,7     | 0,17119126  | 9,81     | 5,44  | 15,47    |
| 117,5  | 32,64 | 0,76  | 0,0669 | 45600 | 1397,1 | 425,3 | 971,8      | 0,165863741 | 9,51     | 5,39  | 14,94    |
| 120    | 33,33 | 0,73  | 0,0644 | 45600 | 1368,0 | 426,6 | 941,4      | 0,16063573  | 9,21     | 5,33  | 14,42    |
| 122,5  | 34,03 | 0,70  | 0,0621 | 45600 | 1340,1 | 428,5 | 911,6      | 0,155505031 | 8,91     | 5,27  | 13,91    |
| 125    | 34,72 | 0,67  | 0,0599 | 45600 | 1313,3 | 431,0 | 882,3      | 0,150468856 | 8,63     | 5,20  | 13,40    |
| 127,5  | 35,42 | 0,65  | 0,0580 | 45600 | 1287,5 | 434,0 | 853,5      | 0,145524009 | 8,34     | 5,14  | 12,90    |
| 130    | 36,11 | 0,62  | 0,0563 | 45600 | 1262,8 | 437,5 | 825,2      | 0,140667031 | 8,06     | 5,06  | 12,41    |
| 132,5  | 36,81 | 0,60  | 0,0547 | 45600 | 1238,9 | 441,5 | 797,4      | 0,1358943   | 7,79     | 4,99  | 11,92    |
| 135    | 37,50 | 0,58  | 0,0532 | 45600 | 1216,0 | 446,0 | 770,0      | 0,131202113 | 7,52     | 4,91  | 11,44    |
| 137,5  | 38,19 | 0,56  | 0,0518 | 45600 | 1193,9 | 450,8 | 743,1      | 0,126586746 | 7,26     | 4,82  | 10,96    |
| 140    | 38,89 | 0,54  | 0,0506 | 45600 | 1172,6 | 456,0 | 716,6      | 0,122044497 | 7,00     | 4,73  | 10,49    |
| 142,5  | 39,58 | 0,52  | 0,0494 | 45600 | 1152,0 | 461,6 | 690,4      | 0,117571719 | 6,74     | 4,64  | 10,03    |
| 145    | 40,28 | 0,50  | 0,0483 | 45600 | 1132,1 | 467,5 | 664,7      | 0,113164841 | 6,49     | 4,55  | 9,57     |
| 147,5  | 40,97 | 0,48  | 0,0473 | 45600 | 1112,9 | 473,7 | 639,3      | 0,108820392 | 6,24     | 4,45  | 9,11     |
| 150    | 41,67 | 0,47  | 0,0464 | 45600 | 1094,4 | 480,2 | 614,2      | 0,104535001 | 5,99     | 4,35  | 8,66     |
| 152,5  | 42,36 | 0,45  | 0,0455 | 45600 | 1076,5 | 487,1 | 589,4      | 0,100305416 | 5,75     | 4,24  | 8,22     |
| 155    | 43,06 | 0,44  | 0,0447 | 45600 | 1059,1 | 494,2 | 564,9      | 0,096128499 | 5,51     | 4,13  | 7,78     |
| 157,5  | 43,75 | 0,42  | 0,0439 | 45600 | 1042,3 | 501,5 | 540,8      | 0,092001233 | 5,27     | 4,02  | 7,34     |
| 160    | 44,44 | 0,41  | 0,0432 | 45600 | 1026,0 | 509,2 | 516,8      | 0,08792072  | 5,04     | 3,90  | 6,90     |
| 162,5  | 45,14 | 0,40  | 0,0426 | 45600 | 1010,2 | 517,1 | 493,2      | 0,083884182 | 4,81     | 3,78  | 6,47     |
| 165    | 45,83 | 0,39  | 0,0419 | 45600 | 994,9  | 525,2 | 469,7      | 0,079888955 | 4,58     | 3,66  | 6,04     |
| 167,5  | 46,53 | 0,37  | 0,0413 | 45600 | 980,1  | 533,6 | 446,5      | 0,07593249  | 4,35     | 3,53  | 5,62     |
| 170    | 47,22 | 0,36  | 0,0408 | 45600 | 965,6  | 542,1 | 423,5      | 0,072012346 | 4,13     | 3,40  | 5,20     |
| 172,5  | 47,92 | 0,35  | 0,0402 | 45600 | 951,7  | 551,0 | 400,7      | 0,068126189 | 3,91     | 3,26  | 4,78     |
| 175    | 48,61 | 0,34  | 0,0397 | 45600 | 938,1  | 560,0 | 378,0      | 0,064271788 | 3,68     | 3,12  | 4,36     |
| 177,5  | 49,31 | 0,33  | 0,0393 | 45600 | 924,8  | 569,3 | 355,6      | 0,060447008 | 3,47     | 2,98  | 3,94     |
| 180    | 50,00 | 0,32  | 0,0388 | 45600 | 912,0  | 578,7 | 333,3      | 0,056649808 | 3,25     | 2,83  | 3,53     |
| 182,5  | 50,69 | 0,32  | 0,0384 | 45600 | 899,5  | 588,4 | 311,1      | 0,052878239 | 3,03     | 2,68  | 3,12     |
| 185    | 51,39 | 0,31  | 0,0380 | 45600 | 887,4  | 598,3 | 289,1      | 0,049130433 | 2,82     | 2,52  | 2,70     |
| 187,5  | 52,08 | 0,30  | 0,0376 | 45600 | 875,5  | 608,4 | 267,2      | 0,045404609 | 2,60     | 2,36  | 2,30     |
| 190    | 52,78 | 0,29  | 0,0372 | 45600 | 864,0  | 618,6 | 245,4      | 0,041699059 | 2,39     | 2,20  | 1,89     |
| 192,5  | 53,47 | 0,28  | 0,0369 | 45600 | 852,8  | 629,1 | 223,7      | 0,038012152 | 2,18     | 2,03  | 1,48     |
| 195    | 54,17 | 0,28  | 0,0366 | 45600 | 841,8  | 639,7 | 202,1      | 0,034342326 | 1,97     | 1,86  | 1,07     |

Tabulka P. 3 - Výpočet stoupacích rychlostí, úhlu stoupání a gradientu stoupání; 2000 m MSA



Letecký ústav – VUT Fakulta strojního inženýrství v Brně  
Diplomová práce - Návrh letounu VUT 081 Kondor v dvoutrupové variantě  
Bc. Filip Suk

| V      | V     | $C_L$ | $C_D$  | $P_v$ | $T_v$  | D     | $\Delta T$ | $\gamma$    | $\gamma$ | $V_z$ | gradient |
|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|------------|-------------|----------|-------|----------|
| [km/h] | [m/s] | [-]   | [-]    | [W]   | [N]    | [N]   | [N]        | [rad]       | [°]      | [m/s] | [%]      |
| 75     | 20,83 | 1,87  | 0,2664 | 40800 | 1958,4 | 622,9 | 1335,5     | 0,228889065 | 13,12    | 4,73  | 19,01    |
| 77,5   | 21,53 | 1,75  | 0,2298 | 40800 | 1895,2 | 573,6 | 1321,6     | 0,226461374 | 12,98    | 4,83  | 19,07    |
| 80     | 22,22 | 1,64  | 0,2009 | 40800 | 1836,0 | 534,4 | 1301,6     | 0,222973266 | 12,78    | 4,91  | 18,96    |
| 82,5   | 22,92 | 1,54  | 0,1778 | 40800 | 1780,4 | 502,9 | 1277,4     | 0,218769142 | 12,54    | 4,97  | 18,73    |
| 85     | 23,61 | 1,45  | 0,1590 | 40800 | 1728,0 | 477,5 | 1250,5     | 0,214088578 | 12,27    | 5,02  | 18,43    |
| 87,5   | 24,31 | 1,37  | 0,1436 | 40800 | 1678,6 | 456,8 | 1221,8     | 0,20909997  | 11,99    | 5,05  | 18,06    |
| 90     | 25,00 | 1,30  | 0,1307 | 40800 | 1632,0 | 440,0 | 1192,0     | 0,203922613 | 11,69    | 5,06  | 17,65    |
| 92,5   | 25,69 | 1,23  | 0,1199 | 40800 | 1587,9 | 426,4 | 1161,5     | 0,198641445 | 11,39    | 5,07  | 17,22    |
| 95     | 26,39 | 1,16  | 0,1107 | 40800 | 1546,1 | 415,3 | 1130,8     | 0,193317078 | 11,08    | 5,07  | 16,76    |
| 97,5   | 27,08 | 1,11  | 0,1029 | 40800 | 1506,5 | 406,4 | 1100,0     | 0,187992705 | 10,78    | 5,06  | 16,29    |
| 100    | 27,78 | 1,05  | 0,0961 | 40800 | 1468,8 | 399,4 | 1069,4     | 0,182698941 | 10,47    | 5,05  | 15,81    |
| 102,5  | 28,47 | 1,00  | 0,0902 | 40800 | 1433,0 | 393,9 | 1039,0     | 0,177457244 | 10,17    | 5,03  | 15,33    |
| 105    | 29,17 | 0,95  | 0,0851 | 40800 | 1398,9 | 389,8 | 1009,0     | 0,172282369 | 9,88     | 5,00  | 14,84    |
| 107,5  | 29,86 | 0,91  | 0,0805 | 40800 | 1366,3 | 386,9 | 979,5      | 0,167184136 | 9,58     | 4,97  | 14,36    |
| 110    | 30,56 | 0,87  | 0,0765 | 40800 | 1335,3 | 384,9 | 950,3      | 0,162168729 | 9,30     | 4,93  | 13,87    |
| 112,5  | 31,25 | 0,83  | 0,0730 | 40800 | 1305,6 | 383,9 | 921,7      | 0,157239643 | 9,01     | 4,89  | 13,39    |
| 115    | 31,94 | 0,79  | 0,0698 | 40800 | 1277,2 | 383,7 | 893,5      | 0,152398388 | 8,74     | 4,85  | 12,92    |
| 117,5  | 32,64 | 0,76  | 0,0669 | 40800 | 1250,0 | 384,2 | 865,9      | 0,147645018 | 8,46     | 4,80  | 12,44    |
| 120    | 33,33 | 0,73  | 0,0644 | 40800 | 1224,0 | 385,3 | 838,7      | 0,142978518 | 8,20     | 4,75  | 11,97    |
| 122,5  | 34,03 | 0,70  | 0,0621 | 40800 | 1199,0 | 387,0 | 812,0      | 0,138397103 | 7,93     | 4,69  | 11,51    |
| 125    | 34,72 | 0,67  | 0,0599 | 40800 | 1175,0 | 389,3 | 785,8      | 0,13389844  | 7,68     | 4,64  | 11,05    |
| 127,5  | 35,42 | 0,65  | 0,0580 | 40800 | 1152,0 | 392,0 | 760,0      | 0,129479814 | 7,42     | 4,57  | 10,60    |
| 130    | 36,11 | 0,62  | 0,0563 | 40800 | 1129,8 | 395,2 | 734,6      | 0,12513826  | 7,17     | 4,51  | 10,15    |
| 132,5  | 36,81 | 0,60  | 0,0547 | 40800 | 1108,5 | 398,8 | 709,7      | 0,120870653 | 6,93     | 4,44  | 9,70     |
| 135    | 37,50 | 0,58  | 0,0532 | 40800 | 1088,0 | 402,8 | 685,2      | 0,116673785 | 6,69     | 4,37  | 9,26     |
| 137,5  | 38,19 | 0,56  | 0,0518 | 40800 | 1068,2 | 407,2 | 661,0      | 0,112544418 | 6,45     | 4,29  | 8,83     |
| 140    | 38,89 | 0,54  | 0,0506 | 40800 | 1049,1 | 411,9 | 637,3      | 0,108479325 | 6,22     | 4,21  | 8,40     |
| 142,5  | 39,58 | 0,52  | 0,0494 | 40800 | 1030,7 | 416,9 | 613,8      | 0,104475319 | 5,99     | 4,13  | 7,97     |
| 145    | 40,28 | 0,50  | 0,0483 | 40800 | 1013,0 | 422,2 | 590,7      | 0,100529276 | 5,76     | 4,04  | 7,54     |
| 147,5  | 40,97 | 0,48  | 0,0473 | 40800 | 995,8  | 427,9 | 567,9      | 0,096638151 | 5,54     | 3,95  | 7,12     |
| 150    | 41,67 | 0,47  | 0,0464 | 40800 | 979,2  | 433,8 | 545,4      | 0,092798987 | 5,32     | 3,86  | 6,71     |
| 152,5  | 42,36 | 0,45  | 0,0455 | 40800 | 963,1  | 439,9 | 523,2      | 0,089008926 | 5,10     | 3,77  | 6,29     |
| 155    | 43,06 | 0,44  | 0,0447 | 40800 | 947,6  | 446,3 | 501,3      | 0,085265207 | 4,89     | 3,67  | 5,88     |
| 157,5  | 43,75 | 0,42  | 0,0439 | 40800 | 932,6  | 453,0 | 479,6      | 0,081565175 | 4,68     | 3,56  | 5,47     |
| 160    | 44,44 | 0,41  | 0,0432 | 40800 | 918,0  | 459,9 | 458,1      | 0,077906276 | 4,47     | 3,46  | 5,07     |
| 162,5  | 45,14 | 0,40  | 0,0426 | 40800 | 903,9  | 467,0 | 436,8      | 0,07428606  | 4,26     | 3,35  | 4,66     |
| 165    | 45,83 | 0,39  | 0,0419 | 40800 | 890,2  | 474,4 | 415,8      | 0,070702178 | 4,05     | 3,24  | 4,26     |
| 167,5  | 46,53 | 0,37  | 0,0413 | 40800 | 876,9  | 481,9 | 395,0      | 0,067152379 | 3,85     | 3,12  | 3,87     |
| 170    | 47,22 | 0,36  | 0,0408 | 40800 | 864,0  | 489,7 | 374,3      | 0,063634507 | 3,65     | 3,00  | 3,47     |
| 172,5  | 47,92 | 0,35  | 0,0402 | 40800 | 851,5  | 497,7 | 353,8      | 0,060146502 | 3,45     | 2,88  | 3,07     |
| 175    | 48,61 | 0,34  | 0,0397 | 40800 | 839,3  | 505,8 | 333,5      | 0,056686389 | 3,25     | 2,75  | 2,68     |
| 177,5  | 49,31 | 0,33  | 0,0393 | 40800 | 827,5  | 514,2 | 313,3      | 0,053252282 | 3,05     | 2,62  | 2,29     |
| 180    | 50,00 | 0,32  | 0,0388 | 40800 | 816,0  | 522,7 | 293,3      | 0,049842375 | 2,86     | 2,49  | 1,90     |
| 182,5  | 50,69 | 0,32  | 0,0384 | 40800 | 804,8  | 531,5 | 273,3      | 0,046454943 | 2,66     | 2,35  | 1,51     |
| 185    | 51,39 | 0,31  | 0,0380 | 40800 | 793,9  | 540,4 | 253,5      | 0,043088335 | 2,47     | 2,21  | 1,12     |
| 187,5  | 52,08 | 0,30  | 0,0376 | 40800 | 783,4  | 549,5 | 233,9      | 0,039740971 | 2,28     | 2,07  | 0,73     |
| 190    | 52,78 | 0,29  | 0,0372 | 40800 | 773,1  | 558,8 | 214,3      | 0,036411342 | 2,09     | 1,92  | 0,34     |
| 192,5  | 53,47 | 0,28  | 0,0369 | 40800 | 763,0  | 568,2 | 194,8      | 0,033098003 | 1,90     | 1,77  | -0,05    |
| 195    | 54,17 | 0,28  | 0,0366 | 40800 | 753,2  | 577,9 | 175,4      | 0,029799569 | 1,71     | 1,61  | -0,43    |

Tabulka P. 4 - Výpočet stoupacích rychlostí, úhlu stoupání a gradientu stoupání; 3000 m MSA



| V      | V     | $C_L$ | $C_D$  | $P_v$ | $T_v$  | D     | $\Delta T$ | $\gamma$    | $\gamma$ | $V_z$ | gradient |
|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|------------|-------------|----------|-------|----------|
| [km/h] | [m/s] | [-]   | [-]    | [W]   | [N]    | [N]   | [N]        | [rad]       | [°]      | [m/s] | [%]      |
| 75     | 20,83 | 1,87  | 0,2664 | 36000 | 1728,0 | 561,2 | 1166,8     | 0,199550133 | 11,44    | 4,13  | 15,10    |
| 77,5   | 21,53 | 1,75  | 0,2298 | 36000 | 1672,3 | 516,8 | 1155,4     | 0,197580698 | 11,33    | 4,23  | 15,28    |
| 80     | 22,22 | 1,64  | 0,2009 | 36000 | 1620,0 | 481,5 | 1138,5     | 0,194648373 | 11,16    | 4,30  | 15,29    |
| 82,5   | 22,92 | 1,54  | 0,1778 | 36000 | 1570,9 | 453,1 | 1117,8     | 0,191062271 | 10,95    | 4,35  | 15,18    |
| 85     | 23,61 | 1,45  | 0,1590 | 36000 | 1524,7 | 430,2 | 1094,5     | 0,187037666 | 10,72    | 4,39  | 14,97    |
| 87,5   | 24,31 | 1,37  | 0,1436 | 36000 | 1481,1 | 411,6 | 1069,6     | 0,18272612  | 10,47    | 4,42  | 14,71    |
| 90     | 25,00 | 1,30  | 0,1307 | 36000 | 1440,0 | 396,5 | 1043,5     | 0,178235226 | 10,22    | 4,43  | 14,39    |
| 92,5   | 25,69 | 1,23  | 0,1199 | 36000 | 1401,1 | 384,2 | 1016,9     | 0,173641794 | 9,95     | 4,44  | 14,04    |
| 95     | 26,39 | 1,16  | 0,1107 | 36000 | 1364,2 | 374,2 | 990,0      | 0,169000818 | 9,69     | 4,44  | 13,67    |
| 97,5   | 27,08 | 1,11  | 0,1029 | 36000 | 1329,2 | 366,2 | 963,0      | 0,164351652 | 9,42     | 4,43  | 13,28    |
| 100    | 27,78 | 1,05  | 0,0961 | 36000 | 1296,0 | 359,9 | 936,1      | 0,15972234  | 9,16     | 4,42  | 12,87    |
| 102,5  | 28,47 | 1,00  | 0,0902 | 36000 | 1264,4 | 354,9 | 909,5      | 0,155132681 | 8,89     | 4,40  | 12,46    |
| 105    | 29,17 | 0,95  | 0,0851 | 36000 | 1234,3 | 351,2 | 883,1      | 0,15059642  | 8,63     | 4,38  | 12,05    |
| 107,5  | 29,86 | 0,91  | 0,0805 | 36000 | 1205,6 | 348,6 | 857,0      | 0,146122843 | 8,38     | 4,35  | 11,63    |
| 110    | 30,56 | 0,87  | 0,0765 | 36000 | 1178,2 | 346,8 | 831,4      | 0,141717933 | 8,12     | 4,32  | 11,20    |
| 112,5  | 31,25 | 0,83  | 0,0730 | 36000 | 1152,0 | 345,9 | 806,1      | 0,137385227 | 7,88     | 4,28  | 10,78    |
| 115    | 31,94 | 0,79  | 0,0698 | 36000 | 1127,0 | 345,7 | 781,3      | 0,133126451 | 7,63     | 4,24  | 10,36    |
| 117,5  | 32,64 | 0,76  | 0,0669 | 36000 | 1103,0 | 346,1 | 756,9      | 0,128941989 | 7,39     | 4,20  | 9,94     |
| 120    | 33,33 | 0,73  | 0,0644 | 36000 | 1080,0 | 347,2 | 732,8      | 0,124831241 | 7,16     | 4,15  | 9,53     |
| 122,5  | 34,03 | 0,70  | 0,0621 | 36000 | 1058,0 | 348,7 | 709,3      | 0,12079289  | 6,92     | 4,10  | 9,11     |
| 125    | 34,72 | 0,67  | 0,0599 | 36000 | 1036,8 | 350,7 | 686,1      | 0,116825102 | 6,70     | 4,05  | 8,70     |
| 127,5  | 35,42 | 0,65  | 0,0580 | 36000 | 1016,5 | 353,2 | 663,3      | 0,112925682 | 6,47     | 3,99  | 8,30     |
| 130    | 36,11 | 0,62  | 0,0563 | 36000 | 996,9  | 356,1 | 640,8      | 0,109092186 | 6,25     | 3,93  | 7,89     |
| 132,5  | 36,81 | 0,60  | 0,0547 | 36000 | 978,1  | 359,3 | 618,8      | 0,105322013 | 6,04     | 3,87  | 7,49     |
| 135    | 37,50 | 0,58  | 0,0532 | 36000 | 960,0  | 362,9 | 597,1      | 0,101612469 | 5,82     | 3,80  | 7,09     |
| 137,5  | 38,19 | 0,56  | 0,0518 | 36000 | 942,5  | 366,9 | 575,7      | 0,097960821 | 5,62     | 3,74  | 6,69     |
| 140    | 38,89 | 0,54  | 0,0506 | 36000 | 925,7  | 371,1 | 554,6      | 0,094364328 | 5,41     | 3,66  | 6,30     |
| 142,5  | 39,58 | 0,52  | 0,0494 | 36000 | 909,5  | 375,6 | 533,8      | 0,090820277 | 5,21     | 3,59  | 5,91     |
| 145    | 40,28 | 0,50  | 0,0483 | 36000 | 893,8  | 380,4 | 513,3      | 0,087325999 | 5,01     | 3,51  | 5,52     |
| 147,5  | 40,97 | 0,48  | 0,0473 | 36000 | 878,6  | 385,5 | 493,1      | 0,083878885 | 4,81     | 3,43  | 5,13     |
| 150    | 41,67 | 0,47  | 0,0464 | 36000 | 864,0  | 390,8 | 473,2      | 0,080476398 | 4,61     | 3,35  | 4,75     |
| 152,5  | 42,36 | 0,45  | 0,0455 | 36000 | 849,8  | 396,4 | 453,5      | 0,077116077 | 4,42     | 3,26  | 4,37     |
| 155    | 43,06 | 0,44  | 0,0447 | 36000 | 836,1  | 402,2 | 434,0      | 0,073795547 | 4,23     | 3,17  | 3,99     |
| 157,5  | 43,75 | 0,42  | 0,0439 | 36000 | 822,9  | 408,2 | 414,7      | 0,070512516 | 4,04     | 3,08  | 3,61     |
| 160    | 44,44 | 0,41  | 0,0432 | 36000 | 810,0  | 414,4 | 395,6      | 0,067264779 | 3,86     | 2,99  | 3,23     |
| 162,5  | 45,14 | 0,40  | 0,0426 | 36000 | 797,5  | 420,8 | 376,7      | 0,064050216 | 3,67     | 2,89  | 2,86     |
| 165    | 45,83 | 0,39  | 0,0419 | 36000 | 785,5  | 427,4 | 358,0      | 0,060866795 | 3,49     | 2,79  | 2,48     |
| 167,5  | 46,53 | 0,37  | 0,0413 | 36000 | 773,7  | 434,2 | 339,5      | 0,057712566 | 3,31     | 2,68  | 2,11     |
| 170    | 47,22 | 0,36  | 0,0408 | 36000 | 762,4  | 441,2 | 321,1      | 0,054585661 | 3,13     | 2,58  | 1,74     |
| 172,5  | 47,92 | 0,35  | 0,0402 | 36000 | 751,3  | 448,4 | 302,9      | 0,05148429  | 2,95     | 2,47  | 1,37     |
| 175    | 48,61 | 0,34  | 0,0397 | 36000 | 740,6  | 455,8 | 284,8      | 0,04840674  | 2,77     | 2,35  | 1,00     |
| 177,5  | 49,31 | 0,33  | 0,0393 | 36000 | 730,1  | 463,3 | 266,8      | 0,045351372 | 2,60     | 2,24  | 0,63     |
| 180    | 50,00 | 0,32  | 0,0388 | 36000 | 720,0  | 471,0 | 249,0      | 0,042316618 | 2,43     | 2,12  | 0,27     |
| 182,5  | 50,69 | 0,32  | 0,0384 | 36000 | 710,1  | 478,9 | 231,3      | 0,039300976 | 2,25     | 1,99  | -0,10    |
| 185    | 51,39 | 0,31  | 0,0380 | 36000 | 700,5  | 486,9 | 213,6      | 0,036303011 | 2,08     | 1,87  | -0,47    |
| 187,5  | 52,08 | 0,30  | 0,0376 | 36000 | 691,2  | 495,1 | 196,1      | 0,033321348 | 1,91     | 1,74  | -0,84    |
| 190    | 52,78 | 0,29  | 0,0372 | 36000 | 682,1  | 503,5 | 178,6      | 0,030354673 | 1,74     | 1,60  | -1,20    |
| 192,5  | 53,47 | 0,28  | 0,0369 | 36000 | 673,2  | 512,0 | 161,3      | 0,027401727 | 1,57     | 1,47  | -1,57    |
| 195    | 54,17 | 0,28  | 0,0366 | 36000 | 664,6  | 520,7 | 144,0      | 0,024461304 | 1,40     | 1,32  | -1,94    |

Tabulka P. 5 - Výpočet stoupacích rychlostí, úhlu stoupání a gradientu stoupání; 4000 m MSL

## 2. Výpočet rychlostní poláry

| $C_L$ | $C_D$  | $C_L/C_D$ | $C_R^A$ | $w$     | $u$   | $U$    |
|-------|--------|-----------|---------|---------|-------|--------|
| [-]   | [-]    | [-]       | [-]     | [m/s]   | [m/s] | [km/h] |
| 1,55  | 0,25   | 6,20      | 1,57    | -3,62   | 22,44 | 80,77  |
| 1,58  | 0,22   | 7,18      | 1,60    | -3,11   | 22,33 | 80,39  |
| 1,571 | 0,195  | 8,06      | 1,58    | -2,79   | 22,46 | 80,86  |
| 1,546 | 0,18   | 8,59      | 1,56    | -2,64   | 22,67 | 81,62  |
| 1,512 | 0,167  | 9,05      | 1,52    | -2,53   | 22,95 | 82,62  |
| 1,472 | 0,157  | 9,38      | 1,48    | -2,48   | 23,27 | 83,78  |
| 1,42  | 0,1471 | 9,65      | 1,43    | -2,46   | 23,71 | 85,35  |
| 1,363 | 0,1371 | 9,94      | 1,37    | -2,44   | 24,21 | 87,15  |
| 1,289 | 0,1249 | 10,32     | 1,30    | -2,41   | 24,91 | 89,67  |
| 1,21  | 0,1127 | 10,74     | 1,22    | -2,40   | 25,72 | 92,60  |
| 1,122 | 0,1001 | 11,21     | 1,13    | -2,38   | 26,73 | 96,21  |
| 1,021 | 0,0869 | 11,75     | 1,02    | -2,39   | 28,03 | 100,91 |
| 0,92  | 0,0752 | 12,23     | 0,92    | -2,41   | 29,54 | 106,35 |
| 0,819 | 0,0649 | 12,62     | 0,82    | -2,48   | 31,32 | 112,75 |
| 0,718 | 0,0561 | 12,80     | 0,72    | -2,61   | 33,45 | 120,44 |
| 0,617 | 0,0486 | 12,70     | 0,62    | -2,84   | 36,09 | 129,91 |
| 0,516 | 0,0426 | 12,11     | 0,52    | -3,26   | 39,44 | 141,99 |
| 0,415 | 0,0379 | 10,95     | 0,42    | -4,01   | 43,93 | 158,15 |
| 0,313 | 0,0347 | 9,02      | 0,31    | -5,59   | 50,44 | 181,57 |
| 0,212 | 0,0329 | 6,44      | 0,21    | -9,43   | 60,75 | 218,72 |
| 0,111 | 0,0326 | 3,40      | 0,12    | -23,59  | 80,33 | 289,19 |
| 0,01  | 0,0336 | 0,30      | 0,04    | -145,78 | 43,39 | 156,19 |
| 0     | 0,0338 | 0,00      | 0,03    | -154,90 | 0,00  | 0,00   |

Tabulka P. 6 - Výpočet rychlostní poláry klouzavého letu letounu VUT 081 KONDOR

### 3. Délka pozemní fáze vzletu

| $V$<br>[m/s] | $V$<br>[km/h] | $F_V$<br>[N] | $a_x$<br>[m/s] | $V/a_x$<br>[s] | $\Delta L_g$<br>[m] | $L_g$<br>[m] |
|--------------|---------------|--------------|----------------|----------------|---------------------|--------------|
| 0,00         | 0             | 2200         | 2,9            | 0              | 0,0                 | 0,0          |
| 1,39         | 5             | 2175         | 2,8            | 0,49           | 0,7                 | 0,7          |
| 2,78         | 10            | 2150         | 2,8            | 0,99           | 1,4                 | 2,1          |
| 4,17         | 15            | 2125         | 2,8            | 1,51           | 2,1                 | 4,2          |
| 5,56         | 20            | 2100         | 2,7            | 2,05           | 2,9                 | 7,0          |
| 6,94         | 25            | 2075         | 2,7            | 2,61           | 3,6                 | 10,6         |
| 8,33         | 30            | 2050         | 2,6            | 3,20           | 4,4                 | 15,1         |
| 9,72         | 35            | 2025         | 2,6            | 3,80           | 5,3                 | 20,4         |
| 11,11        | 40            | 2000         | 2,5            | 4,44           | 6,2                 | 26,5         |
| 12,50        | 45            | 1975         | 2,5            | 5,10           | 7,1                 | 33,6         |
| 13,89        | 50            | 1950         | 2,4            | 5,80           | 8,1                 | 41,7         |
| 15,28        | 55            | 1925         | 2,3            | 6,53           | 9,1                 | 50,7         |
| 16,67        | 60            | 1900         | 2,3            | 7,31           | 10,1                | 60,9         |
| 18,06        | 65            | 1875         | 2,2            | 8,13           | 11,3                | 72,2         |
| 19,44        | 70            | 1850         | 2,2            | 9,00           | 12,5                | 84,7         |
| 20,83        | 75            | 1825         | 2,1            | 9,92           | 13,8                | 98,5         |
| 22,22        | 80            | 1800         | 2,0            | 10,91          | 15,2                | 113,6        |
| 23,61        | 85            | 1775         | 2,0            | 11,97          | 16,6                | 130,2        |

**Tabulka P. 7 - Délka rozjezdu letounu v závislosti na rychlosti - start z travnaté plochy**

| $V$<br>[m/s] | $V$<br>[km/h] | $F_V$<br>[N] | $a_x$<br>[m/s] | $V/a_x$<br>[s] | $\Delta L_g$<br>[m] | $L_g$<br>[m] |
|--------------|---------------|--------------|----------------|----------------|---------------------|--------------|
| 0,00         | 0             | 2200         | 3,4            | 0              | 0,0                 | 0,0          |
| 1,39         | 5             | 2175         | 3,3            | 0,42           | 0,6                 | 0,6          |
| 2,78         | 10            | 2150         | 3,3            | 0,85           | 1,2                 | 1,8          |
| 4,17         | 15            | 2125         | 3,2            | 1,29           | 1,8                 | 3,5          |
| 5,56         | 20            | 2100         | 3,2            | 1,74           | 2,4                 | 6,0          |
| 6,94         | 25            | 2075         | 3,1            | 2,22           | 3,1                 | 9,0          |
| 8,33         | 30            | 2050         | 3,1            | 2,71           | 3,8                 | 12,8         |
| 9,72         | 35            | 2025         | 3,0            | 3,22           | 4,5                 | 17,3         |
| 11,11        | 40            | 2000         | 3,0            | 3,76           | 5,2                 | 22,5         |
| 12,50        | 45            | 1975         | 2,9            | 4,32           | 6,0                 | 28,5         |
| 13,89        | 50            | 1950         | 2,8            | 4,91           | 6,8                 | 35,3         |
| 15,28        | 55            | 1925         | 2,8            | 5,53           | 7,7                 | 43,0         |
| 16,67        | 60            | 1900         | 2,7            | 6,20           | 8,6                 | 51,6         |
| 18,06        | 65            | 1875         | 2,6            | 6,90           | 9,6                 | 61,2         |
| 19,44        | 70            | 1850         | 2,5            | 7,65           | 10,6                | 71,8         |
| 20,83        | 75            | 1825         | 2,5            | 8,46           | 11,7                | 83,6         |
| 22,22        | 80            | 1800         | 2,4            | 9,33           | 13,0                | 96,5         |
| 23,61        | 85            | 1775         | 2,3            | 10,27          | 14,3                | 110,8        |

**Tabulka P. 8 - Délka rozjezdu letounu v závislosti na rychlosti - start z betonové plochy**

#### 4. Výpočet obálky zatížení – znění předpisu

##### CS-VLA 335 Návrhové rychlosti

S výjimkou údajů uvedených v pododstavci (a)(4) tohoto odstavce jsou vybrané návrhové rychlosti letu ekvivalentní rychlosti letu (EAS).

(a) *Návrhová cestovní rychlost*  $V_C$ . Pro  $V_C$  platí:

(1)  $V_C$  (m/s) nesmí být nižší než –

$$2,4\sqrt{Mg/S} \quad (V_C \text{ (kt)} = 4,7\sqrt{Mg/S})$$

Kde:

$M/S$  = plošné zatížení křídla ( $kg/m^2$ )

$g$  = gravitační zrychlení

(2)  $V_C$  nemusí být vyšší než  $0,9 V_H$  v nulové výšce MSA.

(b) *Návrhová rychlost strmého sestupného letu*  $V_D$  Pro  $V_D$  platí:

(1)  $V_D$  nesmí být nižší než  $1,25 V_C$ ; a

(2) Je-li  $V_{Cmin}$  minimální požadovaná návrhová cestovní rychlost, nesmí být  $V_D$  nižší než  $1,40 V_{Cmin}$ .

(c) *Návrhová obrátová rychlost*  $V_A$ . Pro  $V_A$  platí následující:

(1)  $V_A$  nesmí být nižší než  $V_S\sqrt{n}$

Kde -

(i)  $V_S$  je vypočtená pádová rychlost se zasunutými vztlačovými klapkami při návrhové hmotnosti, obvykle založená na maximálních koeficientech normální síly letounu  $C_{NA}$ ; a

(ii)  $n$  je maximální provozní násobek obratu, použitý v návrhu.

(2) Hodnota  $V_A$  nemusí převyšovat hodnotu  $V_C$  použitou v návrhu.

##### CS-VLA 341 Násobky zatížení při poryvu

Není-li k dispozici racionálnější analýza, mohou být násobky zatížení při poryvu vypočteny následovně:

$$n = 1 + \frac{1/2\rho_0 V_A K_g U_{de}}{Mg/S}$$

Kde:

$K_g = \frac{0,88\mu_G}{5,3+\mu_G}$  = zmírňující součinitel poryvu

$\mu_G = \frac{2\frac{m}{s}}{\rho \cdot C_{SGT} \cdot C_L \alpha}$  = hmotnostní poměr letounu

$U_{de}$  = rychlost poryvu (m/s) určená podle CS-VLA 333 (c)

$\rho_0$  = hustota vzduchu u hladiny moře ( $kg/m^3$ )

$\rho$  = hustota vzduchu ( $kg/m^3$ )

$M/S$  = plošné zatížení křídla ( $kg/m^2$ )

$C_{SGT}$  = střední geometrická tětíva ( $m$ )

$g$  = gravitační zrychlení ( $m/s^2$ )

$V$  = ekvivalentní rychlost letu ( $m/s$ );  $\alpha$

$\alpha$  = sklon křivky součinitele normální síly působící na letoun  $C_{NA}$  na 1 radián, zavede-li se racionální metodou současné působení poryvových zatížení na křídla a vodorovné ocasní plochy. Může se použít sklon křivky vztaku křídla  $C_L$  na 1 radián, pokud je poryvové zatížení zavedeno pouze na křídlo a poryvová zatížení vodorovných ocasních ploch jsou považována za zvláštní případ zatížení.

#### CS-VLA 345 Zařízení pro zvýšení vztaku

(a) Jestliže je letoun vybaven klapkami nebo podobným zařízením pro zvýšení vztaku, které má být použito pro vzlet, přiblížení na přistání nebo při přistání, předpokládá se, že letoun s plně vysunutými klapkami při rychlosti  $V_F$  je vystaven souměrným obrátům a poryvům, ze kterých vyplývají maximální provozní násobky v rozsahu daném následujícími podmínkami -

(1) Obraty do kladného maximálního provozního násobku 2,0; a

(2) Kladné a záporné poryvy o rychlosti 7,62  $m/s$  působící kolmo na dráhu letu při vodorovném letu.

(b) Uvažuje se, že rychlost  $V_F$  není nižší než 1,4  $V_S$  nebo 1,8  $V_{SF}$ , podle toho, která hodnota je větší; kde –

$V_S$  je vypočtená pádová rychlost se zasunutými vztakovými klapkami při návrhové hmotnosti; a

$V_{SF}$  je vypočtená pádová rychlost s plně vysunutými vztakovými klapkami při návrhové hmotnosti. Avšak jestliže je použito automatické zařízení omezující zatížení vztakových klapek, může být letoun navržen pro kritické kombinace rychlosti letu a polohy vztakových klapek, které toto zařízení dovoluje.

(c) Při návrhu vztakových klapek a nosné konstrukce je nutno uvážit následující:

(1) Čelní poryvy o rychlosti 7,62  $m/s$  (EAS).

(2) Účinky vrtulového proudu podle CS-VLA 457(b).

(d) Při určování vnějších zatížení letounu jako celku je možné považovat tah vrtule, vrtulový proud a klopivé zrychlení za nulové.

### 5. Popis pístového motoru ROTAX 912 iS

Motor konstrukčně vychází ze "100 koňového" Rotaxu 912 ULS, kde hlavní změnou je nahrazení karburátorů pro přípravu směsi systémem zdvojeného vstřikování paliva, řízeným elektronickou řídicí jednotkou. Dalšími změnami jsou posílení olejového čerpadla a zvýšení výkonu generátorů.

Hlavním přínosem tohoto řešení je optimální tvorba palivové směsi v závislosti na výšce letu, aktuálních otáčkách a skutečném zatížení motoru. To ve svých důsledcích vede ke snížení spotřeby paliva až o 21 % a snížení úrovně emisí až o 70 % oproti motoru s karburátorem. Náhradou karburátorů za vstřikovací systém došlo také k odstranění možného zamrzání karburátorů v chladných podmínkách a k odstranění

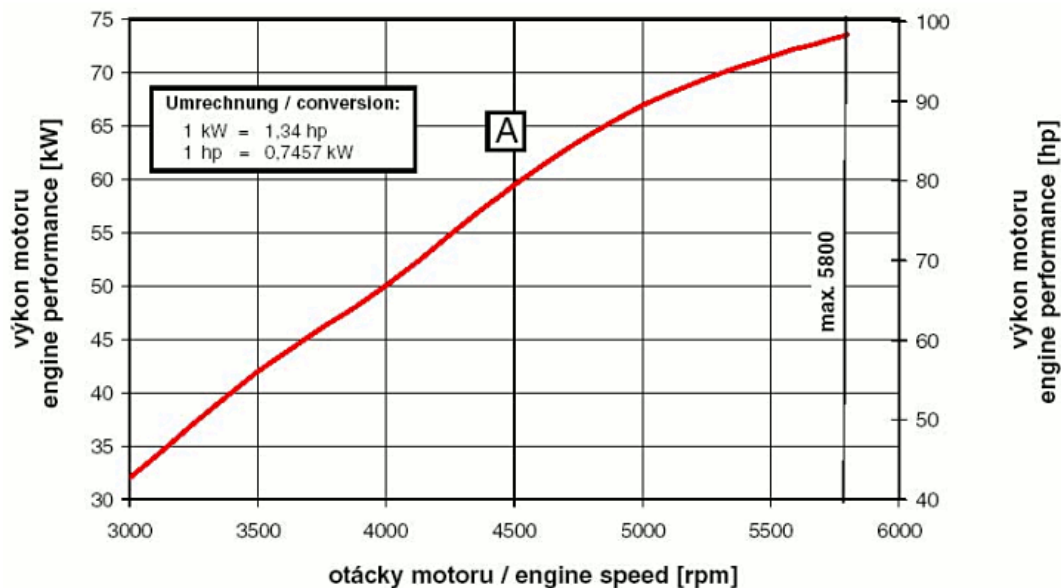
nutnosti manipulovat se sytičem. Odpadá nutnost synchronizace karburátorů po 200 hodinách. Motor má klidný a kultivovaný chod od volnoběhu až po maximální otáčky. Pro zjednodušení systému údržby je řídicí jednotka vybavena programem diagnostiky motoru. Stanovená doba do generální opravy je 2000 *hodin*.



Obrázek P. 1 - Motor ROTAX 912iS

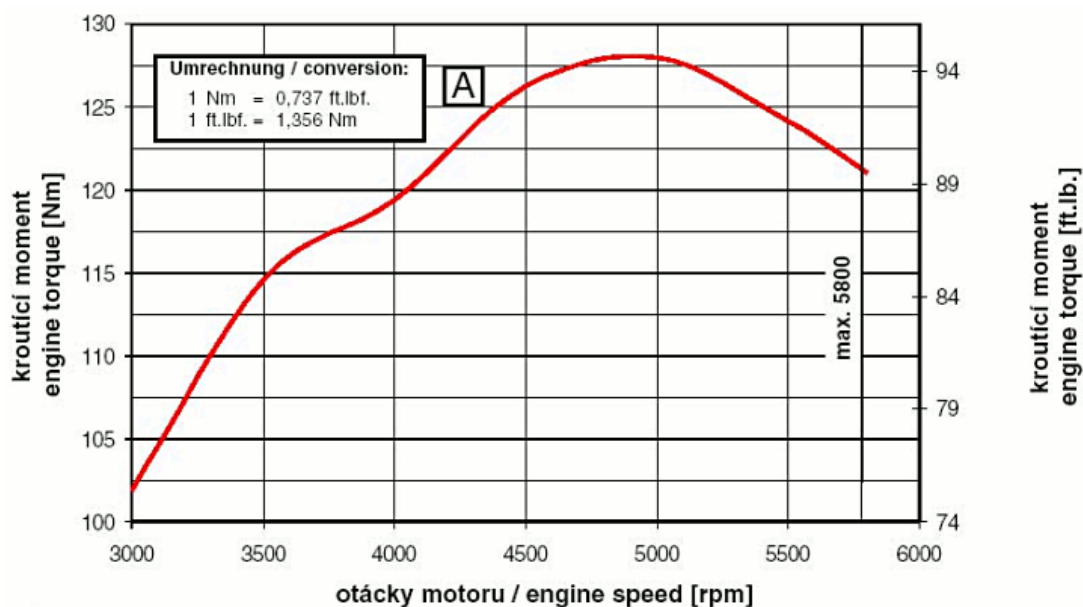
## Výkonové grafy motoru ROTAX 912iS

### Výkon motoru



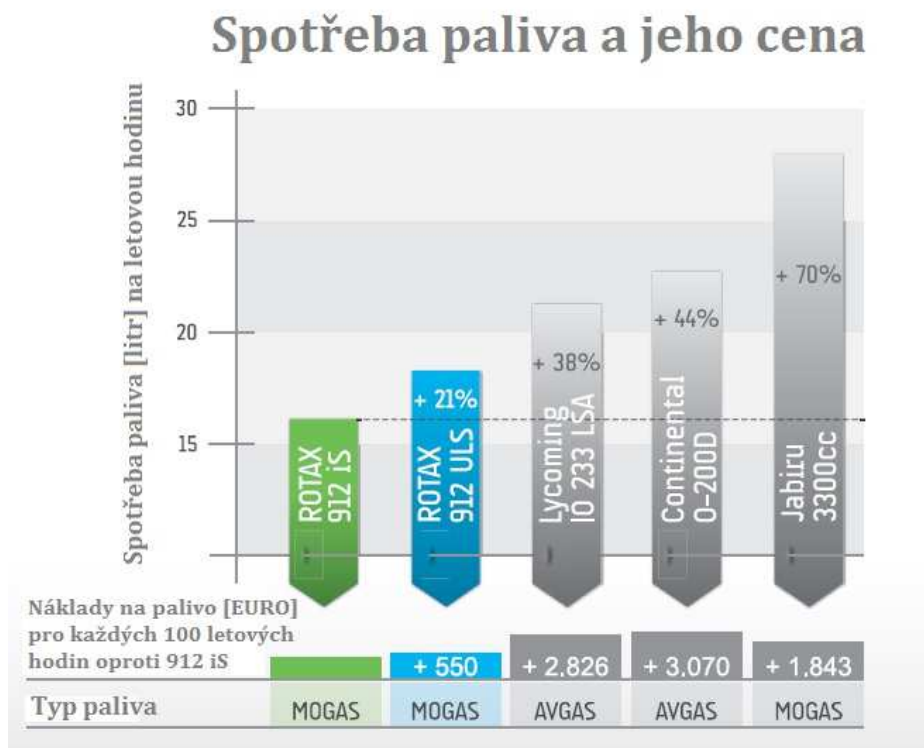
Obrázek P. 2 - Výkon motoru

### Kroutící moment

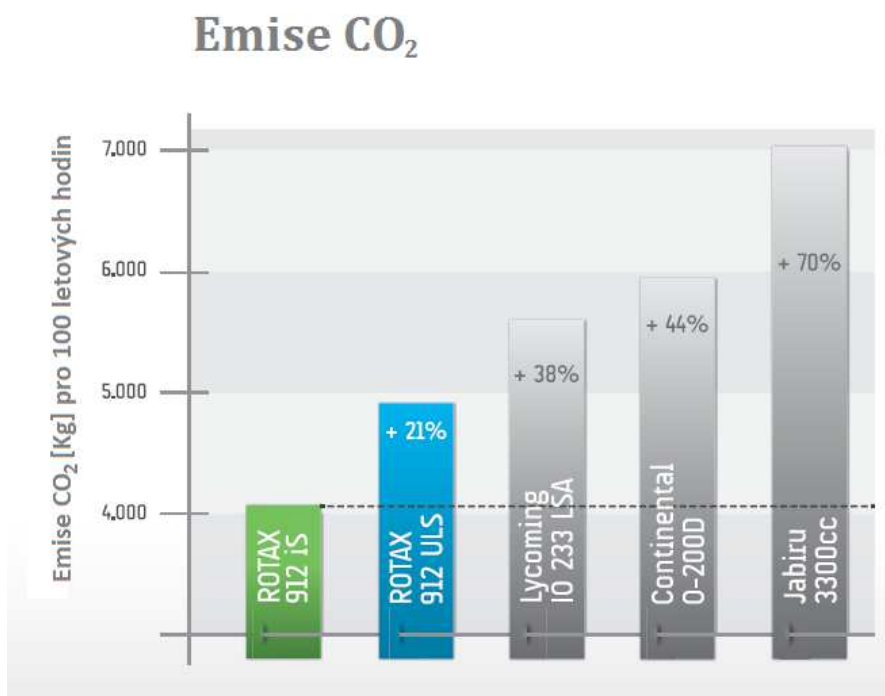


Obrázek P. 3 - Průběh kroutícího momentu

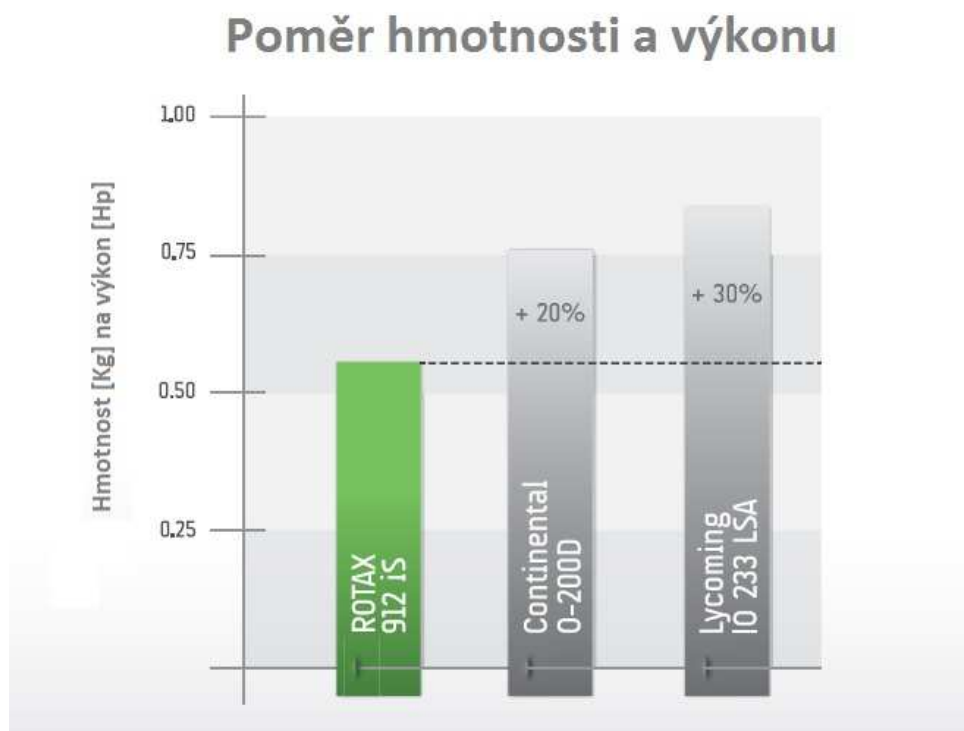
## Srovnání motoru ROTAX 912iS s jinými pohonnými jednotkami



Obrázek P. 4 - Spotřeba paliva



Obrázek P. 5 - Emise CO<sub>2</sub>



Obrázek P. 6 - Poměr hmotnosti a výkonu

## 6. Zatížení motorového lože

### CS-VLA Dodatek A9 (d)

(2) Každé motorové lože a jeho nosná konstrukce musí být navrženy pro maximální mezní krouticí moment odpovídající maximálnímu očekávanému startovnímu výkonu a otáčkám vrtule působícími současně s provozními zatíženími, které vyplývají z maximálního kladného manévrovacího násobku  $n_1$ . Mezní krouticí moment musí být získán vynásobením středního krouticího momentu koeficientem určeným v CS-VLA 361 (b).

### CS-VLA 361 Krouticí moment od motoru

(a) Motorové lože a jeho nosná konstrukce musí být navrženy pro tyto účinky –

- (1) Maximálního provozního krouticího momentu motoru, odpovídajícího startovnímu výkonu a příslušným otáčkám vrtule, působícího současně se 75 % provozního zatížení v bodě A letové obálky CS-VLA 333(d).
- (2) Maximálního provozního krouticího momentu motoru specifikovaného v CS-VLA 361(b), působícího současně s provozním zatížením v bodě A letové obálky CS-VLA 333(d); a

(b) Maximální provozní krouticí moment uvažovaný v pododstavci (a)(2) tohoto odstavce musí být získán násobením průměrného krouticího momentu pro maximální trvalý výkon koeficientem určeným následovně:

- (1) Pro čtyřdobé motory -
  - (i) 1,33 u motorů s pěti nebo více válci,

- (ii) 2, 3, 4 nebo 8 u motorů se čtyřmi, třemi, dvěma nebo jedním válcem.  
(2) Pro dvoudobé motory:  
(i) 2 u motorů se třemi nebo více válci,  
(ii) 3 nebo 6 u motorů s dvěma nebo jedním válcem.

### CS-VLA 363 Boční zatížení motorového lože

- (a) Motorové lože a jeho nosná konstrukce musí být navrženy pro mezní násobek zatížení v bočním směru, pro boční zatížení motorového lože ne menší než 1,33.  
(b) Boční zatížení předepsané v pododstavci (a) tohoto odstavce může být považováno za nezávislé na ostatních letových podmínkách.

Podmínky nouzového přistání

### CS-VLA 561 Všeobecně

- (a) Letoun, i když může být při nouzovém přistání poškozen, musí být navržen podle požadavků tohoto odstavce tak, aby každá osoba na palubě letounu byla chráněna podle těchto podmínek.  
(b) Konstrukce letounu musí být navržena tak, aby poskytovala každé osobě na palubě možnost přiměřené ochrany před vážným zraněním při méně vážném havarijním přistání za následujících podmínek  
(1) Jsou správně použity bezpečnostní pásy nebo bezpečnostní postroje; a  
(2) Osoby na palubě letounu jsou vystaveny působení mezních setrvačných sil uvedených dále:

Součinitelé mezního setrvačného zatížení

|          |       |
|----------|-------|
| Nahoru   | 3,0 g |
| Dopředu  | 9,0 g |
| Do stran | 1,5 g |

- (c) Každá hmota, která by mohla poranit osobu na palubě v případě utržení, musí být navržena pro zatížení uvedenými součiniteli, kromě motorového lože a jeho nosné konstrukce, které musí odolat dopřednému zrychlení 15 g pro motory umístěné za a/nebo nad kabinou posádky.

### Parametry motoru ROTAX 912 iS:

| Parametry motoru        |             |                     |                |             |
|-------------------------|-------------|---------------------|----------------|-------------|
| Maximální otáčky motoru |             |                     | Vrtání         |             |
| $[min^{-1}]$            |             |                     | $[mm]$         | $[in]$      |
| 5800                    |             |                     | 84             | 3,31        |
| Výkon                   |             |                     | Zdvih          |             |
| $[kW]$                  | $[Hp]$      | Otáčky $[min^{-1}]$ | $[mm]$         | $[in]$      |
| 73,5                    | 100         | 5800                | 61             | 2,4         |
| Krouticí moment         |             |                     | Zdvihový objem |             |
| $[Nm]$                  | $[ft. lb.]$ | Otáčky $[min^{-1}]$ | $[cm^3]$       | $[cu. in.]$ |
| 121                     | 89          | 5800                | 1352           | 82,6        |

Tabulka P. 9 - Parametry motoru: převzaty z [12]

## Hmotnostní rozbor motorové zástavby

Hmotnostní rozbor motorové zástavby byl vytvořen na základě údajů poskytnutých dodavatelem motoru ROTAX 912iS: [11], [12], [13].

| Položka                           | Hmotnost [kg] |
|-----------------------------------|---------------|
| Motor s reduktorem                | 63,6          |
| Výfuk                             | 4,3           |
| Kryt usměrnění chladícího vzduchu | 0,4           |
| Přídavný alternátor 40 A          | 3             |
| Palivová čerpadla                 | 1,6           |
| Lože motoru + rám ROTAX           | 6             |
| Třílístá vrtule s kuželem         | 10,8          |
| Kapotáž                           | 2,5           |
| Vybavení motoru, požární stěna    | 3,5           |
| Voda                              | 2             |
| Olej                              | 3             |
| Vodní chladič                     | 1,2           |
| Olejový chladič                   | 0,7           |
| Olejová nádrž                     | 1,5           |
| Palivové čerpadlo                 | 1,6           |
| Hadice                            | 3             |
| Celkem                            | 108,7         |

Tabulka P. 10 - hmotnostní rozbor motorové zástavby

## Výpočet zatížení motorového lože

Výpočet zatížení motorového lože je proveden podle předpisu CS-VLA [17]. Hlavními vstupní parametry výpočtu jsou celková hmotnost motorové zástavby, ta je stanovena na základě hmotového rozboru. Další důležité údaje jsou maximální výkon motoru a otáčky motoru při maximálním výkonu, stanovené z výkonové křivky motoru získané od dodavatele.

*Znění předpisu CS-VLA pro výpočet motorového lože je obsaženo v příloze.*

### Zatížení setrvačnými silami

Zatížení v případě s maximálním kladným násobkem:

$$G_1 = m \cdot g \cdot n_1 = 109.9,81.4,7 = 5025,66 \text{ N}$$

Zatížení v případě s maximálním záporným násobkem:

$$G_2 = m \cdot g \cdot n_2 = 109.9,81.(-2,7) = -2887,08 \text{ N}$$

Zatížení v případě násobku v bodě A, 75%:

$$n_A = 3,8$$

$$G_{A75} = m \cdot g \cdot n_A \cdot 0,75 = 109.9,81.3,8.0,75 = 3047,48 \text{ N}$$

Zatížení v případě násobku v bodě A:

$$G_A = m \cdot g \cdot n_A = 109.9,81.3,8 = 4063,30 \text{ N}$$

Boční zatížení:

Dle předpisu CS-VLA musí být uložení motoru dimenzováno na boční násobek  $n_b = 1,33$

$$F_B = m \cdot g \cdot n_b = 109,9,81,1,33 = 1422,16 \text{ N}$$

**Zatížení od pohonné jednotky**

Převodový poměr reduktoru:

$$i = 2,43$$

Otáčky vrtule:

$$n_{vrt} = \frac{5800}{2,43} = 2386 \text{ ot/min}$$

Krouticí moment od motoru při maximálním trvalém výkonu:

$$M_{k-trv} = \frac{P}{2\pi \cdot n_{vrt}} = \frac{73500}{2,3,1416 \cdot \frac{2389}{60}} = 293,8 \text{ Nm}$$

**Dle CS-VLA 361 Krouticí moment od motoru (b)(1)(ii):**

$$M_{k-motor} = 2,293,8 = 587,6 \text{ Nm}$$

**CS-VLA 361 (a)(1):**

Násobek v bodě A, 75 %:

$$G_{A75} = 3047,48 \text{ N}$$

$$M_{k-motor} = 587,6 \text{ Nm}$$

**CS-VLA 361 (a)(2):**

Násobek v bodě A:

$$G_A = 4063,3 \text{ N}$$

$$M_{k-motor} = 587,6 \text{ Nm}$$

**Podmínky nouzového přistání**

**CS-VLA 561**

Mezního setrvačného zatížení nahoru:

$$n_{nahoru} = 3$$

$$G_{nahoru} = m \cdot g \cdot n_{nahoru} = 109,9,81,3 = 3207,87 \text{ N}$$

Mezního setrvačného zatížení dopředu:

$$n_{dopředu} = 15$$

$$G_{dopředu} = m \cdot g \cdot n_{dopředu} = 109,9,81,15 = 16039,35 \text{ N}$$

Mezního setrvačného zatížení do stran:

$$n_{dostran} = 1,5$$

$$G_{dostran} = m \cdot g \cdot n_{dostran} = 109,9,81,1,5 = 1603,94 \text{ N}$$

Odhad síly  $F_{xt}$  od motoru:

U letounu VUT 001 MARABU byl změřen statický tah motoru s vrtulí. Velikost této hodnoty byla 1850 N. Motor v letounu MARABU byl typu ROTAX 912 UL DCDI o výkonu 81 hp. Motor ROTAX 912iS je o výkonu 100 hp. Tah motoru byl přepočten k poměru výkonů.

$$F_{xt} = 1850 \cdot \frac{100}{81} = 2284 \text{ N}$$

Pro výpočet zatížení byla zvolena hodnota 2250 N.

### Shrnutí případů provozních zatížení

| Případ dle předpisů           | $F_{xt}$ | $T_{xs}$ | $T_y$    | $T_z$   | $M_k$ |
|-------------------------------|----------|----------|----------|---------|-------|
|                               | [N]      | [N]      | [N]      | [N]     | [Nm]  |
| CS-VLA 361 (a)(1)             | -2250    | -        | -3047,48 | -       | 587,6 |
| CS-VLA 361 (a)(2)             | -2250    | -        | -4063,3  | -       | 587,6 |
| CS-VLA 363                    | -        | -        | -        | 1422,16 | -     |
| Maximální kladný násobek      | -2250    | -        | -5025,66 | -       | 587,6 |
| Maximální záporný násobek     | -2250    | -        | 2887,07  | -       | 587,6 |
| CS-VLA 561 nahoru (početní)   | -        | -        | 3207,87  | -       | -     |
| CS-VLA 561 dopředu (početní)  | -        | 16039,35 | -        | -       | -     |
| CS-VLA 561 do stran (početní) | -        | -        | -        | 1603,94 | -     |

Tabulka P. 11 - Případy provozního zatížení motorového lože

Ve výše uvedené tabulce jsou uvedeny vypočtené hodnoty provozních zatížení motorového lože podle předpisu CS-VLA. Pro dimenzování je třeba přepočíst tyto hodnoty na početní, tedy zvětšeny koeficientem bezpečnosti  $f = 1,5$ .

V dolní části tabulky jsou vedeny havarijní setrvačná zatížení dle CS-VLA 561. Tyto hodnoty zatížení jsou již vedené jako početní.

## 7. Zatížení VOP – znění předpisu

### Vyvažovací zatížení

#### CS-VLA 421 Vyvažovací zatížení

(a) Vyvažovací zatížení vodorovné ocasní plochy je zatížení nutné pro udržení rovnováhy letounu bez klopivého zrychlení ve všech specifikovaných letových podmínkách.

(b) Vodorovné ocasní plochy musí být navrženy pro vyvažovací zatížení pro každý bod mezní obálky obrátů a pro podmínky použití vztlačových klapek určených v CS-VLA 345. Může být použito rozložení zatížení podle obrázku B6 Dodatku B.

#### CS-VLA 425 Zatížení od poryvu

(a) Každá vodorovná ocasní plocha musí být navržena pro zatížení vyplývající z:

- (1) Poryvové rychlosti určené v CS-VLA 333(c) se zasunutými klapkami; a
- (2) Kladných a záporných poryvů o jmenovité rychlosti 7,62 m/s při rychlosti VF, která odpovídá letovým podmínkám určeným v CS-VLA 345 (a)(2).

(b) Průměrná zatížení podle obrázku B3 a rozdělení podle obrázku B8 Dodatku B mohou být použity k určení přírůstku poryvového zatížení podle požadavků pododstavce (a), použité podle pododstavce (c) jak pro přírůstky nahoru tak i dolů.

#### CS-VLA 423 Zatížení při obratech

Každá vodorovná ocasní plocha musí být navržena na zatížení při obratech vyvolaných jednou z následujících podmínek (a) plus (b) nebo (c) nebo (d)

(a) Náhlé vychýlení řídicího výškovky při rychlosti VA do (1) maximální výchylky nahoru; a (2) maximální výchylky dolů, dané dorazy nebo silou pilota, podle toho co je rozhodující. Může být použito průměrné zatížení podle B11 v Dodatku B a rozložení podle obrázku B7 v Dodatku B.

(b) Náhlé vychýlení výškového kormidla směrem nahoru při rychlostech větších než  $V_A$  s následující výchylkou směrem dolů, způsobí následující kombinace normálních a úhlových zrychlení:

| Podmínky        | Normální zrychlení<br>(n) | Úhlové zrychlení<br>(radián/sec <sup>2</sup> ) |
|-----------------|---------------------------|------------------------------------------------|
| Zatížení nahoru | 1,0                       | $+\frac{20,1}{V}n_m(n_m-1,5)$                  |
| Zatížení dolů   | $n_m$                     | $-\frac{20,1}{V}n_m(n_m-1,5)$                  |

kde :

- (1)  $n_m$  = maximální provozní kladný násobek, použitý při návrhu; a
- (2)  $V$  = Výchozí rychlost (m/s)

Podmínky uvedené v tomto odstavci vyvolají zatížení odpovídající zatížením, která se mohou vyskytnout při „řízeném obratu“ (obrat, při kterém je řízení výškového kormidla rychle vychýleno jedním směrem a potom rychle přemístěno v opačném směru). Výchylky se mají provádět v takovém časovém sledu, aby nedošlo k překročení maximální provozního násobku při obrazech. Celkové zatížení ocasních ploch jak pro podmínky ve směru nahoru, tak i dolů je dáno součtem vyvažovacích zatížení ocasních ploch při rychlosti  $V$  a specifikované hodnoty normálního násobku  $n$ , zvětšené o přírůstek zatížení z obratu v důsledku stanoveného úhlového zrychlení. Pro výpočet přírůstku zatížení z obratu je možno použít obrázek B2 v Dodatku B a pro rozložení po hloubce je možné použít obrázek B7 (pro zatížení směrem dolů) a obrázek B8 (pro zatížení směrem nahoru).

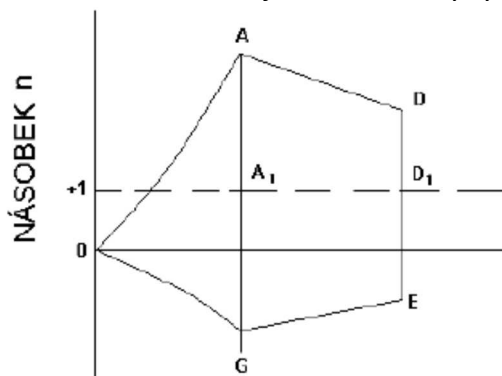
(c) Pro rychlou výchylku výškového kormidla je třeba uvažovat tyto případy:

- (i) Rychlost  $V_A$ , maximální výchylka nahoru;
- (ii) Rychlost  $V_A$ , maximální výchylka dolů;
- (iii) Rychlost  $V_D$ , jedna třetina maximální výchylky nahoru;
- (iv) Rychlost  $V_D$ , jedna třetina maximální výchylky dolů.

Musí být splněny tyto předpoklady:

- (A) Letoun je na počátku ve vodorovném letu a jeho poloha a vzdušná rychlost se nemění.
- (B) Zatížení jsou vyvážena setrvačnými silami.

(d) Pro rychlou výchylku výškového kormidla, aby se normální zrychlení změnilo z počáteční hodnoty na konečnou hodnotu, jsou uvažovány tyto případy (viz obr. 1):



OBRÁZEK 1 KLOPIVÉ OBRATY

## 8. Časový průběh pro rozhodující případ zatížení od manévru

| $t$  | $\delta_{VK}$ | $\varepsilon_z$       | $d\omega$ | $\omega_z$ | $F_{delta}$ | $F_{tlum}$ | $F_{vzdman}$ | $F_{setrman}$ | $F_{man}$ |
|------|---------------|-----------------------|-----------|------------|-------------|------------|--------------|---------------|-----------|
| [s]  | [°]           | [1/rad <sup>2</sup> ] | [1/rad]   | [1/rad]    | [N]         | [N]        | [N]          | [N]           | [N]       |
| 0,00 | 0,00          | 0,000                 | 0,000000  | 0,000000   | 0,00        | 0,00       | 0,00         | 0,00          | 0,00      |
| 0,01 | -0,50         | 0,000                 | 0,000000  | 0,000000   | -147,12     | 0,00       | -147,12      | 28,14         | -118,97   |
| 0,02 | -1,00         | 0,614                 | 0,006141  | 0,006141   | -294,23     | 9,66       | -284,57      | 54,43         | -230,13   |
| 0,03 | -1,50         | 1,188                 | 0,011878  | 0,018019   | -441,35     | 28,36      | -412,99      | 79,00         | -333,99   |
| 0,04 | -2,00         | 1,724                 | 0,017239  | 0,035258   | -588,46     | 55,48      | -532,98      | 101,95        | -431,03   |
| 0,05 | -2,50         | 2,225                 | 0,022247  | 0,057505   | -735,58     | 90,49      | -645,09      | 123,40        | -521,69   |
| 0,06 | -3,00         | 2,693                 | 0,026927  | 0,084432   | -882,70     | 132,87     | -749,83      | 143,43        | -606,40   |
| 0,07 | -3,50         | 3,130                 | 0,031299  | 0,115731   | -1029,81    | 182,12     | -847,69      | 162,15        | -685,54   |
| 0,08 | -4,00         | 3,538                 | 0,035384  | 0,151115   | -1176,93    | 237,80     | -939,13      | 179,64        | -759,48   |
| 0,09 | -4,50         | 3,920                 | 0,039200  | 0,190316   | -1324,05    | 299,49     | -1024,56     | 195,98        | -828,57   |
| 0,10 | -5,00         | 4,277                 | 0,042766  | 0,233082   | -1471,16    | 366,79     | -1104,37     | 211,25        | -893,12   |
| 0,11 | -5,50         | 4,610                 | 0,046098  | 0,279180   | -1618,28    | 439,33     | -1178,95     | 225,52        | -953,43   |
| 0,12 | -6,00         | 4,921                 | 0,049211  | 0,328391   | -1765,39    | 516,77     | -1248,62     | 238,85        | -1009,78  |
| 0,13 | -6,50         | 5,212                 | 0,052119  | 0,380510   | -1912,51    | 598,79     | -1313,72     | 251,30        | -1062,42  |
| 0,14 | -7,00         | 5,484                 | 0,054837  | 0,435347   | -2059,63    | 685,08     | -1374,54     | 262,93        | -1111,61  |
| 0,15 | -7,50         | 5,738                 | 0,057375  | 0,492722   | -2206,74    | 775,37     | -1431,37     | 273,80        | -1157,57  |
| 0,16 | -8,00         | 5,975                 | 0,059747  | 0,552470   | -2353,86    | 869,39     | -1484,47     | 283,96        | -1200,51  |
| 0,17 | -8,50         | 6,196                 | 0,061964  | 0,614433   | -2500,97    | 966,90     | -1534,07     | 293,45        | -1240,62  |
| 0,18 | -9,00         | 6,403                 | 0,064034  | 0,678468   | -2648,09    | 1067,67    | -1580,42     | 302,31        | -1278,11  |
| 0,19 | -9,50         | 6,597                 | 0,065969  | 0,744437   | -2795,21    | 1171,48    | -1623,73     | 310,60        | -1313,13  |
| 0,20 | -10,00        | 6,778                 | 0,067777  | 0,812213   | -2942,32    | 1278,14    | -1664,18     | 318,34        | -1345,85  |

Tabulka P. 12 - časový průběh pro rozhodující případ zatížení od manévru,  $m = 600 \text{ kg}$ , přední centráž

## 9. Zatížení SOP – znění předpisu

### CS-VLA 443 Poryvová zatížení

- (a) Svislé ocasní plochy musí být navrženy tak, aby při nezrychleném letu rychlostí  $V_C$  odolávaly bočním poryvům o velikosti předepsané pro  $V_C$  v CS-VLA 333(c).  
(b) Není-li k dispozici racionálnější analýza, musí být poryvová zatížení vypočtena takto:

$$L_{vt} = \frac{K_{gt} U_{de} V a_{vt} S_{vt}}{16,3}$$

Kde:

$L_{vt}$  ... zatížení svislé ocasní plochy (daN)

$K_{gt} = \frac{0,88 \cdot \mu_{gt}}{5,3 + \mu_{gt}}$  ... zmírňující součinitel

$\mu_{gt} = \frac{2M}{\rho \cdot \bar{c}_t \cdot g a_{vt} \cdot S_{vt}} \cdot \left(\frac{K}{l_t}\right)^2$  ... stranový hmotový poměr

$U_{de}$  ... předepsaná rychlost poryvu (m/s)

$\rho$  ... hustota vzduchu ( $kg/m^3$ )

$M$  ... hmotnost letounu

$S_{vt}$  ... plocha SOP ( $m^2$ )

$\bar{c}_t$  ... střední geometrická třetina svislé ocasní plochy (m)

$a_{vt}$  ... sklon vztlakové čáry svislé ocasní plochy (1/rad)

$K$  ... poloměr setrvačnosti kolem svislé osy letounu

$l_t$  ... vzdálenost těžiště letounu a působíště síly na SOP [m]

$g$  ... gravitační zrychlení ( $m/s^2$ )

$V$  ... rychlost letu EAS (m/s)

### CS-VLA 441 Zatížení při obratech

(a) Pro rychlosti letu do  $V_A$  musí být svislé ocasní plochy navrženy tak, aby vyhovovaly následujícím podmínkám. Při výpočtu zatížení svislých ocasních ploch se může předpokládat nulová rychlost bočení -

(1) U letounu v nezrychleném letu při nulovém vybočení se předpokládá, že směrové řízení je náhle vychýleno do maximální krajní polohy, omezené dorazy nebo mezními silami od pilota.

(2) Při vychýlení směrového kormidla podle pododstavce (a)(1) tohoto odstavce se předpokládá, že letoun vybočí do výsledného úhlu skluzu. Místo racionální analýzy se může uvažovat úhlové překývnutí o 1,3 násobek statického vybočení stanoveného v pododstavci (a)(3) tohoto odstavce.

(3) Úhel vybočení je 15 stupňů, přičemž je směrové řízení drženo v neutrální poloze (vyjma případů, kdy to neumožňuje síla pilota).

## 10. Časový průběh pro rozhodující případ zatížení SOP od manévru

| $t$  | $\delta_{SK}$ | $\varepsilon_Y$       | $d\omega$ | $\omega_Y$ | $F_{delta}$ | $F_{tlum}$ | $F_{vzdman}$ | $F_{setrman}$ | $F_{man}$ |
|------|---------------|-----------------------|-----------|------------|-------------|------------|--------------|---------------|-----------|
| [s]  | [°]           | [1/rad <sup>2</sup> ] | [1/rad]   | [1/rad]    | [N]         | [N]        | [N]          | [N]           | [N]       |
| 0    | 0             | 0,00000               | 0,00000   | 0,00000    | 0           | 0          | 0            | 0             | 0         |
| 0,01 | 1             | 0,00000               | 0,00000   | 0,00000    | -23,50      | 0,00       | -23,50       | 2,53          | -20,96    |
| 0,02 | 2             | 0,06432               | 0,00064   | 0,00064    | -46,99      | 0,12       | -46,87       | 5,06          | -41,81    |
| 0,03 | 3             | 0,12831               | 0,00128   | 0,00193    | -70,49      | 0,37       | -70,11       | 7,56          | -62,55    |
| 0,04 | 4             | 0,19196               | 0,00192   | 0,00385    | -93,98      | 0,74       | -93,24       | 10,06         | -83,18    |
| 0,05 | 5             | 0,25527               | 0,00255   | 0,00640    | -117,48     | 1,23       | -116,24      | 12,54         | -103,70   |
| 0,06 | 6             | 0,31824               | 0,00318   | 0,00958    | -140,97     | 1,85       | -139,12      | 15,01         | -124,11   |
| 0,07 | 7             | 0,38088               | 0,00381   | 0,01339    | -164,47     | 2,58       | -161,88      | 17,46         | -144,42   |
| 0,08 | 8             | 0,44320               | 0,00443   | 0,01782    | -187,96     | 3,44       | -184,52      | 19,91         | -164,61   |
| 0,09 | 9             | 0,50518               | 0,00505   | 0,02287    | -211,46     | 4,41       | -207,04      | 22,34         | -184,70   |
| 0,1  | 10            | 0,56683               | 0,00567   | 0,02854    | -234,95     | 5,51       | -229,44      | 24,75         | -204,69   |
| 0,11 | 11            | 0,62816               | 0,00628   | 0,03482    | -258,45     | 6,72       | -251,73      | 27,16         | -224,57   |
| 0,12 | 12            | 0,68917               | 0,00689   | 0,04172    | -281,94     | 8,05       | -273,89      | 29,55         | -244,34   |
| 0,13 | 13            | 0,74985               | 0,00750   | 0,04921    | -305,44     | 9,50       | -295,94      | 31,93         | -264,01   |
| 0,14 | 14            | 0,81021               | 0,00810   | 0,05732    | -328,93     | 11,06      | -317,87      | 34,29         | -283,58   |
| 0,15 | 15            | 0,87026               | 0,00870   | 0,06602    | -352,43     | 12,74      | -339,69      | 36,65         | -303,04   |
| 0,16 | 16            | 0,92998               | 0,00930   | 0,07532    | -375,92     | 14,54      | -361,39      | 38,99         | -322,40   |
| 0,17 | 17            | 0,98939               | 0,00989   | 0,08521    | -399,42     | 16,45      | -382,97      | 41,32         | -341,65   |
| 0,18 | 18            | 1,04849               | 0,01048   | 0,09570    | -422,91     | 18,47      | -404,44      | 43,63         | -360,81   |
| 0,19 | 19            | 1,10727               | 0,01107   | 0,10677    | -446,41     | 20,61      | -425,80      | 45,94         | -379,86   |
| 0,2  | 20            | 1,16575               | 0,01166   | 0,11843    | -469,90     | 22,86      | -447,05      | 48,23         | -398,82   |
| 0,21 | 21            | 1,22391               | 0,01224   | 0,13067    | -493,40     | 25,22      | -468,18      | 50,51         | -417,67   |
| 0,22 | 22            | 1,28177               | 0,01282   | 0,14348    | -516,89     | 27,69      | -489,20      | 52,78         | -436,42   |
| 0,23 | 23            | 1,33932               | 0,01339   | 0,15688    | -540,39     | 30,28      | -510,11      | 55,03         | -455,08   |
| 0,24 | 24            | 1,39657               | 0,01397   | 0,17084    | -563,88     | 32,97      | -530,91      | 57,28         | -473,63   |
| 0,25 | 25            | 1,45351               | 0,01454   | 0,18538    | -587,38     | 35,78      | -551,60      | 59,51         | -492,09   |
| 0,26 | 26            | 1,51016               | 0,01510   | 0,20048    | -610,87     | 38,69      | -572,18      | 61,73         | -510,45   |
| 0,27 | 27            | 1,56650               | 0,01567   | 0,21614    | -634,37     | 41,72      | -592,65      | 63,94         | -528,71   |
| 0,28 | 28            | 1,62255               | 0,01623   | 0,23237    | -657,86     | 44,85      | -613,01      | 66,14         | -546,88   |
| 0,29 | 29            | 1,67830               | 0,01678   | 0,24915    | -681,36     | 48,09      | -633,27      | 68,32         | -564,95   |
| 0,3  | 30            | 1,73376               | 0,01734   | 0,26649    | -704,85     | 51,44      | -653,42      | 70,49         | -582,92   |

Tabulka P. 13 - časový průběh pro rozhodující případ zatížení od manévru,  $m = 600 \text{ kg}$ ,  $\delta_{SK} = 30^\circ$ , přední centráž

## 11. Hodnoty průběhů zatížení na VOP

### Vyvažovací zatížení

| Z    | Spojité zatížení výškového kormidla |               |        |                 |        |       | Celkové zatížení výškového kormidla |         |                 |        |       |
|------|-------------------------------------|---------------|--------|-----------------|--------|-------|-------------------------------------|---------|-----------------|--------|-------|
|      | $q_v$                               | $\Delta T(y)$ | $T$    | $\Delta M_o(y)$ | $M_o$  | $M_k$ | Reakce v závěsech                   | $T$     | $\Delta M_o(y)$ | $M_o$  | $M_k$ |
| [m]  | [N.m <sup>-1</sup> ]                | [N]           | [N]    | [Nm]            | [Nm]   | [Nm]  | [N]                                 | [N]     | [Nm]            | [Nm]   | [Nm]  |
| 1,40 | 204,01                              | 0,00          | 0,00   | 0,00            | 0,00   | 0     |                                     | 0,00    | 0,00            | 0,00   | 0     |
| 1,34 | 204,01                              | 11,38         | 11,38  | 0,64            | 0,64   | 0     |                                     | 11,38   | 0,64            | 0,64   | 0     |
| 1,28 | 204,01                              | 11,38         | 22,77  | 1,27            | 1,91   | 0     |                                     | 22,77   | 1,27            | 1,91   | 0     |
| 1,23 | 204,01                              | 11,38         | 34,15  | 1,91            | 3,81   | 0     |                                     | 34,15   | 1,91            | 3,81   | 0     |
| 1,17 | 204,01                              | 11,38         | 45,54  | 2,54            | 6,35   | 0     |                                     | 45,54   | 2,54            | 6,35   | 0     |
| 1,12 | 204,01                              | 11,38         | 56,92  | 3,18            | 9,53   | 0     |                                     | 56,92   | 3,18            | 9,53   | 0     |
| 1,06 | 204,01                              | 11,38         | 68,30  | 3,81            | 13,34  | 0     |                                     | 68,30   | 3,81            | 13,34  | 0     |
| 1,00 | 204,01                              | 11,38         | 79,69  | 4,45            | 17,79  | 0     |                                     | 79,69   | 4,45            | 17,79  | 0     |
| 0,95 | 204,01                              | 11,38         | 91,07  | 5,08            | 22,87  | 0     |                                     | 91,07   | 5,08            | 22,87  | 0     |
| 0,89 | 204,01                              | 11,38         | 102,46 | 5,72            | 28,59  | 0     |                                     | 102,46  | 5,72            | 28,59  | 0     |
| 0,88 | 204,01                              | 2,61          | 105,07 | 1,34            | 29,93  | 0     |                                     | 105,07  | 1,34            | 29,93  | 0     |
| 0,88 |                                     |               |        |                 |        |       | -284,6                              | -179,53 | -2,30           | 30,04  | 0     |
| 0,84 | 204,01                              | 8,77          | 113,84 | 4,90            | 34,83  | 0     |                                     | -170,76 | -7,34           | 22,59  | 0     |
| 0,78 | 204,01                              | 11,38         | 125,22 | 6,99            | 41,81  | 0     |                                     | -159,38 | -8,89           | 13,69  | 0     |
| 0,73 | 204,01                              | 11,38         | 136,61 | 7,62            | 49,44  | 0     |                                     | -147,99 | -8,26           | 5,44   | 0     |
| 0,67 | 204,01                              | 11,38         | 147,99 | 8,26            | 57,69  | 0     |                                     | -136,61 | -7,62           | -2,19  | 0     |
| 0,61 | 204,01                              | 11,38         | 159,38 | 8,89            | 66,59  | 0     |                                     | -125,22 | -6,99           | -9,17  | 0     |
| 0,56 | 204,01                              | 11,38         | 170,76 | 9,53            | 76,11  | 0     |                                     | -113,84 | -6,35           | -15,53 | 0     |
| 0,50 | 204,01                              | 11,38         | 182,14 | 10,16           | 86,28  | 0     |                                     | -102,46 | -5,72           | -21,24 | 0     |
| 0,45 | 204,01                              | 11,38         | 193,53 | 10,80           | 97,08  | 0     |                                     | -91,07  | -5,08           | -26,33 | 0     |
| 0,39 | 204,01                              | 11,38         | 204,91 | 11,43           | 108,51 | 0     |                                     | -79,69  | -4,45           | -30,77 | 0     |
| 0,33 | 204,01                              | 11,38         | 216,30 | 12,07           | 120,58 | 0     |                                     | -68,30  | -3,81           | -34,58 | 0     |
| 0,28 | 204,01                              | 11,38         | 227,68 | 12,70           | 133,29 | 0     |                                     | -56,92  | -3,18           | -37,76 | 0     |
| 0,22 | 204,01                              | 11,38         | 239,06 | 13,34           | 146,63 | 0     |                                     | -45,54  | -2,54           | -40,30 | 0     |
| 0,17 | 204,01                              | 11,38         | 250,45 | 13,97           | 160,60 | 0     |                                     | -34,15  | -1,91           | -42,21 | 0     |
| 0,11 | 204,01                              | 11,38         | 261,83 | 14,61           | 175,21 | 0     |                                     | -22,77  | -1,27           | -43,48 | 0     |
| 0,06 | 204,01                              | 11,38         | 273,22 | 15,25           | 190,46 | 0     |                                     | -11,38  | -0,64           | -44,11 | 0     |
| 0,00 | 204,01                              | 11,38         | 284,60 | 15,88           | 206,34 | 0     |                                     | 0,00    | 0,00            | -44,11 | 0     |

Tabulka P. 14 - Průběhy zatížení výškového kormidla, případ vyvažovacího zatížení,  $F_{VK} = -1423 \text{ N}$

| Z    | Spojitě zatížení stabilizátoru |               |         |                 |         |                 |         | Celkové zatížení stabilizátoru |         |                 |         |                 |        |
|------|--------------------------------|---------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|--------------------------------|---------|-----------------|---------|-----------------|--------|
|      | $q_s$                          | $\Delta T(y)$ | $T$     | $\Delta M_o(y)$ | $M_o$   | $\Delta M_k(y)$ | $M_k$   | Reakce v závěsech              | $T$     | $\Delta M_o(y)$ | $M_o$   | $\Delta M_k(y)$ | $M_k$  |
|      | [N.m <sup>-1</sup> ]           | [N]           | [N]     | [Nm]            | [Nm]    | [Nm]            | [Nm]    | [N]                            | [N]     | [Nm]            | [Nm]    | [Nm]            | [Nm]   |
| 1,40 | -714,05                        | 0,00          | 0,00    | 0,00            | 0,00    | 0,00            | 0,00    |                                | 0,00    | 0,00            | 0,00    | 0,00            | 0,00   |
| 1,34 | -714,05                        | -39,84        | -39,84  | -2,22           | -2,22   | -8,05           | -8,05   |                                | -39,84  | -2,22           | -2,22   | -8,05           | -8,05  |
| 1,28 | -714,05                        | -39,84        | -79,69  | -4,45           | -6,67   | -8,05           | -16,10  |                                | -79,69  | -4,45           | -6,67   | -8,05           | -16,10 |
| 1,23 | -714,05                        | -39,84        | -119,53 | -6,67           | -13,34  | -8,05           | -24,15  |                                | -119,53 | -6,67           | -13,34  | -8,05           | -24,15 |
| 1,17 | -714,05                        | -39,84        | -159,38 | -8,89           | -22,23  | -8,05           | -32,19  |                                | -159,38 | -8,89           | -22,23  | -8,05           | -32,19 |
| 1,12 | -714,05                        | -39,84        | -199,22 | -11,12          | -33,35  | -8,05           | -40,24  |                                | -199,22 | -11,12          | -33,35  | -8,05           | -40,24 |
| 1,06 | -714,05                        | -39,84        | -239,06 | -13,34          | -46,69  | -8,05           | -48,29  |                                | -239,06 | -13,34          | -46,69  | -8,05           | -48,29 |
| 1,00 | -714,05                        | -39,84        | -278,91 | -15,56          | -62,25  | -8,05           | -56,34  |                                | -278,91 | -15,56          | -62,25  | -8,05           | -56,34 |
| 0,95 | -714,05                        | -39,84        | -318,75 | -17,79          | -80,04  | -8,05           | -64,39  |                                | -318,75 | -17,79          | -80,04  | -8,05           | -64,39 |
| 0,89 | -714,05                        | -39,84        | -358,60 | -20,01          | -100,05 | -8,05           | -72,44  |                                | -358,60 | -20,01          | -100,05 | -8,05           | -72,44 |
| 0,88 | -714,05                        | -9,14         | -367,74 | -4,71           | -104,76 | -1,85           | -74,28  |                                | -367,74 | -4,71           | -104,76 | -1,85           | -74,28 |
| 0,88 |                                |               |         |                 |         |                 |         | 996,1                          | 628,36  |                 | -104,76 | 201,21          | 126,93 |
| 0,84 | -714,05                        | -30,70        | -398,44 | -17,13          | -121,89 | -6,20           | -80,48  |                                | 597,66  | 25,70           | -79,06  | -6,20           | 120,73 |
| 0,78 | -714,05                        | -39,84        | -438,28 | -24,46          | -146,34 | -8,05           | -88,53  |                                | 557,82  | 31,13           | -47,93  | -8,05           | 112,68 |
| 0,73 | -714,05                        | -39,84        | -478,13 | -26,68          | -173,02 | -8,05           | -96,58  |                                | 517,97  | 28,90           | -19,03  | -8,05           | 104,63 |
| 0,67 | -714,05                        | -39,84        | -517,97 | -28,90          | -201,93 | -8,05           | -104,63 |                                | 478,13  | 26,68           | 7,65    | -8,05           | 96,58  |
| 0,61 | -714,05                        | -39,84        | -557,82 | -31,13          | -233,05 | -8,05           | -112,68 |                                | 438,28  | 24,46           | 32,11   | -8,05           | 88,53  |
| 0,56 | -714,05                        | -39,84        | -597,66 | -33,35          | -266,40 | -8,05           | -120,73 |                                | 398,44  | 22,23           | 54,34   | -8,05           | 80,48  |
| 0,50 | -714,05                        | -39,84        | -637,50 | -35,57          | -301,98 | -8,05           | -128,78 |                                | 358,60  | 20,01           | 74,35   | -8,05           | 72,44  |
| 0,45 | -714,05                        | -39,84        | -677,35 | -37,80          | -339,77 | -8,05           | -136,82 |                                | 318,75  | 17,79           | 92,14   | -8,05           | 64,39  |
| 0,39 | -714,05                        | -39,84        | -717,19 | -40,02          | -379,79 | -8,05           | -144,87 |                                | 278,91  | 15,56           | 107,70  | -8,05           | 56,34  |
| 0,33 | -714,05                        | -39,84        | -757,04 | -42,24          | -422,03 | -8,05           | -152,92 |                                | 239,06  | 13,34           | 121,04  | -8,05           | 48,29  |
| 0,28 | -714,05                        | -39,84        | -796,88 | -44,47          | -466,50 | -8,05           | -160,97 |                                | 199,22  | 11,12           | 132,16  | -8,05           | 40,24  |
| 0,22 | -714,05                        | -39,84        | -836,72 | -46,69          | -513,19 | -8,05           | -169,02 |                                | 159,38  | 8,89            | 141,05  | -8,05           | 32,19  |
| 0,17 | -714,05                        | -39,84        | -876,57 | -48,91          | -562,10 | -8,05           | -177,07 |                                | 119,53  | 6,67            | 147,72  | -8,05           | 24,15  |
| 0,11 | -714,05                        | -39,84        | -916,41 | -51,14          | -613,24 | -8,05           | -185,12 |                                | 79,69   | 4,45            | 152,17  | -8,05           | 16,10  |
| 0,06 | -714,05                        | -39,84        | -956,26 | -53,36          | -666,60 | -8,05           | -193,16 |                                | 39,84   | 2,22            | 154,39  | -8,05           | 8,05   |
| 0,00 | -714,05                        | -39,84        | -996,10 | -55,58          | -722,18 | -8,05           | -201,21 |                                | 0,00    | 0,00            | 154,39  | -8,05           | 0,00   |

Tabulka P. 15 - Průběhy zatížení stabilizátoru, případ vyvažovacího zatížení,  $F_{VK} = -1423 \text{ N}$

## Poryvové zatížení

| Z    | Spojité zatížení výškového kormidla |               |         |                 |         |                 |        | Celkové zatížení výškového kormidla |        |                 |        |
|------|-------------------------------------|---------------|---------|-----------------|---------|-----------------|--------|-------------------------------------|--------|-----------------|--------|
|      | $q_v$                               | $\Delta T(y)$ | $T$     | $\Delta M_o(y)$ | $M_o$   | $\Delta M_k(y)$ | $M_k$  | Reakce v závěsech                   | $T$    | $\Delta M_o(y)$ | $M_o$  |
|      | [N.m <sup>-1</sup> ]                | [N]           | [N]     | [Nm]            | [Nm]    | [Nm]            | [Nm]   | [N]                                 | [N]    | [Nm]            | [Nm]   |
| 1,4  | -116,77                             | 0,00          | 0,00    | 0,00            | 0,00    | 0,00            | 0,00   |                                     | 0,00   | 0,00            | 0,00   |
| 1,34 | -116,77                             | -6,52         | -6,52   | -0,36           | -0,36   | -0,56           | -0,56  |                                     | -6,52  | -0,36           | -0,36  |
| 1,28 | -116,77                             | -6,52         | -13,03  | -0,73           | -1,09   | -0,56           | -1,13  |                                     | -13,03 | -0,73           | -1,09  |
| 1,23 | -116,77                             | -6,52         | -19,55  | -1,09           | -2,18   | -0,56           | -1,69  |                                     | -19,55 | -1,09           | -2,18  |
| 1,17 | -116,77                             | -6,52         | -26,06  | -1,45           | -3,64   | -0,56           | -2,26  |                                     | -26,06 | -1,45           | -3,64  |
| 1,12 | -116,77                             | -6,52         | -32,58  | -1,82           | -5,45   | -0,56           | -2,82  |                                     | -32,58 | -1,82           | -5,45  |
| 1,06 | -116,77                             | -6,52         | -39,10  | -2,18           | -7,64   | -0,56           | -3,39  |                                     | -39,10 | -2,18           | -7,64  |
| 1    | -116,77                             | -6,52         | -45,61  | -2,55           | -10,18  | -0,56           | -3,95  |                                     | -45,61 | -2,55           | -10,18 |
| 0,95 | -116,77                             | -6,52         | -52,13  | -2,91           | -13,09  | -0,56           | -4,52  |                                     | -52,13 | -2,91           | -13,09 |
| 0,89 | -116,77                             | -6,52         | -58,64  | -3,27           | -16,36  | -0,56           | -5,08  |                                     | -58,64 | -3,27           | -16,36 |
| 0,88 | -116,77                             | -1,49         | -60,14  | -0,77           | -17,13  | -0,13           | -5,21  |                                     | -60,14 | -0,77           | -17,13 |
| 0,88 |                                     |               | -60,14  |                 |         |                 |        | 162,90                              | 102,76 | 0,00            | -17,13 |
| 0,84 | -116,77                             | -5,02         | -65,16  | -2,80           | -19,93  | -0,44           | -5,65  |                                     | 97,74  | 4,20            | -12,93 |
| 0,78 | -116,77                             | -6,52         | -71,68  | -4,00           | -23,93  | -0,56           | -6,21  |                                     | 91,22  | 5,09            | -7,84  |
| 0,73 | -116,77                             | -6,52         | -78,19  | -4,36           | -28,30  | -0,56           | -6,78  |                                     | 84,71  | 4,73            | -3,11  |
| 0,67 | -116,77                             | -6,52         | -84,71  | -4,73           | -33,02  | -0,56           | -7,34  |                                     | 78,19  | 4,36            | 1,25   |
| 0,61 | -116,77                             | -6,52         | -91,22  | -5,09           | -38,11  | -0,56           | -7,91  |                                     | 71,68  | 4,00            | 5,25   |
| 0,56 | -116,77                             | -6,52         | -97,74  | -5,45           | -43,57  | -0,56           | -8,47  |                                     | 65,16  | 3,64            | 8,89   |
| 0,5  | -116,77                             | -6,52         | -104,25 | -5,82           | -49,38  | -0,56           | -9,04  |                                     | 58,65  | 3,27            | 12,16  |
| 0,45 | -116,77                             | -6,52         | -110,77 | -6,18           | -55,56  | -0,56           | -9,60  |                                     | 52,13  | 2,91            | 15,07  |
| 0,39 | -116,77                             | -6,52         | -117,29 | -6,54           | -62,11  | -0,56           | -10,16 |                                     | 45,61  | 2,55            | 17,61  |
| 0,33 | -116,77                             | -6,52         | -123,80 | -6,91           | -69,02  | -0,56           | -10,73 |                                     | 39,10  | 2,18            | 19,80  |
| 0,28 | -116,77                             | -6,52         | -130,32 | -7,27           | -76,29  | -0,56           | -11,29 |                                     | 32,58  | 1,82            | 21,61  |
| 0,22 | -116,77                             | -6,52         | -136,83 | -7,64           | -83,92  | -0,56           | -11,86 |                                     | 26,07  | 1,45            | 23,07  |
| 0,17 | -116,77                             | -6,52         | -143,35 | -8,00           | -91,92  | -0,56           | -12,42 |                                     | 19,55  | 1,09            | 24,16  |
| 0,11 | -116,77                             | -6,52         | -149,87 | -8,36           | -100,29 | -0,56           | -12,99 |                                     | 13,03  | 0,73            | 24,89  |
| 0,06 | -116,77                             | -6,52         | -156,38 | -8,73           | -109,01 | -0,56           | -13,55 |                                     | 6,52   | 0,36            | 25,25  |
| 0    | -116,77                             | -6,52         | -162,90 | -9,09           | -118,10 | -0,56           | -14,12 |                                     | 0,00   | 0,00            | 25,25  |

Tabulka P. 16 - Průběhy zatížení výškového kormidla, případ poryvového zatížení,  $F_{VK} = -2244 \text{ N}$

| $z$   | $\Delta M_k$ | $M_k$        | $z$    | $\Delta M_k$ | $M_k$        |
|-------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|
| [m]   | [Nm]         | [Nm]         | [m]    | [Nm]         | [Nm]         |
| 1,395 | 0,00         | <b>0,00</b>  | 0,000  | -0,56        | <b>12,99</b> |
| 1,339 | -0,56        | <b>-0,56</b> | -0,056 | -0,56        | <b>12,42</b> |
| 1,283 | -0,56        | <b>-1,13</b> | -0,112 | -0,56        | <b>11,86</b> |
| 1,228 | -0,56        | <b>-1,69</b> | -0,167 | -0,56        | <b>11,29</b> |
| 1,172 | -0,56        | <b>-2,26</b> | -0,223 | -0,56        | <b>10,73</b> |
| 1,116 | -0,56        | <b>-2,82</b> | -0,279 | -0,56        | <b>10,17</b> |
| 1,060 | -0,56        | <b>-3,39</b> | -0,335 | -0,56        | <b>9,60</b>  |
| 1,004 | -0,56        | <b>-3,95</b> | -0,391 | -0,56        | <b>9,04</b>  |
| 0,949 | -0,56        | <b>-4,52</b> | -0,446 | -0,56        | <b>8,47</b>  |
| 0,893 | -0,56        | <b>-5,08</b> | -0,502 | -0,56        | <b>7,91</b>  |
| 0,880 | -0,13        | <b>-5,21</b> | -0,558 | -0,56        | <b>7,34</b>  |
| 0,880 | 28,24        | <b>23,02</b> | -0,614 | -0,56        | <b>6,78</b>  |
| 0,837 | -0,44        | <b>22,59</b> | -0,670 | -0,56        | <b>6,21</b>  |
| 0,781 | -0,56        | <b>22,02</b> | -0,725 | -0,56        | <b>5,65</b>  |
| 0,725 | -0,56        | <b>21,46</b> | -0,781 | -0,56        | <b>5,08</b>  |
| 0,670 | -0,56        | <b>20,89</b> | -0,837 | -0,56        | <b>4,52</b>  |
| 0,614 | -0,56        | <b>20,33</b> | -0,893 | -0,56        | <b>3,95</b>  |
| 0,558 | -0,56        | <b>19,77</b> | -0,949 | -0,56        | <b>3,39</b>  |
| 0,502 | -0,56        | <b>19,20</b> | -1,004 | -0,56        | <b>2,82</b>  |
| 0,446 | -0,56        | <b>18,64</b> | -1,060 | -0,56        | <b>2,26</b>  |
| 0,391 | -0,56        | <b>18,07</b> | -1,116 | -0,56        | <b>1,69</b>  |
| 0,335 | -0,56        | <b>17,51</b> | -1,172 | -0,56        | <b>1,13</b>  |
| 0,279 | -0,56        | <b>16,94</b> | -1,228 | -0,56        | <b>0,57</b>  |
| 0,223 | -0,56        | <b>16,38</b> | -1,283 | -0,56        | <b>0,00</b>  |
| 0,167 | -0,56        | <b>15,81</b> | -1,339 | -0,56        | <b>-0,56</b> |
| 0,112 | -0,56        | <b>15,25</b> | -1,395 | -0,56        | <b>0,00</b>  |
| 0,056 | -0,56        | <b>14,68</b> |        |              |              |

Tabulka P. 17 - Průběhy zatížení výškového kormidla, případ poryvového zatížení,  $F_{VK} = -2244 \text{ N}$

| Z    | Spojité zatížení stabilizátoru |               |         |                 |         |                 |         | Celkové zatížení stabilizátoru |         |                 |         |                 |        |
|------|--------------------------------|---------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|--------------------------------|---------|-----------------|---------|-----------------|--------|
|      | $q_s$                          | $\Delta T(y)$ | $T$     | $\Delta M_o(y)$ | $M_o$   | $\Delta M_k(y)$ | $M_k$   | Reakce v závěsech              | $T$     | $\Delta M_o(y)$ | $M_o$   | $\Delta M_k(y)$ | $M_k$  |
| [m]  | [N.m <sup>-1</sup> ]           | [N]           | [N]     | [Nm]            | [Nm]    | [Nm]            | [Nm]    | [N]                            | [N]     | [Nm]            | [Nm]    | [Nm]            | [Nm]   |
| 1,40 | -687,53                        | 0,00          | 0,00    | 0,00            | 0,00    | 0,00            | 0,00    |                                | 0,00    | 0,00            | 0,00    | 0,00            | 0,00   |
| 1,34 | -687,53                        | -38,36        | -38,36  | -2,14           | -2,14   | -8,76           | -8,76   |                                | -38,36  | -2,14           | -2,14   | -8,76           | -8,76  |
| 1,28 | -687,53                        | -38,36        | -76,73  | -4,28           | -6,42   | -8,76           | -17,53  |                                | -76,73  | -4,28           | -6,42   | -8,76           | -17,53 |
| 1,23 | -687,53                        | -38,36        | -115,09 | -6,42           | -12,84  | -8,76           | -26,29  |                                | -115,09 | -6,42           | -12,84  | -8,76           | -26,29 |
| 1,17 | -687,53                        | -38,36        | -153,46 | -8,56           | -21,41  | -8,76           | -35,05  |                                | -153,46 | -8,56           | -21,41  | -8,76           | -35,05 |
| 1,12 | -687,53                        | -38,36        | -191,82 | -10,70          | -32,11  | -8,76           | -43,81  |                                | -191,82 | -10,70          | -32,11  | -8,76           | -43,81 |
| 1,06 | -687,53                        | -38,36        | -230,18 | -12,84          | -44,96  | -8,76           | -52,58  |                                | -230,18 | -12,84          | -44,96  | -8,76           | -52,58 |
| 1,00 | -687,53                        | -38,36        | -268,55 | -14,99          | -59,94  | -8,76           | -61,34  |                                | -268,55 | -14,99          | -59,94  | -8,76           | -61,34 |
| 0,95 | -687,53                        | -38,36        | -306,91 | -17,13          | -77,07  | -8,76           | -70,10  |                                | -306,91 | -17,13          | -77,07  | -8,76           | -70,10 |
| 0,89 | -687,53                        | -38,36        | -345,28 | -19,27          | -96,33  | -8,76           | -78,86  |                                | -345,28 | -19,27          | -96,33  | -8,76           | -78,86 |
| 0,88 | -687,53                        | -8,80         | -354,08 | -4,53           | -100,86 | -2,01           | -80,87  |                                | -354,08 | -4,53           | -100,86 | -2,01           | -80,87 |
| 0,88 |                                | 959,10        | -354,08 |                 |         |                 |         | 959,1                          | 605,02  | 0,00            | -100,86 | 219,07          | 138,19 |
| 0,84 | -687,53                        | -29,56        | -383,64 | -21,41          | -122,27 | -6,75           | -87,63  |                                | 575,46  | 24,74           | -76,12  | -6,75           | 131,44 |
| 0,78 | -687,53                        | -38,36        | -422,00 | -23,55          | -145,82 | -8,76           | -96,39  |                                | 537,10  | 29,97           | -46,15  | -8,76           | 122,68 |
| 0,73 | -687,53                        | -38,36        | -460,37 | -25,69          | -171,51 | -8,76           | -105,15 |                                | 498,73  | 27,83           | -18,32  | -8,76           | 113,91 |
| 0,67 | -687,53                        | -38,36        | -498,73 | -27,83          | -199,34 | -8,76           | -113,91 |                                | 460,37  | 25,69           | 7,37    | -8,76           | 105,15 |
| 0,61 | -687,53                        | -38,36        | -537,10 | -29,97          | -229,31 | -8,76           | -122,68 |                                | 422,00  | 23,55           | 30,92   | -8,76           | 96,39  |
| 0,56 | -687,53                        | -38,36        | -575,46 | -32,11          | -261,42 | -8,76           | -131,44 |                                | 383,64  | 21,41           | 52,32   | -8,76           | 87,63  |
| 0,50 | -687,53                        | -38,36        | -613,83 | -34,25          | -295,67 | -8,76           | -140,20 |                                | 345,27  | 19,27           | 71,59   | -8,76           | 78,86  |
| 0,45 | -687,53                        | -38,36        | -652,19 | -36,39          | -332,06 | -8,76           | -148,96 |                                | 306,91  | 17,13           | 88,71   | -8,76           | 70,10  |
| 0,39 | -687,53                        | -38,36        | -690,55 | -38,53          | -370,59 | -8,76           | -157,73 |                                | 268,55  | 14,98           | 103,70  | -8,76           | 61,34  |
| 0,33 | -687,53                        | -38,36        | -728,92 | -40,67          | -411,27 | -8,76           | -166,49 |                                | 230,18  | 12,84           | 116,54  | -8,76           | 52,58  |
| 0,28 | -687,53                        | -38,36        | -767,28 | -42,81          | -454,08 | -8,76           | -175,25 |                                | 191,82  | 10,70           | 127,25  | -8,76           | 43,81  |
| 0,22 | -687,53                        | -38,36        | -805,65 | -44,96          | -499,04 | -8,76           | -184,02 |                                | 153,45  | 8,56            | 135,81  | -8,76           | 35,05  |
| 0,17 | -687,53                        | -38,36        | -844,01 | -47,10          | -546,13 | -8,76           | -192,78 |                                | 115,09  | 6,42            | 142,23  | -8,76           | 26,29  |
| 0,11 | -687,53                        | -38,36        | -882,37 | -49,24          | -595,37 | -8,76           | -201,54 |                                | 76,73   | 4,28            | 146,51  | -8,76           | 17,52  |
| 0,06 | -687,53                        | -38,36        | -920,74 | -51,38          | -646,75 | -8,76           | -210,30 |                                | 38,36   | 2,14            | 148,65  | -8,76           | 8,76   |
| 0,00 | -687,53                        | -38,36        | -959,10 | 0,00            | -646,75 | -8,76           | -219,07 |                                | 0,00    | 0,00            | 148,65  | -8,76           | 0,00   |

Tabulka P. 18 - Průběhy zatížení stabilizátoru, případ poryvového zatížení,  $F_{VK} = -2244 \text{ N}$

| Z    | Spojité zatížení výškového kormidla |               |         |                 |         |                 |       | Celkové zatížení výškového kormidla |         |                 |        |
|------|-------------------------------------|---------------|---------|-----------------|---------|-----------------|-------|-------------------------------------|---------|-----------------|--------|
|      | $q_v$                               | $\Delta T(y)$ | $T$     | $\Delta M_o(y)$ | $M_o$   | $\Delta M_k(y)$ | $M_k$ | Reakce v závěsech                   | $T$     | $\Delta M_o(y)$ | $M_o$  |
|      | [N.m <sup>-1</sup> ]                | [N]           | [N]     | [Nm]            | [Nm]    | [Nm]            | [Nm]  | [N]                                 | [N]     | [Nm]            | [Nm]   |
| 1,40 | -437,93                             | 0,00          | 0,00    | 0,00            | 0,00    | 0,00            | 0,00  |                                     |         | 0,00            | 0,00   |
| 1,34 | -437,93                             | -24,44        | -24,44  | -1,36           | -1,36   | 2,00            | 2,00  |                                     | -24,44  | -1,36           | -1,36  |
| 1,28 | -437,93                             | -24,44        | -48,87  | -2,73           | -4,09   | 2,00            | 3,99  |                                     | -48,87  | -2,73           | -4,09  |
| 1,23 | -437,93                             | -24,44        | -73,31  | -4,09           | -8,18   | 2,00            | 5,99  |                                     | -73,31  | -4,09           | -8,18  |
| 1,17 | -437,93                             | -24,44        | -97,75  | -5,45           | -13,64  | 2,00            | 7,98  |                                     | -97,75  | -5,45           | -13,64 |
| 1,12 | -437,93                             | -24,44        | -122,18 | -6,82           | -20,45  | 2,00            | 9,98  |                                     | -122,18 | -6,82           | -20,45 |
| 1,06 | -437,93                             | -24,44        | -146,62 | -8,18           | -28,63  | 2,00            | 11,97 |                                     | -146,62 | -8,18           | -28,63 |
| 1,00 | -437,93                             | -24,44        | -171,06 | -9,54           | -38,18  | 2,00            | 13,97 |                                     | -171,06 | -9,54           | -38,18 |
| 0,95 | -437,93                             | -24,44        | -195,49 | -10,91          | -49,09  | 2,00            | 15,97 |                                     | -195,49 | -10,91          | -49,09 |
| 0,89 | -437,93                             | -24,44        | -219,93 | -12,27          | -61,36  | 2,00            | 17,96 |                                     | -219,93 | -12,27          | -61,36 |
| 0,88 | -437,93                             | -5,61         | -225,54 | -2,89           | -64,25  | 0,46            | 18,42 |                                     | -225,54 | -2,89           | -64,25 |
| 0,88 | -437,93                             |               |         |                 |         |                 |       | 610,92                              | 385,38  | 0,00            | -64,25 |
| 0,84 | -437,93                             | -18,83        | -244,37 | -10,51          | -74,76  | 1,54            | 19,96 |                                     | 366,55  | 15,76           | -48,49 |
| 0,78 | -437,93                             | -24,44        | -268,80 | -15,00          | -15,00  | 2,00            | 21,95 |                                     | 342,12  | 19,09           | -29,40 |
| 0,73 | -437,93                             | -24,44        | -293,24 | -16,36          | -91,12  | 2,00            | 23,95 |                                     | 317,68  | 17,73           | -11,67 |
| 0,67 | -437,93                             | -24,44        | -317,68 | -17,73          | -32,73  | 2,00            | 25,94 |                                     | 293,24  | 16,36           | 4,69   |
| 0,61 | -437,93                             | -24,44        | -342,11 | -19,09          | -110,21 | 2,00            | 27,94 |                                     | 268,81  | 15,00           | 19,69  |
| 0,56 | -437,93                             | -24,44        | -366,55 | -20,45          | -53,18  | 2,00            | 29,93 |                                     | 244,37  | 13,64           | 33,33  |
| 0,50 | -437,93                             | -24,44        | -390,99 | -21,82          | -132,03 | 2,00            | 31,93 |                                     | 219,93  | 12,27           | 45,60  |
| 0,45 | -437,93                             | -24,44        | -415,42 | -23,18          | -76,36  | 2,00            | 33,93 |                                     | 195,50  | 10,91           | 56,51  |
| 0,39 | -437,93                             | -24,44        | -439,86 | -24,54          | -156,57 | 2,00            | 35,92 |                                     | 171,06  | 9,55            | 66,06  |
| 0,33 | -437,93                             | -24,44        | -464,30 | -25,91          | -102,27 | 2,00            | 37,92 |                                     | 146,62  | 8,18            | 74,24  |
| 0,28 | -437,93                             | -24,44        | -488,73 | -27,27          | -183,84 | 2,00            | 39,91 |                                     | 122,19  | 6,82            | 81,05  |
| 0,22 | -437,93                             | -24,44        | -513,17 | -28,63          | -130,90 | 2,00            | 41,91 |                                     | 97,75   | 5,45            | 86,51  |
| 0,17 | -437,93                             | -24,44        | -537,61 | -30,00          | -213,84 | 2,00            | 43,90 |                                     | 73,31   | 4,09            | 90,60  |
| 0,11 | -437,93                             | -24,44        | -562,04 | -31,36          | -162,26 | 2,00            | 45,90 |                                     | 48,88   | 2,73            | 93,33  |
| 0,06 | -437,93                             | -24,44        | -586,48 | -32,73          | -246,56 | 2,00            | 47,90 |                                     | 24,44   | 1,36            | 94,69  |
| 0,00 | -437,93                             | -24,44        | -610,92 | -34,09          | -196,35 | 2,00            | 49,89 |                                     | 0,00    | 0,00            | 94,69  |

Tabulka P. 19 - Průběhy zatížení výškového kormidla, případ manévrovacího zatížení,

$$F_{VK} = -2475 \text{ N}$$

| Z    | Spojité zatížení stabilizátoru |               |         |                 |         |                 |        | Celkové zatížení stabilizátoru |         |                 |        |                 |        |
|------|--------------------------------|---------------|---------|-----------------|---------|-----------------|--------|--------------------------------|---------|-----------------|--------|-----------------|--------|
|      | $q_s$                          | $\Delta T(y)$ | $T$     | $\Delta M_o(y)$ | $M_o$   | $\Delta M_k(y)$ | $M_k$  | Reakce v závěsech              | $T$     | $\Delta M_o(y)$ | $M_o$  | $\Delta M_k(y)$ | $M_k$  |
| [m]  | [N.m <sup>-1</sup> ]           | [N]           | [N]     | [Nm]            | [Nm]    | [Nm]            | [Nm]   | [N]                            | [N]     | [Nm]            | [Nm]   | [Nm]            | [Nm]   |
| 1,40 | -449,16                        | 0,00          | 0,00    | 0,00            | 0,00    | 0,00            | 0,00   |                                | 0,00    | 0,00            | 0,00   | 0,00            | 0,00   |
| 1,34 | -449,16                        | -25,06        | -25,06  | -1,40           | -1,40   | -2,34           | -2,34  |                                | -25,06  | -1,40           | -1,40  | -2,34           | -2,34  |
| 1,28 | -449,16                        | -25,06        | -50,13  | -2,80           | -4,20   | -2,34           | -4,68  |                                | -50,13  | -2,80           | -4,20  | -2,34           | -4,68  |
| 1,23 | -449,16                        | -25,06        | -75,19  | -4,20           | -8,39   | -2,34           | -7,02  |                                | -75,19  | -4,20           | -8,39  | -2,34           | -7,02  |
| 1,17 | -449,16                        | -25,06        | -100,25 | -5,59           | -13,99  | -2,34           | -9,36  |                                | -100,25 | -5,59           | -13,99 | -2,34           | -9,36  |
| 1,12 | -449,16                        | -25,06        | -125,32 | -6,99           | -20,98  | -2,34           | -11,70 |                                | -125,32 | -6,99           | -20,98 | -2,34           | -11,70 |
| 1,06 | -449,16                        | -25,06        | -150,38 | -8,39           | -29,37  | -2,34           | -14,04 |                                | -150,38 | -8,39           | -29,37 | -2,34           | -14,04 |
| 1,00 | -449,16                        | -25,06        | -175,44 | -9,79           | -39,16  | -2,34           | -16,37 |                                | -175,44 | -9,79           | -39,16 | -2,34           | -16,37 |
| 0,95 | -449,16                        | -25,06        | -200,51 | -11,19          | -50,35  | -2,34           | -18,71 |                                | -200,51 | -11,19          | -50,35 | -2,34           | -18,71 |
| 0,89 | -449,16                        | -25,06        | -225,57 | -12,59          | -62,93  | -2,34           | -21,05 |                                | -225,57 | -12,59          | -62,93 | -2,34           | -21,05 |
| 0,88 | -449,16                        | -5,75         | -231,32 | -2,96           | -65,89  | -0,54           | -21,59 |                                | -231,32 | -2,96           | -65,89 | -0,54           | -21,59 |
| 0,88 | -449,16                        | 626,58        | -231,32 |                 |         |                 |        | 626,58                         | 395,26  | 0,00            | -65,89 | 58,48           | 36,89  |
| 0,84 | -449,16                        | -19,31        | -250,63 | -10,78          | -76,67  | -1,80           | -23,39 |                                | 375,95  | 16,17           | -49,73 | -1,80           | 35,09  |
| 0,78 | -449,16                        | -25,06        | -275,70 | -15,38          | -92,06  | -2,34           | -25,73 |                                | 350,88  | 19,58           | -30,15 | -2,34           | 32,75  |
| 0,73 | -449,16                        | -25,06        | -300,76 | -16,78          | -108,84 | -2,34           | -28,07 |                                | 325,82  | 18,18           | -11,97 | -2,34           | 30,41  |
| 0,67 | -449,16                        | -25,06        | -325,82 | -18,18          | -127,02 | -2,34           | -30,41 |                                | 300,76  | 16,78           | 4,81   | -2,34           | 28,07  |
| 0,61 | -449,16                        | -25,06        | -350,89 | -19,58          | -146,60 | -2,34           | -32,75 |                                | 275,69  | 15,38           | 20,20  | -2,34           | 25,73  |
| 0,56 | -449,16                        | -25,06        | -375,95 | -20,98          | -167,58 | -2,34           | -35,09 |                                | 250,63  | 13,99           | 34,18  | -2,34           | 23,39  |
| 0,50 | -449,16                        | -25,06        | -401,01 | -22,38          | -189,95 | -2,34           | -37,43 |                                | 225,57  | 12,59           | 46,77  | -2,34           | 21,05  |
| 0,45 | -449,16                        | -25,06        | -426,08 | -23,78          | -213,73 | -2,34           | -39,77 |                                | 200,50  | 11,19           | 57,96  | -2,34           | 18,71  |
| 0,39 | -449,16                        | -25,06        | -451,14 | -25,17          | -238,90 | -2,34           | -42,11 |                                | 175,44  | 9,79            | 67,75  | -2,34           | 16,37  |
| 0,33 | -449,16                        | -25,06        | -476,20 | -26,57          | -265,47 | -2,34           | -44,45 |                                | 150,38  | 8,39            | 76,14  | -2,34           | 14,04  |
| 0,28 | -449,16                        | -25,06        | -501,27 | -27,97          | -293,44 | -2,34           | -46,78 |                                | 125,31  | 6,99            | 83,13  | -2,34           | 11,70  |
| 0,22 | -449,16                        | -25,06        | -526,33 | -29,37          | -322,81 | -2,34           | -49,12 |                                | 100,25  | 5,59            | 88,72  | -2,34           | 9,36   |
| 0,17 | -449,16                        | -25,06        | -551,39 | -30,77          | -353,58 | -2,34           | -51,46 |                                | 75,19   | 4,20            | 92,92  | -2,34           | 7,02   |
| 0,11 | -449,16                        | -25,06        | -576,46 | -32,17          | -385,75 | -2,34           | -53,80 |                                | 50,12   | 2,80            | 95,72  | -2,34           | 4,68   |
| 0,06 | -449,16                        | -25,06        | -601,52 | -33,56          | -419,31 | -2,34           | -56,14 |                                | 25,06   | 1,40            | 97,11  | -2,34           | 2,34   |
| 0,00 | -449,16                        | -25,06        | -626,58 | -34,96          | -454,28 | -2,34           | -58,48 |                                | 0,00    | 0,00            | 97,11  | -2,34           | 0,00   |

Tabulka P. 20 - Průběhy zatížení stabilizátoru, případ manévrovacího zatížení,

$$F_{VK} = -2475 \text{ N}$$

## 12. Hodnoty průběhů zatížení na SOP

### Poryvové zatížení – směrové kormidlo

| Směrové kormidlo - Výsledné hodnoty |             |               |               |              |              |              |               |
|-------------------------------------|-------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| $y$                                 | $y_{skl}$   | $\Delta T$    | $T$           | $\Delta M_o$ | $M_o$        | $\Delta M_K$ | $M_K$         |
| [m]                                 | [m]         | [N]           | [N]           | [Nm]         | [Nm]         | [Nm]         | [Nm]          |
| 1,04                                | 1,12        | 0,00          | <b>0,00</b>   | 0,00         | <b>0,00</b>  | 0,00         | <b>0,00</b>   |
| 1,00                                | 1,08        | 1,86          | <b>1,86</b>   | 0,08         | <b>0,08</b>  | -0,44        | <b>-0,44</b>  |
| 0,96                                | 1,03        | 1,92          | <b>3,79</b>   | 0,16         | <b>0,23</b>  | -0,46        | <b>-0,90</b>  |
| 0,91                                | 0,99        | 1,98          | <b>5,77</b>   | 0,24         | <b>0,47</b>  | -0,49        | <b>-1,39</b>  |
| <b>0,87</b>                         | <b>0,94</b> | <b>2,05</b>   | <b>7,82</b>   | <b>0,32</b>  | <b>0,80</b>  | <b>-0,51</b> | <b>-1,90</b>  |
| <b>0,87</b>                         | <b>0,94</b> | <b>-32,36</b> | <b>-24,54</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,80</b>  |              | <b>-1,90</b>  |
| 0,83                                | 0,90        | 2,11          | <b>-22,44</b> | -0,93        | <b>-0,13</b> | -0,54        | <b>-2,44</b>  |
| 0,79                                | 0,85        | 2,17          | <b>-20,27</b> | -0,84        | <b>-0,98</b> | -0,57        | <b>-3,01</b>  |
| 0,75                                | 0,81        | 2,23          | <b>-18,05</b> | -0,75        | <b>-1,73</b> | -0,60        | <b>-3,61</b>  |
| 0,71                                | 0,76        | 2,29          | <b>-15,76</b> | -0,65        | <b>-2,38</b> | -0,62        | <b>-4,23</b>  |
| 0,66                                | 0,72        | 2,35          | <b>-13,41</b> | -0,56        | <b>-2,94</b> | -0,65        | <b>-4,88</b>  |
| 0,62                                | 0,67        | 2,41          | <b>-11,00</b> | -0,46        | <b>-3,39</b> | -0,68        | <b>-5,56</b>  |
| 0,58                                | 0,63        | 2,47          | <b>-8,54</b>  | -0,35        | <b>-3,75</b> | -0,71        | <b>-6,27</b>  |
| 0,54                                | 0,58        | 2,53          | <b>-6,01</b>  | -0,25        | <b>-4,00</b> | -0,74        | <b>-7,01</b>  |
| 0,50                                | 0,54        | 2,59          | <b>-3,42</b>  | -0,14        | <b>-4,14</b> | -0,77        | <b>-7,77</b>  |
| 0,46                                | 0,49        | 2,65          | <b>-0,77</b>  | -0,03        | <b>-4,17</b> | -0,80        | <b>-8,57</b>  |
| 0,42                                | 0,45        | 2,71          | <b>1,94</b>   | 0,08         | <b>-4,09</b> | -0,83        | <b>-9,39</b>  |
| 0,37                                | 0,40        | 2,77          | <b>4,71</b>   | 0,20         | <b>-3,90</b> | -0,86        | <b>-10,25</b> |
| 0,33                                | 0,36        | 2,83          | <b>7,54</b>   | 0,31         | <b>-3,58</b> | -0,89        | <b>-11,14</b> |
| 0,29                                | 0,31        | 2,89          | <b>10,43</b>  | 0,43         | <b>-3,15</b> | -0,92        | <b>-12,06</b> |
| 0,25                                | 0,27        | 2,95          | <b>13,38</b>  | 0,56         | <b>-2,59</b> | -0,95        | <b>-13,02</b> |
| 0,21                                | 0,22        | 3,01          | <b>16,39</b>  | 0,68         | <b>-1,91</b> | -0,99        | <b>-14,01</b> |
| 0,17                                | 0,18        | 3,07          | <b>19,47</b>  | 0,81         | <b>-1,10</b> | -1,02        | <b>-15,03</b> |
| <b>0,12</b>                         | <b>0,13</b> | <b>3,13</b>   | <b>22,60</b>  | <b>0,94</b>  | <b>0,16</b>  | <b>-1,06</b> | <b>-16,09</b> |
| <b>0,12</b>                         | <b>0,13</b> | <b>-32,36</b> | <b>-9,76</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,16</b>  | <b>19,21</b> | <b>3,12</b>   |
| 0,08                                | 0,09        | 3,19          | <b>-6,57</b>  | -0,27        | <b>0,08</b>  | -1,11        | <b>2,01</b>   |
| 0,04                                | 0,04        | 3,25          | <b>-3,31</b>  | -0,14        | <b>0,04</b>  | -0,16        | <b>1,00</b>   |
| 0,00                                | 0,00        | 3,31          | <b>0,00</b>   | 0,00         | <b>0,00</b>  | -0,17        | <b>0,00</b>   |

Tabulka P. 21 - Výsledné hodnoty poryvového zatížení směrového kormidla

### Manévrovací zatížení – směrové kormidlo

| Směrové kormidlo - výsledné hodnoty |             |                |               |              |               |              |               |
|-------------------------------------|-------------|----------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| $y$                                 | $y_{skl}$   | $\Delta T$     | $T$           | $\Delta M_o$ | $M_o$         | $\Delta M_K$ | $M_K$         |
| [m]                                 | [m]         | [N]            | [N]           | [Nm]         | [Nm]          | [Nm]         | [Nm]          |
| 1,04                                | 1,12        | 0,00           | <b>0,00</b>   | 0,00         | <b>0,00</b>   | 0,00         | <b>0,00</b>   |
| 1,00                                | 1,08        | 7,10           | <b>7,10</b>   | 0,30         | <b>0,30</b>   | -1,69        | <b>-1,69</b>  |
| 0,96                                | 1,03        | 7,31           | <b>14,41</b>  | 0,60         | <b>0,89</b>   | -1,77        | <b>-3,46</b>  |
| 0,91                                | 0,99        | 7,52           | <b>21,93</b>  | 0,91         | <b>1,80</b>   | -1,86        | <b>-5,32</b>  |
| <b>0,87</b>                         | <b>0,94</b> | <b>7,73</b>    | <b>29,65</b>  | <b>1,23</b>  | <b>3,04</b>   | <b>-1,95</b> | <b>-7,27</b>  |
| <b>0,87</b>                         | <b>0,94</b> | <b>-120,20</b> | <b>-90,55</b> | <b>0,00</b>  | <b>3,04</b>   |              | <b>-7,27</b>  |
| 0,83                                | 0,90        | 7,94           | <b>-82,61</b> | -3,43        | <b>-0,40</b>  | -2,08        | <b>-9,35</b>  |
| 0,79                                | 0,85        | 8,15           | <b>-74,47</b> | -3,09        | <b>-3,49</b>  | -2,17        | <b>-11,52</b> |
| 0,75                                | 0,81        | 8,36           | <b>-66,11</b> | -2,75        | <b>-6,24</b>  | -2,26        | <b>-13,78</b> |
| 0,71                                | 0,76        | 8,57           | <b>-57,54</b> | -2,39        | <b>-8,63</b>  | -2,36        | <b>-16,14</b> |
| 0,66                                | 0,72        | 8,78           | <b>-48,76</b> | -2,03        | <b>-10,66</b> | -2,46        | <b>-18,60</b> |
| 0,62                                | 0,67        | 8,99           | <b>-39,78</b> | -1,65        | <b>-12,31</b> | -2,56        | <b>-21,16</b> |
| 0,58                                | 0,63        | 9,20           | <b>-30,58</b> | -1,27        | <b>-13,58</b> | -2,66        | <b>-23,83</b> |
| 0,54                                | 0,58        | 9,41           | <b>-21,17</b> | -0,88        | <b>-14,46</b> | -2,77        | <b>-26,59</b> |
| 0,50                                | 0,54        | 9,62           | <b>-11,56</b> | -0,48        | <b>-14,94</b> | -2,88        | <b>-29,47</b> |
| 0,46                                | 0,49        | 9,83           | <b>-1,73</b>  | -0,07        | <b>-15,01</b> | -2,98        | <b>-32,45</b> |
| 0,42                                | 0,45        | 10,04          | <b>8,30</b>   | 0,35         | <b>-14,67</b> | -3,09        | <b>-35,55</b> |
| 0,37                                | 0,40        | 10,25          | <b>18,55</b>  | 0,77         | <b>-13,90</b> | -3,21        | <b>-38,76</b> |
| 0,33                                | 0,36        | 10,46          | <b>29,01</b>  | 1,21         | <b>-12,69</b> | -3,32        | <b>-42,08</b> |
| 0,29                                | 0,31        | 10,67          | <b>39,67</b>  | 1,65         | <b>-11,04</b> | -3,44        | <b>-45,52</b> |
| 0,25                                | 0,27        | 10,88          | <b>50,55</b>  | 2,10         | <b>-8,94</b>  | -3,56        | <b>-49,07</b> |
| 0,21                                | 0,22        | 11,09          | <b>61,63</b>  | 2,56         | <b>-6,38</b>  | -3,68        | <b>-52,75</b> |
| 0,17                                | 0,18        | 11,29          | <b>72,93</b>  | 3,03         | <b>-3,35</b>  | -3,80        | <b>-56,55</b> |
| <b>0,12</b>                         | <b>0,13</b> | <b>11,50</b>   | <b>84,43</b>  | <b>3,51</b>  | <b>0,16</b>   | <b>-3,92</b> | <b>-60,48</b> |
| <b>0,12</b>                         | <b>0,13</b> | <b>-120,20</b> | <b>-35,77</b> | <b>0,00</b>  | <b>0,16</b>   | <b>70,94</b> | <b>10,46</b>  |
| 0,08                                | 0,09        | 11,71          | <b>-24,06</b> | -1,00        | <b>0,08</b>   | -4,11        | <b>6,35</b>   |
| 0,04                                | 0,04        | 11,92          | <b>-12,13</b> | -0,50        | <b>0,04</b>   | -0,60        | <b>1,00</b>   |
| 0,00                                | 0,00        | 12,13          | <b>0,00</b>   | 0,00         | <b>0,00</b>   | -0,61        | <b>0,00</b>   |

Tabulka P. 22 - Výsledné hodnoty manévrovacího zatížení směrového kormidla

## Zatížení kýlů – kombinované zatížení

### Kombinace č. 1:

| Souřadnice |           | Spojité zatížení |       |       | Závěs SK  | Závěs stabilizátoru |       | Setrvačná síla od hmotnosti VOP |       |       | Celkové zatížení |       |       |       |       |
|------------|-----------|------------------|-------|-------|-----------|---------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| $y$        | $y_{skl}$ | $T$              | $M_x$ | $M_y$ | $F_{ZSK}$ | $M_{Xantisym}$      | $F_y$ | $F_{SZVOP}$                     | $M_x$ | $M_y$ | $T$              | $M_x$ | $M_y$ | $M_o$ | $M_K$ |
| [m]        | [m]       | [N]              | [Nm]  | [Nm]  | [N]       | [Nm]                | [N]   | [N]                             | [Nm]  | [Nm]  | [N]              | [Nm]  | [Nm]  | [Nm]  | [Nm]  |
| 1,039      | 1,121     | 0                | 0     | 0     | 0         | 74                  | -712  | -61                             | 0     | -5    | -61              | 74    | -5    | 66    | -32   |
| 0,997      | 1,076     | 11               | 0     | 0     | 0         | 74                  | -712  | -61                             | -4    | -7    | -50              | 70    | -7    | 62    | -32   |
| 0,956      | 1,031     | 21               | 1     | 0     | 0         | 74                  | -712  | -61                             | -9    | -9    | -40              | 67    | -8    | 59    | -33   |
| 0,914      | 0,986     | 32               | 3     | 1     | 0         | 74                  | -712  | -61                             | -12   | -12   | -29              | 67    | -10   | 58    | -34   |
| 0,873      | 0,941     | 44               | 5     | 2     | 0         | 74                  | -712  | -61                             | -16   | -14   | -17              | 66    | -11   | 57    | -35   |
| 0,873      | 0,941     | 44               | 5     | 2     | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -16   | -14   | -137             | 66    | 59    | 84    | 30    |
| 0,831      | 0,896     | 56               | 6     | 3     | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -20   | -17   | -126             | 60    | 56    | 76    | 29    |
| 0,790      | 0,852     | 68               | 9     | 4     | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -24   | -19   | -114             | 54    | 53    | 70    | 29    |
| 0,748      | 0,807     | 80               | 12    | 5     | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -28   | -22   | -101             | 50    | 50    | 65    | 28    |
| 0,707      | 0,762     | 92               | 16    | 6     | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -32   | -24   | -89              | 46    | 48    | 61    | 27    |
| 0,665      | 0,717     | 105              | 19    | 8     | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -36   | -26   | -76              | 43    | 46    | 57    | 26    |
| 0,623      | 0,672     | 118              | 24    | 10    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -40   | -29   | -63              | 42    | 44    | 55    | 26    |
| 0,582      | 0,628     | 132              | 30    | 12    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -44   | -31   | -50              | 42    | 44    | 55    | 25    |
| 0,540      | 0,583     | 145              | 35    | 14    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -48   | -34   | -36              | 42    | 43    | 55    | 24    |
| 0,499      | 0,538     | 159              | 41    | 16    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -52   | -36   | -22              | 43    | 42    | 56    | 23    |
| 0,457      | 0,493     | 173              | 47    | 19    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -56   | -39   | -8               | 46    | 43    | 58    | 22    |
| 0,416      | 0,448     | 188              | 55    | 22    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -59   | -41   | 7                | 50    | 43    | 62    | 22    |
| 0,374      | 0,403     | 203              | 63    | 25    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -63   | -43   | 22               | 55    | 45    | 68    | 21    |
| 0,332      | 0,359     | 218              | 71    | 29    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -67   | -46   | 37               | 61    | 46    | 74    | 20    |
| 0,291      | 0,314     | 233              | 80    | 32    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -71   | -48   | 52               | 68    | 48    | 81    | 19    |
| 0,249      | 0,269     | 249              | 90    | 36    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -75   | -51   | 68               | 77    | 51    | 91    | 19    |
| 0,208      | 0,224     | 265              | 100   | 40    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -79   | -53   | 84               | 87    | 54    | 101   | 18    |
| 0,166      | 0,179     | 281              | 110   | 45    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -83   | -56   | 100              | 97    | 58    | 112   | 17    |
| 0,125      | 0,134     | 298              | 122   | 49    | -120      | 74                  | -712  | -61                             | -87   | -58   | 117              | 110   | 62    | 125   | 16    |
| 0,125      | 0,134     | 298              | 134   | 54    | -240      | 74                  | -712  | -61                             | -87   | -58   | -4               | 122   | 167   | 161   | 109   |
| 0,083      | 0,090     | 314              | 134   | 54    | -240      | 74                  | -712  | -61                             | -91   | -60   | 13               | 118   | 164   | 171   | 108   |
| 0,042      | 0,045     | 332              | 147   | 60    | -240      | 74                  | -712  | -61                             | -95   | -63   | 30               | 126   | 167   | 180   | 107   |
| 0,000      | 0,000     | 349              | 160   | 65    | -240      | 74                  | -712  | -61                             | -99   | -65   | 47               | 135   | 170   | 189   | 107   |

Tabulka P. 23 - Kombinované zatížení kýlů - Kombinace č. 1

**Kombinace č. 2:**

| Souřadnice |           | Spojité zatížení |       |       | Závěs SK  | Závěs stabilizátoru |       | Setrvačná síla od hmotnosti VOP |       |       | Celkové zatížení |       |       |       |       |
|------------|-----------|------------------|-------|-------|-----------|---------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| $y$        | $y_{skl}$ | $T$              | $M_x$ | $M_y$ | $F_{zsk}$ | $M_{xantisym}$      | $F_y$ | $F_{szvop}$                     | $M_x$ | $M_y$ | $T$              | $M_x$ | $M_y$ | $M_o$ | $M_k$ |
| [m]        | [m]       | [N]              | [Nm]  | [Nm]  | [N]       | [Nm]                | [N]   | [N]                             | [Nm]  | [Nm]  | [N]              | [Nm]  | [Nm]  | [Nm]  | [Nm]  |
| 1,039      | 1,121     | 0                | 0     | 0     | 0         | 55                  | -506  | -46                             | 0     | -3    | -46              | 55    | -3    | 50    | -24   |
| 0,997      | 1,076     | 8                | 0     | 0     | 0         | 55                  | -506  | -46                             | -3    | -5    | -38              | 52    | -5    | 47    | -24   |
| 0,956      | 1,031     | 16               | 1     | 0     | 0         | 55                  | -506  | -46                             | -6    | -7    | -30              | 50    | -6    | 44    | -25   |
| 0,914      | 0,986     | 24               | 2     | 1     | 0         | 55                  | -506  | -46                             | -9    | -9    | -21              | 50    | -7    | 44    | -25   |
| 0,873      | 0,941     | 33               | 3     | 1     | 0         | 55                  | -506  | -46                             | -12   | -11   | -13              | 50    | -8    | 43    | -26   |
| 0,873      | 0,941     | 33               | 3     | 1     | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -12   | -11   | -103             | 50    | 45    | 63    | 23    |
| 0,831      | 0,896     | 42               | 5     | 2     | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -15   | -12   | -94              | 45    | 42    | 57    | 22    |
| 0,790      | 0,852     | 51               | 7     | 3     | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -18   | -14   | -85              | 41    | 40    | 53    | 21    |
| 0,748      | 0,807     | 60               | 9     | 4     | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -21   | -16   | -76              | 37    | 38    | 49    | 21    |
| 0,707      | 0,762     | 69               | 12    | 5     | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -24   | -18   | -67              | 35    | 36    | 46    | 20    |
| 0,665      | 0,717     | 79               | 15    | 6     | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -27   | -20   | -57              | 32    | 34    | 43    | 20    |
| 0,623      | 0,672     | 89               | 18    | 7     | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -30   | -22   | -47              | 31    | 33    | 41    | 19    |
| 0,582      | 0,628     | 99               | 22    | 9     | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -33   | -23   | -37              | 31    | 33    | 41    | 19    |
| 0,540      | 0,583     | 109              | 26    | 11    | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -36   | -25   | -27              | 32    | 32    | 41    | 18    |
| 0,499      | 0,538     | 119              | 31    | 12    | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -39   | -27   | -16              | 32    | 32    | 42    | 17    |
| 0,457      | 0,493     | 130              | 35    | 14    | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -42   | -29   | -6               | 34    | 32    | 44    | 17    |
| 0,416      | 0,448     | 141              | 41    | 17    | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -45   | -31   | 5                | 37    | 33    | 47    | 16    |
| 0,374      | 0,403     | 152              | 47    | 19    | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -48   | -33   | 16               | 41    | 34    | 51    | 16    |
| 0,332      | 0,359     | 163              | 54    | 22    | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -51   | -34   | 28               | 46    | 35    | 56    | 15    |
| 0,291      | 0,314     | 175              | 60    | 24    | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -53   | -36   | 39               | 51    | 36    | 61    | 15    |
| 0,249      | 0,269     | 187              | 67    | 27    | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -56   | -38   | 51               | 58    | 38    | 68    | 14    |
| 0,208      | 0,224     | 199              | 75    | 30    | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -59   | -40   | 63               | 65    | 41    | 76    | 13    |
| 0,166      | 0,179     | 211              | 83    | 33    | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -62   | -42   | 75               | 73    | 43    | 84    | 13    |
| 0,125      | 0,134     | 224              | 92    | 37    | -90       | 55                  | -506  | -46                             | -65   | -43   | 88               | 83    | 46    | 94    | 12    |
| 0,125      | 0,134     | 223              | 101   | 41    | -180      | 55                  | -506  | -46                             | -65   | -43   | -3               | 92    | 125   | 121   | 82    |
| 0,083      | 0,090     | 236              | 101   | 41    | -180      | 55                  | -506  | -46                             | -68   | -45   | 10               | 88    | 123   | 128   | 81    |
| 0,042      | 0,045     | 249              | 111   | 45    | -180      | 55                  | -506  | -46                             | -71   | -47   | 23               | 95    | 125   | 135   | 81    |
| 0,000      | 0,000     | 262              | 120   | 49    | -180      | 55                  | -506  | -46                             | -74   | -49   | 36               | 101   | 127   | 142   | 80    |

**Tabulka P. 24 - Kombinované zatížení kýlů - Kombinace č. 2**

### Kombinace č. 3:

| Souřadnice |           | Spojité zatížení |       |       | Závěs SK  | Závěs stabilizátoru |       | Setrvačná síla od hmotnosti VOP |       |       | Celkové zatížení |       |       |       |       |
|------------|-----------|------------------|-------|-------|-----------|---------------------|-------|---------------------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| $y$        | $y_{skl}$ | $T$              | $M_x$ | $M_y$ | $F_{ZSK}$ | $M_{Xantisym}$      | $F_y$ | $F_{SZVOP}$                     | $M_x$ | $M_y$ | $T$              | $M_x$ | $M_y$ | $M_o$ | $M_k$ |
| [m]        | [m]       | [N]              | [Nm]  | [Nm]  | [N]       | [Nm]                | [N]   | [N]                             | [Nm]  | [Nm]  | [N]              | [Nm]  | [Nm]  | [Nm]  | [Nm]  |
| 1,039      | 1,121     | 0                | 0     | 0     | 0         | 74                  | -272  | -88                             | 0     | -8    | -88              | 74    | -8    | 65    | -35   |
| 0,997      | 1,076     | 21               | 1     | 0     | 0         | 74                  | -272  | -88                             | -6    | -11   | -67              | 69    | -11   | 60    | -36   |
| 0,956      | 1,031     | 42               | 2     | 1     | 0         | 74                  | -272  | -88                             | -11   | -14   | -45              | 64    | -13   | 55    | -36   |
| 0,914      | 0,986     | 64               | 5     | 2     | 0         | 74                  | -272  | -88                             | -17   | -17   | -24              | 61    | -15   | 51    | -37   |
| 0,873      | 0,941     | 86               | 8     | 3     | 0         | 74                  | -272  | -88                             | -23   | -20   | -2               | 59    | -17   | 48    | -38   |
| 0,873      | 0,941     | 86               | 8     | 3     | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -23   | -20   | -33              | 59    | 53    | 75    | 27    |
| 0,831      | 0,896     | 109              | 12    | 5     | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -29   | -23   | -10              | 57    | 52    | 73    | 27    |
| 0,790      | 0,852     | 133              | 18    | 7     | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -34   | -26   | 13               | 57    | 51    | 72    | 26    |
| 0,748      | 0,807     | 157              | 24    | 10    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -40   | -29   | 37               | 57    | 50    | 72    | 25    |
| 0,707      | 0,762     | 182              | 31    | 12    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -46   | -32   | 62               | 58    | 50    | 73    | 25    |
| 0,665      | 0,717     | 207              | 39    | 16    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -52   | -35   | 87               | 61    | 50    | 75    | 24    |
| 0,623      | 0,672     | 233              | 48    | 19    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -57   | -38   | 113              | 64    | 51    | 78    | 23    |
| 0,582      | 0,628     | 260              | 58    | 23    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -63   | -41   | 140              | 68    | 52    | 83    | 23    |
| 0,540      | 0,583     | 287              | 69    | 28    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -69   | -44   | 167              | 73    | 53    | 88    | 22    |
| 0,499      | 0,538     | 314              | 81    | 33    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -74   | -47   | 194              | 80    | 55    | 95    | 21    |
| 0,457      | 0,493     | 343              | 94    | 38    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -80   | -50   | 223              | 87    | 58    | 102   | 21    |
| 0,416      | 0,448     | 371              | 108   | 44    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -86   | -53   | 251              | 96    | 60    | 111   | 20    |
| 0,374      | 0,403     | 401              | 124   | 50    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -92   | -56   | 281              | 106   | 64    | 122   | 19    |
| 0,332      | 0,359     | 430              | 140   | 57    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -97   | -59   | 311              | 116   | 67    | 133   | 19    |
| 0,291      | 0,314     | 461              | 158   | 64    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -103  | -62   | 341              | 128   | 71    | 146   | 18    |
| 0,249      | 0,269     | 492              | 177   | 71    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -109  | -65   | 372              | 142   | 76    | 160   | 17    |
| 0,208      | 0,224     | 524              | 197   | 80    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -115  | -69   | 404              | 156   | 81    | 175   | 17    |
| 0,166      | 0,179     | 556              | 219   | 88    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -120  | -72   | 436              | 172   | 87    | 192   | 16    |
| 0,125      | 0,134     | 589              | 241   | 97    | -32       | 74                  | -272  | -88                             | -126  | -75   | 469              | 189   | 93    | 210   | 15    |
| 0,125      | 0,134     | 589              | 241   | 97    | -65       | 74                  | -272  | -88                             | -126  | -75   | 436              | 189   | 193   | 247   | 108   |
| 0,083      | 0,090     | 622              | 265   | 107   | -65       | 74                  | -272  | -88                             | -132  | -78   | 470              | 207   | 200   | 267   | 108   |
| 0,042      | 0,045     | 656              | 291   | 117   | -65       | 74                  | -272  | -88                             | -137  | -81   | 504              | 227   | 207   | 287   | 107   |
| 0,000      | 0,000     | 690              | 317   | 128   | -65       | 74                  | -272  | -88                             | -143  | -84   | 538              | 247   | 214   | 310   | 106   |

Tabulka P. 25 - Kombinované zatížení kýlů - Kombinace č. 3

### 13. Výpočet průběhů zatížení trupových nosníků

#### Kombinace 1:

| $x$ [mm] | $y$ [mm] | $T_y$ [N] | $T_z$ [N] | $M_x$ [Nm] | $M_y$ [Nm] | $M_z$ [Nm] | $M_{O1}$ [Nm] | $M_{O2}$ [Nm] | $M_K$ [Nm] |
|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|---------------|---------------|------------|
| 7210     | 625      | -935      | 428       | 293,2      | 174,6      | 575,0      | 575,0         | 216,0         | 264,1      |
| 6992     | 589      | -935      | 428       | 308,7      | 267,8      | 778,7      | 778,7         | 310,5         | 265,7      |
| 6774     | 552      | -935      | 428       | 324,3      | 361,1      | 982,3      | 982,3         | 405,0         | 267,4      |
| 6557     | 516      | -935      | 428       | 339,8      | 454,3      | 1186,0     | 1186,0        | 499,5         | 269,0      |
| 6339     | 480      | -935      | 428       | 355,4      | 547,5      | 1389,6     | 1389,6        | 594,0         | 270,6      |
| 6121     | 443      | -935      | 428       | 370,9      | 640,7      | 1593,2     | 1593,2        | 688,5         | 272,2      |
| 5903     | 407      | -935      | 428       | 386,5      | 733,9      | 1796,9     | 1796,9        | 783,0         | 273,8      |
| 5685     | 371      | -935      | 428       | 402,0      | 827,2      | 2000,5     | 2000,5        | 877,5         | 275,4      |
| 5468     | 334      | -935      | 428       | 417,6      | 920,4      | 2204,2     | 2204,2        | 972,0         | 277,0      |
| 5250     | 298      | -935      | 428       | 433,1      | 1013,6     | 2407,8     | 2407,8        | 1066,5        | 278,6      |
| 5032     | 262      | -935      | 428       | 448,7      | 1106,8     | 2611,5     | 2611,5        | 1161,0        | 280,2      |
| 4814     | 225      | -935      | 428       | 464,2      | 1200,0     | 2815,1     | 2815,1        | 1255,5        | 281,8      |
| 4596     | 189      | -935      | 428       | 479,8      | 1293,2     | 3018,7     | 3018,7        | 1350,0        | 283,4      |
| 4379     | 153      | -935      | 428       | 495,3      | 1386,5     | 3222,4     | 3222,4        | 1444,4        | 285,0      |
| 4161     | 116      | -935      | 428       | 510,9      | 1479,7     | 3426,0     | 3426,0        | 1538,9        | 286,6      |
| 3943     | 80       | -935      | 428       | 526,4      | 1572,9     | 3629,7     | 3629,7        | 1633,4        | 288,2      |

Tabulka P. 26 - Výpočet průběhů zatížení trupových nosníků: Kombinace 1

#### Kombinace 2:

| $x$ [mm] | $y$ [mm] | $T_y$ [N] | $T_z$ [N] | $M_x$ [Nm] | $M_y$ [Nm] | $M_z$ [Nm] | $M_{O1}$ [Nm] | $M_{O2}$ [Nm] | $M_K$ [Nm] |
|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|---------------|---------------|------------|
| 7210     | 625      | -1083     | 282       | 193,2      | 115,1      | 666,0      | 666,0         | 142,3         | 174,0      |
| 6992     | 589      | -1083     | 282       | 203,4      | 176,5      | 901,9      | 901,9         | 204,6         | 175,1      |
| 6774     | 552      | -1083     | 282       | 213,7      | 237,9      | 1137,8     | 1137,8        | 266,9         | 176,2      |
| 6557     | 516      | -1083     | 282       | 223,9      | 299,3      | 1373,7     | 1373,7        | 329,1         | 177,2      |
| 6339     | 480      | -1083     | 282       | 234,2      | 360,7      | 1609,6     | 1609,6        | 391,4         | 178,3      |
| 6121     | 443      | -1083     | 282       | 244,4      | 422,2      | 1845,4     | 1845,4        | 453,6         | 179,3      |
| 5903     | 407      | -1083     | 282       | 254,6      | 483,6      | 2081,3     | 2081,3        | 515,9         | 180,4      |
| 5685     | 371      | -1083     | 282       | 264,9      | 545,0      | 2317,2     | 2317,2        | 578,2         | 181,4      |
| 5468     | 334      | -1083     | 282       | 275,1      | 606,4      | 2553,1     | 2553,1        | 640,4         | 182,5      |
| 5250     | 298      | -1083     | 282       | 285,4      | 667,8      | 2788,9     | 2788,9        | 702,7         | 183,5      |
| 5032     | 262      | -1083     | 282       | 295,6      | 729,3      | 3024,8     | 3024,8        | 764,9         | 184,6      |
| 4814     | 225      | -1083     | 282       | 305,9      | 790,7      | 3260,7     | 3260,7        | 827,2         | 185,6      |
| 4596     | 189      | -1083     | 282       | 316,1      | 852,1      | 3496,6     | 3496,6        | 889,5         | 186,7      |
| 4379     | 153      | -1083     | 282       | 326,4      | 913,5      | 3732,5     | 3732,5        | 951,7         | 187,8      |
| 4161     | 116      | -1083     | 282       | 336,6      | 974,9      | 3968,3     | 3968,3        | 1014,0        | 188,8      |
| 3943     | 80       | -1083     | 282       | 346,9      | 1036,4     | 4204,2     | 4204,2        | 1076,2        | 189,9      |

Tabulka P. 27 - Výpočet průběhů zatížení trupových nosníků: Kombinace 2

### Kombinace 3:

| $x$ [mm] | $y$ [mm] | $T_y$ [N] | $T_z$ [N] | $M_x$ [Nm] | $M_y$ [Nm] | $M_z$ [Nm] | $M_{O1}$ [Nm] | $M_{O2}$ [Nm] | $M_K$ [Nm] |
|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|---------------|---------------|------------|
| 7210     | 625      | -525      | 473       | 324,0      | 193,0      | 322,9      | 322,9         | 238,8         | 291,9      |
| 6992     | 589      | -525      | 473       | 341,2      | 296,0      | 437,2      | 437,2         | 343,2         | 293,7      |
| 6774     | 552      | -525      | 473       | 358,4      | 399,0      | 551,6      | 551,6         | 447,6         | 295,5      |
| 6557     | 516      | -525      | 473       | 375,6      | 502,0      | 665,9      | 665,9         | 552,0         | 297,2      |
| 6339     | 480      | -525      | 473       | 392,7      | 605,1      | 780,3      | 780,3         | 656,5         | 299,0      |
| 6121     | 443      | -525      | 473       | 409,9      | 708,1      | 894,6      | 894,6         | 760,9         | 300,8      |
| 5903     | 407      | -525      | 473       | 427,1      | 811,1      | 1008,9     | 1008,9        | 865,3         | 302,5      |
| 5685     | 371      | -525      | 473       | 444,3      | 914,1      | 1123,3     | 1123,3        | 969,8         | 304,3      |
| 5468     | 334      | -525      | 473       | 461,5      | 1017,1     | 1237,6     | 1237,6        | 1074,2        | 306,1      |
| 5250     | 298      | -525      | 473       | 478,7      | 1120,2     | 1352,0     | 1352,0        | 1178,6        | 307,8      |
| 5032     | 262      | -525      | 473       | 495,9      | 1223,2     | 1466,3     | 1466,3        | 1283,0        | 309,6      |
| 4814     | 225      | -525      | 473       | 513,0      | 1326,2     | 1580,7     | 1580,7        | 1387,5        | 311,4      |
| 4596     | 189      | -525      | 473       | 530,2      | 1429,2     | 1695,0     | 1695,0        | 1491,9        | 313,2      |
| 4379     | 153      | -525      | 473       | 547,4      | 1532,2     | 1809,4     | 1809,4        | 1596,3        | 314,9      |
| 4161     | 116      | -525      | 473       | 564,6      | 1635,3     | 1923,7     | 1923,7        | 1700,7        | 316,7      |
| 3943     | 80       | -525      | 473       | 581,8      | 1738,3     | 2038,1     | 2038,1        | 1805,2        | 318,5      |

**Tabulka P. 28 - Výpočet průběhů zatížení trupových nosníků: Kombinace 3**

### Kombinace 4:

| $x$ [mm] | $y$ [mm] | $T_y$ [N] | $T_z$ [N] | $M_x$ [Nm] | $M_y$ [Nm] | $M_z$ [Nm] | $M_{O1}$ [Nm] | $M_{O2}$ [Nm] | $M_K$ [Nm] |
|----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|---------------|---------------|------------|
| 7210     | 625      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 887,4      | 887,4         | 0,0           | 0,0        |
| 6992     | 589      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 1201,7     | 1201,7        | 0,0           | 0,0        |
| 6774     | 552      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 1516,0     | 1516,0        | 0,0           | 0,0        |
| 6557     | 516      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 1830,3     | 1830,3        | 0,0           | 0,0        |
| 6339     | 480      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 2144,6     | 2144,6        | 0,0           | 0,0        |
| 6121     | 443      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 2458,9     | 2458,9        | 0,0           | 0,0        |
| 5903     | 407      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 2773,2     | 2773,2        | 0,0           | 0,0        |
| 5685     | 371      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 3087,4     | 3087,4        | 0,0           | 0,0        |
| 5468     | 334      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 3401,7     | 3401,7        | 0,0           | 0,0        |
| 5250     | 298      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 3716,0     | 3716,0        | 0,0           | 0,0        |
| 5032     | 262      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 4030,3     | 4030,3        | 0,0           | 0,0        |
| 4814     | 225      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 4344,6     | 4344,6        | 0,0           | 0,0        |
| 4596     | 189      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 4658,9     | 4658,9        | 0,0           | 0,0        |
| 4379     | 153      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 4973,2     | 4973,2        | 0,0           | 0,0        |
| 4161     | 116      | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 5287,4     | 5287,4        | 0,0           | 0,0        |
| 3943     | 80       | -1443     | 0         | 0,0        | 0,0        | 5601,7     | 5601,7        | 0,0           | 0,0        |

**Tabulka P. 29 - Výpočet průběhů zatížení trupových nosníků: Kombinace 4**