



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ
Ústav letadlové techniky

MOTOROVÉ LOŽE PRO ULTRALEHKÝ LETOUN

ENGINE MOUNTING FOR A ULTRALIGHT AIRPLANE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Robert Theiner Ph.D.
Zadávací ústav: Ústav letadlové techniky
Vypracoval: Marcel Černý
Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství
Datum: březen 2017



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Černý** Jméno: **Marcel** Osobní číslo: **419841**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav letadlové techniky**
 Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
 Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Motorové lože pro ultralehký letoun

Název bakalářské práce anglicky:

Engine mounting for a ultralight airplane

Pokyny pro vypracování:

Pro vypracování proveďte:

- rešerši používaných motorových loží pro instalaci motoru Rotax 582 na UL letoun
- konstrukční návrh motorového lože pro zavěšení dvoutaktního dvouválcového zážehového motoru Rotax 582UL letoun TL-32 Typhoon
- stanovení zatížení dle příslušného stavebního předpisu LAA ČR (UL-2)
- pevnostní kontrolu hlavních nosných částí lože.

Seznam doporučené literatury:

UL 2 - předpis letové způsobilosti SLZ, ultralehké letouny řízené aerodynamicky, LAA ČR, 2002
 Mikula, J., Konstrukce a projektování letadel II, skripta ČVUT, Praha 2005
 Návod k obsluze motoru Rotax 582, Taveso, 2007
 Installation Manual for Engine Types Rotax 582, Taveso,

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Robert Theiner Ph.D., ústav letadlové techniky FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

,

Datum zadání bakalářské práce: **27.10.2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.01.2017**

Platnost zadání bakalářské práce:

Robert Theiner

Robert Theiner

u Theiner

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

27.10.2016

Datum převzetí zadání

V. 97.

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „ Motorové lože pro ultralehký letoun“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Roberta Theinera Ph.D., a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

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

V Praze dne.....14.3.2017.....

Podpis..........

Marcel Černý

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu této práce Ing. Robertu Theinerovi Ph.D. za pomoc při zpracování mé bakalářské práce, za jeho trpělivost a rady. Dále bych rád poděkoval panu Křížovi za poskytnutí cenných rad a materiálů.

V neposlední řadě patří můj dík všem ostatním, kteří mi s prací pomáhali.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá motorovým ložem pro ultralehký letoun TL 32 Typhoon. Je rozdělena do tří částí. První část se zabývá návrhem konstrukčního řešení motorového lože. Druhá část obsahuje výpočet zatížení dle letového předpisu UL 2 – I. část. Třetí část obsahuje pevnostní kontrolu motorového lože.

Abstract

The thesis deals with engine mounting for the ultralight airplane TL 32 Typhoon. It is divided in three parts. The first part contains the design of the engine mounting. The loading of the mounting as prescribed in UL 2 – I. part is the topic of the second part. The third part follows up the stress analysis.

Klíčová slova

Motorové lože, ultralehký letoun, TL 32 Typhoon, UL 2 – I.část, konstrukční řešení, pevnostní kontrola.

Key words

Engine mounting, ultraligt airplane, TL 32 Typhoon, UL 2 – I. part, constructional solutions, stress analysis.

Seznam obrázků:

obr. 1 - Typhoon	12
obr. 2 – uložení motoru - typ 1	13
obr. 3 – uložení motoru - typ 2	13
obr. 4 – uložení motoru - typ 3	13
obr. 5 – motor ROTAX 582 UL	14
obr. 6 – promítnutí paprsku na motor	16
obr. 7 – promítnutí paprsku na motor	16
obr. 8 - souřadnicový systém v rovině YX	17
obr. 9 - souřadnicový systém v rovině XZ	17
obr. 10 - souřadnicový systém v rovině YZ	17
obr. 11 – motorové lože s motorem – konstrukční návrh	18
obr. 12 – motorové lože bez motoru – konstrukční návrh	18
obr. 13 – schéma zatížení od případů 1, 2 a 4	26
obr. 14 – zatížení od T	27
obr. 15 - zatížení od reakčního momentu	28
obr. 16 - zatížení od F_y	29
obr. 17 – schéma zatížení v případě 3	31
obr. 18 – boční zatížení - reakce	31
obr. 19 – schéma působících sil na páscích	36
obr. 20 – schéma reakcí na páscích	36
obr. 21 – ohybový moment	40
obr. 22 – silentblok Haberkorn	44
obr. 23 – zatížení spodní části konstrukce - síly	45
obr. 24 – zatížení spodní části konstrukce - napětí	45
obr. 25 – zatížení desky	46
obr. 26 – zatížení konzol	47
obr. 27 – zatížení závitových tyčí	48
obr. 28 – zatížení distanční trubičky	48
obr. 29 – zatížení dosedacích podložek	49
obr. 30 – zatížení páteřní trubky	50

Seznam tabulek:

tab. 1 – výkony motoru	14
tab. 2 – hmotnosti	15
tab. 3 – souřadnice těžiště motoru v souřadném systému x_1, y_1, z_1	15
tab. 4 – souřadnice těžiště motoru s vrtulí v souřadném systému x_1, y_1, z_1	16
tab. 5 – součinitel krouticího momentu	19
tab. 6 - tabulka násobků dle C, III, bod 3	20
tab. 7 - provozní zatížení případ 1	21
tab. 8 – provozní zatížení případ 2	22
tab. 9 – hodnoty pro výpočet násobků od poryvu - (Nosek [1])	23
tab. 10 – násobky dle obálky poryvů	24
tab. 11 – zatížení od letových případů	25
tab. 12- tabulka zatížení	25
tab. 13 – rozměry a vzdálenosti	26
tab. 14 – síly a reakce	27
tab. 15 – zatížení od T – reakce	28
tab. 16 – zatížení od M_r – reakce	29
tab. 17 – zatížení od F_y – reakce	30
tab. 18 – použité symboly – boční zatížení	32
tab. 19 – případ 3 - boční zatížení – reakce	32
tab. 20 – případ 1 – kladný násobek	33
tab. 21 – případ 1 – záporný násobek	33
tab. 22 – případ 2 – kladný násobek	33
tab. 23 – případ 2 – záporný násobek	33
tab. 24 – případ 3 – boční zatížení	33
tab. 25 – případ 4 – zatížení v bodě A obálky obrátů	34
tab. 26 – případ 4 – zatížení v bodě B obálky poryvů	34
tab. 27 – případ 4 – zatížení v bodě F obálky poryvů	34
tab. 28 – přehled všech vypočtených reakcí – provozní zatížení	34
tab. 29 – přehled všech vypočtených reakcí – početní zatížení	35
tab. 30 – síly a reakce v páscích nad silentbloky	35
tab. 31 – použité hodnoty – reakce v páscích	37
tab. 32 – přehled výpočtových rovnic – pásky	37
tab. 33 – přehled reakcí v páscích pro případy zatížení – provozní a početní zatížení	38-40
tab. 34 – přehled ohybových momentů	41-42
tab. 35 – maximální hodnoty reakcí E_y, H_y, K_y, L_y	44

Seznam grafů:

graf 1 - obálky násobků od poryvu (Nosek [1])	23
graf 2 - obálka obálek (Nosek [1])	24

Seznam použitých symbolů:

EAS – *Equivalent air speed* – ekvivalentní rychlost

FWD – označení směru letu

kg.m² – kilogram metr čtvereční

kW – kilowat

m.s⁻² – metry za sekundu na druhou

N/mm² – Newton na mm čtvereční

ot/min – otáčky za minutu

SLZ – sportovní létající zařízení

UL 2 – předpis "Požadavky letové způsobilosti *SLZ*, Ultralehké letouny řízené aerodynamicky"

v_A – rychlost letounu v bodě A obálky obrátů

v_D – rychlost letounu v bodě D obálky obrátů

Obsah

1.	Úvod	12
2.	Rešerše	13
3.	Parametry hnací soustavy	14
3.1.	Motor ROTAX 582 UL	14
3.2.	Vrtule WOODCOMP Classic 160/3/L	15
3.3.	Hmotnosti	15
3.4.	Těžiště motoru	15
3.5.	Souřadnicový systém	17
4.	Konstrukční návrh motorového lože	18
5.	Zatížení motorového lože	19
5.1.	Zatížení podle UL 2 – I.část	19
5.1.1.	Případ zatížení č. 1	20
5.1.2.	Případ zatížení č. 2	21
5.1.3.	Případ zatížení č. 3 – boční zatížení	22
5.1.4.	Případ zatížení č. 4 – od letových případů	22
6.	Výpočty reakcí na podporách A, B, C, D	26
6.1.	Výpočet reakcí pro případ 1, 2 a 4	26
6.1.1.	Zatížení od T	27
6.1.2.	Zatížení od Mr	28
6.1.3.	Zatížení od Fy	29
6.2.	Výpočet reakcí v případě 3 – boční zatížení	31
6.3.	Přehled všech vypočtených reakcí na podporách A, B, C, D	33
7.	Reakce v páscích	36
7.1.	Reakce	36
7.2.	Ohybové momenty v páscích	40
8.	Dimenzování a pevnostní kontroly	43
8.1.	Pásy	43
8.2.	Silentbloky	44
8.3.	Spodní část lože	45
8.3.1.	Deska	46
8.3.2.	Konzoly	47
8.3.3.	Závitové tyče	48
8.3.4.	Distanční trubička	48
8.3.5.	Podložky dosedací	49

8.3.6. Pátevní trubka	50
9. Závěr.....	51
10. Zdroje	52

1. Úvod

Ultralehký letoun TL 32 Typhoon je výrobkem české firmy TL Ultralight, která byla založena roku 1989 Jiřím Tlustým. Prvním letounem bylo rogalo poháněné motorem. Tyto zkušenosti majitel později využil i při konstrukci TL 32 Typhoon.

TL 32 Typhoon je vzpěrový dvoumístný hornoplošník se sedadly vedle sebe poháněný dvoutaktním dvouválcovým motorem ROTAX 582 UL DCDI s výkonem 48 kW při 6500 otáčkách za minutu. Podvozek je pevný, trojkolový. Ocasní plochy jsou deskového typu klasického uspořádání.

Tato práce navazuje na předchozí projekty, které probíhaly na Ústavu letadlové techniky. Byly jimi konstrukce nového křídla a celková rekonstrukce letounu. V současné době je letoun uskladněn v prostorách Ústavu na Karlově náměstí.

Cílem této práce je návrh konstrukčního řešení motorového lože a jeho pevnostní kontrola. Výsledkem by měl být funkční model, který bude vyhovovat požadavkům předpisu UL 2 tak, aby motor mohl být upevněn na konstrukci letounu.



obr. 1 - Typhoon

2. Rešerše

Letoun pohání dvoutaktní dvouválcový motor ROTAX 582 UL, který se upevňuje na 4 šrouby M10.

Dle dostupných informací existují 3 typy uložení motoru.

Typ 1: Na obrázku 2 můžeme vidět uložení na samostatné rámové konstrukci.

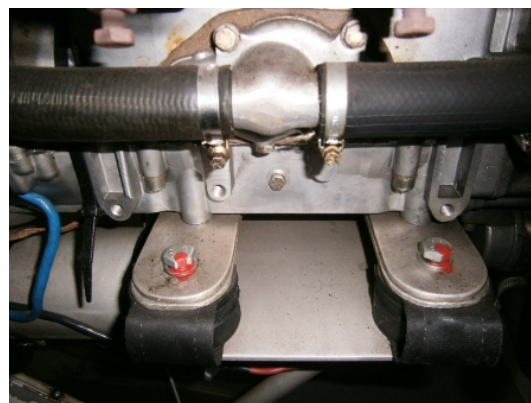


obr. 2 – uložení motoru - typ 1

Typ 2: Upevnění motoru na samostatné konstrukci a hliníkové desce (obr. 3).



obr. 3 – uložení motoru - typ 2

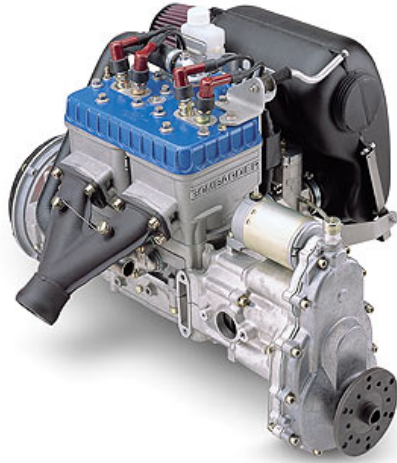


obr. 4 – uložení motoru - typ 3

Typ 3: Nejčastější řešení. Motor je upevněn na hliníkových páscích spojených 4 silentbloky s hliníkovou deskou, která je připevněna na páteřní trubku. (obr. 4)

3. Parametry hnací soustavy

3.1. Motor ROTAX 582 UL



obr. 5 – motor ROTAX 582 UL

Parametry motoru ROTAX 582 UL :

$P_{max} = 48 \text{ kW}$	maximální výkon motoru
$n_{Pmax} = 6000 \text{ ot/min}$	při otáčkách
$M_{kmax} = 75 \text{ Nm}$	maximální krouticí moment
$n_{Mkmax} = 6500 \text{ ot/min}$	při otáčkách
$n_{max} = 6800 \text{ ot/min}$	maximální otáčky
$i_{red} = 2,58$	převodový poměr reduktoru
$\eta_{vrt} = 0,82$	účinnost vrtule

	VÝKON [kW]	KROUTICÍ MOMENT [N.m]	OTÁČKY [1/min]
vzletový výkon	48	70,5	6000
max.trvalý výkon	47,1	75	6500

tab. 1 – výkony motoru

3.2. Vrtule WOODCOMP Klassic 160/3/L

průměr vrtule je 1600 mm (63“)

levotočivá, třílistá

max. povolené otáčky = 2700 ot/min

$m_v = 3,8 \text{ kg}$ – hmotnost vrtule

$I_v = 0,27 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ – moment setrvačnosti vrtule

3.3. Hmotnosti

	HMOTNOSTI [kg]
motor bez provozních kapalin	38
výfuk	1,5
chladič	1,5
chladicí kapalina	5
vrtule	3,8
celkem	49,8

tab. 2 - hmotnosti

celková hmotnost motoru s příslušenstvím $m = 49,8 \text{ kg}$ (tabulka hmotností z Noska [1])

3.4. Těžiště motoru

Pro výpočty bylo nutné zjistit polohu těžiště motoru. Motor byl suchý, bez chladiče a výfuku. Motor byl zavěšen pomocí ocelového lanka na závěsné body. Nivelačním digitálním přístrojem BOSCH GLL 3-80P byla na motor promítnuta čára, která se kryla s lanky a zachycena na fotografii (obr. 6 a 7). Proces zahrnoval trojí různé zavěšení a fotografie z obou stran motoru tak, aby bylo možné identifikovat body na modelu motoru v Invertoru 2015, které by určily roviny vedoucí těžištěm. Trojí zavěšení poskytlo 3 roviny, které se protnuly v těžišti.

$x_m [mm]$	84
$y_m [mm]$	130
$z_m [mm]$	39

tab. 3 – souřadnice těžiště motoru v souřadném systému x_1, y_1, z_1

Souřadnice těžiště motoru byly následně přepočteny na souřadnice těžiště motoru s vrtulí (tab. 4), které pak byly použity k výpočtům.

$x_t [mm]$	59
$y_t [mm]$	120
$z_t [mm]$	40

tab. 4 – souřadnice těžiště motoru s vrtulí v souřadném systému x_1, y_1, z_1

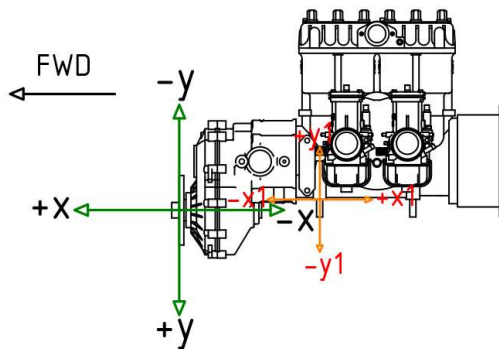


obr. 6 – promítnutí paprsku na motor

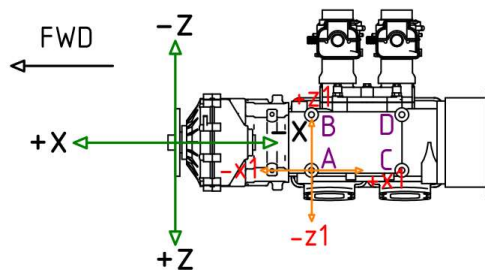


obr. 7 – promítnutí paprsku na motor

3.5. Souřadnicový systém

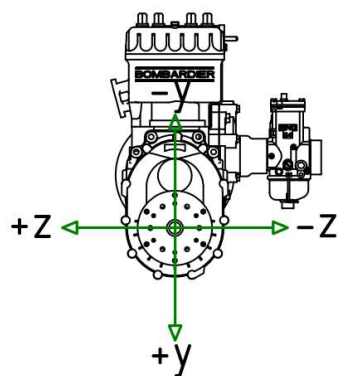


obr. 8 - souřadnicový systém v rovině YX



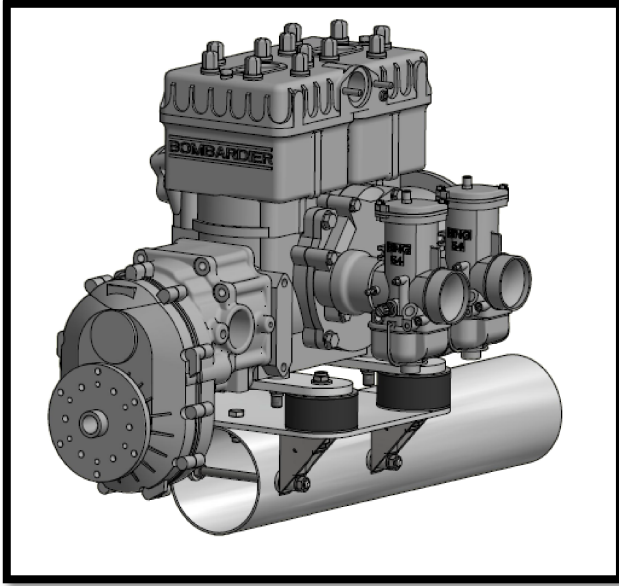
obr. 9 - souřadnicový systém v rovině XZ

A, B, C, D – jsou podpory, na kterých se počítají reakce

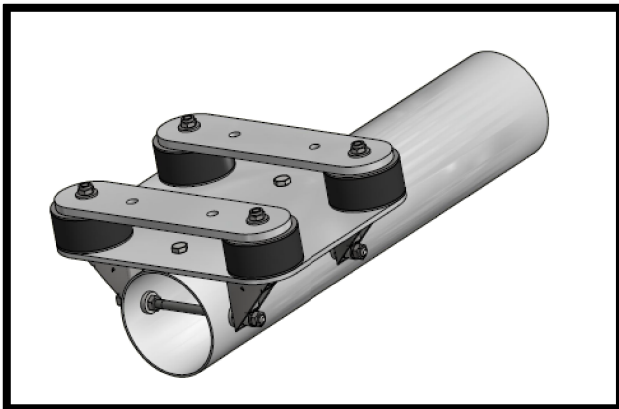


obr. 10 - souřadnicový systém v rovině YZ

4. Konstrukční návrh motorového lože



obr. 11 – motorové lože s motorem – konstrukční návrh



obr. 12 – motorové lože bez motoru – konstrukční návrh

Realizovaný konstrukční návrh vychází z principu řešení typu 3 (obr. 11 a obr. 12). Motor je připevněn 4 šrouby k páskům z lehké slitiny, které jsou připojeny silentbloky k desce ze stejného materiálu. Ta je přišroubována 2 šrouby k páteřní trubce a je podepřena 4 konzolami. Ty jsou rozepřeny 2 závitovými tyčemi, které brání namáhání páteřní trubky. Aby nedocházelo k deformaci trubky v místech šroubových spojů, jsou použity podložky jednostranně zakulacené podle poloměru trubky.

5. Zatížení motorového lože

Zatížení motorového lože je obecně závislé na těchto parametrech:

1. Tahu vrtule.
2. Krouticím momentu motoru, respektive reakčním momentu od vrtule.
3. Hmotnosti motoru, vrtule a samotného motorového lože.
4. Gyroskopickém momentu, který vzniká obraty letadla za letu.
5. Aerodynamických silách.
6. Z definice zatížení motorového lože.

5.1. Zatížení podle UL 2 – I.část

Předpis UL 2 – I.část definuje požadavky na letovou způsobilost SLZ ultralehkých letounů řízených aerodynamicky. Zatížení motorového lože definuje **kapitola C, III, bod 6**.

- a) Motorové lože a jeho zatížení musí být navrženo na následující případy zatížení.
 - 1) Zatížení provozním krouticím momentem od motoru, které odpovídá **vzletovému výkonu** a příslušným otáčkám vrtule, který působí spolu s **75% provozního zatížení** podle provozních podmínek v bodě **A**, viz ustanovení kapitoly C, III, bod 1.
 - 2) Zatížení provozním krouticím momentem od motoru, které odpovídá **maximálnímu trvalému výkonu** a příslušným otáčkám vrtule, který působí spolu s **provozním zatížením** podle provozních podmínek v bodě **A**, viz ustanovení kapitoly C, III, bod 1.
- b) Pro konvenční pístové motory s přímým pohonem vrtule se provozní krouticí moment od motoru, který se používá ve výše uvedeném bodu (a), vypočteme tak, že násobíme střední krouticí moment příslušným součinitelem podle tabulky:

	Dvoutaktní motor	Čtyřtaktní motor
1 válec	4	8
2 válce	3	4
3 válce	2,5	3
4 válce	1,5	2
5 a více válců	1,33	1,33

tab. 5 – součinitel krouticího momentu

Boční zatížení motorového lože definuje následující kapitola **C, III, bod 7**.

Motorové lože a konstrukce, na níž je zavěšeno, musí být navrženy na provozní obratový násobek zatížení v bočním směru ne menším, než 1/3 provozního obratu násobku pro případ **A** obálky obrátů, tj. 1/3 n_1 dle C, III, bod 3.

n1	+4
n2	+4
n3	-1,5
n4	-2

tab. 6 - tabulka násobků dle C, III, bod 3

$k = 3$ motor ROTAX 582 je dvoutaktní dvouválec, součinitel

$n_1 = +4$ maximální kladný násobek

$n_4 = -2$ maximální záporný násobek

5.1.1. Případ zatížení č. 1

Zatížení provozním krouticím momentem od motoru, které odpovídá **vzletovému výkonu** a příslušným otáčkám vrtule, který působí spolu s **75% provozního zatížení** podle provozních podmínek v bodě **A**, viz ustanovení kapitoly C,III,bod 1.

$P_1 = 48 \text{ kW}$ – vzletový výkon

$$n_{p1} = 6500 \frac{ot}{min} = 108,3 \frac{ot}{s} \text{ – otáčky při vzletovém výkonu} \quad (1)$$

$$M_{kp1} = \frac{P_1}{2 * \pi * n_{p1}} = \frac{48000}{2 * \pi * 108,3} = 70,5 \text{ N.m} \text{ – krouticí moment při vzlet. výkonu} \quad (2)$$

$v_A = 38,6 \frac{m}{s}$ – návrhová rychlost obratu (Nosek [1])

$g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ – gravitační zrychlení

velikosti zatížení od násobků:

$$F_{1y+} = 0,75 * n_1 * m * g = 0,75 * 4 * 49,8 * 9,81 = 1465,6 \text{ N} \quad (3)$$

$$F_{1y-} = 0,75 * n_4 * m * g = 0,75 * (-2) * 49,8 * 9,81 = -732,8 \text{ N} \quad (4)$$

velikost tahové síly od vrtule:

$$T_1 = \frac{P_1}{v_A} * \eta_{vrt} = \frac{48000}{38,6} * 0,82 = 1019,4 \text{ N} \quad (5)$$

reakční moment od vrtule:

$$M_{r1} = k * i_{red} * M_{kp1} = 3 * 2,58 * 70,5 = 545,7 \text{ N.m} \quad (6)$$

$F_{1y+} [N]$		$F_{1y-} [N]$		$T_1 [N]$		$M_{r1} [N.m]$	
1465,6	(3)	-732,8	(4)	1019,4	(5)	545,7	(6)

tab. 7 - provozní zatížení případ 1

5.1.2. Případ zatížení č. 2

Zatížení provozním krouticím momentem od motoru, které odpovídá **maximálnímu trvalému výkonu** a příslušným otáčkám vrtule, který působí spolu s **provozním zatížením** podle provozních podmínek v bodě **A**, viz ustanovení kapitoly C, III, bod 1.

$$P_2 = M_{kmax} * 2 * \pi * n_{p2} = 75 * 2 * \pi * 100 = 47,1 \text{ kW} - \text{max. trvalý výkon} \quad (7)$$

$$n_{p2} = 6000 \frac{ot}{min} = 100 \frac{ot}{s} - \text{otáčky při max. trvalém výkonu}$$

$$M_{kp1} = M_{kmax} = 75 \text{ N.m} - \text{kroutící moment při max. trvalém výkonu}$$

velikosti zatížení od násobků:

$$F_{2y+} = n_1 * m * g = 4 * 49,8 * 9,8 = 1954,2 \text{ N} \quad (8)$$

$$F_{2y-} = n_4 * m * g = (-2) * 49,8 * 9,81 = -977,1 \text{ N} \quad (9)$$

velikost tahové síly od vrtule:

$$T_2 = \frac{P_2}{v_A} * \eta_{vrt} = \frac{47100}{38,6} * 0,82 = 1000,6 \text{ N} \quad (10)$$

reakční moment od vrtule:

$$M_{r2} = k * i_{red} * M_{kmax} = 3 * 2,58 * 75 = 580,5 \text{ N.m} \quad (11)$$

$F_{2y+} [N]$		$F_{2y-} [N]$		$T_2 [N]$		$M_{r2} [N \cdot m]$	
1954,2	(8)	-977,1	(9)	1000,6	(10)	580,5	(11)

tab. 8 – provozní zatížení případ 2

5.1.3. Případ zatížení č. 3 – boční zatížení

Motorové lože a konstrukce, na níž je zavěšeno, musí být navrženy na provozní obratový násobek zatížení v bočním směru ne menším, než 1/3 provozního obratu násobku pro případ **A** obálky obrátů, tj. 1/3 n_1 dle C, III, bod 3.

velikost bočního zatížení:

$$F_z = \frac{1}{3} * n_1 * m * g = \frac{1}{3} * 4 * 49,8 * 9,81 = 651,4 N \quad (12)$$

První 3 případy zatížení plynuly z předpisu UL 2. Následující případy vyplývají z dalších možných zatížení uvedených v kapitole 4.

5.1.4. Případ zatížení č. 4 – od letových případů

Na motorové lože letounu mohou za letu současně působit:

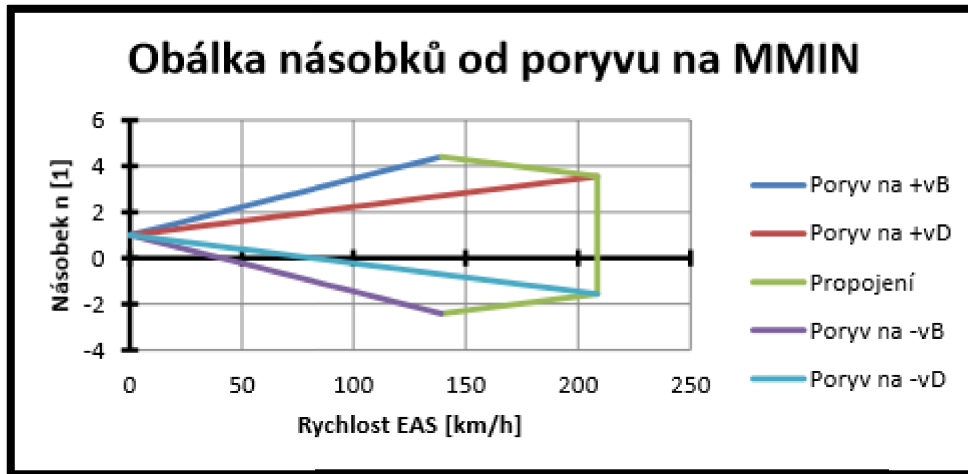
1. tah
2. reakční moment
3. gyroskopické momenty
4. setrvačné síly vzniklé při rotačních a translačních pohybech letounu

Poryvová obálka:

Vztlakové klapky jsou v cestovní poloze.

1. Při návrhové rychlosti v_A musí být UL - letoun schopen snést kladný poryv (nahoru) i záporný poryv (dolů) do velikosti 15 m/s , který působí kolmo na dráhu letu.
2. Při návrhové rychlosti v_D musí být UL - letoun schopen snést kladný poryv (nahoru) i záporný poryv (dolů) do velikosti 7,5 m/s , který působí kolmo na dráhu letu.

Pro výpočet max. a min. násobku použiju minimální vzletovou hmotnost, neboť poskytne vyšší hodnoty než maximální hmotnost dle UL 2.



graf 1- Obálky násobků od poryvu (Nosek [1])

výpočet násobku při poryvu:

Pokud není k dispozici přesnější, skutečným podmínkám odpovídající výpočet, musí se poryvové násobky počítat následujícím způsobem (UL 2, C, III, bod 4):

$$n = 1 \pm \frac{0,5 * k * \rho_0 * V * a * U}{m_{min} * g / S} - \text{násobek } v \text{ poryvu} \quad (13)$$

$$k = \frac{0,88 * \mu}{5,3 + \mu} = \frac{0,88 * 7,3}{5,3 + 7,3} = 0,51 - \text{zmírňující součinitel} \quad (14)$$

$$\mu = \frac{2 * m_{min} / S}{\rho_0 * b * a} = \frac{2 * 137,6 / 11,53}{1,225 * 1,21 * 4,74} = 7,3 - \text{relativní hmotnostní poměr} \quad (15)$$

	pro v_A	pro v_D	
ρ_0	1,225	1,225	hustota vzduchu [kg/m^3]
V	38,6	58	rychlost letu [m/s]
a	4,74	4,74	sklon křivky vztlaku křídla [rad^{-1}]
U	15	7,5	rychlost poryvu [m/s]
m_{min}	296,3	296,3	minimální vzletová hmotnost letounu [kg]
g	9,81	9,81	gravitační zrychlení [m/s^2]
S	11,53	11,53	plocha křídla [m^2]
b	1,21	1,21	střední geometrická tětva [m]

tab. 9 – hodnoty pro výpočet násobků od poryvu - (Nosek [1])

	max. násobek	min. násobek
<i>pro v_A</i>	+4,4	-2,4
<i>pro v_D</i>	+3,6	-1,6

tab. 10 – násobky dle obálky poryvů

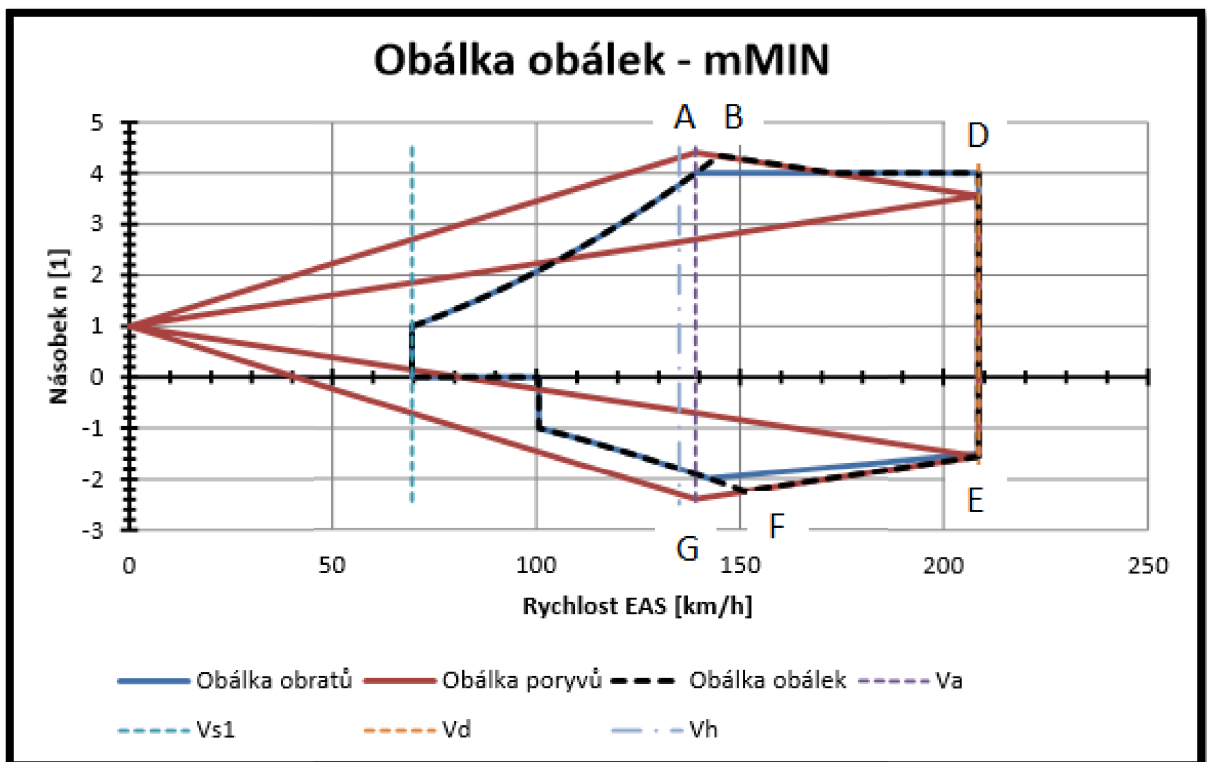
Hodnoty násobků v poryvu nelze dosáhnout na rychlosti v_A , ale až na rychlosti v_B pro kladný násobek a rychlosti v_F pro záporný (hodnoty z Noska [1])

$$v_B = 145 \frac{km}{h} = 40,3 \frac{m}{s} - \text{rychlost v bodě B obálky obálek}$$

$$n_{vB} = 4,38 - \text{násobek v bodě B obálky obálek}$$

$$v_F = \frac{152km}{h} = \frac{42,2m}{s} - \text{rychlost v bodě F obálky obálek}$$

$$n_{vF} = -2,38 - \text{násobek v bodě F obálky obálek}$$



graf 2 – obálka obálek (Nosek [1])

velikosti zatížení od násobků:

$$F_{4yB} = n_{vB} * m * g = 4,38 * 49,8 * 9,81 = 2139,8 \text{ N} \quad (16)$$

$$F_{4yF} = n_{vF} * m * g = (-2,38) * 49,8 * 9,81 = -1162,7 \text{ N} \quad (17)$$

$$F_{4yD} = n_{vD} * m * g = 3,6 * 49,8 * 9,81 = 1758,7 \text{ N} \quad (18)$$

$$F_{4yE} = n_{vE} * m * g = (-1,6) * 49,8 * 9,81 = -781,7 \text{ N} \quad (19)$$

tahová síla od vrtule:

$$T_{4B} = \frac{P_{max}}{v_B} * \eta_{vrt} = \frac{48000}{40,3} * 0,82 = 976,7 \text{ N} \quad (20)$$

$$T_{4F} = \frac{P_{max}}{v_F} * \eta_{vrt} = \frac{48000}{42,2} * 0,82 = 932,7 \text{ N} \quad (21)$$

$$T_{4D} = \frac{P_{max}}{v_D} * \eta_{vrt} = \frac{48000}{58} * 0,82 = 678,6 \text{ N} \quad (22)$$

$$T_{4G} = \frac{P_{max}}{v_G} * \eta_{vrt} = \frac{48000}{39,5} * 0,82 = 996,5 \text{ N} \quad (23)$$

bod obálky	rychlost v [m/s]	násobek n_v	síla F_{4y} [N]		tah T_4 [N]		reak. moment M_r [N.m]	
A	38,6	+4	1954,2	(8)	1019,4	(5)	580,5	(11)
B	40,3	+4,38	2139,8	(16)	976,7	(20)	580,5	(11)
D	58	+4	1954,2	(8)	678,6	(22)	580,5	(11)
E	58	-1,6	-781,7	(19)	678,6	(22)	580,5	(11)
F	42,2	-2,38	-1162,7	(17)	932,7	(21)	580,5	(11)
G	39,5	-2	-977,1	(9)	996,5	(23)	580,5	(11)

tab. 11 – zatížení od letových případů

Pro další výpočty budou z tabulky 11 použity hodnoty pro body A, B a F. Ostatní případy mají nižší hodnoty zatížení.

případy zatížení	1	2	3	4		
				A	B	F
F_{y+} [N]	1465,6	1954,2		1954,2	2139,8	
F_{y-} [N]	-732,8	-977,1				-1162,7
T [N]	1019,4	1000,6		1019,4	976,7	932,7
M_r [N.m]	545,7	580,5		580,5	580,5	580,5
F_z [N]			651,4			

tab. 12- tabulka zatížení

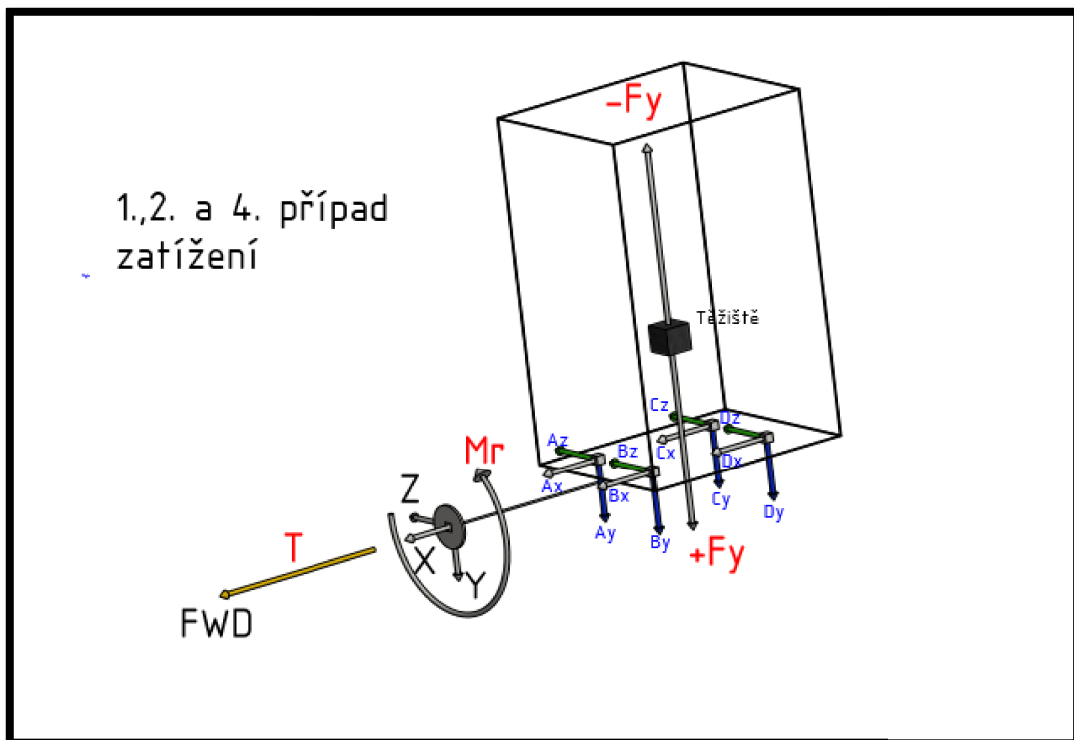
6. Výpočty reakcí na podporách A, B, C, D

$x_t[mm]$	59	vzdálenost těžiště od podpěry A v ose x1
$y_t[mm]$	120	vzdálenost těžiště od podpěry A v ose y1
$z_t[mm]$	40	vzdálenost těžiště od podpěry A v ose z1
$x_v[mm]$	322	vzdálenost vrtule od těžiště v ose x
$y_v[mm]$	5	vzdálenost podpěry A od vrtule v ose y
$z_v[mm]$	47	vzdálenost podpěry A od vrtule v ose z
$L_2[mm]$	153	rozteč šroubů A-C a B-D (směr x)
$L_4[mm]$	94	rozteč šroubů A-B a C-D (směr z)

tab. 13 – rozměry a vzdálenosti

6.1. Výpočet reakcí pro případ 1, 2 a 4

V případech 1, 2 a 4 působí stejné typy zatížení a pro výpočty budou použita stejná schémata.

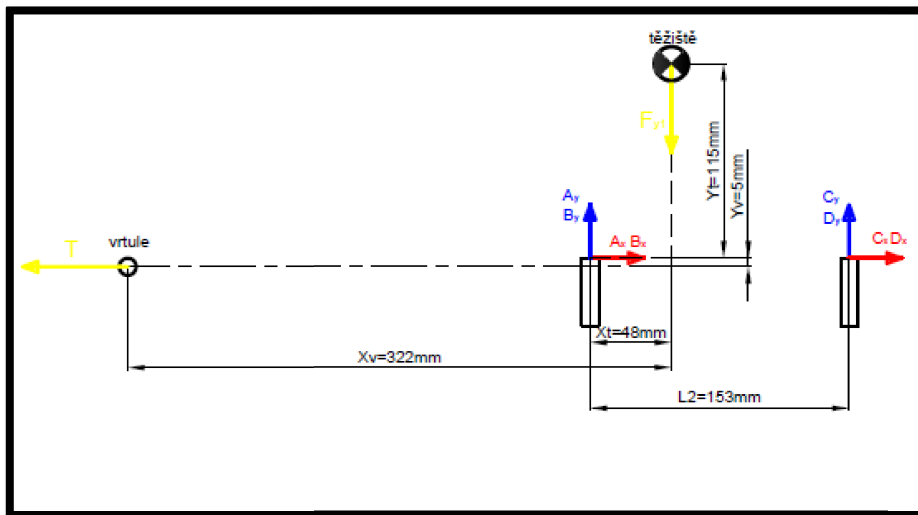


obr. 13 – schéma zatížení od případů 1, 2 a 4

A_x, B_x, C_x, D_x [N]	reakce na podporách A, B, C, D ve směru X
A_y, B_y, C_y, D_y [N]	reakce na podporách A, B, C, D ve směru Y
A_z, B_z, C_z, D_z [N]	reakce na podporách A, B, C, D ve směru Z
T [N]	tahová síla od vrtule
M_r [N.m]	reakční moment od vrtule
F_y [N]	zatížení od násobků ve směru Y
F_z [N]	boční zatížení

tab. 14 – síly a reakce

6.1.1. Zatížení od T



obr. 14 – zatížení od T

statické rovnice:

$$1: A_x + B_x + C_x + D_x + T = 0 \quad (24)$$

$$2: A_y + B_y + C_y + D_y = 0 \quad (25)$$

$$3: -(C_y + D_y) * L_2 - T * y_v = 0 \quad (26)$$

z rovnice 1 :

$$A_x = B_x = C_x = D_x = -\frac{T}{4} = -\frac{1019,4}{4} = -254,9 \text{ N} \quad (27)$$

z rovnice 3:

$$C_y + D_y = -\frac{T * y_v}{L_2}$$

$$C_y = D_y = -\frac{T * y_v}{2 * L_2} = -\frac{1019,4 * 0,005}{2 * 0,153} = -16,7 \text{ N} \quad (28)$$

z rovnice 2:

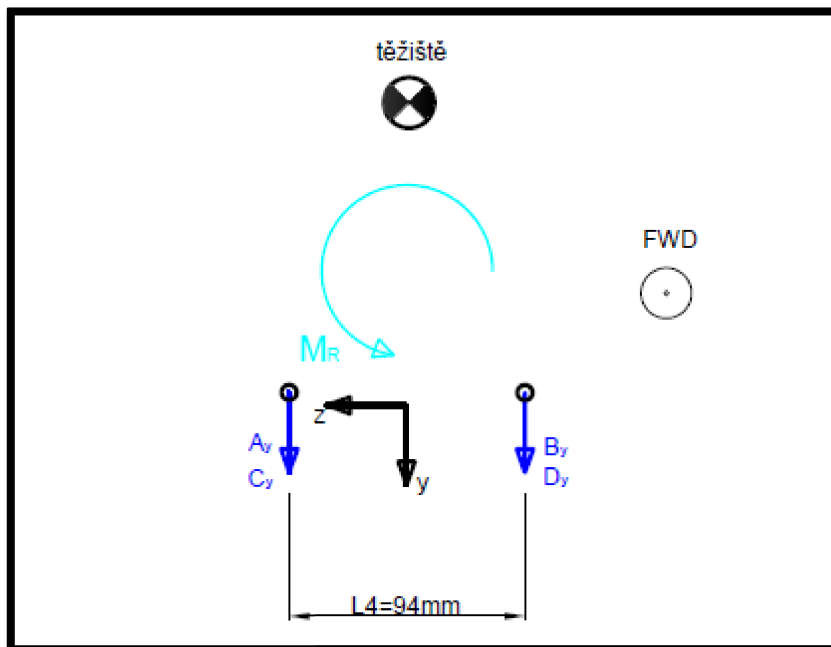
$$A_y + B_y = -C_y - D_y$$

$$A_y = B_y = \frac{T * y_v}{2 * L_2} = \frac{1019,4 * 0,005}{2 * 0,153} = 16,7 \text{ N} \quad (29)$$

případ	T [N]	A_x [N] (27)	B_x [N] (27)	C_x [N] (27)	D_x [N] (27)	A_y [N] (29)	B_y [N] (29)	C_y [N] (28)	D_y [N] (28)
1	1019,4	-254,9	-254,9	-254,9	-254,9	16,7	16,7	-16,7	-16,7
2	1000,6	-250,2	-250,2	-250,2	-250,2	16,4	16,4	-16,4	-16,4
4 - A	1019,4	-254,9	-254,9	-254,9	-254,9	16,7	16,7	-16,7	-16,7
4 - B	976,7	-244,2	-244,2	-244,2	-244,2	16,0	16,0	-16,0	-16,0
4 - F	932,7	-233,2	-233,2	-233,2	-233,2	15,2	15,2	-15,2	-15,2

tab. 15 – zatížení od T - reakce

6.1.2. Zatížení od M_r



obr. 15 - zatížení od reakčního momentu

statické rovnice :

$$1: (B_y + D_y) * L_4 - M_r = 0 \quad (30)$$

$$B_y + D_y = \frac{M_r}{L_4}$$

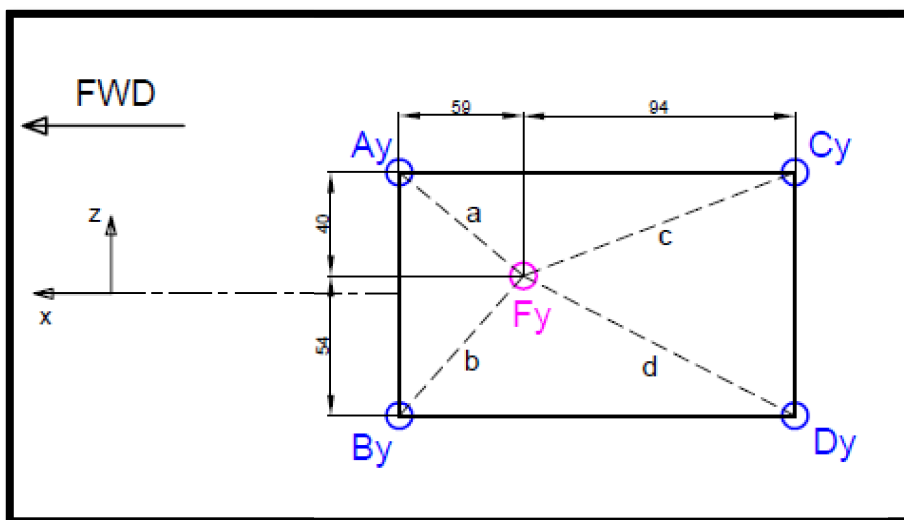
$$B_y = D_y = \frac{M_r}{2 * L_4} = \frac{545,7}{2 * 0,094} = 2902,7 \text{ N} \quad (31)$$

$$A_y = C_y = -\frac{M_r}{2 * L_4} = -\frac{545,7}{2 * 0,094} = -2902,7 \text{ N} \quad (32)$$

případ	$M_r [N \cdot m]$	$A_y [N]$ (32)	$B_y [N]$ (31)	$C_y [N]$ (32)	$D_y [N]$ (31)
1	545,7	-2902,7	2902,7	-2902,7	2902,7
2	580,5	-3087,8	3087,8	-3087,8	3087,8
4 - A	580,5	-3087,8	3087,8	-3087,8	3087,8
4 - B	580,5	-3087,8	3087,8	-3087,8	3087,8
4 - F	580,5	-3087,8	3087,8	-3087,8	3087,8

tab. 16 – zatížení od M_r - reakce

6.1.3. Zatížení od F_y

obr. 16 - zatížení od F_y

Nejprve budou spočítána ramena a , b , c , d a síla F_y rozdělena mezi reakce v poměru velikostí ramen.

$$a = \sqrt{40^2 + 59^2} = 71,3 \text{ mm} \quad (33)$$

$$b = \sqrt{54^2 + 59^2} = 80,0 \text{ mm} \quad (34)$$

$$c = \sqrt{40^2 + 94^2} = 102,2 \text{ mm} \quad (35)$$

$$d = \sqrt{94^2 + 54^2} = 108,4 \text{ mm} \quad (36)$$

$$a + b + c + d = 361,8 \text{ mm} \quad (37)$$

statické rovnice:

$$A_y + B_y + C_y + D_y + F_y = 0$$

$$A_y = -\frac{a}{a + b + c + d} * F_y = -\frac{71,3}{361,8} * F_y = -0,197 * F_y = -0,197 * 1465,6 = -287,0 \text{ N} \quad (38)$$

$$B_y = -\frac{b}{a + b + c + d} * F_y = -\frac{80,0}{361,8} * F_y = -0,221 * F_y = -0,221 * 1465,6 = -322,0 \text{ N} \quad (39)$$

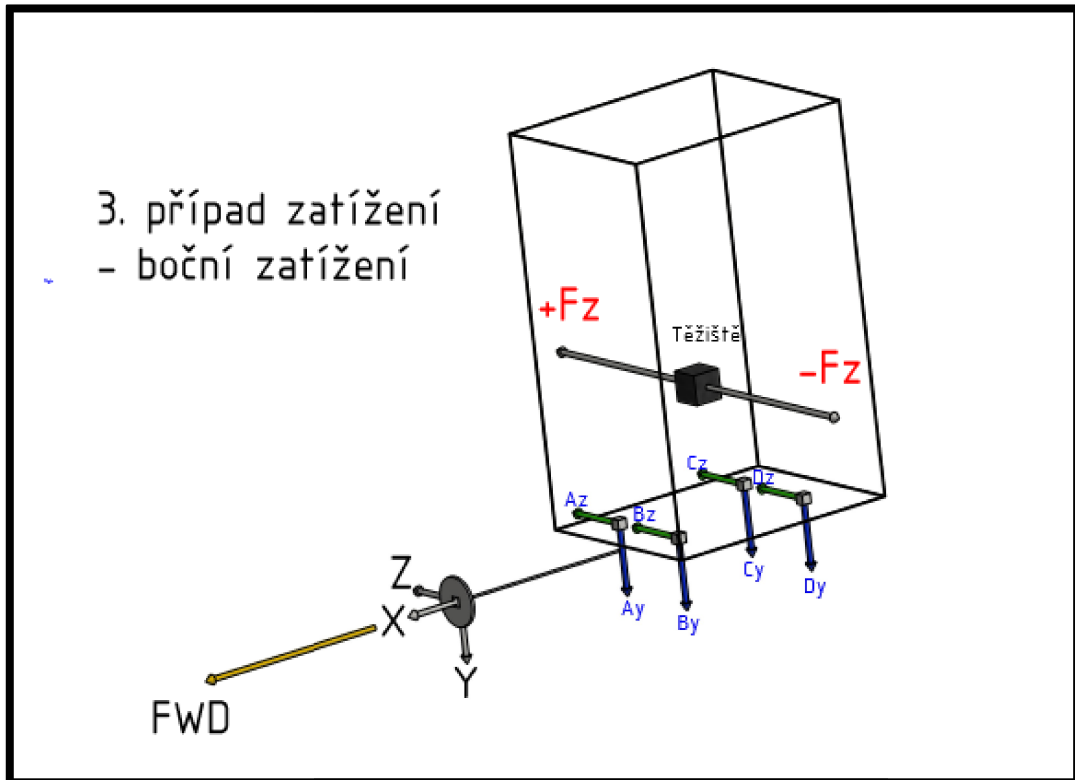
$$C_y = -\frac{c}{a + b + c + d} * F_y = -\frac{102,2}{361,8} * F_y = -0,282 * F_y = -0,282 * 1465,6 = -411,3 \text{ N} \quad (40)$$

$$D_y = -\frac{d}{a + b + c + d} * F_y = -\frac{108,4}{361,8} * F_y = -0,300 * F_y = -0,300 * 1465,6 = -463,4 \text{ N} \quad (41)$$

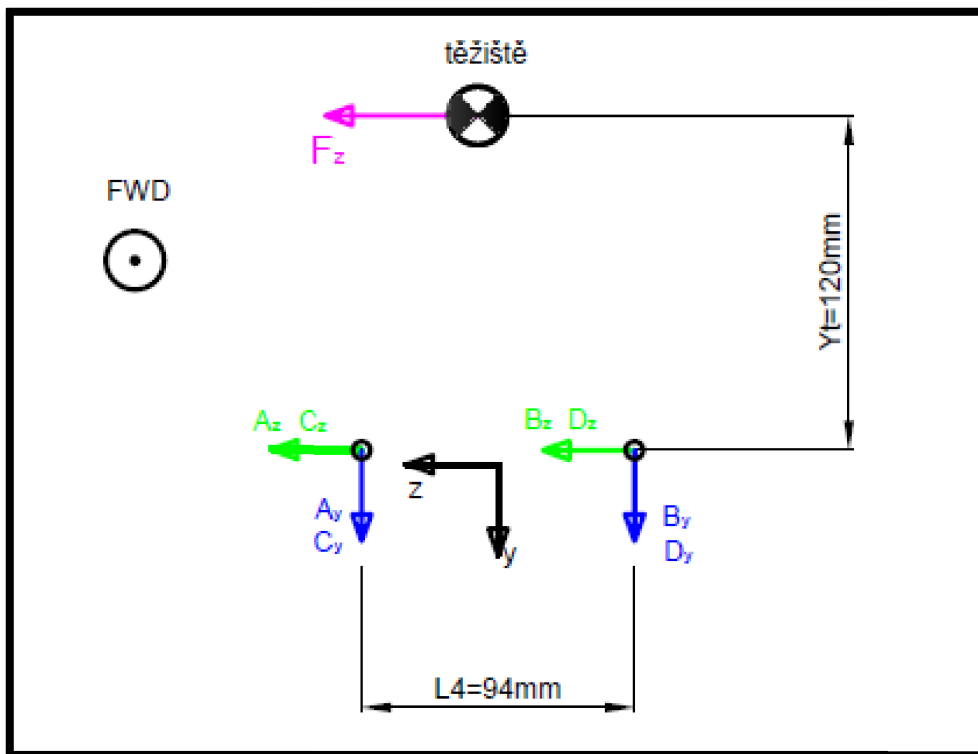
případ	F_y [N]	A_y [N] (38)	B_y [N] (39)	C_y [N] (40)	D_y [N] (41)
1	1465,6	-287,0	-322,0	-411,3	-463,4
	-732,8	144,4	162,0	206,9	219,6
2	1954,2	-385,0	-432,0	-551,7	-585,5
	-977,1	192,5	216,0	275,9	292,7
4 - A	1954,2	-385,0	-432,0	-551,7	-585,5
4 - B	2139,8	-421,5	-473,0	-604,1	-641,1
4 - F	-1162,7	229,1	257,0	328,3	348,4

tab. 17 – zatížení od F_y – reakce

6.2. Výpočet reakcí v případě 3 – boční zatížení



obr. 17 – schéma zatížení v případě 3



obr. 18 – boční zatížení – reakce

$F_z [N]$	$\pm 651,4$
$y_t [mm]$	120
$L_4 [mm]$	94

tab.18 – použité symboly – boční zatížení

statické rovnice:

$$1: A_z + B_z + C_z + D_z \pm F_z = 0 \quad (42)$$

$$2: A_y + B_y + C_y + D_y = 0 \quad (43)$$

$$3: (B_y + D_y) * L_4 \pm F_z * y_t = 0 \quad (44)$$

Síla F_z působí v obou směrech, reakce se budou měnit jen ve znaménku.

z rovnice 3:

$$B_y + D_y = \frac{F_z * y_t}{L_4}$$

$$B_y = D_y = \frac{F_z * y_t}{2 * L_4} = \frac{\pm 651,4 * 0,120}{2 * 0,094} = \pm 415,8 \text{ N} \quad (45)$$

z rovnice 2:

$$A_y + C_y = -B_y - D_y$$

$$A_y + C_y = -\frac{F_z * y_t}{2 * L_4} = -\frac{\pm 651,4 * 0,120}{2 * 0,094} = \pm 415,8 \text{ N} \quad (46)$$

z rovnice 1:

$$A_z = B_z = C_z = D_z = \frac{\pm F_z}{4} = \frac{\pm 651,4}{4} = \pm 162,9 \text{ N} \quad (47)$$

případ 3	$A_y [N]$ (46)	$B_y [N]$ (45)	$C_y [N]$ (46)	$D_y [N]$ (45)	$A_z [N]$ (47)	$B_z [N]$ (47)	$C_z [N]$ (47)	$D_z [N]$ (47)
$+F_z [N]$	-415,8	415,8	-415,8	415,8	-162,9	-162,9	-162,9	-162,9
$-F_z [N]$	415,8	-415,8	415,8	-415,8	162,9	162,9	162,9	162,9

tab. 19 – případ 3 - boční zatížení – reakce

6.3. Přehled všech vypočtených reakcí na podporách A, B, C, D

případ 1+	A_x [N]	B_x [N]	C_x [N]	D_x [N]	A_y [N]	B_y [N]	C_y [N]	D_y [N]
od T	-254,9	-254,9	-254,9	-254,9	16,7	16,7	-16,7	-16,7
od M_r	–	–	–	–	-2902,7	2902,7	-2902,7	2902,7
od F_y	–	–	–	–	-287,0	-322,0	-411,3	-463,4
suma	-254,9	-254,9	-254,9	-254,9	-3173,0	2597,4	-3330,6	2449,6

tab. 20 – případ 1 – kladný násobek

případ 1-	A_x [N]	B_x [N]	C_x [N]	D_x [N]	A_y [N]	B_y [N]	C_y [N]	D_y [N]
od T	-254,9	-254,9	-254,9	-254,9	16,7	16,7	-16,7	-16,7
od M_r	–	–	–	–	-2902,7	2902,7	-2902,7	2902,7
od F_y	–	–	–	–	144,4	162,0	206,9	219,6
suma	-254,9	-254,9	-254,9	-254,9	-2741,6	3081,4	-2712,5	3105,6

tab. 21 – případ 1 – záporný násobek

případ 2+	A_x [N]	B_x [N]	C_x [N]	D_x [N]	A_y [N]	B_y [N]	C_y [N]	D_y [N]
od T	-250,2	-250,2	-250,2	-250,2	16,4	16,4	-16,4	-16,4
od M_r	–	–	–	–	-3087,8	3087,8	-3087,8	3087,8
od F_y	–	–	–	–	-385,0	-432,0	-551,7	-585,5
suma	-250,2	-250,2	-250,2	-250,2	-3456,4	2672,1	-3655,8	2486,0

tab. 22 – případ 2 – kladný násobek

případ 2-	A_x [N]	B_x [N]	C_x [N]	D_x [N]	A_y [N]	B_y [N]	C_y [N]	D_y [N]
od T	-250,2	-250,2	-250,2	-250,2	16,4	16,4	-16,4	-16,4
od M_r	–	–	–	–	-3087,8	3087,8	-3087,8	3087,8
od F_y	–	–	–	–	192,5	216,0	275,9	292,7
suma	-250,2	-250,2	-250,2	-250,2	-2879,0	3320,1	-2828,2	3364,2

tab. 23 – případ 2 – záporný násobek

případ 3	A_y [N]	B_y [N]	C_y [N]	D_y [N]	A_z [N]	B_z [N]	C_z [N]	D_z [N]
od $+F_z$	-415,8	415,8	-415,8	415,8	-162,9	-162,9	-162,9	-162,9
od $-F_z$	415,8	-415,8	415,8	-415,8	162,9	162,9	162,9	162,9

tab. 24 – případ 3 – boční zatížení

př. 4-A	A_x [N]	B_x [N]	C_x [N]	D_x [N]	A_y [N]	B_y [N]	C_y [N]	D_y [N]
od T	-254,9	-254,9	-254,9	-254,9	16,7	16,7	-16,7	-16,7
od M_r	-	-	-	-	-3087,8	3087,8	-3087,8	3087,8
od F_y	-	-	-	-	-385,0	-432,0	-551,7	-585,5
suma	-254,9	-254,9	-254,9	-254,9	-3456,1	2672,5	-3656,2	2485,6

tab. 25 – případ 4 – zatížení v bodě A obálky obrátů

př. 4-B	A_x [N]	B_x [N]	C_x [N]	D_x [N]	A_y [N]	B_y [N]	C_y [N]	D_y [N]
od T	-244,2	-244,2	-244,2	-244,2	16,0	16,0	-16,0	-16,0
od M_r	-	-	-	-	-3087,8	3087,8	-3087,8	3087,8
od F_y	-	-	-	-	-421,5	-473,0	-604,1	-641,1
suma	-244,2	-244,2	-244,2	-244,2	-3493,4	2630,8	-3707,9	2430,7

tab. 26 – případ 4 – zatížení v bodě B obálky poryvů

př. 4-F	A_x [N]	B_x [N]	C_x [N]	D_x [N]	A_y [N]	B_y [N]	C_y [N]	D_y [N]
od T	-233,2	-233,2	-233,2	-233,2	15,2	15,2	-15,2	-15,2
od M_r	-	-	-	-	-3087,8	3087,8	-3087,8	3087,8
od F_y	-	-	-	-	229,1	257,0	328,3	348,4
suma	-233,2	-233,2	-233,2	-233,2	-2843,5	3360,0	-2774,7	3421,0

tab. 27 – případ 4 – zatížení v bodě F obálky poryvů

případ	1		2		3		4		
	1+	1-	2+	2-	3+	3-	4 - A	4 - B	4 - F
A_x [N]	-254,9	-254,9	-250,2	-250,2	-	-	-254,9	-244,2	-233,2
B_x [N]	-254,9	-254,9	-250,2	-250,2	-	-	-254,9	-244,2	-233,2
C_x [N]	-254,9	-254,9	-250,2	-250,2	-	-	-254,9	-244,2	-233,2
D_x [N]	-254,9	-254,9	-250,2	-250,2	-	-	-254,9	-244,2	-233,2
A_y [N]	-3173,0	-2741,6	-3456,4	-2879,0	-415,8	415,8	-3456,1	-3493,4	-2843,5
B_y [N]	2597,4	3081,4	2672,1	3320,1	415,8	-415,8	2672,5	2630,8	3360,0
C_y [N]	-3330,6	-2712,5	-3655,8	-2828,2	-415,8	415,8	-3656,2	-3707,9	-2774,7
D_y [N]	2449,6	3105,6	2486,0	3364,2	415,8	-415,8	2485,6	2430,7	3421,0
A_z [N]	-	-	-	-	-162,9	162,9	-	-	-
B_z [N]	-	-	-	-	-162,9	162,9	-	-	-
C_z [N]	-	-	-	-	-162,9	162,9	-	-	-
D_z [N]	-	-	-	-	-162,9	162,9	-	-	-

tab. 28 – přehled všech vypočtených reakcí – provozní zatížení

případ	1		2		3		4		
	1+	1-	2+	2-	3+	3-	4 - A	4 - B	4 - F
$A_x [N]$	-382,4	-382,4	-375,3	-375,3	-	-	-382,4	-366,3	-349,8
$B_x [N]$	-382,4	-382,4	-375,3	-375,3	-	-	-382,4	-366,3	-349,8
$C_x [N]$	-382,4	-382,4	-375,3	-375,3	-	-	-382,4	-366,3	-349,8
$D_x [N]$	-382,4	-382,4	-375,3	-375,3	-	-	-382,4	-366,3	-349,8
$A_y [N]$	-4759,4	-4112,5	-5184,6	-4318,5	-623,7	623,7	-5184,1	-5240,0	-4265,2
$B_y [N]$	3896,1	4622,1	4008,2	4980,1	623,7	-623,7	4008,8	3946,2	5040,0
$C_y [N]$	-4995,9	-4068,8	-5483,7	-4242,3	-623,7	623,7	-5484,3	-5561,9	-4162,0
$D_y [N]$	3674,4	4658,3	3729,0	5046,4	623,7	-623,7	3728,4	3646,0	5131,4
$A_z [N]$	-	-	-	-	-244,3	244,3	-	-	-
$B_z [N]$	-	-	-	-	-244,3	244,3	-	-	-
$C_z [N]$	-	-	-	-	-244,3	244,3	-	-	-
$D_z [N]$	-	-	-	-	-244,3	244,3	-	-	-

tab. 29 – přehled všech vypočtených reakcí – početní zatížení

V následující kapitole 7 budou počítány reakce na páscích. E, H, K, L jsou místa, kde jsou upevněny silentbloky k páskům.

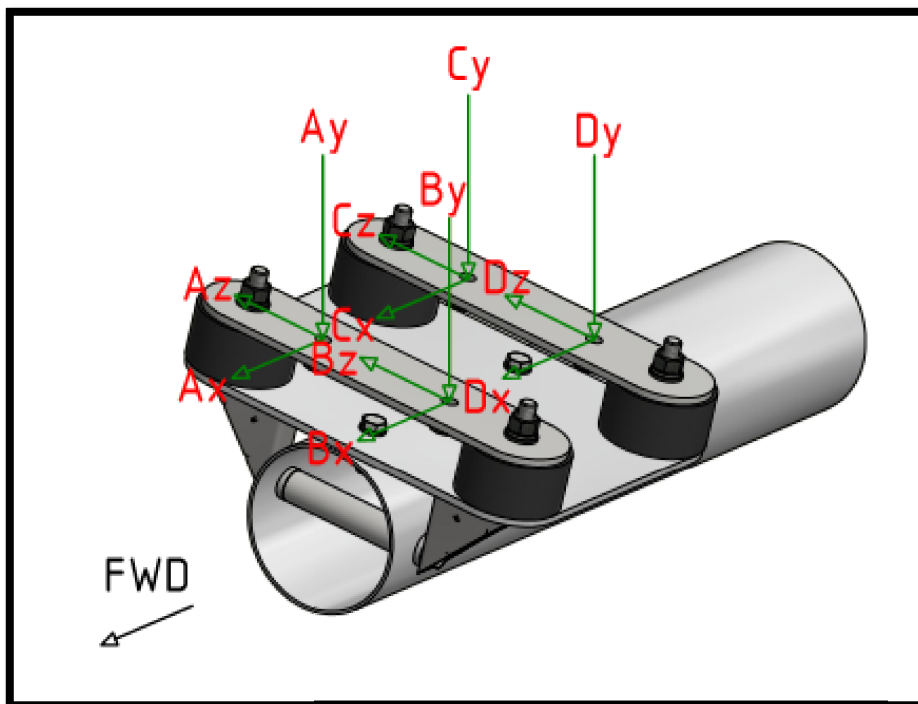
$E_x, H_x, K_x, L_x [N]$	reakce na podporách E, H, K, L ve směru X
$E_y, H_y, K_y, L_y [N]$	reakce na podporách E, H, K, L ve směru Y
$E_z, H_z, K_z, L_z [N]$	reakce na podporách E, H, K, L ve směru Z

tab. 30 – síly a reakce v páscích nad silentbloky

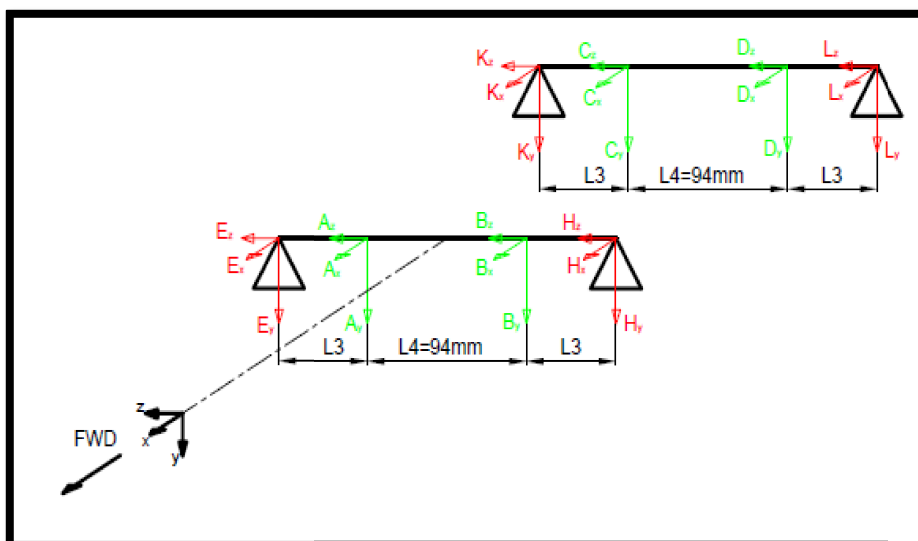
7. Reakce v páscích

7.1. Reakce

Reakce na obrázku 17 jsou položeny do kladných směrů souřadného systému, aby směr sil určovalo znaménko.



obr. 19 – schéma působících sil na páscích



obr. 20 – schéma reakcí na páscích

Na obrázku 22 jsou znázorněny síly na obou páscích. Zelené jsou zátěže pásků (původní reakce na podporách A, B, C, D) a červené jsou reakce, které se nacházejí na spojích se silentbloky.

L_3 [mm]	53
L_4 [mm]	94

tab. 31 – použité hodnoty – reakce v páscích

statické rovnice v rovině XZ:

$$1: A_x + B_x + E_x + H_x = 0 \quad (48)$$

$$2: A_x * L_3 + B_x * (L_3 + L_4) + H_x * (2 * L_3 + L_4) = 0 \quad (49)$$

z rovnice 2:

$$A_x * 0,053 + B_x * 0,147 + H_x * 0,200 = 0$$

$$H_x = -\frac{A_x * 0,053 + B_x * 0,147}{0,200} = -\frac{-254,9 * 0,053 + (-254,9) * 0,147}{0,200} = 254,9 \text{ N} \quad (50)$$

z rovnice 1:

$$E_x = -H_x - A_x - B_x = -254,9 + 254,9 + 254,9 = 254,9 \text{ N} \quad (51)$$

totožné rovnice budou i v rovině YZ:

$$H_y = -\frac{A_y * 0,053 + B_y * 0,147}{0,200} = -\frac{-2741,6 * 0,053 + 3081,4 * 0,147}{0,200} = -1538,3 \text{ N} \quad (52)$$

$$E_y = -H_y - A_y - B_y = 1538,3 + 2741,6 - 3081,4 = 1198,5 \text{ N} \quad (53)$$

pro reakce ve směru Z platí:

$$A_z + B_z + E_z + H_z = 0$$

$$E_z = H_z = -A_z = -B_z = \pm 162,9 \text{ N} \quad (54)$$

přední pásek	zadní pásek
$H_x = -\frac{A_x * 0,053 + B_x * 0,147}{0,200}$	$L_x = -\frac{C_x * 0,053 + D_x * 0,147}{0,200}$
$E_x = -H_x - A_x - B_x$	$K_x = -L_x - C_x - D_x$
$H_y = -\frac{A_y * 0,053 + B_y * 0,147}{0,200}$	$L_y = -\frac{C_y * 0,053 + D_y * 0,147}{0,200}$
$E_y = -H_y - A_y - B_y$	$K_y = -L_y - C_y - D_y$
$E_z = H_z = -A_z = -B_z$	$K_z = L_z = -C_z = -D_z$

tab. 32 – přehled výpočtových rovnic – pásky

Vztahy pro výpočet reakcí v zadním pásku jsou identické se vztahy v předním pásku. Pro přehlednost všechny vztahy byly poskládány do tabulky 32.

případ	provozní			případ	početní		
	1+				1+		
$A_x[N]$	-254,9	$E_x[N]$	254,9	$A_x[N]$	-382,4	$E_x[N]$	382,4
$B_x[N]$	-254,9	$H_x[N]$	254,9	$B_x[N]$	-382,4	$H_x[N]$	382,4
$C_x[N]$	-254,9	$K_x[N]$	254,9	$C_x[N]$	-382,4	$K_x[N]$	382,4
$D_x[N]$	-254,9	$L_x[N]$	254,9	$D_x[N]$	-382,4	$L_x[N]$	382,4
$A_y[N]$	-3173,0	$E_y[N]$	1643,8	$A_y[N]$	-4759,4	$E_y[N]$	2465,8
$B_y[N]$	2597,4	$H_y[N]$	-1068,2	$B_y[N]$	3896,1	$H_y[N]$	-1602,4
$C_y[N]$	-3330,6	$K_y[N]$	1798,8	$C_y[N]$	-4995,9	$K_y[N]$	2698,3
$D_y[N]$	2449,6	$L_y[N]$	-917,8	$D_y[N]$	3674,4	$L_y[N]$	-1376,8
případ	provozní			případ	početní		
	1-				1-		
$A_x[N]$	-254,9	$E_x[N]$	254,9	$A_x[N]$	-382,4	$E_x[N]$	382,4
$B_x[N]$	-254,9	$H_x[N]$	254,9	$B_x[N]$	-382,4	$H_x[N]$	382,4
$C_x[N]$	-254,9	$K_x[N]$	254,9	$C_x[N]$	-382,4	$K_x[N]$	382,4
$D_x[N]$	-254,9	$L_x[N]$	254,9	$D_x[N]$	-382,4	$L_x[N]$	382,4
$A_y[N]$	-2741,6	$E_y[N]$	1198,5	$A_y[N]$	-4112,5	$E_y[N]$	1797,8
$B_y[N]$	3081,4	$H_y[N]$	-1538,3	$B_y[N]$	4622,1	$H_y[N]$	-2307,5
$C_y[N]$	-2712,5	$K_y[N]$	1170,7	$C_y[N]$	-4068,8	$K_y[N]$	1756,1
$D_y[N]$	3105,6	$L_y[N]$	-1563,8	$D_y[N]$	4658,3	$L_y[N]$	-2345,7
případ	provozní			případ	početní		
	2+				2+		
$A_x[N]$	-250,2	$E_x[N]$	250,2	$A_x[N]$	-375,3	$E_x[N]$	375,3
$B_x[N]$	-250,2	$H_x[N]$	250,2	$B_x[N]$	-375,3	$H_x[N]$	375,3
$C_x[N]$	-250,2	$K_x[N]$	250,2	$C_x[N]$	-375,3	$K_x[N]$	375,3
$D_x[N]$	-250,2	$L_x[N]$	250,2	$D_x[N]$	-375,3	$L_x[N]$	375,3
$A_y[N]$	-3456,4	$E_y[N]$	1832,3	$A_y[N]$	-5184,6	$E_y[N]$	2748,5
$B_y[N]$	2672,1	$H_y[N]$	-1048,0	$B_y[N]$	4008,2	$H_y[N]$	-1572,1
$C_y[N]$	-3655,8	$K_y[N]$	2028,2	$C_y[N]$	-5483,7	$K_y[N]$	3042,3
$D_y[N]$	2486,0	$L_y[N]$	-858,4	$D_y[N]$	3729,0	$L_y[N]$	-1287,6

tab. 33 – přehled reakcí v pásících pro případy zatížení – provozní a početní zatížení

řítad	provozní			případ	početní		
	2-				2-		
$A_x[N]$	-250,2	$E_x[N]$	250,2	$A_x[N]$	-375,3	$E_x[N]$	375,3
$B_x[N]$	-250,2	$H_x[N]$	250,2	$B_x[N]$	-375,3	$H_x[N]$	375,3
$C_x[N]$	-250,2	$K_x[N]$	250,2	$C_x[N]$	-375,3	$K_x[N]$	375,3
$D_x[N]$	-250,2	$L_x[N]$	250,2	$D_x[N]$	-375,3	$L_x[N]$	375,3
$A_y[N]$	-2879,0	$E_y[N]$	1236,2	$A_y[N]$	-4318,5	$E_y[N]$	1854,4
$B_y[N]$	3320,1	$H_y[N]$	-1677,3	$B_y[N]$	4980,1	$H_y[N]$	-2516,0
$C_y[N]$	-2828,2	$K_y[N]$	1187,2	$C_y[N]$	-4242,3	$K_y[N]$	1780,8
$D_y[N]$	3364,2	$L_y[N]$	-1723,2	$D_y[N]$	5046,4	$L_y[N]$	-2584,8
případ	provozní			případ	početní		
	4-A				4-A		
$A_x[N]$	-254,9	$E_x[N]$	254,9	$A_x[N]$	-382,4	$E_x[N]$	382,4
$B_x[N]$	-254,9	$H_x[N]$	254,9	$B_x[N]$	-382,4	$H_x[N]$	382,4
$C_x[N]$	-254,9	$K_x[N]$	254,9	$C_x[N]$	-382,4	$K_x[N]$	382,4
$D_x[N]$	-254,9	$L_x[N]$	254,9	$D_x[N]$	-382,4	$L_x[N]$	382,4
$A_y[N]$	-3456,1	$E_y[N]$	1832,0	$A_y[N]$	-5184,1	$E_y[N]$	2748,0
$B_y[N]$	2672,5	$H_y[N]$	-1048,4	$B_y[N]$	4008,8	$H_y[N]$	-1572,6
$C_y[N]$	-3656,2	$K_y[N]$	2028,6	$C_y[N]$	-5484,3	$K_y[N]$	3042,9
$D_y[N]$	2485,6	$L_y[N]$	-858,0	$D_y[N]$	3728,4	$L_y[N]$	-1287,0
případ	provozní			případ	početní		
	4-B				4-B		
$A_x[N]$	-244,2	$E_x[N]$	244,2	$A_x[N]$	-366,3	$E_x[N]$	366,3
$B_x[N]$	-244,2	$H_x[N]$	244,2	$B_x[N]$	-366,3	$H_x[N]$	366,3
$C_x[N]$	-244,2	$K_x[N]$	244,2	$C_x[N]$	-366,3	$K_x[N]$	366,3
$D_x[N]$	-244,2	$L_x[N]$	244,2	$D_x[N]$	-366,3	$L_x[N]$	366,3
$A_y[N]$	-3493,4	$E_y[N]$	1870,5	$A_y[N]$	-5240,0	$E_y[N]$	2805,7
$B_y[N]$	2630,8	$H_y[N]$	-1007,9	$B_y[N]$	3946,2	$H_y[N]$	-1511,8
$C_y[N]$	-3707,9	$K_y[N]$	2081,2	$C_y[N]$	-5561,9	$K_y[N]$	3121,8
$D_y[N]$	2430,7	$L_y[N]$	-804,0	$D_y[N]$	3646,0	$L_y[N]$	-1206,0

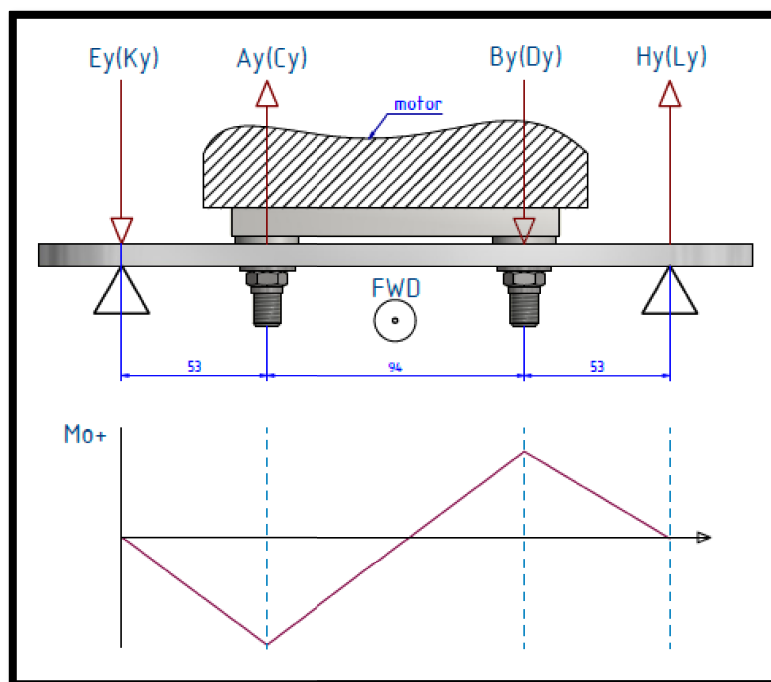
tab. 33 – přehled reakcí v pásčích pro případy zatížení – provozní a početní zatížení

případ	provozní			případ	početní		
	4-F				4-F		
$A_x[N]$	-233,2	$E_x[N]$	254,9	$A_x[N]$	-349,8	$E_x[N]$	349,8
$B_x[N]$	-233,2	$H_x[N]$	254,9	$B_x[N]$	-349,8	$H_x[N]$	349,8
$C_x[N]$	-233,2	$K_x[N]$	254,9	$C_x[N]$	-349,8	$K_x[N]$	349,8
$D_x[N]$	-233,2	$L_x[N]$	254,9	$D_x[N]$	-349,8	$L_x[N]$	349,8
$A_y[N]$	-2843,5	$E_y[N]$	1199,6	$A_y[N]$	-4265,2	$E_y[N]$	1799,4
$B_y[N]$	3360,0	$H_y[N]$	-1716,1	$B_y[N]$	5040,0	$H_y[N]$	-2574,1
$C_y[N]$	-2774,7	$K_y[N]$	1132,8	$C_y[N]$	-4162,0	$K_y[N]$	1699,3
$D_y[N]$	3421,0	$L_y[N]$	-1779,1	$D_y[N]$	5131,4	$L_y[N]$	-2668,7

tab. 33 – přehled reakcí v páscích pro případy zatížení – provozní a početní zatížení

Políčka označená zeleně značí maximální sílu (v absolutní hodnotě) E_y , H_y , K_y a L_y ze všech případů.

7.2. Ohybové momenty v páscích



obr. 21 – ohybový moment

Na obrázku 25 je symbolicky znázorněn ohybový moment. Má lineární průběh. Hodnoty ohybových momentů jsou seřazeny v tabulce 30.

přední pásek			1+	1-	2+	2-	4-A	4-B	4-F	
případ										
$A_y [N]$	provozní		-3173,0	-2741,6	-3456,4	-2879,0	-3456,1	-3493,4	-2843,5	
	početní		-4759,4	-4112,5	-5184,6	-4318,5	-5184,1	-5240,0	-4265,2	
$B_y [N]$	provozní		2597,4	3081,4	2672,1	3320,1	2672,5	2630,8	3360,0	
	početní		3896,1	4622,1	4008,2	4980,1	4008,8	3946,2	5040,0	
$E_y [N]$	provozní		1643,8	1198,5	1832,3	1236,2	1832,0	1870,5	1199,6	
	početní		2465,8	1797,8	2748,5	1854,4	2748,0	2805,7	1799,4	
$H_y [N]$	provozní		-1068,2	-1538,3	-1048,0	-1677,3	-1048,4	-1007,9	-1716,1	
	početní		-1602,4	-2307,5	-1572,1	-2516,0	-1572,6	-1511,8	-2574,1	
		ohybové momenty								
x [mm]			[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	
0	provozní		0	0	0	0	0	0	0	
	početní		0	0	0	0	0	0	0	
53	provozní		87,1	63,5	97,1	65,5	97,1	99,1	63,6	
	početní		130,7	95,3	145,7	98,3	145,6	148,7	95,4	
147	provozní		-56,6	-81,5	-55,6	-88,9	-55,6	-53,4	-90,9	
	početní		-84,9	-122,3	-83,3	-133,4	-83,4	-80,1	-136,4	
200	provozní		0	0	0	0	0	0	0	
	početní		0	0	0	0	0	0	0	
zadní pásek										
případ			1+	1-	2+	2-	4-A	4-B	4-F	
$C_y [N]$	provozní		-3330,6	-2712,5	-3655,8	-2828,2	-3656,2	-3707,9	-2774,7	
	početní		-4995,9	-4068,8	-5483,7	-4242,3	-5484,3	-5561,9	-4162,0	
$D_y [N]$	provozní		2449,6	3105,6	2486,0	3364,2	2485,6	2430,7	3421,0	
	početní		3674,4	4658,3	3729,0	5046,4	3728,4	3646,0	5131,4	
$K_y [N]$	provozní		1798,8	1170,7	2028,2	1187,2	2028,6	2081,2	1132,8	
	početní		2698,3	1756,1	3042,3	1780,8	3042,9	3121,8	1699,3	
$L_y [N]$	provozní		-917,8	-1563,8	-858,4	-1723,2	-858,0	-804,0	-1779,1	
	početní		-1376,8	-2345,7	-1287,6	-2584,8	-1287,0	-1206,0	-2668,7	

tab. 34 – přehled ohybových momentů

		ohybové momenty						
x [mm]		[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
0	provozní	0	0	0	0	0	0	0
	početní	0	0	0	0	0	0	0
53	provozní	95,3	62,0	107,5	62,9	107,5	110,3	60,0
	početní	143,0	93,1	161,2	94,4	161,3	165,5	90,1
147	provozní	-48,7	-82,9	-45,5	-91,3	-45,5	-42,6	-94,3
	početní	-73,0	-124,3	-68,2	-137,0	-68,2	-63,9	-141,5
200	provozní	0	0	0	0	0	0	0
	početní	0	0	0	0	0	0	0

tab. 34 – přehled ohybových momentů

8. Dimenzování a pevnostní kontroly

Pevnostní kontrola navržených částí probíhá ve dvou rovinách. V rovině provozního zatížení a v rovině početního zatížení. Maximální provozní zatížení nesmí způsobit trvalou deformaci konstrukce a při dosažení početního zatížení musí konstrukce vydržet aspoň 3 sekundy neporušená, může dojít k trvalé deformaci, ale nesmí dojít ke ztrátě únosnosti.

jistota při provozním zatížení:

$$k = \frac{R_e}{\sigma} = \frac{\text{mez kluzu}}{\text{napjatost při provozním zatížení}}$$

jistota při početním zatížení:

$$k^* = \frac{R_m}{\sigma^*} = \frac{\text{mez pevnosti}}{\text{napjatost při početním zatížení}}$$

8.1. Pásky

Z tabulky 34 lze číst největší hodnotu ohybového momentu v místech, kde je pásek přišroubován k motoru. Největší moment při provozním zatížení ze všech případů je $M_o = 110,3 \text{ Nm}$. Největší moment při početním zatížení ze všech případů je $M_o^* = 165,5 \text{ Nm}$. Tyto momenty jsou zvoleny pro dimenzování obou pásků. Přestože průřez pásku v místech největšího momentu je zmenšen o průměr díry, pásek je zde napevno přišroubován a je možné ho považovat za plný.

$M_o = 110,3 \text{ Nm}$ (maximální ohybový moment při provozním zatížení)

$M_o^* = 165,5 \text{ Nm}$ (maximální ohybový moment při početním zatížení)

Materiál: lehká slitina EN AW 6082 AlMg1SiCu T6

$R_e = 260 \text{ N/mm}^2$ (mez kluzu)

$R_m = 310 \text{ N/mm}^2$ (mez pevnosti)

$b = 60 \text{ mm}$ (šířka pásku)

$h = 8 \text{ mm}$ (výška průřezu pásku)

$W_o = \frac{1}{6}bh^2$ (průřezový modul obdélníku)

$W_o = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6} * 60 * 8^2 = 640 \text{ mm}^3$ (průřezový modul obdélníku) (55)

1. provozní zatížení

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} = \frac{110300}{640} = 172,3 \text{ N/mm}^2 \text{ (napjatost při provozním zatížení)} \quad (56)$$

$$k = \frac{R_e}{\sigma} = \frac{260}{172,3} = 1,51 \text{ (jistota při provozním zatížení)} \quad (57)$$

2. početní zatížení

$$\sigma^* = \frac{M_o^*}{W_o} = \frac{165500}{640} = 258,6 \text{ N/mm}^2 \text{ (napjatost při početním zatížení)} \quad (58)$$

$$k^* = \frac{R_m}{\sigma^*} = \frac{310}{258,6} = 1,2 \text{ (jistota při početním zatížení)} \quad (59)$$

Rozměry a zvolený materiál **vyhovují**.

8.2. Silentbloky

V příloze Excel – výpočty reakcí (stránka reakce v pásčích) jsou vypočteny výsledné reakce E_y , H_y , K_y , L_y . Maximální hodnoty jsou:

E_y [N]	1870,5
H_y [N]	-1716,1
K_y [N]	2081,2
L_y [N]	-1779,1

tab. 35 – maximální hodnoty reakcí E_y , H_y , K_y , L_y

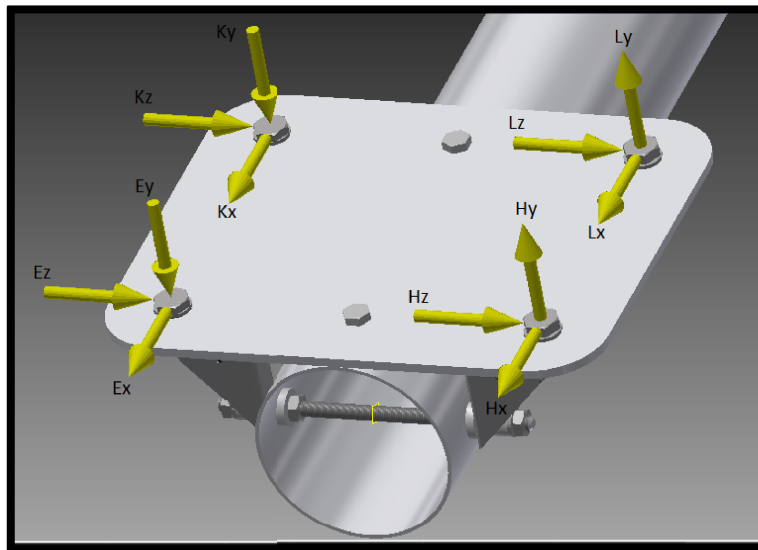
Tyto síly působí na silentbloky. Silentbloky musí přenést sílu 2081,2 N, která je nejvyšším zatížením v absolutní hodnotě. Toto zatížení lze považovat za kvazistatické. V motorovém loži budou použity silentbloky **70x35 M10x28** s maximální **statickou únosností 3100 N**.



obr. 22 – silentblok Haberkorn

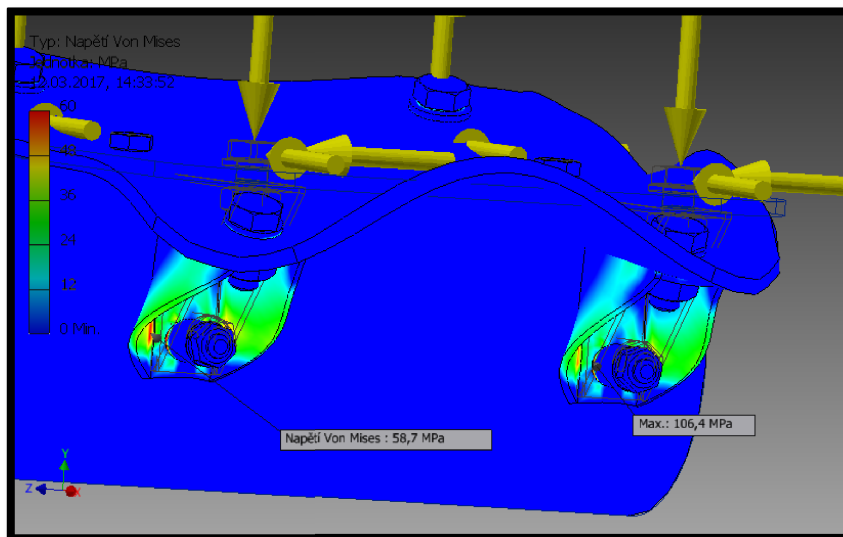
<http://www.haberkorn.cz/silentbloky/>

8.3. Spodní část lože



obr. 23 – zatížení spodní části konstrukce – síly

Výpočtový model pro pevnostní kontrolu spodní části konstrukce (deska, konzoly, závitové tyče, podložky, distanční trubička) je poměrně složitý. Proto byla analýza provedena v programu Inventor 2015 Professional. Pro potřeby analýzy byl model pozměněn. Silentbloky byly odstraněny a nahrazeny šroubovými spoji. Všechny síly působí právě na tyto šrouby (obr. 23). Aby nemusely být analyzovány všechny případy zatížení, byly vybrány maximální síly, které působí na jednotlivé šroubové spoje. Kontrola tohoto zatížení je na straně bezpečnosti.

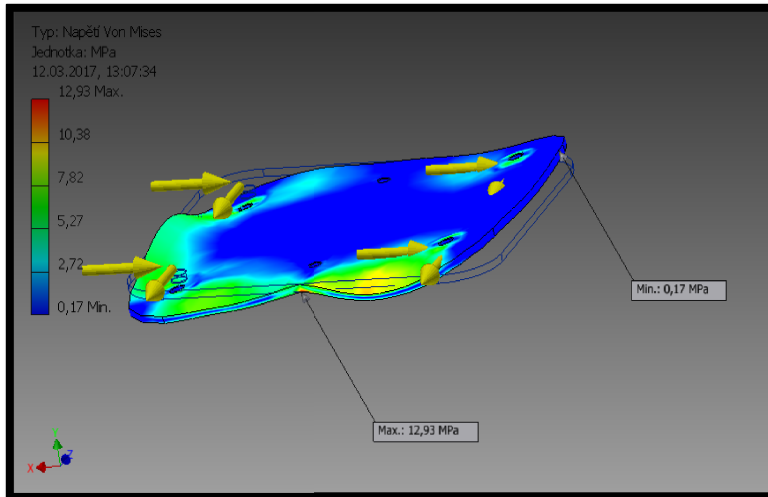


obr. 24 – zatížení spodní části konstrukce – napětí

Obrázek 24 ukazuje maximální napětí v celé spodní části konstrukce $106,4 \text{ N/mm}^2$. Tohoto napětí je dosaženo na distanční trubičce a je součástí řešení kapitoly 8.3.4

8.3.1. Deska

Na obrázku 23 je vidět zatížení desky silami. V místě působení dominantních sil (směr Y) je deska podepřena konzolami, a tudíž není těmito silami zatížena. Síly ve směru X a Z, velikostí vůči silám Y zanedbatelné, zachytávají šrouby spojující desku a páteřní trubku. Nezatíženost desky potvrzuje obrázek 25.



obr. 25 – zatížení desky

Materiál: lehká slitina EN AW 6082 $AlMg1SiCu$ T6

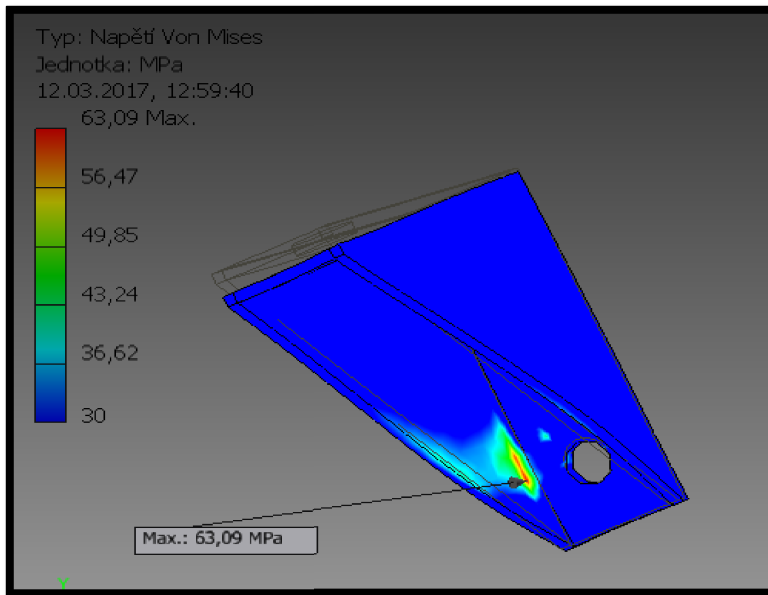
$R_e = 260 \text{ N/mm}^2$ (mez kluzu)

$R_m = 310 \text{ N/mm}^2$ (mez pevnosti)

$h = 5 \text{ mm}$ (tloušťka desky)

Deska je namáhaná minimálně. Maximální napětí je $12,93 \text{ N/mm}^2$ a tudíž **vyhovuje** z hlediska pevnosti dostatečně.

8.3.2. Konzoly



obr. 26 – zatížení konzol

Materiál: Za studena válcovaný plech DC 01-A-m (1.0330) EN 10130

$t = 2 \text{ mm}$ (tloušťka plec)

$R_e = 250 \text{ N/mm}^2$ (mez kluzu)

$R_m = 360 \text{ N/mm}^2$ (mez pevnosti)

$\sigma = 63,09 \text{ N/mm}^2$ (napjatost při provozním zatížení)

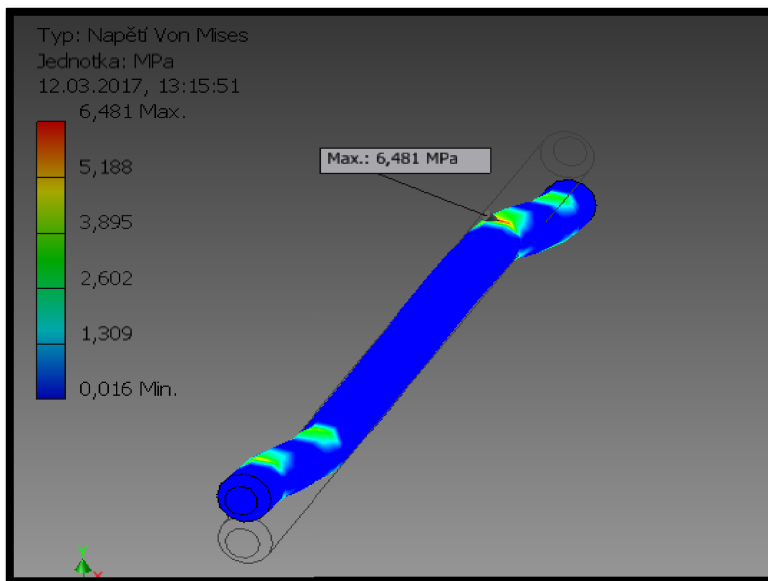
$$k = \frac{R_e}{\sigma} = \frac{250}{63,09} = 3,96 \text{ (jistota při provozním zatížení)} \quad (60)$$

$$\sigma^* = 1,5 * \sigma = 94,64 \text{ N/mm}^2 \text{ (napjatost při početním zatížení)} \quad (61)$$

$$k^* = \frac{R_m}{\sigma^*} = \frac{360}{94,64} = 3,80 \text{ (jistota při početním zatížení)} \quad (62)$$

Konzoly jsou namáhány maximálním napětím $63,09 \text{ N/mm}^2$ pouze lokálně a vykazují vysoké jistoty pro obě zatížení, provozní i početní, a proto konzola z hlediska pevnosti **vyhovuje**.

8.3.3. Závité tyče



obr. 27 – zatížení závitových tyčí

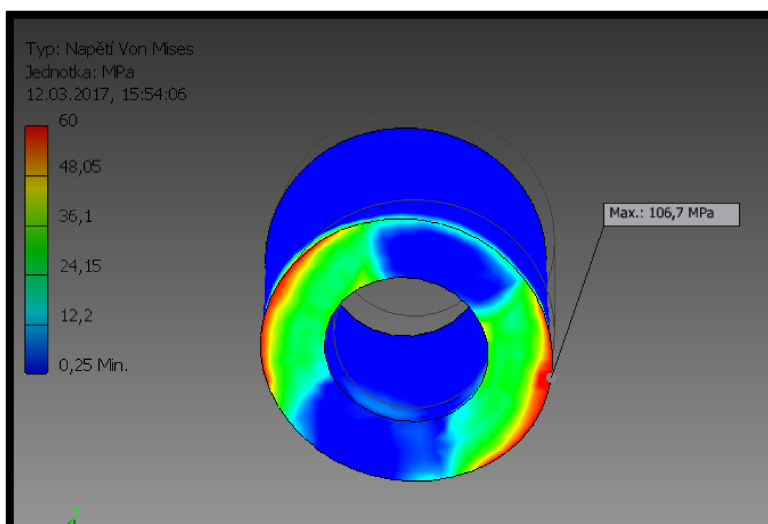
Materiál: závitová tyč M8 – 8.8 DIN 975

$$R_e = 640 \text{ N/mm}^2 \text{ (mez kluzu)}$$

$$R_m = 800 \text{ N/mm}^2 \text{ (mez pevnosti)}$$

Maximální napětí v závitové tyči je pouze $6,5 \text{ N/mm}^2$ a závitová tyč z hlediska pevnosti **vyhovuje**.

8.3.4. Distanční trubička



obr. 28 – zatížení distanční trubičky

Materiál: Za studena tažená kruhová tyč S235JRC+C (1.0122) EN 10277-2

$$R_e = 235 \text{ N/mm}^2 \text{ (mez kluzu)}$$

$$R_m = 380 \text{ N/mm}^2 \text{ (mez pevnosti)}$$

$$\sigma = 106,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (napjatost při provozním zatížení)}$$

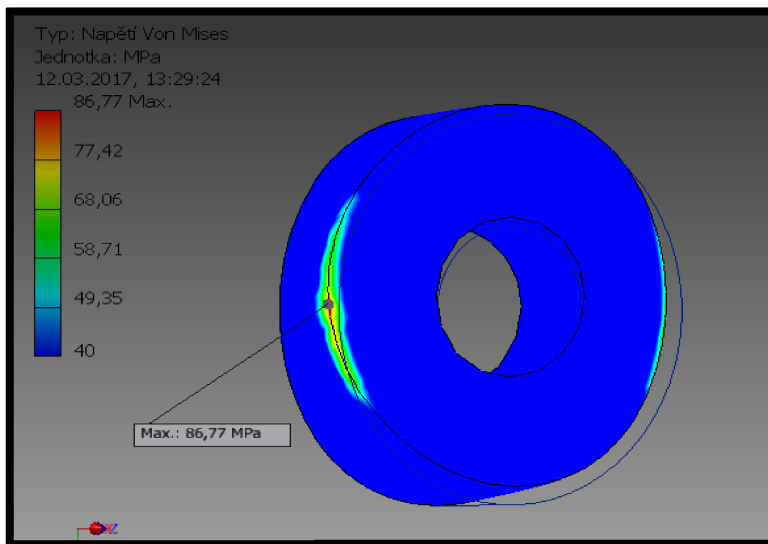
$$k = \frac{R_e}{\sigma} = \frac{235}{106,7} = 2,20 \text{ (jistota při provozním zatížení)} \quad (63)$$

$$\sigma^* = 1,5 * \sigma = 160,05 \text{ N/mm}^2 \text{ (napjatost při početním zatížení)} \quad (64)$$

$$k^* = \frac{R_m}{\sigma^*} = \frac{380}{160,05} = 2,37 \text{ (jistota při početním zatížení)} \quad (65)$$

Distanční trubička z hlediska pevnosti **vyhovuje**.

8.3.5. Podložky dosedací



obr. 29 – zatížení dosedacích podložek

Materiál: lehká slitina EN AW 6082 $AlMg1SiCu$ T6

$$R_e = 260 \text{ N/mm}^2 \text{ (mez kluzu)}$$

$$R_m = 310 \text{ N/mm}^2 \text{ (mez pevnosti)}$$

$$\sigma = 86,77 \text{ N/mm}^2 \text{ (napjatost při provozním zatížení)}$$

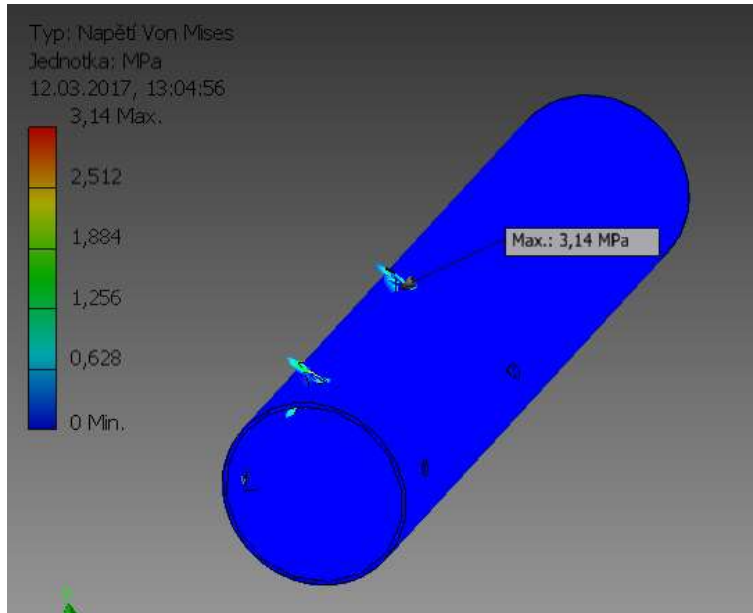
$$k = \frac{R_e}{\sigma} = \frac{260}{86,77} = 3,0 \text{ (jistota při provozním zatížení)} \quad (66)$$

$$\sigma^* = 1,5 * \sigma = 130,2 \text{ N/mm}^2 \text{ (napjatost při početním zatížení)} \quad (67)$$

$$k^* = \frac{R_m}{\sigma^*} = \frac{310}{130,2} = 2,38 \text{ (jistota při početním zatížení)} \quad (68)$$

Dosedací podložky z hlediska pevnosti **vyhovují**.

8.3.6. Páteřní trubka



obr. 30 – zatížení páteřní trubky

Páteřní trubka není součástí návrhu motorového lože. Z obrázku 30 je zřejmé, že napětí v trubce (v této části) je malé $3,14 \text{ N/mm}^2$ a trubka je namáhaná minimálně.

8.3.7. Kontrola šroubů na stříh

Šrouby M8 – 8.8, které přichycují desku k trubce je potřeba zkontrolovat na stříh.

$$R_e = 640 \text{ N/mm}^2 \text{ (mez kluzu)}$$

$$R_m = 800 \text{ N/mm}^2 \text{ (mez pevnosti)}$$

$$d_3 = 6,466 \text{ mm} \text{ malý průměr závitu}$$

$$k = 2 \text{ koeficient bezpečnosti}$$

$$F_{max} = R_e * \frac{S}{k} = R_e * \frac{\pi * d_3^2}{4 * k} = 640 * \frac{\pi * 6,466^2}{4 * 2} = 10502,5 \text{ N}$$

Šroub je schopen unést na stříh sílu 10502,5 N při koeficientu bezpečnosti 2. Maximální síla, která působí na šroub je 254,9 N. **Šroubový spoj je dostatečně pevný.**

9. Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout motorové lože pro ultralehký letoun TL 32 Typhoon a provést jeho pevnostní kontrolu. Na začátku mé bakalářské práce byla po konzultaci s vedoucím práce vybrána možnost přepracovat a doplnit řešení motorového lože, které už létá. Bylo potřeba spočítat zatížení motorového lože a doplnit model zpevňujícími prvky.

Při počítání bylo zjištěno, že naprosto dominantní jsou zatížení ve směru Y (14 krát větší než maximum ve směru X a 9 krát větší než ve směru Z). To největší způsobuje reakční moment, který vzhledem k předepsaným součinitelům z předpisu UL 2 dosahoval v přepočtu až $\pm 3087,8$ N na každou podporu. Druhým nejvyšším bylo zatížení od násobků, kde bylo maximální zatížení $-641,1$ N na podpoře. Pro výpočty a dimenzování jednotlivých součástí lože bylo naprosto zásadní mít hodnoty reakcí, které působí v místě, kde je motor přišroubovaný k loži. Výsledku bylo dosaženo prostým součtem vypočtených zatížení, které způsobují jednotlivé síly.

Motor je přišroubovaný k páskům. Jako materiál byl vybrána lehká slitina EN AW 6082 *AlMg1SiCu* T6, aby byl pásek dostatečně tuhý a lehký. Pásky pak přenášejí zátěž a vibrace do silentbloků. Bylo vypočteno, že na silentbloky působí maximální síla 2081,2 N. Síla je uvažována za kvazistatické zatížení, které se stalo základem pro výběr silentbloků. Byl vybrán silentblok s maximálním statickým zatížením 3100 N.

Deska je fundamentem motorového lože. Je dostatečně tuhá, aby udržovala lože kompaktní a přenášela zatížení spojitě. Je přišroubovaná dvěma šrouby M8 k páteřní trubce, které zachytávají síly ve směru X a Z. Dále je podepřena konzolami pod silentbloky, které přenášejí síly ve směru Y. Tyto konzoly fungují jako podpory a proto je deska ve směru Y prakticky nezatížená. Materiálem byla zvolena lehká slitina EN AW 6082 *AlMg1SiCu* T6. Deska je tuhá a lehká.

Konzoly zachytávají zatížení ve směru Y, které přechází přes desku ze silentbloků. Jsou vyrobeny ze studena válcovaného plechu DC 01-A-m (1.0330) EN 10130 síly 2 mm a jsou vyrobeny tak, aby měly nízkou hmotnost a dostatečný průřezový modul.

Nejvíce namáhaný je spoj, kde je konzola připevněna k páteřní trubce. Aby se namáhání nepřeneslo do trubky, jsou konzoly propojeny závitovými tyčemi skrz trubku jako vzpěry. Napětí se v tomto spoji kumuluje do distanční trubičky a dosedací podložky vnější, kde dochází k bodovým maximům. Obě jistoty, provozní i početní, přesahují hodnotu 2 a zaručují dostatečnou pevnost.

Celé lože je pevné a způsobilé pro provoz. Jednotlivé části vykazují vysoké hodnoty jistot, jsou ale předimenzované. Hmotnostní a cenové rozdíly různých variant materiálů jsou však poměrně bezvýznamné vzhledem k malým rozměrům součástí.

K práci jsou přiloženy přílohy, které obsahují výpočty v Excelu a výkresy motorového lože.

Byl bych rád, aby tato bakalářská práce přispěla k dokončení letounu a byla pokračováním diplomových prací bývalých studentů, či inspirací pro další projekty. Přeji Typhoonu, aby brzy vzlétl a činil potěšení těm, kteří v něm budou létat.

10. Zdroje

1. Ing. Nosek . Diplomová práce. *Rekonstrukce ultralehkého letounu*. Praha : ČVUT v Praze, 2015
2. Bc. Tyll, Adam. Diplomová práce. *Návrh provozní dokumentace ultralehkého letounu TL - 32 Typhoon ČVUT*. Praha : ČVUT v Praze, 2015.
3. Ing. Josef, Jíra. *Výpočet motorového lože, semestrální projekt*. Praha : ČVUT, Fakulta Strojní, 1996.
4. Letecká amatérská asociace ČR. *UL 2 – I.část. Požadavky letové způsobilosti SLZ. Ultralehké letouny řízené aerodynamicky*. 2002
5. Ing. Jan Mikula. *Konstrukce a projektování letadel I*. ČVUT v Praze. 2004
6. Ing. Jan Mikula. *Konstrukce a projektování letadel II*. ČVUT v Praze. 2005

webové zdroje:

7. <http://teveso.cz> : motory Rotax 582
8. <http://www.woodcomp.cz/> : vrtule Woodcomp
9. <http://www.ferona.cz>
10. <http://nyprohutni.cz>
11. <http://www.alfun.cz>
12. <http://www.haberkorn.cz/silentbloky/>