



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

Alternativy řešení plošinových zvedáků

SOLUTION ALTERNATIVES OF LIFTING PLATFORM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ONDŘEJ HÁJEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ MALÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2010

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je rozbor mechanických možností konstrukce plošinových zvedáků. Návrh plošinového zvedáku s mechanickým i hydraulickým pohonem s nosností 3500 kg a zdvihem 600 mm. Práce je zaměřena především na návrh a pevnostní výpočet mechanismu a konstrukce. Návrh hydraulického obvodu a vypracování sestavných výkresu pro oba druhy pohonu.

Klíčová slova: plošinový zvedák, hydraulický pohon, mechanický pohon, hydraulický obvod

Abstract

The aim of this thesis is to analyze the possibility of mechanical design platform lifts. Proposal lifting platform with mechanical and hydraulic drive with a capacity of 3500 kg and lift 600 mm. The work is mainly focused on design and strength calculation mechanism and structure. Proposal hydraulic circuits and the development drawings for both types of drive.

Key words: platform lift, hydraulic drive, mechanical drive, hydraulic circuit



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Bibliografická citace VŠKP dle ČSN ISO 690

HÁJEK, O. *Alternativy řešení plošinového zvedáku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 135 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím níže uvedené literatury.

V Brně dne 20. května 2010

.....



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Poděkování

Děkuji zejména svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za odborné rady a pomoc při překonávání potíží, které se vyskytly v průběhu řešení této práce. Dále bych chtěl poděkovat zástupcům firmy Serapid panu Dominique Thoumire a Eric Michaut za vstřícné jednání a praktické rady.

OBSAH:

1 Úvod	9
2 Rozdělení plošinových zvedáků	9
2. 1 Dvousloupové zvedáky	9
2. 2 Čtyřsloupové zvedáky	10
2. 3 Nůžkové zvedáky	10
2. 4 Pístové zvedáky	11
3 Návrh konstrukce plošinového zvedáku	12
3. 1 Zadané parametry	12
3. 2 Rychlost zdvihu	12
3. 3 Zatížení	12
3. 4 Rozdělení hmotnosti vozidla	13
4 Statický výpočet	14
4. 1 Rozbor úlohy	14
4. 2 Klasifikace členů	15
4. 3 Klasifikace vazeb	15
4. 4 Určení počtu stupňů volnosti	15
4. 5 Uvolnění jednotlivých těles soustavy	15
4. 5. 1 Člen 2	15
4. 5. 2 Člen 3	16
4. 5. 3 Člen 4	16
4. 5. 4 Člen 5	17
4. 5. 5 Člen 6	17
4. 5. 6 Člen 7	18
4. 6 Statický rozbor	18
4. 7 Maticové řešení soustavy statických rovnic	19
4. 7. 1 Řešení v horní poloze zvedáku pro stav A viz obr. 9	21
4. 7. 2 Řešení v dolní poloze zvedáku pro stav A viz obr. 9	22
4. 7. 3 Řešení v horní poloze zvedáku pro stav B viz obr. 10	23
4. 7. 4 Řešení v dolní poloze zvedáku pro stav B viz obr. 10	24
4. 7. 5 Závislost síly na přímočarý hydromotor vzhledem k jeho úhlu	25
5 Průběhy vnitřních sil	25
5. 1 Člen 2 za stavu A v dolní poloze zvedáku	25
5. 1. 1 Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu	25
5. 1. 2 Rozklad sil do lokálního souřadnicového systému	26
5. 1. 3 Výpočet jednotlivých sil	26
5. 1. 4 Výsledné vnitřní účinky	27
5. 2 Člen 3 za stavu A v dolní poloze zvedáku	29

5. 2. 1 Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.....	29
5. 2. 2 Rozklad sil do lokálního souřadnicového systému	29
5. 2. 3 Výpočet jednotlivých sil	30
5. 2. 4 Výsledné vnitřní účinky	30
5. 3 Člen 4 za stavu A v dolní poloze zvedáku	32
5. 3. 1 Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.....	32
5. 3. 2 Velikosti jednotlivých sil	33
5. 3. 3 Výsledné vnitřní účinky	33
5. 4 Člen 5 za stavu A v dolní poloze zvedáku	34
5. 4. 1 Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.....	34
5. 4. 2 Rozklad sil do lokálního souřadnicového systému	34
5. 4. 3 Výpočet jednotlivých sil	35
5. 4. 4 Výsledné vnitřní účinky	35
5. 5 Člen 3 za stavu B v dolní poloze zvedáku	36
5. 5. 1 Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.....	36
5. 5. 2 Rozklad sil do lokálního souřadnicového systému	36
5. 5. 3 Výpočet jednotlivých sil	36
5. 5. 4 Výsledné vnitřní účinky	37
5. 6 Člen 4 za stavu B v dolní poloze zvedáku	39
5. 6. 1 Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.....	39
5. 6. 2 Velikosti jednotlivých sil	39
5. 6. 3 Výsledné vnitřní účinky	39
6 Návrh průřezů	41
6. 1 Člen 2	41
6. 1. 1 Kontrola na vzpěr.....	42
6. 1. 2 Kontrola průřezu v bodě C.....	44
6. 2 Člen 3	45
6. 2. 1 Kontrola na vzpěr.....	45
6. 2. 2 Kontrola průřezu v bodě C.....	53
6. 2. 3 Kontrola průřezu v bodě B.....	54
6. 4 Člen 5 Přímočarý hydromotor.....	56
7 Pevnostní kontrola čepů	58
7. 1 Středový čep kontrola	58
7. 2 Horní čep k hydromotoru	60
7. 3 Spodní čep k hydromotoru.....	63
7. 4 Spodní čep členu 2	66
7. 5 Horní čep členu 3	70
7. 6 Spodní čep členu 3	73
7. 7 Dílčí závěr	76

8 Návrh hydraulického obvodu	77
8. 1 Prvky obvodu	77
8. 2 Výpočet hydraulického obvodu	78
9 Návrh zádržného zařízení.....	87
9. 1 Vlastní návrh zádržného zařízení.....	87
9. 2 Návrh pneumatického válce	88
9. 3 Pevnostní kontrola zádržného zařízení.....	90
10 Návrh mechanismu mechanického zdvihu	92
10. 1 Pohon zvedáku pomocí tlačných řetězů firmy Serapid.....	92
10. 2 Funkce lineárního teleskopického zvedacího zařízení.....	93
10. 2 Výpočet plošiny pro mechanický zdvih v horní poloze zvedáku za stavu A.....	94
10. 3 Výpočet potřebného výkonu dle firmy Separid [30].....	99
11 Závěr.....	101
12 Seznam použitých zdrojů	102
13 Seznam použitých symbolů	104
14 Seznam příloh	115
Výsledné vnitřní účinky na členech v horní poloze zvedáku.....	Příloha A
Řešení zádržného zařízení pomocí MKP.....	Příloha B
Řešení plošiny zvedáku pro hydraulický zdvih pomocí MKP.....	Příloha C
3D Model zvedáku s hydraulickým pohonem.....	Příloha D

1 Úvod

Plošinový zvedák je zařízení používané k vyzvednutí břemene do určité výšky. V dnešní době existuje široké spektrum konstrukčních provedení s rozdílnými nosnostmi i dopravními výškami. Vyrábí se od malých zvedáků s nosností stovek kilogramů, například pro motocykly, až po zvedáky s nosností desítek tun například pro zemní stroje.

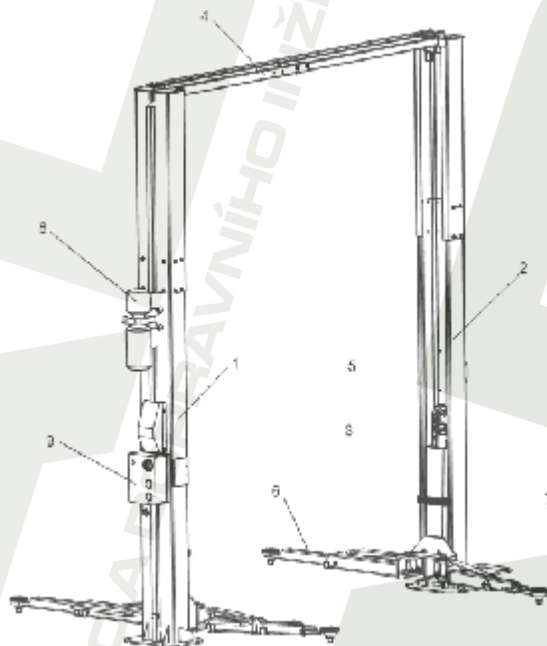
Plošinové zvedáky mají řadu předností jako je relativně velká rychlost zdvihu, jednoduchá konstrukce, nízká vlastní hmotnost a spotřeba energie.

2 Rozdělení plošinových zvedáků

2.1 Dvousloupové zvedáky



Obr.1 Dvousloupový zvedák se základovým rámem [28]



Obr.2 Dvousloupový zvedák [19]

Dvousloupové šroubové zvedáky:

Každý sloup je tvořen ocelovým nosným profilem, základnou, vozíkem s rameny a nosným šroubem. Ve vozících je instalována nosná a pojistná matice. Pohon je buď dvou nebo jednomotorový.

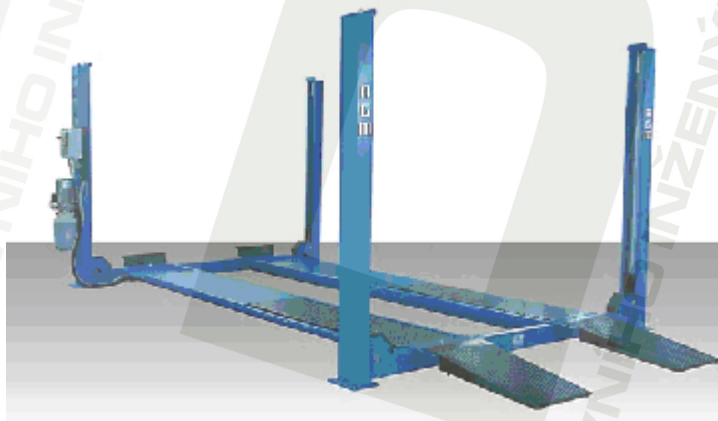
Šroubové dvoumotorové zvedáky s elektrickou synchronizací mají motory spojeny datovými a napájecími kabely, které mohou být vedeny v horním spojovacím mostu nebo zapuštěny do podlahy. Zpravidla jsou opatřeny elektronickým vyvažováním zamezujícím rozdílu ve výšce vozíků větší než 20 mm.

U šroubových jednomotorových je pohon zdvihu mezi hlavním a vedlejším sloupem je vykonáván prostřednictvím šroubovice a řetězu, případně šroubovice a kardanu, který vede pod přejezdem.

Dvoulouповé hydraulické zvedáky:

Rám tvoří dva nosné sloupky opatřené vodícími dráhami. V těchto drahách se svisle pohybují zvedací vozíky zavěšené na pístnicích hydraulických válců. Oba sloupky jsou propojeny v horní části příčnicí. Ve vozících jsou místa, do kterých při zvedání vozidla automaticky zapadají mechanické západky. Zvedané vozidlo je tímto jištěno proti pádu. Zvedací vozíky jsou vybaveny dvěma výsuvnými rameny.¹

2. 2 Čtyřslouповé zvedáky



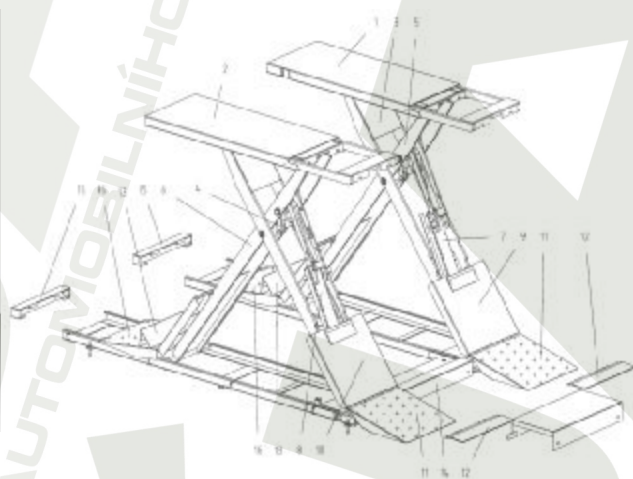
Obr.3 Čtyřslouповý zvedák [28]

Čtyřslouповé zvedáky pracují na podobném principu jako dvoulouповé. Jsou velice vhodné pro přesné měření a seřizování geometrie.

2. 3 Nůžkové zvedáky



Obr.4 Nůžkový zvedák [28]



Obr.5 Nůžkový zvedák [19]

Konstrukce se většinou skládá ze dvou základů, dvou párů nůžkového mechanismu, dvou plošin, hydraulického a elektrického systému a zajišťovacího zařízení. Pracovní plošiny jsou tvořeny svařencem z ocelových profilů a krycích plechů.

¹ Pekař, V.: Vozidlové zvedáky, 2008, s. 23-24

Výchozí provedení zvedáků je s nájezdy z jedné strany a dorazy z druhé. Uchycení těchto nájezdů a dorazů je vyrobeno tak, aby byla možná instalace nájezdů z obou stran dle potřeb v rámci umístění. Nůžkový mechanismus může být vyroben například z uzavřených ocelových profilů jako svařenec nebo dle zatížení i z plných profilů. Základny jsou opatřeny otvory pro ukotvení. Hydraulický agregát je umístěn v ovládacím pultu.

Zvedáky mohou být také vybaveny automatickou nivelizací zvedacích plošin pomocí hydraulických pojistných ventilů.²

2. 4 Pístové zvedáky

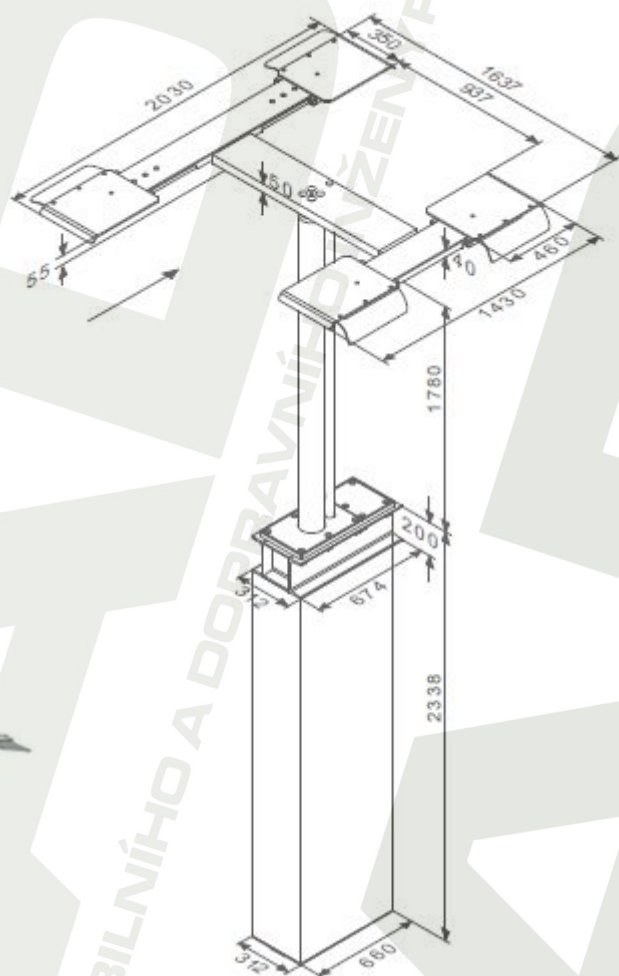
FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



Obr.6 Jednopístový zvedák [28]



Obr.7 Dvoupístový zvedák [28]



Obr.8 Jednopístový zvedák [28]

Pístové zvedáky mohou být z konstrukčního hlediska buď dvoupístové nebo jednopístové. Tyto zvedáky jsou velice tiché a výkonné. Protože jsou zabudovány do podlahové jámy, zabírají minimum místa a umožňují velmi dobrý přístup k vozidlu. Hlavní nevýhodou těchto zvedáků je komplikovaná a nákladná montáž do již stojící haly příp. dílny a také vysoká pořizovací cena.

² Pekař, V.: Vozidlové zvedáky, 2008, s. 25

3 Návrh konstrukce plošinového zvedáku

3.1 Zadané parametry

Maximální nosnost	– 3500 kg
Délka	– 2100 mm
Šířka	– 1900 mm
Max. výška ve sklopeném stavu	– 120 mm
Zdvih	– 600mm

3.2 Rychlost zdvihu

Dle normy ČSN EN 1493+A1 by rychlost zvedání neměla přesáhnout 0,15 m/s.

3.3 Zatížení

ČSN EN 1493+A1 - Tabulka 3 – kombinace zatížení:

Table 3 — Load combinations

Load	Clause	Load combination						
		A1	A2	B1	B2	C1	C2	C3
Regular loads	5.6.2.1							
Structural loads – static	a1	1	1	1	1	1	1	1
Structural loads – dynamic	a2	φ	1	φ	1	1	1	1
Rated load	b	φ	1	φ	1	1	1	1
Manual forces	d	–	1	–	1	–	–	–
Effect of accessories	e	φ	1	φ	1	1	1	1
Effect of inclination	f	φ	1	φ	1	1	1	1
Occasional loads	5.6.2.2							
In-service wind		–		1	1	–	–	–
Exceptional loads	5.6.2.3							
Out-of-service wind	a	–	–	–	–	1	–	–
Action of the catching device	b1	–	–	–	–	–	1	–
Action of the re-raising prevention device	b2	–	–	–	–	–	–	1

Load combination A1: Normal operation (raising/lowering) without wind or special forces.

Load combination A2: Normal operation (service/repair work) without wind or special forces.

Load combination B1: Normal operation (raising/lowering) with wind force.

Load combination B2: Normal operation (service/repair work) with wind force.

Load combination C1: Vehicle lift out of service with wind force.

Load combination C2: Action of the catching device.

Load combination C3: Action of the re-raising prevention device.

φ: Multiplication factor according to 5.6.2.1.

Tab.1 Kombinace zatížení [14]

Dle tab. 1 za předpokladu, že zvedák bude pracovat v dílně, volím kombinaci zatížení typu A2.

Kde:

a1, Zatížení způsobené komponenty, které nejsou v pohybu, jsou považovány za strukturální statické zatížení.

a2, Zatížení způsobené pohyblivými prvky jsou považovány za strukturální dynamické zatížení.

b, Jmenovité zatížení.

d, Manuální síla produkovaná od operátorů. Tato síla se tím dá brát jako 1000N působící vodorovně ve výšce podepření.

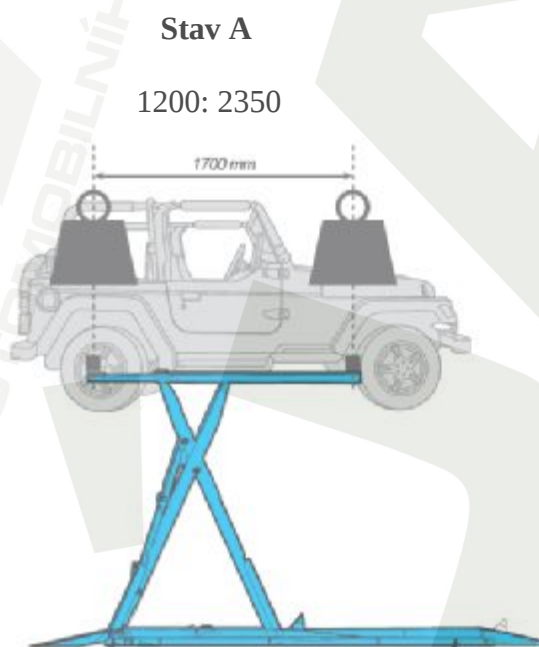
e, Účinky příslušenství pro vozidlové zvedáky např. zvedací trámy, typu schváleného výrobcem pro použití na zvedáku.

f, Vliv přípustného naklonění.

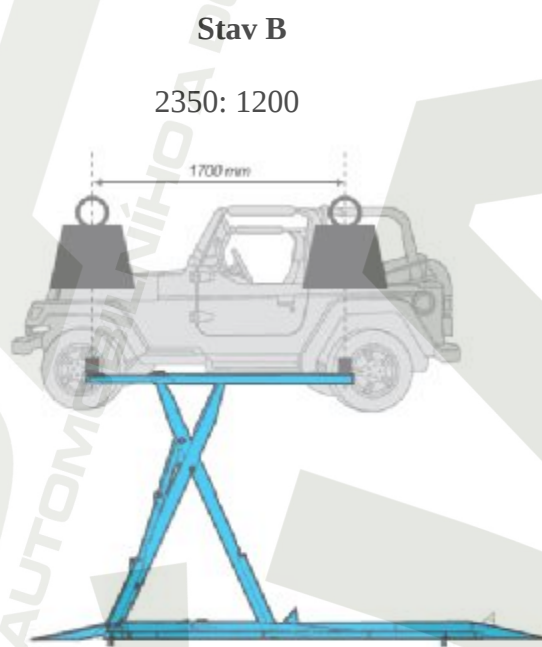
3. 4 Rozdělení hmotnosti vozidla

Zatížení od náprav je dle normy pro vozidla přesahující 3000 kg v poměru

1 : 2 a 2 : 1

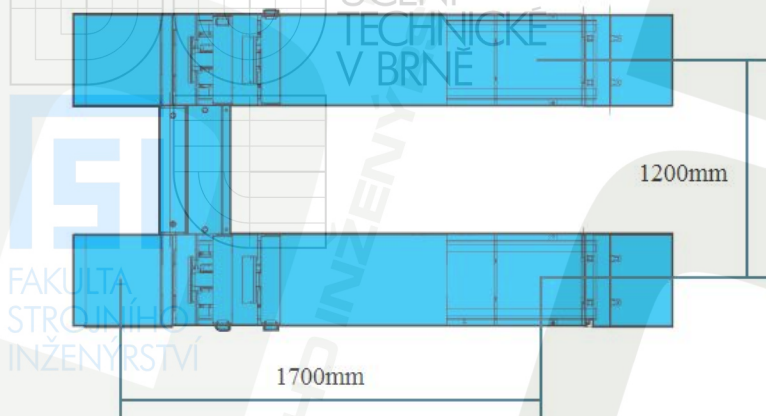


Obr.9 Rozložení zatížení [19]



Obr.10 Rozložení zatížení [19]

Zatížení by mělo být rozděleno do čtyřech rohů obdélníku s rozměry 1200 mm na šířku (rozchod kol) a 1700 mm na délku (rozvor).



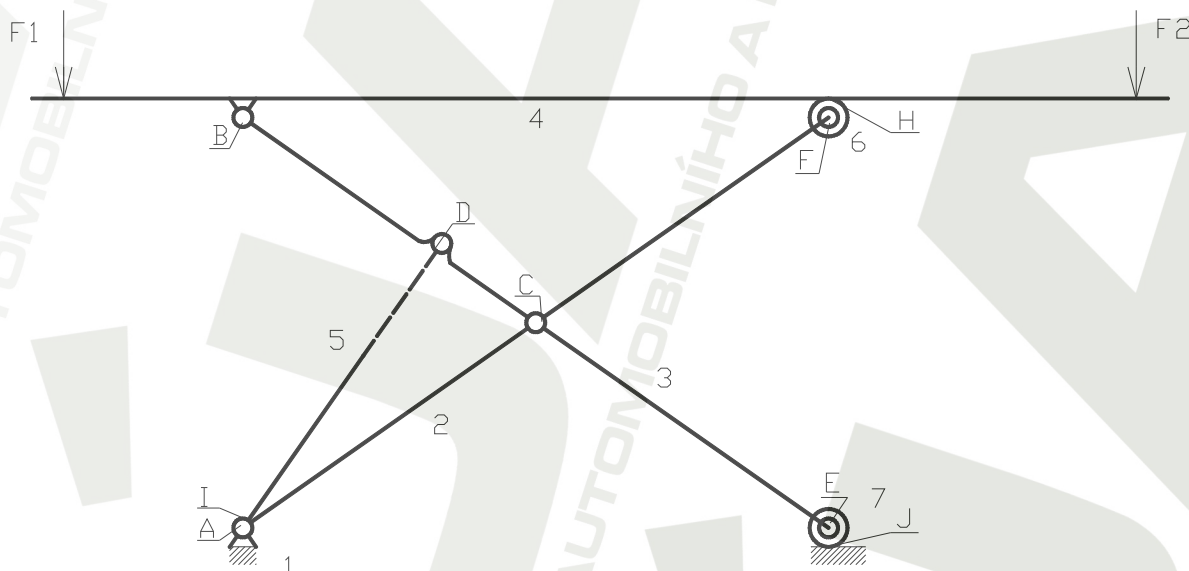
Obr.11 Místa zatížení [19]

4 Statický výpočet

4. 1 Rozbor úlohy

Při výpočtu výsledných stykových sil v mechanismu je soustava uložena nepohyblivě (staticky určitě). Člen 5 viz obr. 12 v soustavě představuje přímočarý hydromotor. Podle polohy zvedáku mění hydromotor svou délku.

Jedná se o prostorový mechanismus ale jeho členy jsou uspořádány v rovnoběžných rovinách, proto řešíme soustavu jako rovinou.



Obr.12 Statické schéma

4. 2 Klasifikace členů

- | |
|---------------------------------|
| 1 - rám |
| 2 - vícenásobný nezatížený člen |
| 3 - vícenásobný nezatížený člen |
| 4 - binární zatížený člen |
| 5 - binární nezatížený člen |
| 6 - binární nezatížený člen |
| 7 - binární nezatížený člen |

4. 3 Klasifikace vazeb

A,B,C,D,E,F,I – rotační vazby
H,J – valivé vazby

4. 4 Určení počtu stupňů volnosti

$$i = (n - 1) \cdot i_v - (\sum x_i - h)$$
$$i = (7 - 1) \cdot 3 - (18 - 0)$$
$$i = 0$$

(1)

n – počet členů soustavy

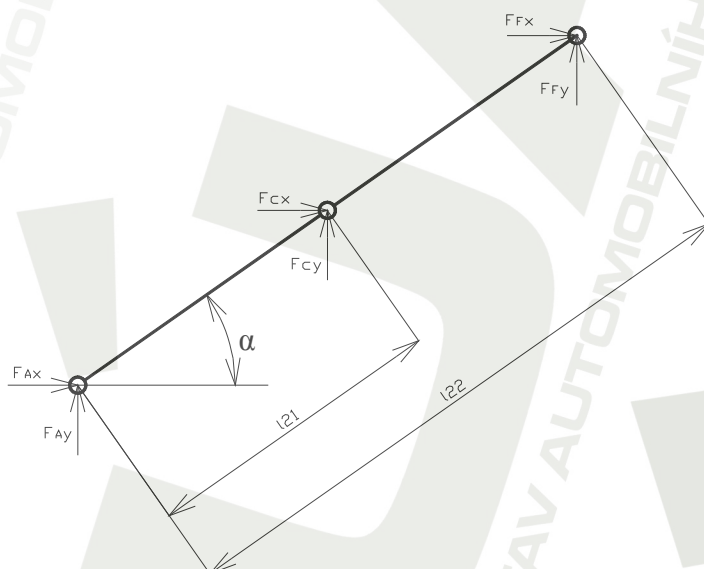
h – počet předpokládaných deformačních parametrů

x – počet odebraných stupňů volnosti od vazby

i_v – počet stupňů volnosti v rovině

4. 5 Uvolnění jednotlivých těles soustavy

4. 5. 1 Člen 2



Obr.13 Rozložení sil na členu 2

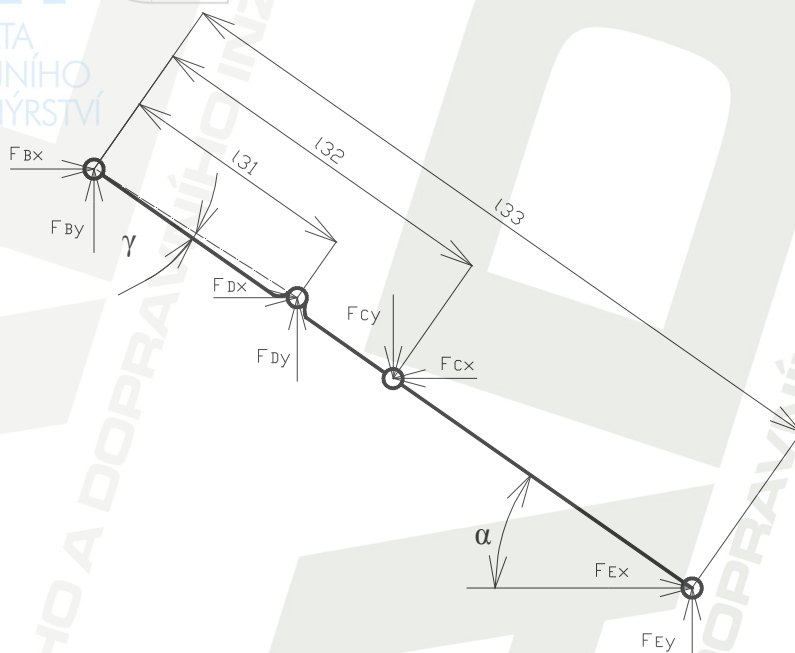
Podmínky statické rovnováhy:

$$F_x: F_{Ax} + F_{Cx} + F_{Fx} = 0 \quad (2)$$

$$F_y: F_{Ay} + F_{Cy} + F_{Fy} = 0 \quad (3)$$

$$M_{ZA}: -F_{Cx} \cdot l_{21} \cdot \sin a - F_{Fx} \cdot l_{22} \cdot \sin a + F_{Cy} \cdot l_{21} \cdot \cos a + F_{Fy} \cdot l_{22} \cdot \cos a = 0 \quad (4)$$

4. 5. 2 Člen 3



Obr.14 Rozložení sil na členu 3

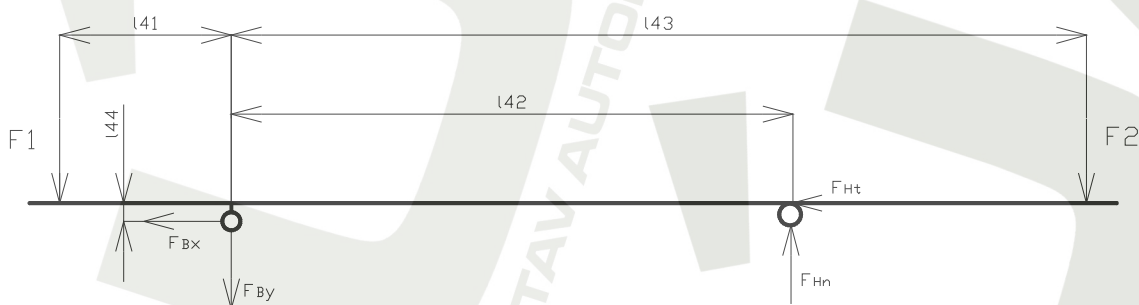
Podmínky statické rovnováhy:

$$F_x: F_{Bx} + F_{Dx} - F_{Cx} + F_{Ex} = 0 \quad (5)$$

$$F_y: F_{By} + F_{Dy} - F_{Cy} + F_{Ey} = 0 \quad (6)$$

$$M_{ZB}: F_{Dx} \cdot l_{31} \cdot \sin(a - g) - F_{Cx} \cdot l_{32} \cdot \sin a + F_{Ex} \cdot l_{33} \cdot \sin a + F_{Dy} \cdot l_{31} \cdot \cos(a - g) - F_{Cy} \cdot l_{32} \cdot \cos a + F_{Ey} \cdot l_{33} \cos a = 0 \quad (7)$$

4. 5. 3 Člen 4



Obr.15 Rozložení síla na členu 4

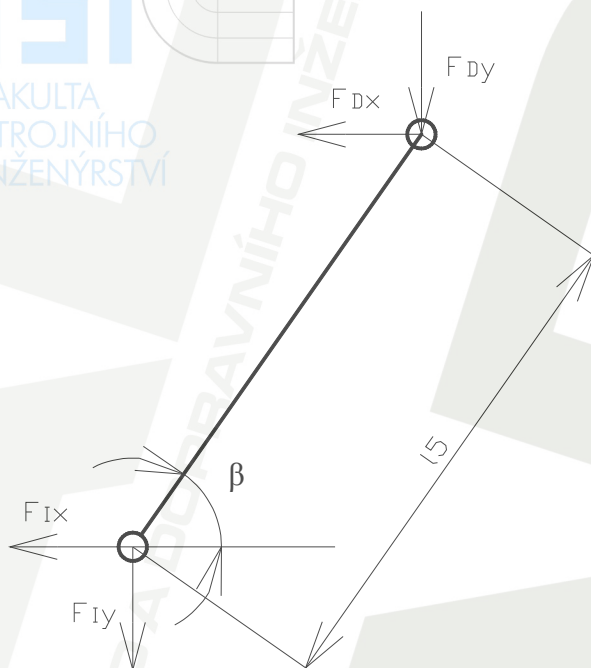
Podmínky statické rovnováhy:

$$F_x: -F_{Bx} - F_{Ht} = 0 \quad (8)$$

$$F_y: -F_1 - F_{By} + F_{Hn} - F_2 = 0 \quad (9)$$

$$M_{ZB}: F_1 \cdot l_{41} + F_{Hn} \cdot (l_{42} - x) + F_{Ht} \cdot l_{44} - F_2 \cdot l_{43} \quad (10)$$

4. 5. 4 Člen 5



Obr.16 Rozložení sil na členu 5

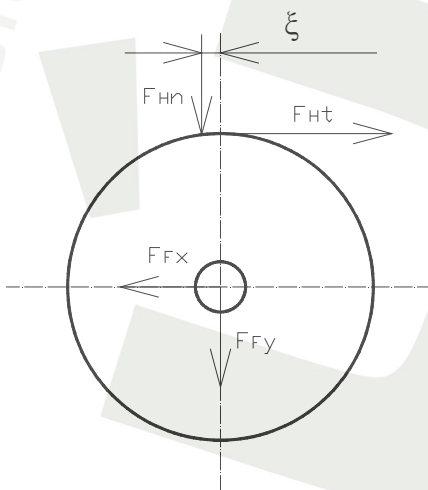
Podmínky statické rovnováhy:

$$F_x: -F_{Dx} - F_{1x} = 0 \quad (11)$$

$$F_y: -F_{Dy} - F_{1y} = 0 \quad (12)$$

$$M_{Zl}: F_{Dx} \cdot l_5 \cdot \sin b - F_{Dy} \cdot l_5 \cdot \cos b = 0 \quad (13)$$

4. 5. 5 Člen 6



Obr.17 Rozložení sil na členu 6

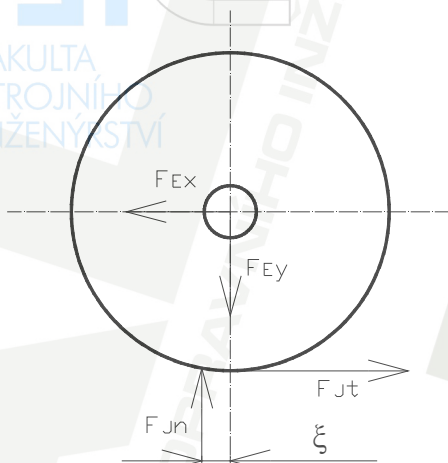
Podmínky statické rovnováhy:

$$F_x: -F_{Fx} + F_{Ht} = 0 \quad (14)$$

$$F_y: -F_{Fy} - F_{Hn} = 0 \quad (15)$$

$$M_{ZF}: -F_{Ht} \cdot R_6 + F_{Hn} \cdot x = 0 \quad (16)$$

4. 5. 6 Člen 7



Obr.18 Rozložení sil na členu 7

Podmínky statické rovnováhy:

$$F_x: -F_{EX} + F_{Jt} = 0 \quad (17)$$

$$F_y: -F_{Ey} + F_{Jn} = 0 \quad (18)$$

$$M_{ZE}: F_{Jt} \cdot R_7 - F_{Jn} \cdot x = 0 \quad (19)$$

4. 6 Statický rozbor

Neznámé parametry:

$$NP = \{F_{Ax}, F_{Ay}, F_{Bx}, F_{By}, F_{Cx}, F_{Cy}, F_{Dx}, F_{Dy}, F_{Ex}, F_{Ey}, F_{Fx}, F_{Fy}, F_{Ix}, F_{Iy}, F_{Jn}, F_{Jt}, F_{Hn}, F_{Ht}\}$$

$$m_F = 18 \quad (20)$$

$$m_M = 0$$

$$m = 18$$

Počet použitelných podmínek statické rovnováhy:

$$u_i = 3 \quad (21)$$

$$u = \sum u_i$$

$$u_F = 12$$

$$u_M = 6$$

$$u = 18$$

Nutná podmínka statické určitosti:

$$m = u$$

$$18 = 18$$

$$mM + mR \leq uM$$

$$0 \leq 6$$

(22)

Podmínka splněna.

4. 7 Maticové řešení soustavy statických rovnic

$$A \cdot x = b$$

(23)

kde $x^T = \{F_{Ax}, F_{Ay}, F_{Bx}, F_{By}, F_{Cx}, F_{Cy}, F_{Dx}, F_{Dy}, F_{Ex}, F_{Ey}, F_{Fx}, F_{Fy}, F_{Ix}, F_{Iy}, F_{Jn}, F_{Jt}, F_{Hn}, F_{Ht}\}$

$$b^T = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, F_1 + F_2 + F_G, -F_1 \cdot l_{41} + F_2 \cdot l_{43}, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

Výpočet zatížení:

Stav A – Větší zatížení na straně síly F2

$$G_{1A} = 1200 \text{ kg}$$

$$G_{2A} = 2350 \text{ kg}$$

Z důvodu bezpečnosti a vlastní váhy zvedaných součástí zvedáku zatížení navýšíme o $G = 500 \text{ kg}$

$$F_{1CA} = (G_{1A} + G / 2) \cdot g$$

$$F_{1CA} = (1200 + 250) \cdot 9,81$$

$$F_{1CA} = 14224,5 \text{ N}$$

(24)

$$F_{2CA} = (G_{2A} + G / 2) \cdot g$$

$$F_{2CA} = (2350 + 250) \cdot 9,81$$

$$F_{2CA} = 25506 \text{ N}$$

(25)

$$F_{1A} = F_{1CA} / 4 = 14224,5 / 4 = 3556,125 \text{ N}$$

$$F_{2A} = F_{2CA} / 4 = 25506 / 4 = 6376,5 \text{ N}$$

(26)

(27)

Stav B – Větší zatížení na straně síly F1

$$G_{1B} = 2350 \text{ kg}$$

$$G_{2B} = 1200 \text{ kg}$$

Z důvodu bezpečnosti a vlastní váhy zvedaných součástí zvedáku zatížení navýšíme o $G = 500 \text{ kg}$

$$F_{1CB} = (G_{1B} + G / 2) \cdot g$$

$$F_{1CB} = (2350 + 250) \cdot 9,81$$

$$F_{1CB} = 25506 \text{ N}$$

(28)

$$F_{2CB} = (G_{2B} + G / 2) \cdot g$$

$$F_{2CB} = (1200 + 250) \cdot 9,81$$

$$F_{2CB} = 14224,5 \text{ N}$$

(29)

$$F_{1B} = F_{1CB} / 4 = 25506 / 4 = 6376,5N \quad (30)$$

$$F_{2B} = F_{2CB} / 4 = 14224,5 / 4 = 3556,125N \quad (31)$$

Za předpokladu rovnoměrného rozložení zatížení do čtyř nůžkových mechanismů zvedáku zatížení podělíme čtyřikrát. Z výsledků matic zjistíme síly působící na jeden nůžkový mechanismus.

Délky a úhly jednotlivých prutů

$$l_{21} = 0,567m$$

$$l_{22} = 1,134m$$

$$l_{31} = 0,3545$$

$$l_{32} = 0,567m$$

$$l_{33} = 1,134m$$

$$l_{34} = 0,019287$$

$$l_{41} = 0,284m$$

$$l_{42} = 0,916 - 1,132m$$

$$l_{43} = 1,416m$$

$$l_{44} = 0,03m$$

$$R_6 = 0,0235$$

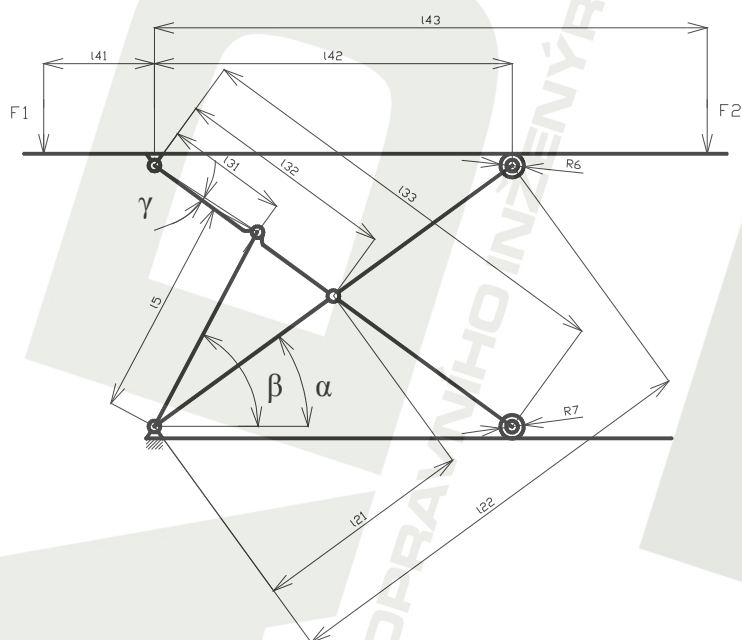
$$R_7 = 0,0275m$$

$$l_5 = 0,360 - 0,558m,$$

$$a = 3^\circ - 36^\circ$$

$$b = 9,6^\circ - 57,8^\circ$$

$$g = 3,1^\circ$$



Obr.19 Délky a úhly jednotlivých prutů

Velikost délky l_{42} a l_5 a úhlů α a β se mění podle výšky zdvihu. Ostatní veličiny jsou konstantní.

Matice A

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin a \cdot l_{21} & \cos a \cdot l_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin a \cdot l_{22} & \cos a \cdot l_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\sin a \cdot l_{32} & -\cos a \cdot l_{32} & \sin(a-g) \cdot l_{31} & \cos(a-g) \cdot l_{31} & \sin a \cdot l_{33} & \cos a \cdot l_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l_{42} - x & l_{44} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sin b \cdot l_5 & -\cos b \cdot l_5 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x & -R_6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x & R_7 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

4. 7. 1 Řešení v horní poloze zvedáku pro stav A viz obr. 9

$$x = A^{-1} \cdot b$$

$$x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,333 & 0,459 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,667 & 0,917 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,333 & -0,459 & 0,193 & 0,297 & 0,667 & 0,917 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,916 & 0,03 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,472 & -0,297 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,0005 & -0,0235 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,0005 & 0,0275 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 9932,63 \\ 8019,19 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -11961,40 \\ -17579,02 \\ -186,24 \\ -1179,38 \\ 11775,16 \\ 26332,27 \\ 11801,94 \\ 18741,16 \\ 159,46 \\ 8770,49 \\ 186,24 \\ -8753,25 \\ -11801,94 \\ -18741,16 \\ 8770,49 \\ 159,46 \\ 8753,25 \\ 186,24 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_{AX} \\ F_{AY} \\ F_{BX} \\ F_{BY} \\ F_{CX} \\ F_{CY} \\ F_{DX} \\ F_{DY} \\ F_{EX} \\ F_{EY} \\ F_{FX} \\ F_{FY} \\ F_{IX} \\ F_{IY} \\ F_{JN} \\ F_{JT} \\ F_{HN} \\ F_{HT} \end{pmatrix}$$

-1

4. 7. 2 Řešení v dolní poloze zvedáku pro stav A viz obr. 9

$$x = A^{-1} \cdot b$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,030 & 0,566 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,059 & 1,132 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,030 & -0,566 & -0,001 & 0,355 & 0,059 & 1,132 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,135 & 0,03 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,060 & -0,355 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,0005 & -0,0235 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,0005 & 0,0275 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 9932,63 \\ 8019,19 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -85339,66 \\ -11563,58 \\ -150,71 \\ -2849,41 \\ 85188,95 \\ 18646,80 \\ 85210,86 \\ 14412,34 \\ 128,80 \\ 7083,87 \\ 150,71 \\ -7083,22 \\ -85210,86 \\ -14412,34 \\ 7083,87 \\ 128,80 \\ 7083,22 \\ 150,71 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_{AX} \\ F_{AY} \\ F_{BX} \\ F_{BY} \\ F_{CX} \\ F_{CY} \\ F_{DX} \\ F_{DY} \\ F_{EX} \\ F_{EY} \\ F_{FX} \\ F_{FY} \\ F_{IX} \\ F_{IY} \\ F_{JN} \\ F_{JT} \\ F_{HN} \\ F_{HT} \end{pmatrix}$$

-1

4. 7. 3 Řešení v horní poloze zvedáku pro stav B viz obr. 10

$$x = A^{-1} \cdot b$$

$$x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,333 & 0,459 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,667 & 0,917 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,333 & -0,459 & 0,193 & 0,298 & 0,667 & 0,917 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,916 & 0,03 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,472 & -0,297 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,0005 & -0,0235 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,0005 & 0,0275 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 9932,63 \\ 3224,55 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -11692,36 \\ -12069,12 \\ -74,89 \\ -6412,91 \\ 11617,47 \\ 15588,84 \\ 11628,06 \\ 18465,04 \\ 64,30 \\ 3536,71 \\ 74,89 \\ -3519,72 \\ -11628,06 \\ -18465,04 \\ 3536,71 \\ 64,30 \\ 3519,72 \\ 74,89 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_{AX} \\ F_{AY} \\ F_{BX} \\ F_{BY} \\ F_{CX} \\ F_{CY} \\ F_{DX} \\ F_{DY} \\ F_{EX} \\ F_{EY} \\ F_{FX} \\ F_{FY} \\ F_{IX} \\ F_{IY} \\ F_{JN} \\ F_{JT} \\ F_{HN} \\ F_{HT} \end{pmatrix}$$

4. 7. 4 Řešení v dolní poloze zvedáku pro stav B viz obr. 10

$$x = A^{-1} \cdot b$$

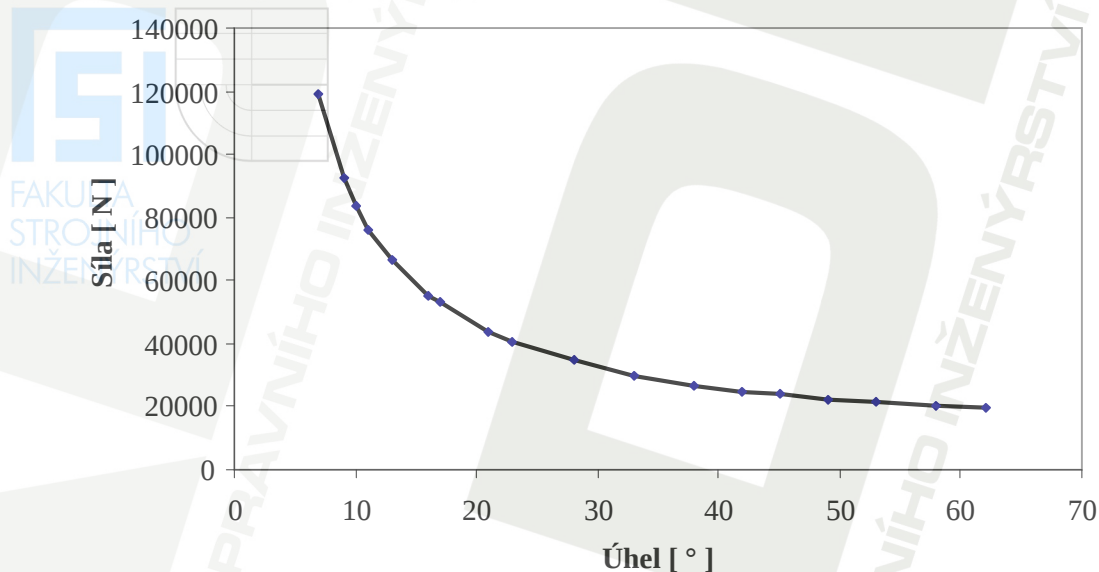
$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,030 & 0,566 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,059 & 1,132 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,030 & -0,566 & -0,001 & 0,355 & 0,059 & 1,132 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,132 & 0,03 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,060 & -0,355 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,0005 & -0,0235 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,0005 & 0,0275 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 9932,63 \\ 3224,55 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -85187,64 \\ -7315,86 \\ -60,60 \\ -7084,43 \\ 85127,04 \\ 10164,05 \\ 85135,84 \\ 14399,65 \\ 51,80 \\ 2848,84 \\ 60,60 \\ -2848,19 \\ -85135,84 \\ -14399,65 \\ 2848,84 \\ 51,80 \\ 2848,19 \\ 60,60 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{AX} \\ F_{AY} \\ F_{BX} \\ F_{BY} \\ F_{CX} \\ F_{CY} \\ F_{DX} \\ F_{DY} \\ F_{EX} \\ F_{EY} \\ F_{FX} \\ F_{FY} \\ F_{IX} \\ F_{IY} \\ F_{JN} \\ F_{JT} \\ F_{HN} \\ F_{HT} \end{bmatrix}$$

Z výsledku maticového řešení můžeme konstatovat, že největší síly jsou v dolní poloze zvedáku za stavu A. Pouze F_{BY} je za stavu B v dolní poloze vyšší. Proto u prutů, kde se tato síla vyskytuje, provedeme průběh vnitřních sil i pro tento stav. V příloze A je uveden průběh vnitřních sil i pro horní polohu zvedáku.

4. 7. 5 Závislost síly na přímočarý hydromotor vzhledem k jeho úhlu

Graf závislosti síly na přímočarý hydromotor vzhledem k jeho úhlu



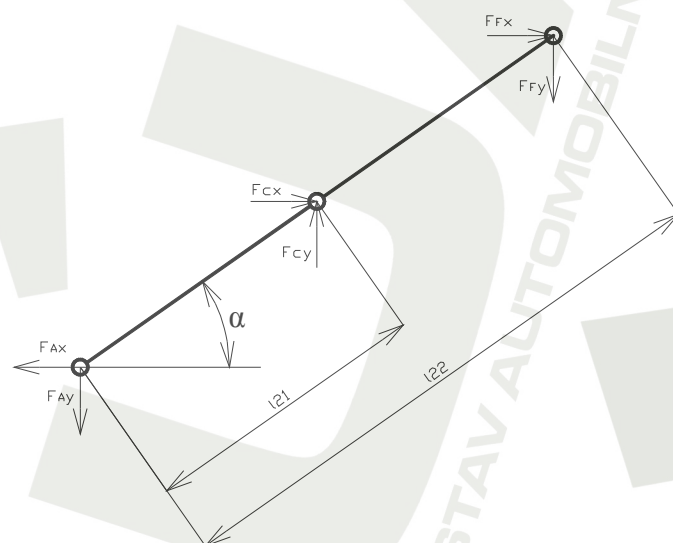
Obr.20 Graf závislosti síly na hydromotor vzhledem k jeho úhlu

Pro náš případ je přímočarý hydromotor pod úhlem $9^\circ 6'$ při sklopeném zvedáku. Při nižším úhlu by vycházeli větší síly, a tím i větší průměr hydraulického válce, což by znamenalo nemožnost umístění pod plošinou zvedáku. Při vyšším úhlu by na hydromotor působily síly menší, ale vzhledem k jeho umístění by byl kratší a nedosáhli bychom tak potřebného zdvihu.

5 Průběhy vnitřních sil

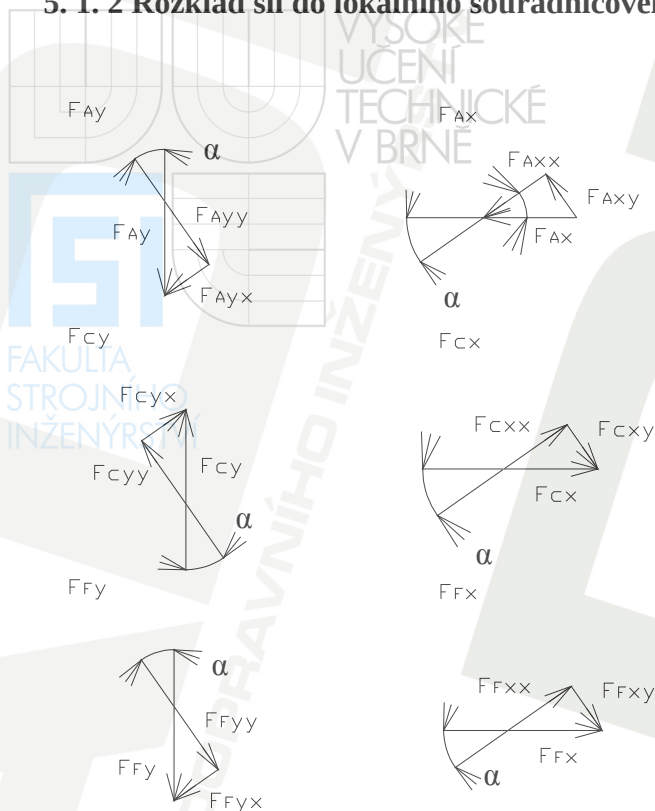
5. 1 Člen 2 za stavu A v dolní poloze zvedáku

5. 1. 1 Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.



Obr.21 Skutečná orientace sil na členu 2

5. 1. 2 Rozklad sil do lokálního souřadnicového systému



Obr.22 Rozklad sil na členu 2

5. 1. 3 Výpočet jednotlivých sil

$$F_{AXX} = F_{AX} \cdot \cos a = 85339,66 \cdot \cos(3) = 85222,70N \quad (32)$$

$$F_{AXY} = F_{AX} \cdot \sin a = 85339,66 \cdot \sin(3) = 4466,33N \quad (33)$$

$$F_{AYY} = F_{AY} \cdot \cos a = 11563,58 \cdot \cos(3) = 11547,73N \quad (34)$$

$$F_{AYX} = F_{AY} \cdot \sin a = 11563,58 \cdot \sin(3) = 605,19N \quad (35)$$

$$F_{CXX} = F_{CX} \cdot \cos a = 85188,95 \cdot \cos(3) = 85072,20N \quad (36)$$

$$F_{CXY} = F_{CX} \cdot \sin a = 85188,95 \cdot \sin(3) = 4458,45N \quad (37)$$

$$F_{CYY} = F_{CY} \cdot \cos a = 18646,80 \cdot \cos(3) = 18621,25N \quad (38)$$

$$F_{CYX} = F_{CY} \cdot \sin a = 18646,80 \cdot \sin(3) = 975,90N \quad (39)$$

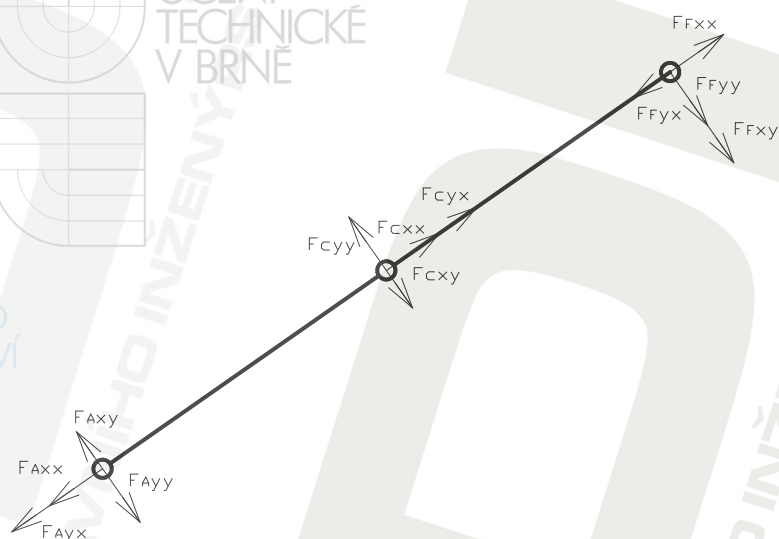
$$F_{FXX} = F_{FX} \cdot \cos a = 150,71 \cdot \cos(3) = 150,50N \quad (40)$$

$$F_{FXY} = F_{FX} \cdot \sin a = 150,71 \cdot \sin(3) = 7,89N \quad (41)$$

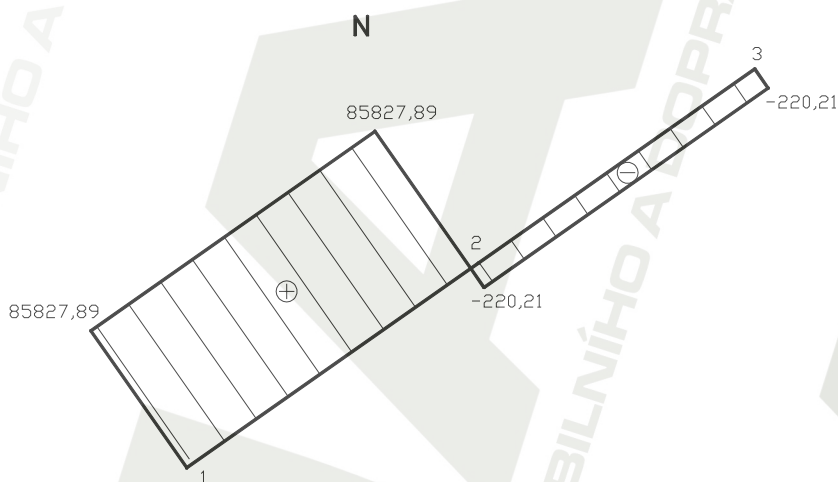
$$F_{FYY} = F_{FY} \cdot \cos a = 7083,22 \cdot \cos(3) = 7073,51N \quad (42)$$

$$F_{Fyx} = F_{FY} \cdot \sin a = 7083,22 \cdot \sin(3) = 370,71N \quad (43)$$

5. 1. 4 Výsledné vnitřní účinky



Obr.23 Rozklad sil na členu 2

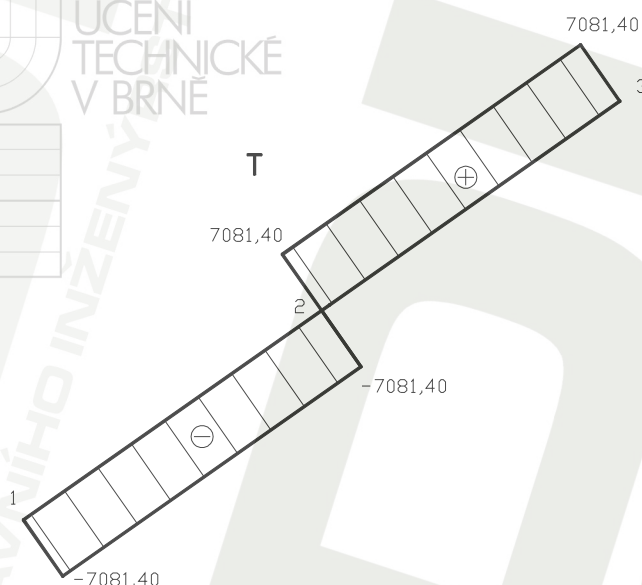


Obr.24 Normálové síly na členu 2 (N)

$$N_{21}^L = F_{AYX} + F_{AXX} = 605,19 + 85222,70 = 85827,89 \text{ N} \quad (44)$$

$$N_{22}^L = N_{21}^L - F_{CXX} - F_{CYX} = 85827,89 - 85072,20 - 975,90 = -220,21 \text{ N} \quad (45)$$

$$N_{23}^P = F_{FXX} - F_{FYY} = 150,50 - 370,71 = -220,21 \text{ N} \quad (46)$$

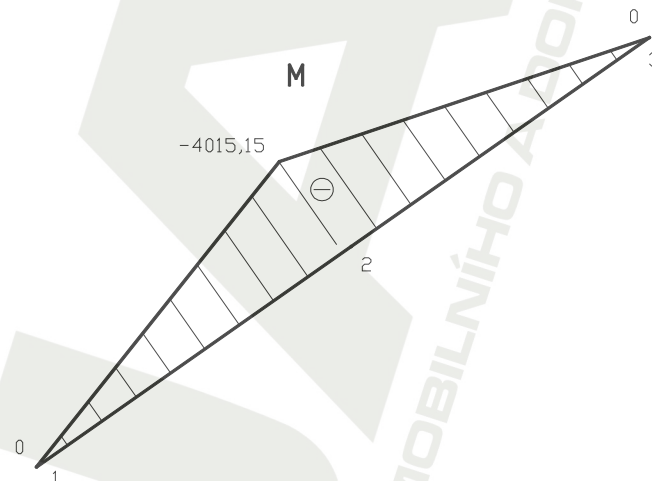


Obr.25 Posouvající síly na členu 2 (N)

$$T_{21}^L = -F_{AYY} + F_{AXY} = -11547,73 + 4466,33 = -7081,40 \text{ N} \quad (47)$$

$$T_{22}^L = T_{21}^L - F_{CXY} + F_{CYY} = -7081,40 - 4458,45 + 18621,25 = 7081,40 \text{ N} \quad (48)$$

$$T_{23}^P = F_{FYY} + F_{FXY} = 7073,51 + 7,89 = 7081,40 \text{ N} \quad (49)$$



Obr.26 Momenty na členu 2 (Nm)

$$M_{21}^L = 0 \text{ Nm} \quad (50)$$

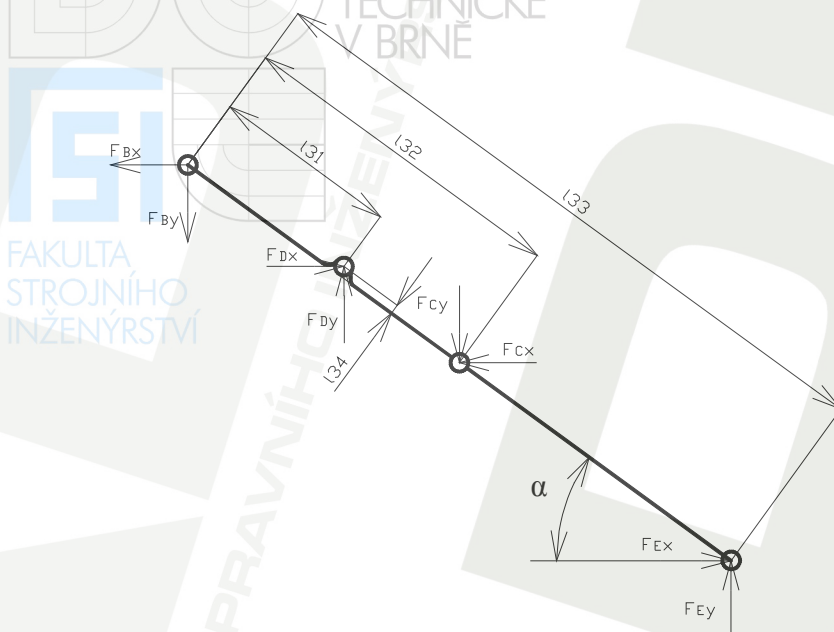
$$\begin{aligned} M_{21}^P &= (+F_{CYY} - F_{CXY}) \cdot l_{21} + (-F_{FYY} - F_{FXY}) \cdot l_{22} \\ &= (+18621,25 - 4458,45) \cdot 0,567 + (-7073,51 - 7,89) \cdot 1,134 \\ &= 0 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$M_{22}^L = (F_{AXY} - F_{AYY}) \cdot l_{21} = (4466,33 - 11547,73) \cdot 0,567 = -4015,15 \text{ Nm} \quad (51)$$

$$M_{22}^P = (-F_{FYY} - F_{FXY}) \cdot l_{21} = (-7073,51 - 7,89) \cdot 0,567 = -4015,15 \text{ Nm} \quad (52)$$

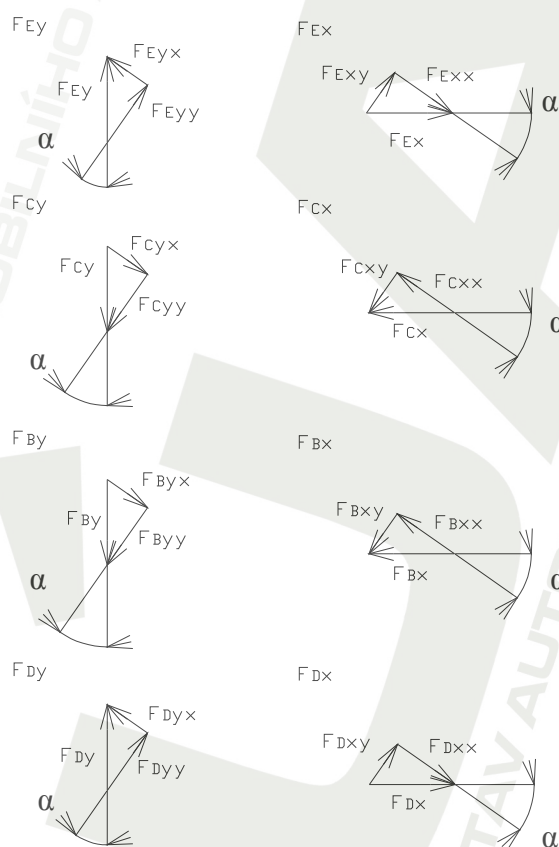
5. 2 Člen 3 za stavu A v dolní poloze zvedáku

5. 2. 1 Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.



Obr.27 Skutečná orientace sil na členu 3

5. 2. 2 Rozklad sil do lokálního souřadnicového systému



Obr.28 Rozklad sil na členu 3

5. 2. 3 Výpočet jednotlivých sil

$$F_{EXX} = F_{EX} \cdot \cos a = 128,80 \cdot \cos(3) = 128,62 N \quad (53)$$

$$F_{EYX} = F_{EX} \cdot \sin a = 128,80 \cdot \sin(3) = 6,74 N \quad (54)$$

$$F_{EYY} = F_{EY} \cdot \cos a = 7083,87 \cdot \cos(3) = 7074,16 N \quad (55)$$

$$F_{EYX} = F_{EY} \cdot \sin a = 7083,87 \cdot \sin(3) = 370,74 N \quad (56)$$

$$F_{CXX} = F_{CX} \cdot \cos a = 85188,95 \cdot \cos(3) = 85072,20 N \quad (56)$$

$$F_{CXY} = F_{CX} \cdot \sin a = 85188,95 \cdot \sin(3) = 4458,45 N \quad (57)$$

$$F_{CYY} = F_{CY} \cdot \cos a = 18646,80 \cdot \cos(3) = 18621,25 N \quad (58)$$

$$F_{CYX} = F_{CY} \cdot \sin a = 18646,80 \cdot \sin(3) = 975,90 N \quad (59)$$

$$F_{BXX} = F_{BX} \cdot \cos a = 150,71 \cdot \cos(3) = 150,50 N \quad (60)$$

$$F_{BXY} = F_{BX} \cdot \sin a = 150,71 \cdot \sin(3) = 7,89 N \quad (61)$$

$$F_{BYY} = F_{BY} \cdot \cos a = 2849,41 \cdot \cos(3) = 2845,50 N \quad (62)$$

$$F_{BYX} = F_{BY} \cdot \sin a = 2849,41 \cdot \sin(3) = 149,13 N \quad (63)$$

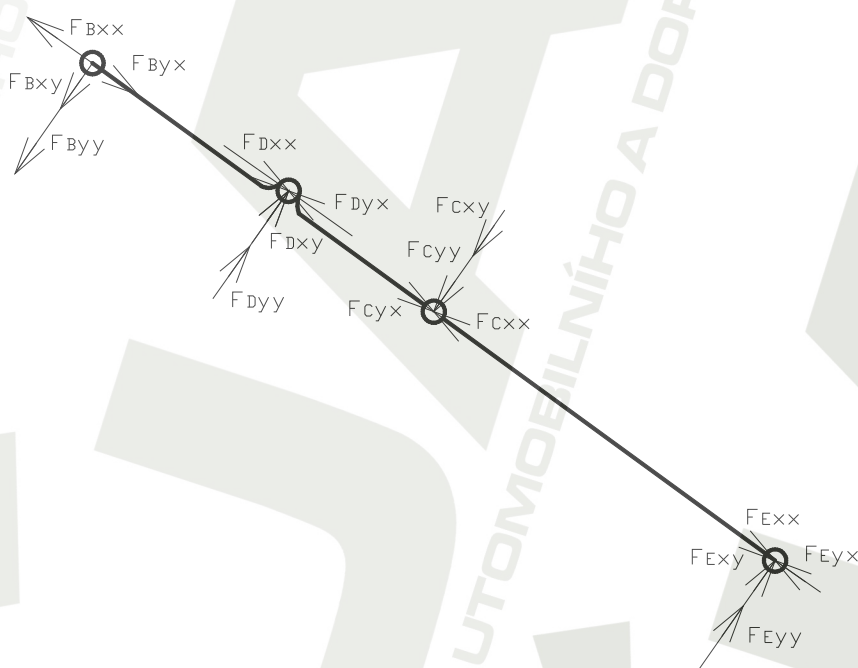
$$F_{DXX} = F_{DX} \cdot \cos a = 85210,86 \cdot \cos(3) = 85094,08 N \quad (64)$$

$$F_{DXY} = F_{DX} \cdot \sin a = 85210,86 \cdot \sin(3) = 4459,59 N \quad (65)$$

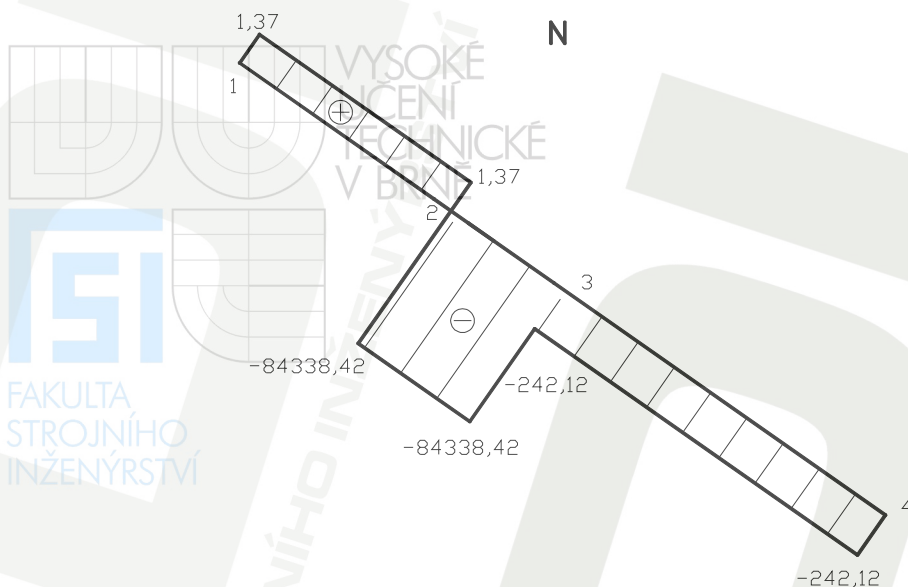
$$F_{DYY} = F_{DY} \cdot \cos a = 14412,34 \cdot \cos(3) = 14392,59 N \quad (66)$$

$$F_{DYX} = F_{DY} \cdot \sin a = 14412,34 \cdot \sin(3) = 754,28 N \quad (67)$$

5. 2. 4 Výsledné vnitřní účinky



Obr.29 Rozklad sil na členu 3



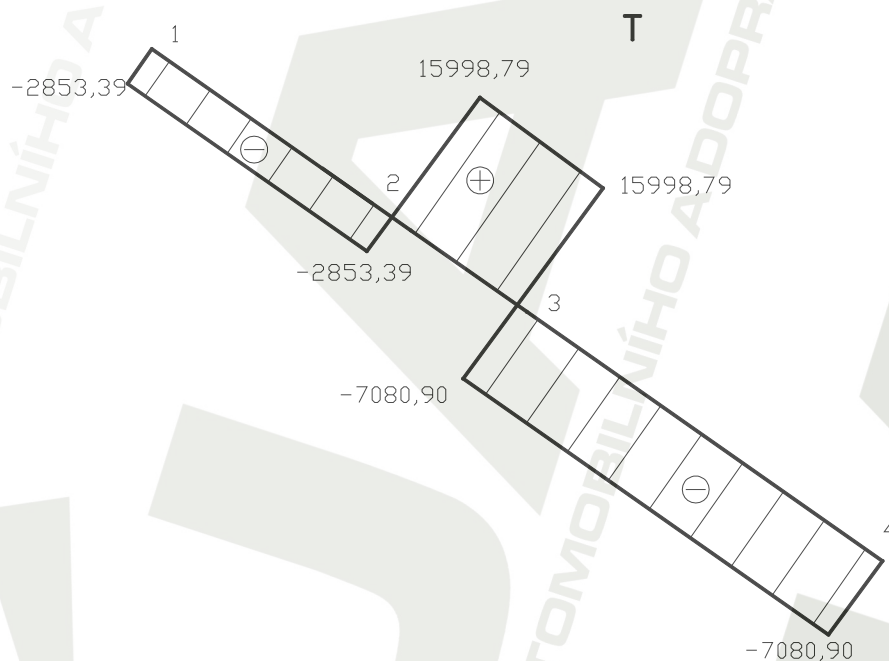
Obr.30 Normálové síly na členu 3(N)

$$N_{31}^L = F_{BXX} - F_{BYX} = 150,50 - 149,13 = 1,37 \text{ N} \quad (68)$$

$$N_{32}^L = N_{31}^L - F_{DXX} + F_{DYX} = 1,37 - 85094,08 + 754,28 = -84338,42 \text{ N} \quad (69)$$

$$N_{33}^L = N_{32}^L - F_{CYX} + F_{CXX} = -84338,42 - 975,90 + 85072,20 = -242,12 \text{ N} \quad (70)$$

$$N_{34}^P = F_{EXX} - F_{EYX} = 128,62 - 370,74 = -242,12 \text{ N} \quad (71)$$



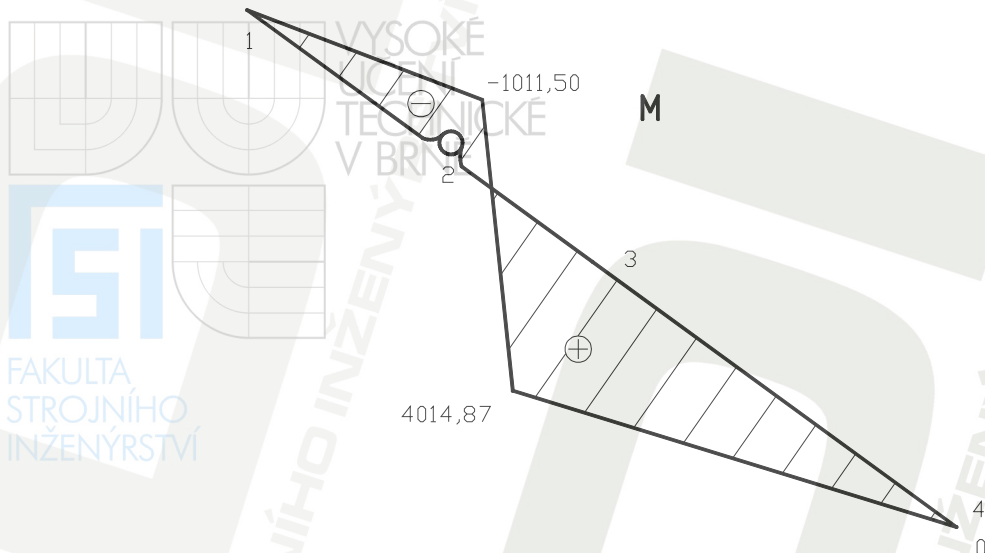
Obr.31 Posouvající síly na členu 3 (N)

$$T_{31}^L = -F_{BXY} - F_{BYX} = -7,89 - 2845,50 = -2853,39 \text{ N} \quad (72)$$

$$T_{32}^L = T_{31}^L + F_{DXY} + F_{DYY} = -2853,39 + 4459,59 + 14392,59 = 15998,79 \text{ N} \quad (73)$$

$$T_{33}^L = T_{32}^L - F_{CXY} - F_{CYX} = 15998,79 - 4458,45 - 18621,25 = -7080,90 \text{ N} \quad (74)$$

$$T_{34}^P = -F_{EYX} - F_{EXY} = -7074,16 - 6,74 = -7080,90 \text{ N} \quad (75)$$



Obr.32 Momenty na členu 3 (Nm)

$$M_{31}^L = 0 \text{ Nm} \quad (76)$$

$$M_{31}^P = (F_{EY} + F_{EX}) \cdot l_{33} + (-F_{CY} - F_{CX}) \cdot l_{32} + (F_{DY} + F_{DX}) \cdot l_{31} + (F_{DY} - F_{DX}) \cdot l_{34} = \quad (77)$$

$$M_{31}^P = (7074,16 + 6,74) \cdot 1,134 + (-18621,25 - 4458,45) \cdot 0,567 + (14392,59 + 4459,59) \cdot 0,3545 + (754,28 - 85094,08) \cdot 0,019287$$

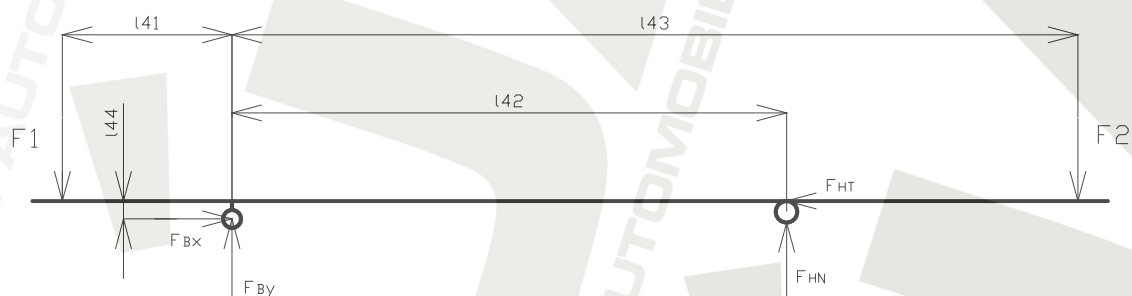
$$M_{31}^P = 0 \text{ Nm} \quad (78)$$

$$M_{32}^L = (-F_{BY} - F_{BX}) \cdot l_{31} + (F_{BX} - F_{BY}) \cdot l_{34} = (-2845,50 - 7,89) \cdot 0,3545 + (150,50 - 149,13) \cdot 0,019287 = -1011,50 \text{ Nm}$$

$$M_{33}^P = (F_{EY} + F_{EX}) \cdot l_{32} = (7074,16 + 6,74) \cdot 0,567 = 4014,87 \text{ Nm} \quad (79)$$

5. 3 Člen 4 za stavu A v dolní poloze zvedáku (u jednoho nůžkového mechanismu)

5. 3. 1 Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.



Obr.33 Skutečná orientace sil na členu 4

5. 3. 2 Velikosti jednotlivých sil

$$F_{BX} = 150,71N$$

$$F_{BY} = 2849,41N$$

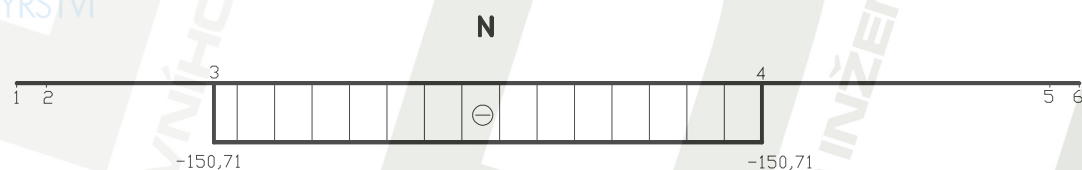
$$F_{HT} = 150,71N$$

$$F_{HN} = 7083,22N$$

$$F_1 = 3556,13N$$

$$F_2 = 6376,5N$$

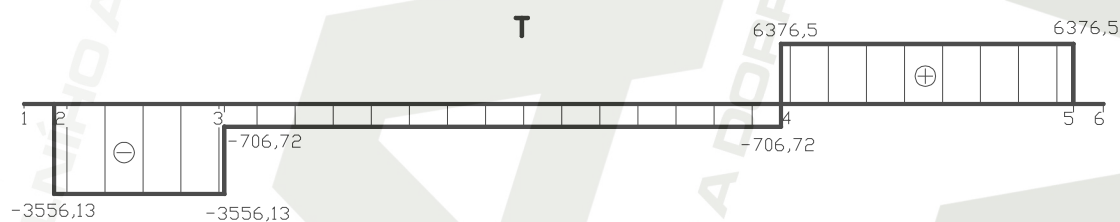
5. 3. 3 Výsledné vnitřní účinky



Obr.34 Normálové síly na členu 4 (N)

$$N_{43}^L = -F_{BX} = -150,71N \quad (80)$$

$$N_{44}^P = -F_{HT} = -150,71N \quad (81)$$



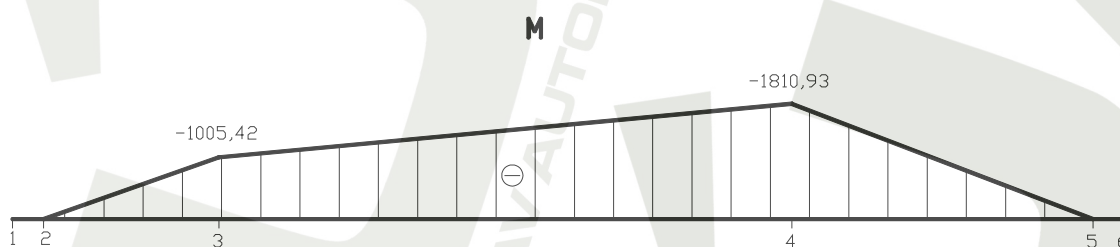
Obr.35 Posouvající síly na členu 4 (N)

$$T_{42}^L = -F_1 = -3556,13N \quad (82)$$

$$T_{43}^L = T_{42}^L + F_{BY} = -3556,13 + 2849,41 = -706,72N \quad (83)$$

$$T_{44}^L = T_{42}^L + F_{HN} = -706,72 + 7083,22 = 6376,5N \quad (84)$$

$$T_{45}^P = F_2 = 6376,5N \quad (85)$$



Obr.36 Momenty na členu 4 (Nm)

$$M_{42}^L = 0Nm$$

(86)

$$M_{43}^L = -F_1 \cdot l_{21} - F_{BX} \cdot l_{44} = -3556,13 \cdot 0,284 - 150,71 \cdot 0,03 = -1005,42Nm$$

(87)

$$M_{44}^P = -F_2 \cdot (l_{43} - l_{42}) = -6376,5 \cdot 0,284 = -1810,93Nm$$

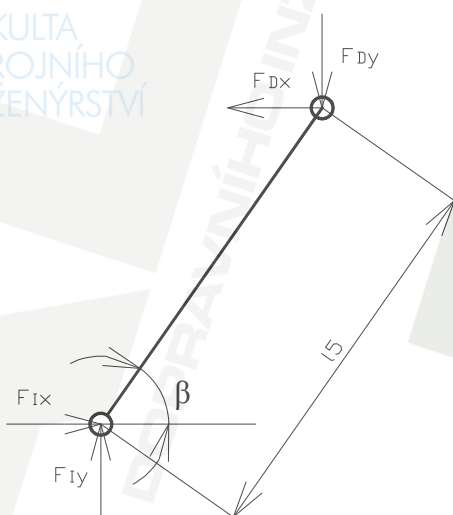
(88)

$$M_{45}^P = 0Nm$$

(89)

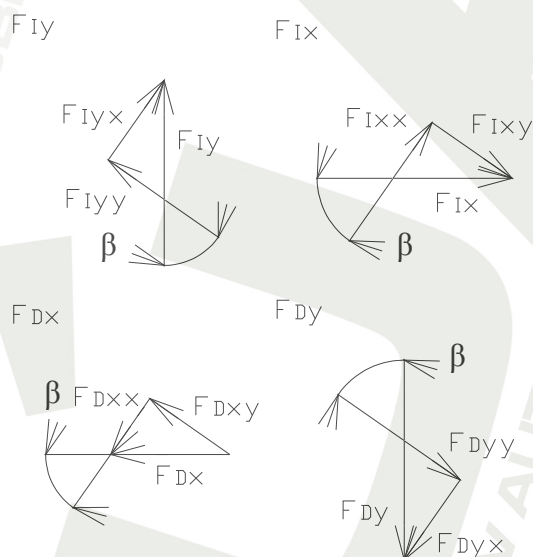
5. 4 Člen 5 za stavu A v dolní poloze zvedáku

5. 4. 1 Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.



Obr.37 Skutečná orientace sil na členu 5

5. 4. 2 Rozklad sil do lokálního souřadnicového systému



Obr.38 Rozklad sil na členu 5

5. 4. 3 Výpočet jednotlivých sil

$$F_{DXX} = F_{DX} \cdot \cos b = 85210,86 \cdot \cos(9,6) = 84017,57N \quad (90)$$

$$F_{DXY} = F_{DX} \cdot \sin b = 85210,86 \cdot \sin(9,6) = 14210,51N \quad (91)$$

$$F_{DYY} = F_{DY} \cdot \cos b = 14412,34 \cdot \cos(9,6) = 14210,51N \quad (92)$$

$$F_{DYX} = F_{DY} \cdot \sin b = 14412,34 \cdot \sin(9,6) = 2403,53N \quad (93)$$

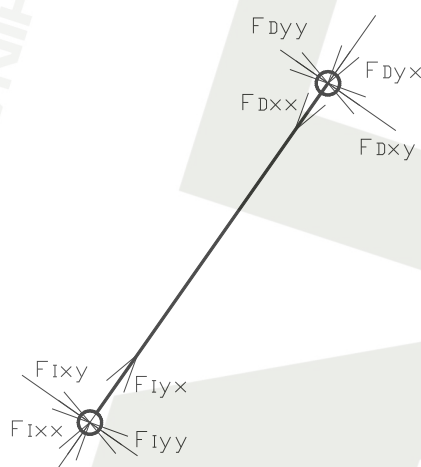
$$F_{IXX} = F_{IX} \cdot \cos b = 85210,86 \cdot \cos(9,6) = 84017,57N \quad (94)$$

$$F_{IXY} = F_{IX} \cdot \sin b = 85210,86 \cdot \sin(9,6) = 14210,51N \quad (95)$$

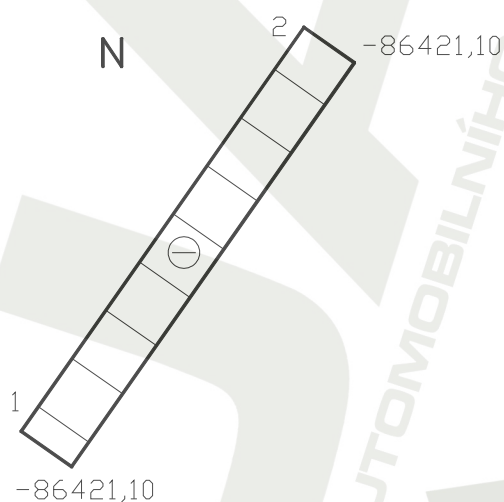
$$F_{IYY} = F_{IY} \cdot \cos b = 14412,34 \cdot \cos(9,6) = 14210,51N \quad (96)$$

$$F_{IYX} = F_{IY} \cdot \sin b = 14412,34 \cdot \sin(9,6) = 2403,53N \quad (97)$$

5. 4. 4 Výsledné vnitřní účinky



Obr.39 Orientace sil na členu 5



Obr.40 Normálové síly na členu 5 (N)

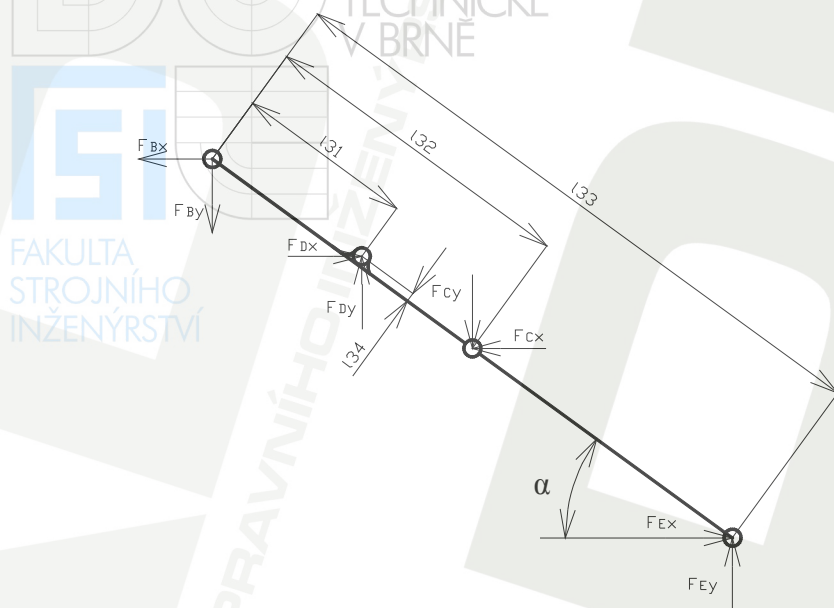
$$N_{51}^L = -F_{IXX} - F_{IYX} = -84017,57 - 2403,53 = -86421,10N \quad (98)$$

$$N_{52}^P = -F_{DXX} - F_{DYX} = -84017,57 - 2403,53 = -86421,10N \quad (99)$$

Z výpočtu je patrné že přímočarý hydromotor je zatížen pouze normálovými silami.

5. 5 Člen 3 za stavu B v dolní poloze zvedáku

5. 5. 1 Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.



Obr.41 Skutečná orientace sil na členu 3

5. 5. 2 Rozklad sil do lokálního souřadnicového systému

Stejný jako ve stavu A viz obr. 26

5. 5. 3 Výpočet jednotlivých sil

$$F_{EXX} = F_{EX} \cdot \cos a = 51,80 \cdot \cos(3) = 51,73N \quad (100)$$

$$F_{EXY} = F_{EX} \cdot \sin a = 51,80 \cdot \sin(3) = 2,71N \quad (101)$$

$$F_{EYY} = F_{EY} \cdot \cos a = 2848,84 \cdot \cos(3) = 2844,93N \quad (102)$$

$$F_{EYX} = F_{EY} \cdot \sin a = 2848,84 \cdot \sin(3) = 149,10N \quad (103)$$

$$F_{CXX} = F_{CX} \cdot \cos a = 85127,04 \cdot \cos(3) = 85010,37N \quad (104)$$

$$F_{CXY} = F_{CX} \cdot \sin a = 85127,04 \cdot \sin(3) = 4455,20N \quad (105)$$

$$F_{CYY} = F_{CY} \cdot \cos a = 10164,05 \cdot \cos(3) = 10150,12N \quad (106)$$

$$F_{CYX} = F_{CY} \cdot \sin a = 10164,05 \cdot \sin(3) = 531,95N \quad (107)$$

$$F_{BXX} = F_{BX} \cdot \cos a = 60,60 \cdot \cos(3) = 60,52N \quad (108)$$

$$F_{BXY} = F_{BX} \cdot \sin a = 60,60 \cdot \sin(3) = 3,17N \quad (109)$$

$$F_{BYY} = F_{BY} \cdot \cos a = 7084,43 \cdot \cos(3) = 7074,72N \quad (110)$$

$$F_{BYX} = F_{BY} \cdot \sin a = 7081,45 \cdot \sin(3) = 370,61N \quad (111)$$

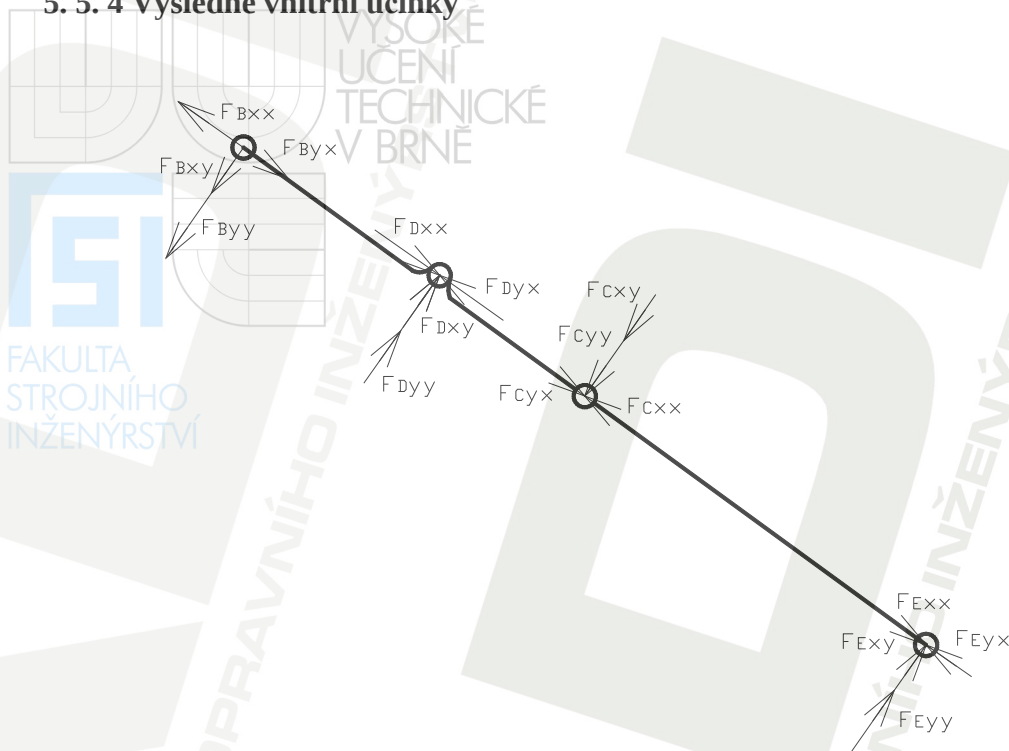
$$F_{DXX} = F_{DX} \cdot \cos a = 85135,84 \cdot \cos(3) = 85019,16N \quad (112)$$

$$F_{DXY} = F_{DX} \cdot \sin a = 85135,84 \cdot \sin(3) = 4455,67N \quad (113)$$

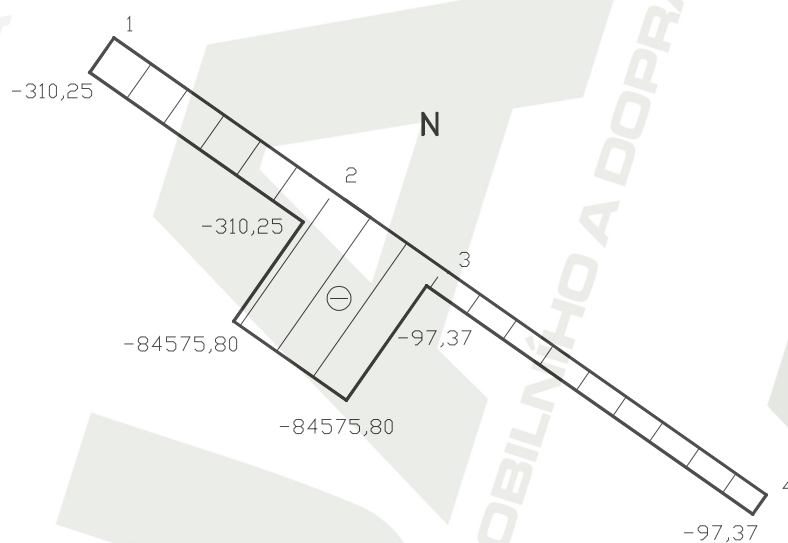
$$F_{DYY} = F_{DY} \cdot \cos a = 14399,65 \cdot \cos(3) = 14379,92N \quad (114)$$

$$F_{DYX} = F_{DY} \cdot \sin a = 14399,65 \cdot \sin(3) = 753,62N \quad (115)$$

5.5.4 Výsledné vnitřní účinky



Obr.42 Rozklad sil na členu 3



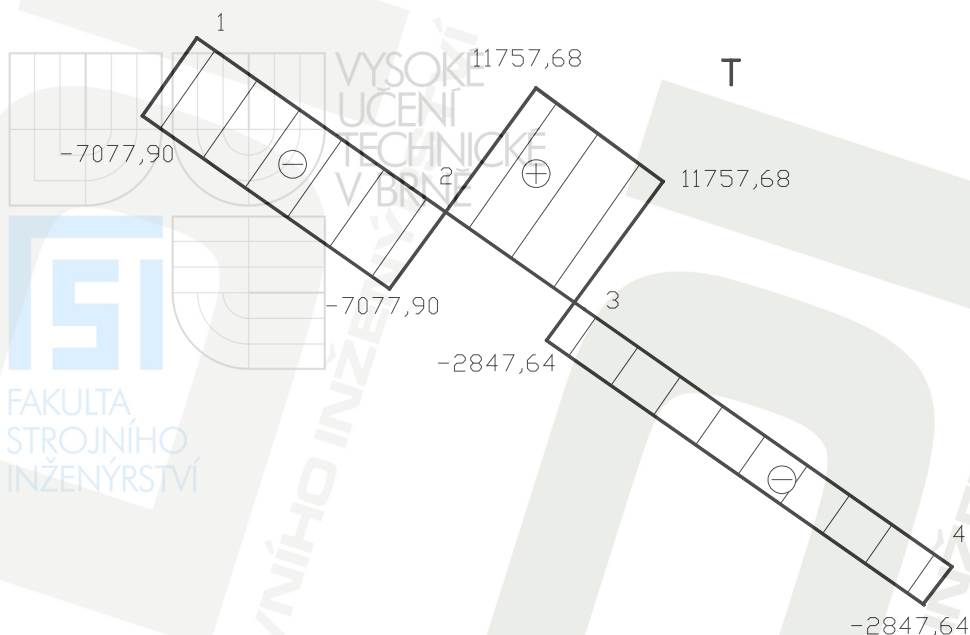
Obr.43 Normálové síly na členu 3 (N)

$$N_{31}^L = F_{BXX} - F_{BYX} = 60,52 - 370,77 = -310,25N \quad (116)$$

$$N_{32}^L = N_{31}^L - F_{DXX} + F_{DYX} = -310,25 - 85019,16 + 753,62 = -84575,80N \quad (117)$$

$$N_{33}^L = N_{32}^L - F_{CYX} + F_{CXX} = -84575,80 - 531,95 + 85010,37 = -97,37N \quad (118)$$

$$N_{34}^P = F_{EXX} - F_{EYX} = 51,73 - 149,10 = -97,37N \quad (119)$$



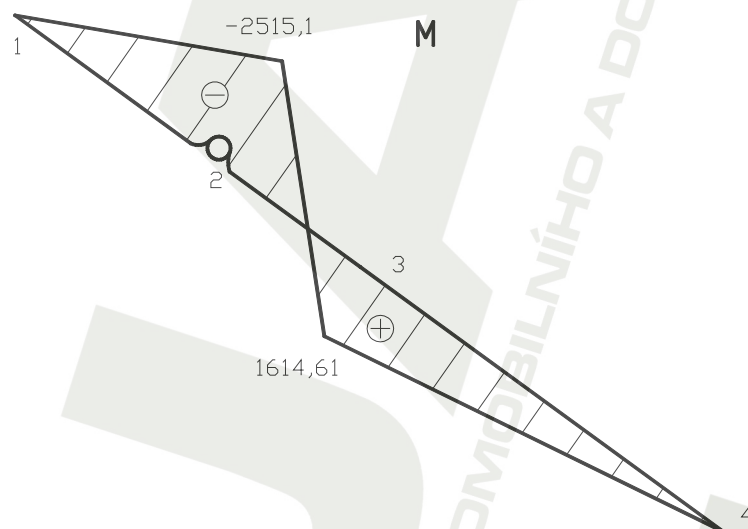
Obr.44 Posouvající síly na členu 3(N)

$$T_{31}^L = -F_{BXY} - F_{BYX} = -3,17 - 70714,72 = -7077,90N \quad (120)$$

$$T_{32}^L = T_{31}^L + F_{DXY} + F_{DYY} = -7077,90 + 4455,67 + 14379,92 = 11757,68N \quad (121)$$

$$T_{33}^L = T_{32}^L - F_{CXY} - F_{CYY} = 11757,68 - 4455,20 - 10150,12 = -2847,64N \quad (122)$$

$$T_{34}^P = -F_{EYY} - F_{EXY} = -2844,93 - 2,71 = -2847,64N \quad (123)$$



Obr.45 Momenty na členu 3 (Nm)

$$M_{31}^L = 0Nm \quad (124)$$

$$M_{31}^P = (F_{EYY} + F_{EXY}) \cdot l_{33} + (-F_{CYY} - F_{CXY}) \cdot l_{32} + (F_{DYY} + F_{DXY}) \cdot l_{31} + (F_{DYY} - F_{DXX}) \cdot l_{34} = \quad (125)$$

$$M_{31}^P = (2844,93 + 2,71) \cdot 1,134 + (-10150,12 - 4455,20) \cdot 0,567 + (14379,92 + 4455,67) \cdot 0,3545 + (753,62 - 85019,16) \cdot 0,019287$$

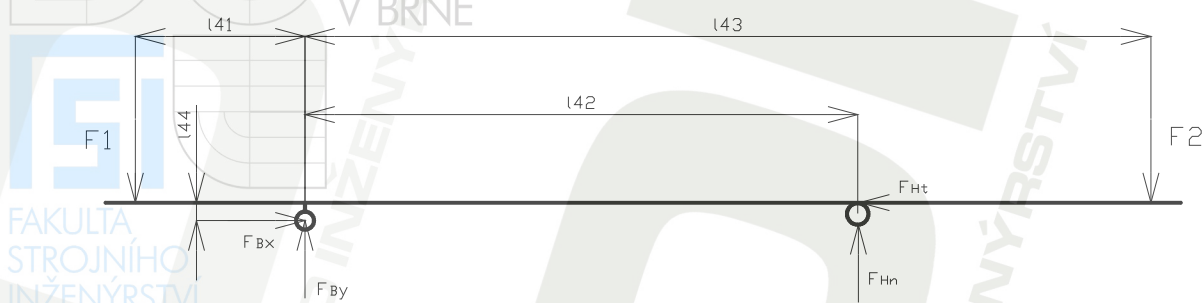
$$M_{31}^P = 0Nm$$

$$M_{32}^L = (-F_{BYY} - F_{BXY}) \cdot l_{31} + (F_{BXX} - F_{BYX}) \cdot l_{34} \quad (126)$$

$$(-7074,92 - 2,71) \cdot 0,3545 + (60,52 - 370,77) \cdot 0,019287 = -2515,1Nm \quad (127)$$

5. 6 Člen 4 za stavu B v dolní poloze zvedáku (u jednoho nůžkového mechanismu)

5. 6. 1 Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.



Obr.46 Skutečná orientace sil na členu 4

5. 6. 2 Velikosti jednotlivých sil

$$F_{BX} = 60,60N$$

$$F_{BY} = 7084,43N$$

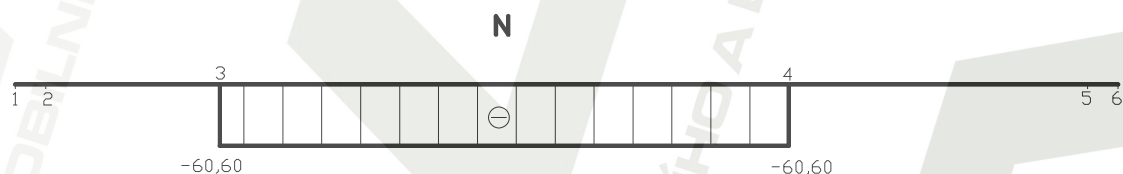
$$F_{HT} = 60,60N$$

$$F_{HN} = 2848,19N$$

$$F_1 = 6376,5N$$

$$F_2 = 3556,13N$$

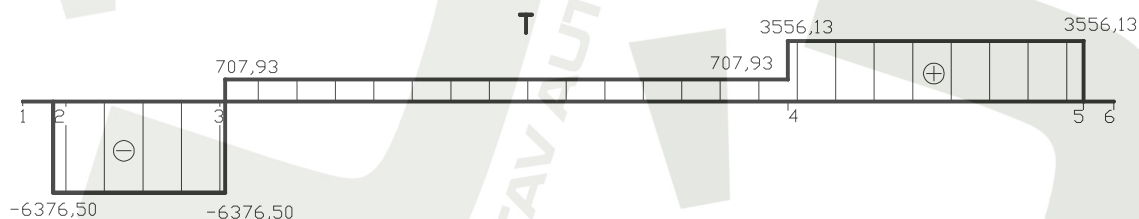
5. 6. 3 Výsledné vnitřní účinky



Obr.47 Normálové síly na členu 4 (N)

$$N_{43}^L = -F_{BX} = -60,60N \quad (128)$$

$$N_{44}^P = -F_{HT} = -60,60N \quad (129)$$



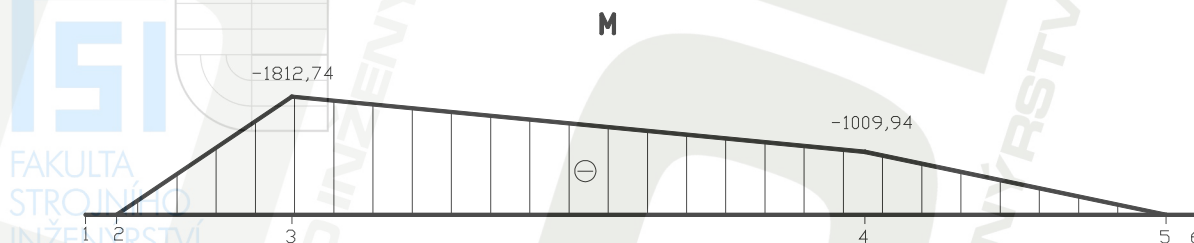
Obr.48 Posouvající síly na členu 4 (N)

$$T_{42}^L = -F_1 = -6376,5N \quad (130)$$

$$T_{43}^L = T_{42}^L + F_{BY} = -6376,5 + 7084,43 = 707,93N \quad (131)$$

$$T_{44}^L = T_{43}^L + F_{HN} = 707,93 + 2848,19 = 3556,13N \quad (132)$$

$$T_{45}^P = F_2 = 3556,13N \quad (133)$$



Obr.49 Momenty na členu 4 (Nm)

$$M_{42}^L = 0Nm \quad (134)$$

$$M_{43}^L = -F_1 \cdot l_{21} - F_{BX} \cdot l_{44} = -6376,5 \cdot 0,284 - 60,60 \cdot 0,03 = -1812,74Nm \quad (135)$$

$$M_{44}^P = -F_2 \cdot (l_{43} - l_{42}) = -3556,13 \cdot 0,284 = -1009,94Nm \quad (136)$$

$$M_{45}^P = 0Nm \quad (137)$$

6 Návrh průřezů

Volím materiál 11523 (S355J0) pro všechny členy zvedáku
Obdélníkový profil

Dle [8]

$$\begin{aligned} R_e &= 450 \text{ MPa} \\ E &= 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa} \\ R_m &= 600 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dle ČSN EN 1493

$$s_{DOV} = R_e / s$$

$$s_{DOV} = 450 / 1,5$$

$$s_{DOV} = 300 \text{ MPa}$$

$$t_{DOV} = 0,8 \cdot s_{DO}$$

$$t_{DOV} = 0,8 \cdot 300$$

$$t_{DOV} = 240 \text{ MPa}$$

(138)

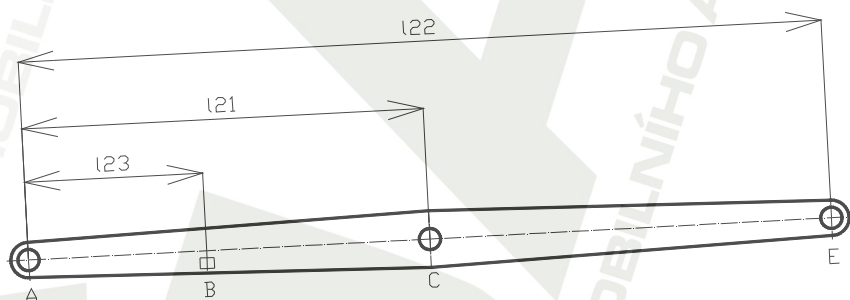
(139)

$s = 1,5$ viz tab. 1 str. 10 v kombinaci s tab. A.2 viz ČSN EN 1493

Dle [32]

$l_d = 60$ - štíhlost prostého tlaku

6. 1 Člen 2



Obr.50 Člen 2

6. 1. 1 Kontrola na vzpěr

V rovině Y mezi body C-E

Dle [5]

$$a = p$$

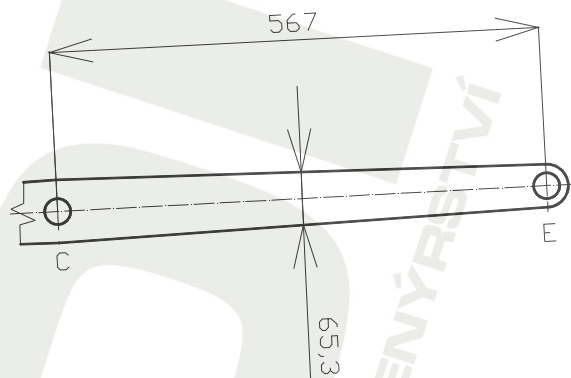
$$l = l_0$$

Dle obr. 51

$$l_{22} - l_{21} = 567 \text{ mm}$$

$$b_{2C-E} = 20 \text{ mm}$$

$$h_{2C-E} = 65,3 \text{ mm}$$



Obr.51 Průřez mezi C-E

Střední plocha průřezu

$$S_{2,C-E} = h_{2,C-E} \cdot b_{2,C-E}$$

(140)

$$S_{2,C-E} = 65,3 \cdot 20 = 1306 \text{ mm}^2$$

Kvadratický moment průřezu

$$J_Y^{2,C-E} = \frac{1}{12} b_{2C-E} \cdot h_{2C-E}^3$$

(141)

$$J_Y^{2,C-E} = \frac{1}{12} 20 \cdot 65,3^3 = 464075,2 \text{ mm}^4$$

Štíhlost tyče v rovině Y

$$l_Y = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{J_Y^{2,C-E}}{S_{2,C-E}}}} = \frac{567}{\sqrt{\frac{464075,2}{1306}}} = 30$$

(142)

Mezní štíhlost tyče

$$l_K = a \cdot \sqrt{\frac{E}{R_e}} = p \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{450}} = 67,87$$

(143)

$$l_Y \leq l_K$$

Štíhlost je menší než štíhlost prostého tlaku (λ_d), pak je řešení v oblasti prostého tlaku a namáhání součásti řešíme dle pevnostní podmínky v tlaku.

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

$$k_k = \frac{R_e}{N_{23}}$$

$$k_k = \frac{S_{2,C-E}}{450 \cdot 1306}$$
$$k_k = 117,7$$

(144)

Prvek je nejvíce namáhán v horní poloze zvedáku za stavu A viz Příloha A str.3

V rovině Z mezi body C-E

Kvadratický moment průřezu

$$J_z^{2,C-E} = \frac{1}{12} b_{2C-E}^3 \cdot h_{2C-E}$$

(145)

$$J_z^{2,C-E} = \frac{1}{12} 20^3 \cdot 65,3 = 43533,3 \text{ mm}^4$$

Štíhlost tyče v rovině Z

$$l_z = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{J_z}{S}}} = \frac{567}{\sqrt{\frac{J_z^{2,C-E}}{S_{2,C-E}}}} = \frac{567}{\sqrt{\frac{43533,3}{1306}}} = 98,2$$

(146)

$l_z > l_k$ Řešíme v oblasti pružného vzpěru dle Eulera

Mezní štíhlost tyče

viz (143)

Kritická síla

$$F_{KR} = a^2 \cdot \frac{E \cdot J}{l^2}$$

$$F_{KR} = p^2 \cdot \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 43533,3}{567^2}$$

$$F_{KR} = 280656,1 \text{ N}$$

(147)

Kritické napětí dle Eulera

$$S_{KR} = \frac{p^2 \cdot E}{l^2}$$

$$S_{KR} = \frac{p^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{98,2^2}$$

$$S_{KR} = 214,9 \text{ MPa}$$

(148)

Bezpečnost vzhledem k MSVS

$$k_k = \frac{S_{KR}}{s_{\max}}$$

$$k_k = \frac{S_{KR}}{N_{23}}$$

$$k_k = \frac{S_{2,C-E}}{214,9}$$

$$k_k = \frac{1306}{56,2}$$

$N_{23} = 4994,36N$ - větší namáhání v horní poloze zvedáku. viz příloha A str.3

(149)

6. 1. 2 Kontrola průřezu v bodě C

Průřez je nejvíce namáhán v dolní poloze zvedáku za stavu A viz obr.24

Kontrola na tah

Ve spodní části na délce l_{21} je prut namáhán tahem

Plocha průřezu

$$S_{2C} = Sp_{2C} - So_{2C} = 80 \cdot 20 - 30 \cdot 20 = 1000mm^2 \quad (150)$$

$$st_2^C = \frac{F}{S} = \frac{N_{22}}{S_{2C}} = \frac{85827,89}{1000} = 85,8MPa \quad (151)$$

$$st_2^C < s_{Dov}$$

$$85,8 < 300MPa$$

Kontrola na smyk

$$t_2^C = \frac{F}{S} = \frac{T_{22}}{S_{2C}} = \frac{7081,40}{1000} = 7,1MPa \quad (152)$$

$$t_2^C < t_{DS}$$

$$7,1 < 240MPa$$

Kontrola na ohyb

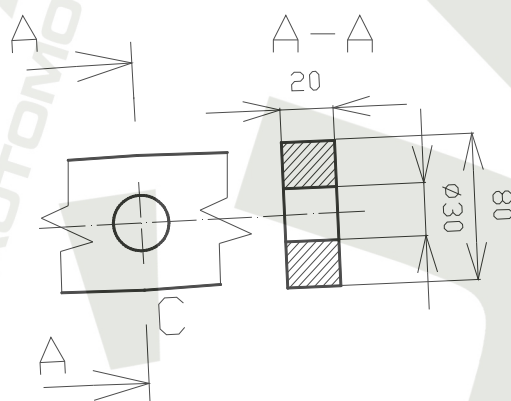
Vliv otvoru pro čep

$$J_Y^{2CC} = J_Y^{2CP} - J_Y^{2CO}$$

$$J_Y^{2CC} = \frac{1}{12} \cdot b_{2CP} \cdot h_{2CP}^3 - \frac{1}{12} \cdot b_{2CO} \cdot h_{2CO}^3$$

$$J_Y^{2CC} = \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 80^3 - \frac{1}{12} \cdot 20 \cdot 30^3$$

$$J_Y^{2CC} = 808333,33mm^4$$



Obr.52 Průřez C

(153)

$$s_{o_2}^C = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o}{\frac{J_{Y-Y}^{2CC}}{Z}} = \frac{4015,15 \cdot 1000}{\frac{808333,33}{40}} = 198,7 \text{ MPa} \quad (154)$$

$$s_{o_2}^C < s_{DO} \\ 198,7 < 300 \text{ MPa}$$

Redukované napětí

$$s_{red} = \sqrt{s^2 + 3 \cdot t^2} \quad (155)$$

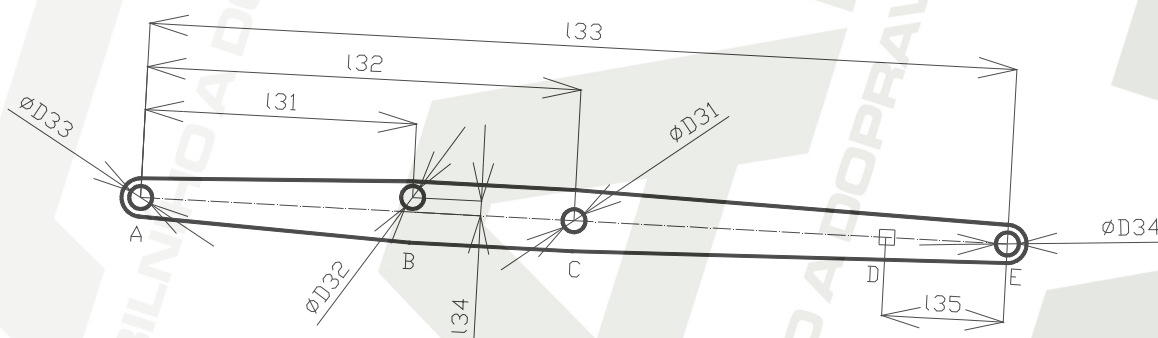
$$s_{red} = \sqrt{(s_2^C + s_{o_2}^C)^2 + 3 \cdot t_2^{C^2}}$$

$$s_{red} = \sqrt{(85,8 + 198,7)^2 + 3 \cdot 7,1^2}$$

$$s_{red} = 284,8 \text{ MPa}$$

$$s_{red} < s_{DO} \\ 284,8 < 300 \text{ MPa}$$

6. 2 Člen 3



Obr.53 Člen 3

6. 2. 1 Kontrola na vzpěr

V rovině Y mezi body A-B

Dle [5]

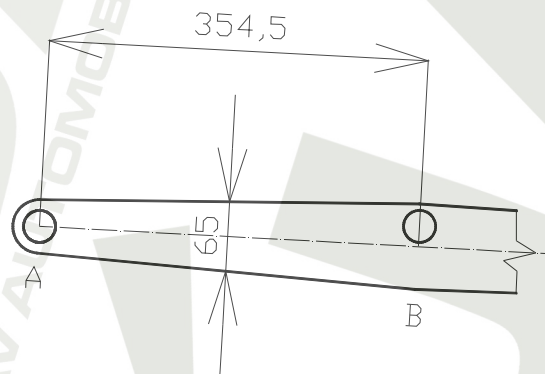
$$a = p \\ l = l_0$$

Dle obr. 54

$$l_{31} = 354,5 \text{ mm}$$

$$b_{3A-B} = 25 \text{ mm}$$

$$h_{3A-B} = 65 \text{ mm}$$



Obr.54 Průřez mezi A-B

Střední plocha průřezu

$$S_{3.A-B} = h_{3.A-B} \cdot b_{3.A-B} \quad (156)$$

$$S_{3.A-B} = 65 \cdot 20 = 1625 \text{ mm}^2$$

Kvadratický moment průřezu

$$J_Y^{3.A-B} = \frac{1}{12} b_{3.A-B} \cdot h_{3.A-B}^3 \quad (157)$$

$$J_Y^{3.A-B} = \frac{1}{12} 25 \cdot 65^3 = 572135,4 \text{ mm}^4$$

Štíhlost tyče v rovině Y

$$l_Y = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{J_Y^{3.A-B}}{S_{3.A-B}}}} = \frac{354,5}{\sqrt{\frac{572135,4}{1625}}} = 18,9 \quad (158)$$

Mezní štíhlost tyče

$$l_K = a \cdot \sqrt{\frac{E}{\text{Re}}} = p \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{450}} = 67,87 \quad (159)$$

$$l_Y \leq l_K$$

Štíhlost je menší než štíhlost prostého tlaku (λd), pak je řešení v oblasti prostého tlaku a namáhání součásti řešíme dle pevnostní podmínky v tlaku.

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

$$k_k = \frac{\text{Re}}{N_{31}} \quad (160)$$

$$k_k = \frac{S_{3.A-B}}{450 \cdot 1625}$$

$$k_k = \frac{542,55}{1625}$$

$$k_k = 1347,8$$

Prvek je nejvíce namáhán v horní poloze zvedáku za stavu A viz příloha A str.6

V rovině Y mezi body B-C

Dle [5]

$$a = p$$

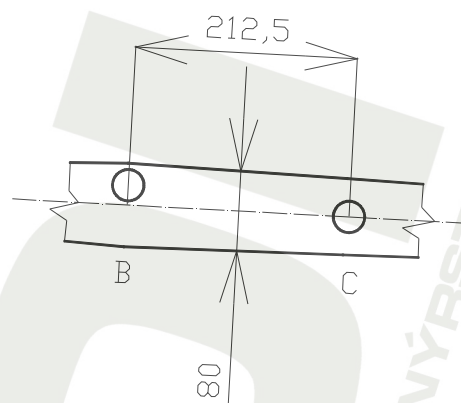
$$l = l_0$$

Dle obr. 55

$$l_{32} - l_{31} = 212,5 \text{ mm}$$

$$b_{3B-C} = 25 \text{ mm}$$

$$h_{3B-C} = 80 \text{ mm}$$



Obr.55 průřez mezi B-C

Střední plocha průřezu

$$S_{3,B-C} = h_{3B-C} \cdot b_{3B-C}$$

$$S_{3,B-C} = 80 \cdot 25 = 2000 \text{ mm}^2$$

Kvadratický moment průřezu

$$J_Y^{3,B-C} = \frac{1}{12} b_{3B-C} \cdot h_{3B-C}^3$$

$$J_Y^{3,B-C} = \frac{1}{12} 25 \cdot 80^3 = 1066666,7 \text{ mm}^4$$

Štíhlost tyče v rovině Y

$$l_Y = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{J_Y^{3,B-C}}{S_{3,B-C}}}} = \frac{212,5}{\sqrt{\frac{1066666,7}{2000}}} = 9,2$$

Mezní štíhlost tyče

$$l_K = a \cdot \sqrt{\frac{E}{Re}} = p \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{450}} = 67,87$$

$$l_Y \leq l_K$$

Štíhlost je menší než štíhlost prostého tlaku (λd), pak je řešení v oblasti prostého tlaku a namáhání součásti řešíme dle pevnostní podmínky v tlaku.

(161)

(162)

(163)

(164)

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

$$k_k = \frac{R_e}{N_{32}}$$

$$k_k = \frac{S_{3,B-C}}{450 \cdot 2000}$$

$$k_k = 10,7$$

(165)

Prvek je nejvíce namáhán v dolní poloze zvedáku za stavu A viz str. 31

V rovině Y mezi body C-E

Dle [5]

$$a = p$$

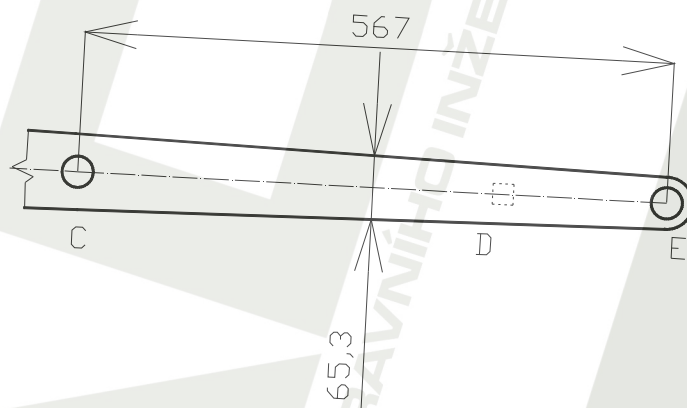
$$l = l_0$$

Dle obr. 56

$$l_{33} - l_{32} = 567 \text{ mm}$$

$$b_{3C-E} = 25 \text{ mm}$$

$$h_{3C-E} = 65,3 \text{ mm}$$



Obr.56 Průřez mezi C-E

Střední plocha průřezu

$$S_{3,C-E} = h_{3C-E} \cdot b_{3C-E}$$

(166)

$$S_{3,C-E} = 65,3 \cdot 25 = 1632,5 \text{ mm}^2$$

Kvadratický moment průřezu

$$J_Y^{3,C-E} = \frac{1}{12} b_{3C-E} \cdot h_{3C-E}^3$$

(167)

$$J_Y^{3,C-E} = \frac{1}{12} 25 \cdot 65,3^3 = 580093,9 \text{ mm}^4$$

Štíhlost tyče v rovině Y

$$l_Y = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{J_Y^{3,C-E}}{S_{3,C-E}}}} = \frac{567}{\sqrt{\frac{580093,9}{1632,5}}} = 30$$

(168)

Mezní štíhlost tyče

$$l_k = a \cdot \sqrt{\frac{E}{Re}} = p \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{450}} = 67,87$$
$$l_y \leq l_k$$
(169)

Štíhlost je menší než štíhlost prostého tlaku (λd), pak je řešení v oblasti prostého tlaku a namáhání součásti řešíme dle pevnostní podmínky v tlaku.

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

$$k_k = \frac{Re}{N_{34}}$$
$$k_k = \frac{S_{3,C-E}}{450 \cdot 1632,5}$$
$$k_k = 146,2$$
(170)

Prvek je nejvíce namáhán v horní poloze zvedáku za stavu A viz příloha A str. 6

V rovině Z mezi body A-B

Střední plocha průřezu

viz (156)

Kvadratický moment průřezu

$$J_z^{3A-B} = \frac{1}{12} b_{3A-B}^3 \cdot h_{3A-B}$$
(171)

$$J_z^{3A-B} = \frac{1}{12} 25^3 \cdot 65 = 84635,4 \text{ mm}^4$$

Štíhlost tyče v rovině Z

$$l_z = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{J_z^{3A-B}}{S_{3A-B}}}} = \frac{354,5}{\sqrt{\frac{84635,4}{1625}}} = 49$$
(172)

Mezní štíhlost tyče

$$l_k = a \cdot \sqrt{\frac{E}{Re}} = p \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{450}} = 67,9$$
$$l_z < l_k$$
(173)

Štíhlost je menší než štíhlost prostého tlaku (λd), pak je řešení v oblasti prostého tlaku a namáhání součásti řešíme dle pevnostní podmínky v tlaku.

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

$$k_k = \frac{Re}{N_{31}}$$

$$k_k = \frac{S_{3A-B}}{450 \cdot 1625}$$

$$k_k = \frac{3708.83}{450 \cdot 1625}$$

$$k_k = 197,2$$

(174)

Nejvyšší síla na prutu je v horní poloze zvedáku za stavu B viz. příloha A str.12

Kontrola na vzpěr v rovině Z mezi body B-C

Střední plocha průřezu

viz (161)

Kvadratický moment průřezu

$$J_z^{3.B-C} = \frac{1}{12} b_{3B-C}^3 \cdot h_{3B-C}$$

(175)

$$J_z^{3.B-C} = \frac{1}{12} \cdot 25^3 \cdot 80 = 104166,7 \text{ mm}^4$$

Štíhlost tyče v rovině Z-Z

$$l_z = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{J_z^{3.B-C}}{S_{3.B-C}}}}$$

(176)

$$l_z = \frac{212,5}{\sqrt{\frac{104166,7}{2000}}}$$

$$l_z = 30$$

Mezní štíhlost tyče

$$l_K = a \cdot \sqrt{\frac{E}{Re}}$$

(177)

$$l_K = p \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{450}}$$

$$l_K = 67,9$$

$$l_z \leq l_K$$

Štíhlost je menší než štíhlost prostého tlaku (λd), pak je řešení v oblasti prostého tlaku a namáhání součásti řešíme dle pevnostní podmínky v tlaku.

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

$$k_k = \frac{R_e}{N_{32}} \quad (178)$$

$$k_k = \frac{S_{3,B-C}}{450 \cdot 2000}$$

$$k_k = 10,7$$

Prvek je nejvíce namáhán v dolní poloze zvedáku za stavu A viz str.31

V rovině Z mezi body C-D

Dle [5]

$$a = p \cdot \sqrt{2}$$

$$l_0 = 0,7 \cdot l$$

Dle obr. 57

$$l_{36} = l_{33} - l_{35} - l_{32}$$

$$l_{36} = 1134 - 158 - 567 = 409 \text{ mm}$$

$$b_{3C-D} = 25 \text{ mm}$$

$$h_{3C-D} = 69 \text{ mm}$$

Střední plocha průřezu

$$S_{3,C-D} = h_{3C-D} \cdot b_{3C-D} \quad (179)$$

$$S_{3,C-D} = 69 \cdot 25 = 1725 \text{ mm}^2$$

Kvadratický moment průřezu

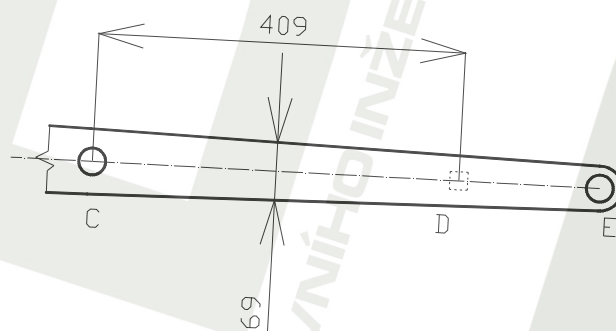
$$J_z^{3,C-D} = \frac{1}{12} b_{3C-D}^3 \cdot h_{3C-D} \quad (180)$$

$$J_z^{3,C-D} = \frac{1}{12} 25^3 \cdot 69 = 89843,75 \text{ mm}^4$$

Štíhlost tyče v rovině Z

$$l_z = \frac{l \cdot 0,7}{\sqrt{J_z^{3,C-D}}} \quad (181)$$

$$l_z = \frac{0,7 \cdot 409}{\sqrt{\frac{89843,75}{1725}}} = \frac{286,3}{\sqrt{52,1}} = 39,7$$



Obr.57 Průřez mezi C-D

Mezní štíhlost tyče

$$l_K = a \cdot \sqrt{\frac{E}{Re}}$$

$$l_K = p \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{2,1 \cdot 10^5}{450}}$$

$$l_K = 95,98$$

$$l_z < l_K$$

$$l_z < l_d$$

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

$$k_k = \frac{Re}{N_{33}}$$

$$k_k = \frac{S_{3,C-D}}{450 \cdot 1725}$$

$$k_k = \frac{5026,16}{450 \cdot 1725}$$

$$k_k = 154,4$$

Prvek je nejvíce namáhán v horní poloze zvedáku za stavu A viz příloha A str.6

Kontrola na vzpěr v rovině Z mezi body D-E

Dle [5]

$$a = p \cdot \sqrt{2}$$

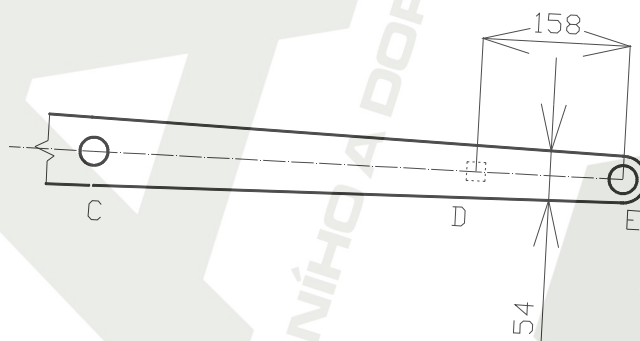
$$l_0 = 0,7 \cdot l$$

Dle obr. 58

$$l_{35} = 158 \text{ mm}$$

$$b_{3D-E} = 25 \text{ mm}$$

$$h_{3D-E} = 54 \text{ mm}$$



Obr.58 Průřez mezi D-E

Střední plocha průřezu

$$S_{3,D-E} = h_{3D-E} \cdot b_{3D-E}$$

$$S_{3,D-E} = 54 \cdot 25 = 1350 \text{ mm}^2$$

Kvadratický moment průřezu

$$J_z^{3,D-E} = \frac{1}{12} b_{3D-E}^3 \cdot h_{3D-E}$$

$$J_z^{3,D-E} = \frac{1}{12} 25^3 \cdot 54 = 70312,5 \text{ mm}^4$$

Štíhlost tyče v rovině Z

$$l_z = \frac{l \cdot 0,7}{\sqrt{J_z^{3,D-E}}} \quad (186)$$
$$l_z = \frac{0,7 \cdot 158}{\sqrt{\frac{S_{3,D-E}}{J_z^{3,D-E}}}} = \frac{110,6}{\sqrt{\frac{70312,5}{1350}}} = 15$$

Mezní štíhlost tyče

$$l_k = a \cdot \sqrt{\frac{E}{Re}} \quad (187)$$
$$l_k = p \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{450}} = 95,98$$
$$l_z \leq l_k$$

Štíhlost je menší než štíhlost prostého tlaku (λd), pak je řešení v oblasti prostého tlaku a namáhání součásti řešíme dle pevnostní podmínky v tlaku.

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti

$$k_k = \frac{Re}{N_{34}} \quad (188)$$
$$k_k = \frac{S_{3,D-E}}{450 \cdot 1350} = \frac{5026,16}{5026,16} = 120,9$$

Prvek je nejvíce namáhán v horní poloze zvedáku za stavu A viz příloha A str.6

6. 2. 2 Kontrola průřezu v bodě C

Průřez C je nejvíce namáhán v dolní poloze zvedáku za stavu A viz obr. 30, 31, 32

Kontrola na tlak

$$S_{3C} = Sp_{3C} - So_{3C} = 80 \cdot 25 - 35 \cdot 25 = 1125 mm^2 \quad (189)$$

$$st_3^C = \frac{F}{S} = \frac{N_{33}}{S_{3C}} = \frac{84338,42}{1125} = 75 MPa \quad (190)$$

$$st_3^C < s_{DOV}$$
$$75 < 300 MPa$$

Kontrola na smyk

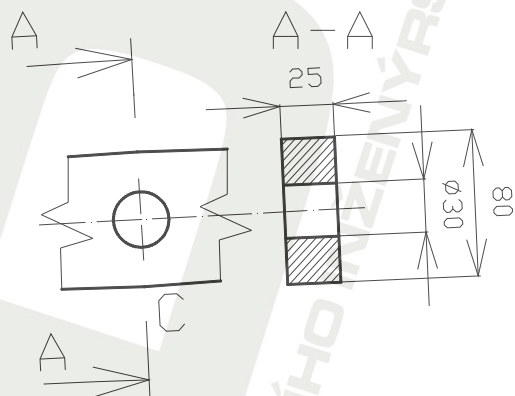
$$t_3^C = \frac{F}{S} = \frac{T_{33}}{S_{3C}} = \frac{15998,79}{1125} = 14,2 \text{ MPa} \quad (191)$$

$$t_3^C < t_{DOV} \\ 14,2 < 240 \text{ MPa}$$

Kontrola na ohyb

Vliv otvoru pro čep

$$J_Y^{3CC} = J_Y^{3CP} - J_Y^{3CO} \\ J_Y^{3CC} = \frac{1}{12} \cdot b_Y^{3CP} \cdot h_Y^{3CP^3} - \frac{1}{12} b_Y^{3CO} \cdot h_Y^{3CO^3} \\ J_Y^{3CC} = \frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 80^3 - \frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 35^3 \\ J_Y^{3CC} = 977343,8 \text{ mm}^4$$



$$s_{O_3}^C = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_{O_{33}}}{\frac{J_Y^{3CC}}{Z}} = \frac{4014,97 \cdot 1000}{\frac{977343,8}{40}} = 164,3 \text{ MPa} \quad \text{Obr.59 Průřez v bodě C} \quad (192)$$

$$s_{O_3}^C < s_{DOV} \\ 164,3 < 300 \text{ MPa}$$

Redukované napětí

$$s_{red} = \sqrt{s^2 + 3 \cdot t^2} \quad (194) \\ s_{red} = \sqrt{(st_3^C + s_{O_3}^C)^2 + 3 \cdot t_3^C^2} \\ s_{red} = \sqrt{(75 + 164,3)^2 + 3 \cdot 14,2^2} \\ s_{red} = 240,6 \text{ MPa}$$

$$s_{red} < s_{DOV} \\ 240,6 < 300 \text{ MPa}$$

6. 2. 3 Kontrola průřezu v bodě B

Průřez B je nejvíce namáhán v dolní poloze zvedáku za stavu B viz obr. 42, 43, 44

$$S_{3B} = Sp_{3B} - So_{3B} = 80 \cdot 25 - 35 \cdot 25 = 1125 \text{ mm}^2 \quad (195)$$

Kontrola na tlak

$$st_3^B = \frac{F}{S} = \frac{N_{32}}{S_{3B}} = \frac{84575,8}{1125} = 74,18 \text{ MPa} \quad (196)$$

$$st_3^B < s_{DOV} \\ 74,18 < 300 \text{ MPa}$$

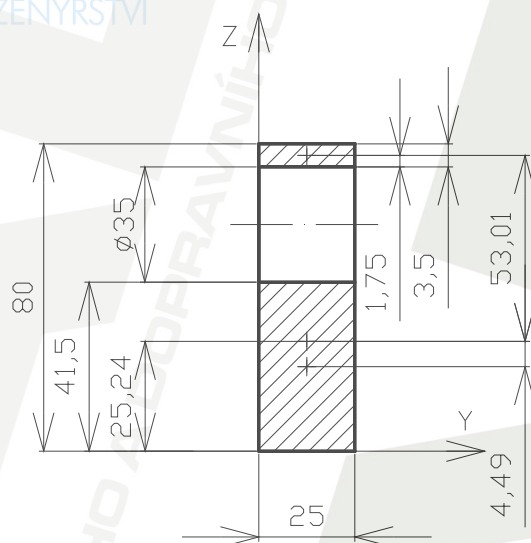
Kontrola na smyk

$$t_3^B = \frac{F}{S} = \frac{T_{32}}{S_{3B}} = \frac{11757,7}{1125} = 10,5 \text{ MPa} \quad (197)$$

$$t_3^B < s_{DOV} \\ 10,5 < 300 \text{ MPa}$$

Kontrola na ohyb

Vliv otvoru pro čep



Obr.60 Průřez v bodě B

$$T_Y = \frac{25 \cdot 41,5 \cdot 20,75 + 3,5 \cdot 25 \cdot 78,25}{25 \cdot 41,5 + 3,5 \cdot 25} = 25,24 \text{ mm} \quad (198)$$

$$J_Y^{3CB} = \frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 41,5^3 + 25 \cdot 41,5 \cdot 4,49^2 + \frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 3,5^3 + 25 \cdot 3,5 \cdot 53,01^2 \quad (199)$$

$$J_Y^{3CB} = 415788,55 \text{ mm}^4$$

$$s_{O_3}^B = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o}{\frac{J_Y^{3CB}}{Z}} = \frac{2515,10 \cdot 1000}{\frac{415788,55}{25,24}} = 152,7 \text{ MPa} \quad (200)$$

$$s_{O_3}^B \leq s_{DOV} \\ 152,7 \leq 300 \text{ MPa}$$

Redukované napětí

$$s_{red} = \sqrt{s^2 + 3 \cdot t^2}$$

$$s_{red} = \sqrt{(st_3^B + so_3^B)^2 + 3 \cdot t_3^B^2}$$

$$s_{red} = \sqrt{(74,18 + 152,7)^2 + 3 \cdot 10,5^2}$$

$$s_{red} = 227,6 \text{ MPa}$$

$$s_{red} < s_{DOV}$$
$$227,6 < 300 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

(201)

6. 4 Člen 5 Přímočarý hydromotor

Materiál 11500 (E295)

Kruhový profil $fd_{PH} = 32 \text{ mm}$

Dle [8]

$$Re = 335 \text{ MPa}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

Dle [5]

$$a = p$$

$$l = l_0$$

Plocha tyče

$$S_{PH} = \frac{p \cdot d_{PH}^2}{4} = \frac{p \cdot 32^2}{4} = 804,2 \text{ mm}^2$$

(202)

Kvadratický moment průřezu

$$J_X^{PH} = J_Y^{PH} = \frac{p \cdot d_{PH}^4}{64} = \frac{p \cdot 32^4}{64} = 51471,9 \text{ mm}^4$$

(203)

Štíhlost tyče v dolní poloze

$$l_x = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{J_X^{PH}}{S_{PH}}}} = \frac{360}{\sqrt{\frac{51471,9}{804,2}}} = 45$$

(204)

Štíhlost tyče v horní poloze

$$l_x = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{J_X^{PH}}{S_{PH}}}} = \frac{558}{\sqrt{\frac{51471,9}{804,2}}} = 69,75$$

(205)

Mezní štíhlost tyče

$$l_K = a \cdot \sqrt{\frac{E}{Re}} = p \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{300}} = 83,08 \quad (206)$$

Štíhlost v dolní poloze je menší než štíhlost prostého tlaku (λ_d), pak je řešení v oblasti prostého tlaku a namáhání součásti řešíme dle pevnostní podmínky v tlaku.

V horní poloze je tyč namáhána vzpěrem dle Tetmajera proto provedeme kontrolu.

Kontrola válce

Kritická síla

$$F_{KR} = a^2 \cdot \frac{E \cdot J_X^{PH}}{l^2} = p^2 \cdot \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 51471,9}{558^2} = 342626,4N \quad (207)$$

Kritické napětí dle Tetmajera pro ocel 11 500 (E295) dle [32]

$$s_{KR} = a - b \cdot l = 335 - 0,62 \cdot l = 335 - 0,62 \cdot 69,75 = 291,8MPa \quad (208)$$

Bezpečnost vzhledem k MSVS

$$k_k = \frac{s_{KR}}{s_{\max}} = \frac{s_{KR}}{\frac{F}{S_{PH}}} = \frac{291,8}{\frac{14765,1}{804,2}} = 16 \quad (209)$$

$F=14765,1$ – síla působící na přímočarý hydromotor v horní poloze zvedáku za stavu A. viz příloha A.

V maticovém výpočtu byly uvažovány síly na jeden nůžkový mechanismus a tudíž i na jeden lineární hydromotor. V následném řešení hydraulického obvodu a výpočtu tlaku vycházeli příliš vysoké tlaky z tohoto důvodu přidáme další hydromotor.

Potom síla na jeden hydromotor v horní poloze bude:

$$\begin{aligned} F_{1HM} &= \frac{N_{52} \cdot 2}{3} \\ F_{1HM} &= \frac{22147,6 \cdot 2}{3} \\ F_{1HM} &= 14765,1N \end{aligned} \quad (210)$$

dle [11]

$$\begin{aligned} F_{\max} &\leq \frac{F_{KR}}{3,5} \\ 14765,1N &\leq 97893,1N \end{aligned}$$

Vyhovuje.

7 Pevnostní kontrola čepů

Pro všechny čepy volím stejný materiál – Ocel 11 523 (S355J0)

Dle [8]

$$\begin{aligned} R_e &= 450 \text{ MPa} \\ E &= 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa} \\ R_m &= 600 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dle ČSN EN 1493+A1

$$s_{DO} = R_e / s \quad (211)$$

$$s_{DO} = 450 / 1,5$$

$$s_{DO} = 300 \text{ MPa}$$

$$t_{DO} = 0,8 \cdot s_{DO} \quad (212)$$

$$t_{DO} = 0,8 \cdot 300$$

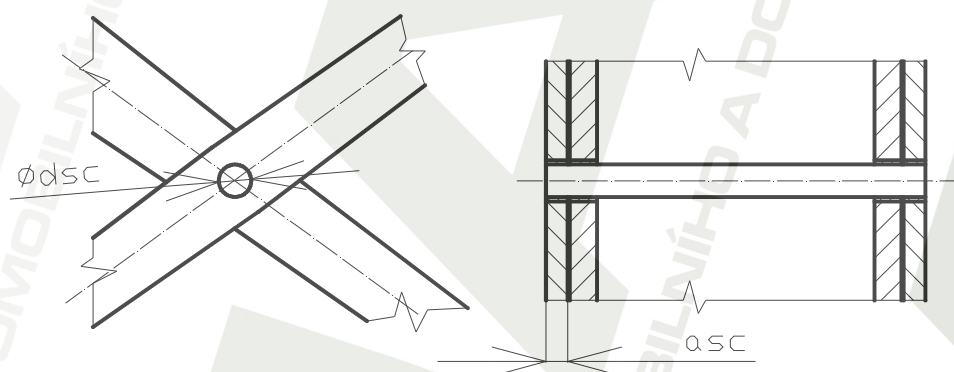
$$t_{DO} = 240 \text{ MPa}$$

$s = 1,5$ viz tab. 1 str. 12 v kombinaci s tab. A.2 viz ČSN EN 1493+A1

$$p_{dov} = 0,66 \cdot R_e \quad (213)$$

$$p_{dov} = 297 \text{ MPa}$$

7. 1 Středový čep kontrola



Obr.61 Středový čep

Síla na čep

$$F_c = \sqrt{F_{cx}^2 + F_{cy}^2} \quad (214)$$

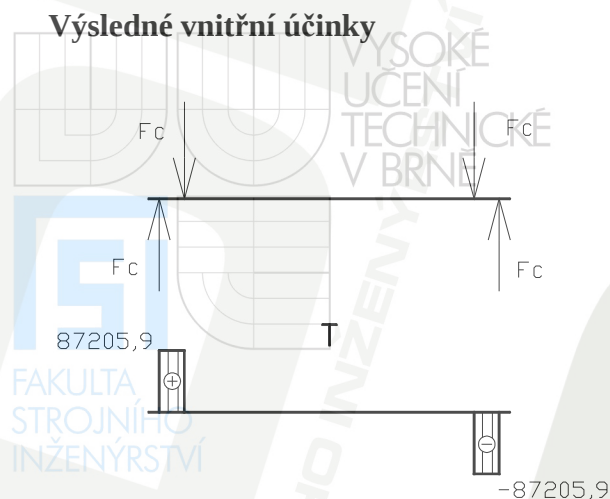
$$F_c = \sqrt{85188,95^2 + 18646,8^2}$$

$$F_c = 87205,9 \text{ N}$$

$$d_{sc} = 30 \text{ mm}$$

$$a_{sc} = 20 \text{ mm}$$

Čep je nejvíce namáhán v dolní poloze za stavu A viz str. 22



Obr.62 VVU na středovém čepu (N)

Plocha čepu

$$S_{sc} = \frac{p \cdot d_{sc}^2}{4} \quad (215)$$

$$S_{sc} = \frac{p \cdot 30^2}{4}$$

$$S_{sc} = 706,86 \text{ mm}^2$$

Kontrola na smyk

$$t_{sc} = \frac{F_c}{S_{sc}} = \frac{87205,9}{706,86} = 123,4 \text{ MPa} \quad (216)$$

$$t_{sc} < t_{do}$$

$$123,4 < 240 \text{ MPa}$$

Kontrola čepu na otláčení

$$p_c = \frac{F_c}{a_{sc} \cdot d_{sc}} \quad (217)$$

$$p_c = \frac{87205,9}{30 \cdot 20}$$

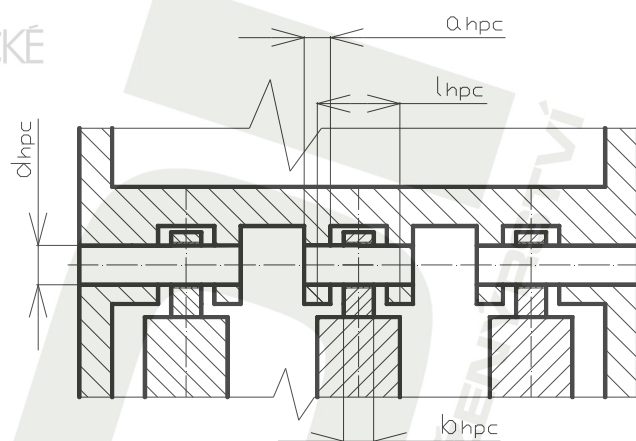
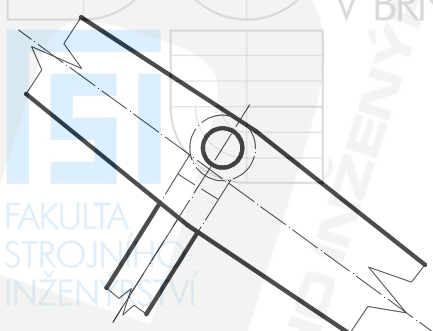
$$p_c = 145,3 \text{ MPa}$$

$$p_c \leq p_{dov}$$

Kontrola pouzdra na otláčení

Maximální dovolené statické zatížení 250MPa, dodavatel SKF.
V tomto případě je kontrola stejná jako čepu, pouzdro vyhovuje.

7.2 Horní čep k hydromotoru



Obr.63 Horní čep hydromotoru

Výpočet reakcí

V maticovém výpočtu byly uvažovány síly na jeden nůžkový mechanismus a tudíž i na jeden lineární hydromotor. Tak v následném řešení hydraulického obvodu vycházeli příliš vysoké tlaky z tohoto důvodu přidáme další hydromotor.

$$l_{hpc} = 63\text{mm}$$

$$d_{hpc} = 30\text{mm}$$

$$a_{hpc} = 20\text{mm}$$

$$b_{hpc} = 15\text{mm}$$

Potom síla na jeden hydromotor a tudíž i na čep bude

$$F_{1HM} = \frac{N_{52} \cdot 2}{3} \quad (218)$$

$$F_{1HM} = \frac{86421,10 \cdot 2}{3}$$

$$F_{1HM} = 57614,1\text{N}$$

$$N_{52} = 86421,10\text{N} \text{ viz obr. 40 str. 35}$$

Čep je nejvíce namáhán v dolní poloze za stavu A viz str. 20

Řešení jednoho čepu

$$Ra_{hpc} = \frac{F_{1HM}}{2} = 28807,05\text{N} \quad (219)$$

$$Rb_{hpc} = \frac{F_{1HM}}{2} = 28807,05\text{N} \quad (220)$$

Dle literatury [6]

$$Ma_{hpc} = \frac{1}{8} \cdot F \cdot l = \frac{1}{8} \cdot F \cdot l_{hpc} \quad (221)$$

$$Ma_{hpc} = \frac{1}{8} \cdot (57614,1 \cdot 63)$$

$$Ma_{hpc} = 453711 \text{ Nmm}$$

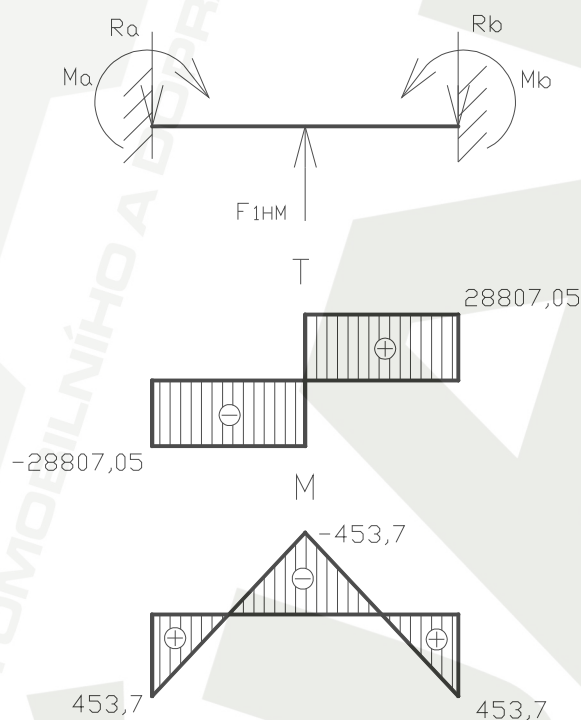
$$Ma_{hpc} = Mb_{hpc}$$

$$M_{shpc} = -Ra_{hpc} \cdot \frac{l_{hpc}}{2} + Ma_{hpc} \quad (222)$$

$$M_{shpc} = -28807,05 \cdot 31,5 + 453711$$

$$M_{shpc} = -453711 \text{ Nmm}$$

Výsledné vnitřní účinky



Obr.64 VVU na horním čepu hydromotoru (N, Nm)

Plocha čepu

$$S_{hpc} = \frac{p \cdot d_{hpc}^2}{4} \quad (223)$$

$$S_{hpc} = \frac{p \cdot 30^2}{4}$$

$$S_{hpc} = 707 \text{ mm}^2$$

Kontrola na smyk

$$t_{hpc} = \frac{F}{S} = \frac{Ra}{S_{hpc}} = \frac{28807,1}{707} = 40,1 \text{ MPa} \quad (224)$$

$$t_{hpc} < t_{DO} \\ 40,1 < 240 \text{ MPa}$$

Kontrola na ohyb

$$M_{ohpc} = M_{ahpc} = M_{bhpc} \\ S_{ohpc} = \frac{M_{ohpc}}{W_{ohpc}} = \frac{M_{ohpc}}{\frac{p \cdot d_{hpc}^3}{32}} = \frac{453711}{\frac{p \cdot 30^3}{32}} = 171,2 \text{ MPa} \quad (225)$$

$$S_{ohpc} < S_{DOV} \\ 171,2 < 300 \text{ MPa}$$

Redukované napětí

$$s_{red} = \sqrt{s^2 + 3 \cdot t^2} \\ s_{red} = \sqrt{s_{ohpc}^2 + 3 \cdot t_{hpc}^2} \\ s_{red} = \sqrt{171,2^2 + 3 \cdot 40,1^2} \\ s_{red} = 184,8 \text{ MPa} \\ s_{red} < s_{DOV} \\ 184,8 < 300 \text{ MPa} \quad (226)$$

Kontrola čepu na otláčení

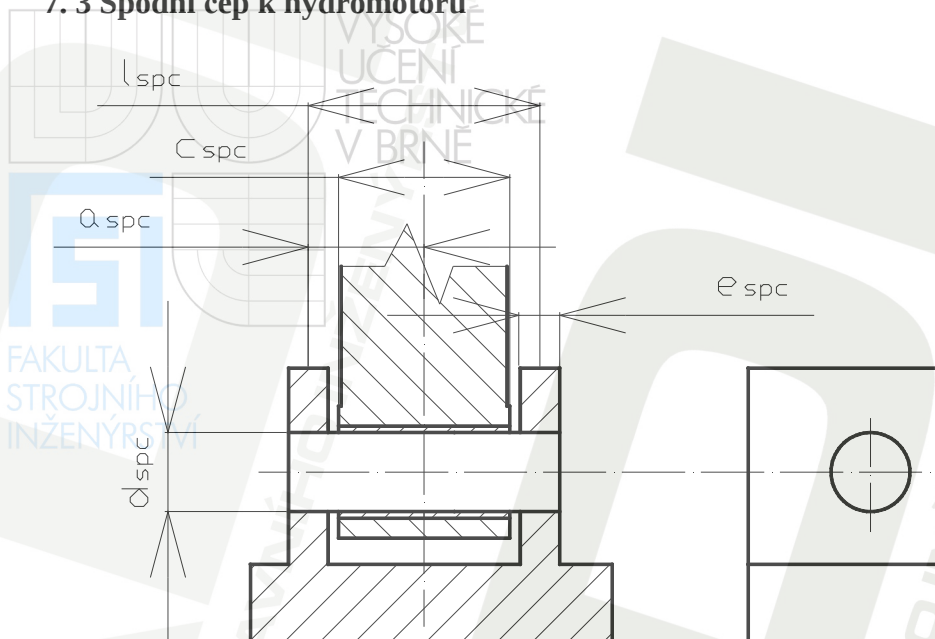
$$p_c = \frac{F_{1HM}}{2 \cdot a_{hpc} \cdot d_{hpc}} \\ p_c = \frac{57614,1}{2 \cdot 20 \cdot 30} \\ p_c = 48 \text{ MPa} \\ p_c < p_{dov} \quad (227)$$

Kontrola zatížení pouzdra

$$p_P = \frac{F_{1HM}}{b_{hpc} \cdot d_{hpc}} \\ p_P = \frac{57614,1}{15 \cdot 30} \\ p_P = 128 \text{ MPa} \\ p_P < p_{dovp} \quad (228)$$

Maximální dovolené statické zatížení 250MPa, dodavatel SKF.

7. 3 Spodní čep k hydromotoru



Obr.65 Spodní čep hydromotoru

$$\begin{aligned} l_{spc} &= 88\text{mm} \\ a_{spc} &= 44\text{mm} \\ b_{spc} &= 44\text{mm} \\ c_{spc} &= 65\text{mm} \\ d_{spc} &= 30\text{mm} \\ e_{spc} &= 15\text{mm} \end{aligned}$$

Liniové zatížení

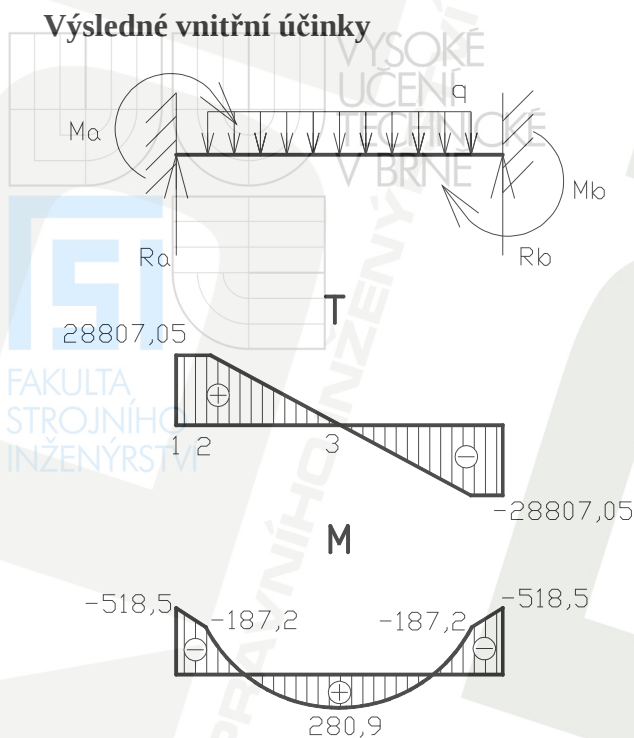
$$q_{spc} = \frac{F_{1HM}}{l_{qspc}} = \frac{57614,1}{65} = 886,4 \frac{N}{mm} \quad (229)$$

$F_{1HM} = 57614,1N$ stejné jako u horní čep k hydromotoru

Výsledné Reakce

Dle literatury [6]

$$\begin{aligned} Ra_{spc} &= \frac{q_{spc} \cdot c_{spc}}{2 \cdot l_{spc}^3} \cdot [4 \cdot b_{spc}^2 (3 \cdot a_{spc} + b_{spc}) + c_{spc}^2 \cdot (a_{spc} - b_{spc})] \\ Ra_{spc} &= \frac{886,4 \cdot 65}{4 \cdot 88^3} \cdot [4 \cdot 44^2 (3 \cdot 44 + 44) + 65^2 \cdot (44 - 44)] \\ Ra_{spc} &= 28807,1N = -Rb_{spc} \end{aligned} \quad (230)$$



Obr.66 VVU na spodním čepu hydromotoru (N, Nm)

Výpočet posouvajících sil

$$Ta_{SPC} = Ra_{SPC} = 28807,1N \quad (231)$$

$$T2_{SPC} = Ra_{SPC} \quad (232)$$

$$T3_{SPC} = Ra_{SPC} - q_{spc} \cdot \frac{c_{spc}}{2} \quad (233)$$

$$T3_{SPC} = 28807,1 - 886,4 \cdot \frac{65}{2}$$

$$T3_{SPC} = 0N$$

Výpočet momentů

$$Ma_{SPC} = -\frac{q_{spc} \cdot c_{spc}}{12 \cdot l_{spc}^2} \cdot (12 \cdot a_{spc} \cdot b_{spc}^2 + a_{spc} \cdot c_{spc}^2 - 2 \cdot b_{spc} \cdot c_{spc}^2) \quad (234)$$

$$Ma_{SPC} = -\frac{886,4 \cdot 65}{12 \cdot 88^2} \cdot (12 \cdot 44 \cdot 44^2 + 44 \cdot 65^2 - 2 \cdot 44 \cdot 65^2)$$

$$Ma_{SPC} = -518516,7 Nmm$$

$$M2_{SPC} = Ma_{SPC} + Ra_{SPC} \cdot \left(a_{spc} - \frac{c_{spc}}{2} \right) \quad (235)$$

$$M2_{SPC} = -518516,7 + 28807,1 \cdot \left(44 - \frac{65}{2} \right)$$

$$M2_{SPC} = -187235,1 Nmm$$

$$M3_{SPC} = Ma_{SPC} + Ra_{SPC} \cdot \left(\frac{l_{spc}}{2} \right) - q_{spc} \cdot \left(\frac{c_{spc}^2}{8} \right) \quad (236)$$

$$M3_{SPC} = -518516,7 + 28807,1 \cdot \left(\frac{88}{2} \right) - 886,4 \cdot \frac{65^2}{8}$$

$$M3_{SPC} = 280865,7 Nmm$$

Plocha čepu

$$S_{spc} = \frac{p \cdot d_{spc}^2}{4} \quad (241)$$

$$S_{spc} = \frac{p \cdot 30^2}{4}$$

$$S_{spc} = 706,9 \text{ mm}^2$$

Kontrola na smyk

$$t_{spc} = \frac{F}{S} = \frac{R_{aspc}}{S_{spc}} = \frac{28807,1}{706,9} = 40,1 \text{ MPa} \quad (237)$$

$$t_{spc} < t_{DO}$$

$$40,1 < 240 \text{ MPa}$$

Kontrola na maximální ohyb

$$S_{Ospc} = \frac{M_{ospc}}{W_{ospc}} = \frac{M_{ospc}}{\frac{p \cdot d_{spc}^3}{32}} = \frac{518516,7}{\frac{p \cdot 30^3}{32}} = 195,6 \text{ MPa} \quad (238)$$

$$S_{Ospc} < S_{DOV}$$

$$195,6 < 300 \text{ MPa}$$

Redukované napětí

$$s_{red} = \sqrt{s^2 + 3 \cdot t^2} \quad (239)$$

$$s_{red} = \sqrt{s_{Ospc}^2 + 3 \cdot t_{spc}^2}$$

$$s_{red} = \sqrt{195,6^2 + 3 \cdot 40,1^2}$$

$$s_{red} = 207,6 \text{ MPa}$$

$$s_{red} < S_{DOV}$$

$$184,8 < 300 \text{ MPa}$$

Kontrola čepu na otláčení

$$p_{\check{c}} = \frac{F_{1HM}}{2 \cdot e_{spc} \cdot d_{spc}} \quad (240)$$

$$p_{\check{c}} = \frac{57614,1}{2 \cdot 15 \cdot 30}$$

$$p_{\check{c}} = 64 \text{ MPa}$$

$$p_{\check{c}} < p_{dov}$$

Kontrola zatížení pouzdra

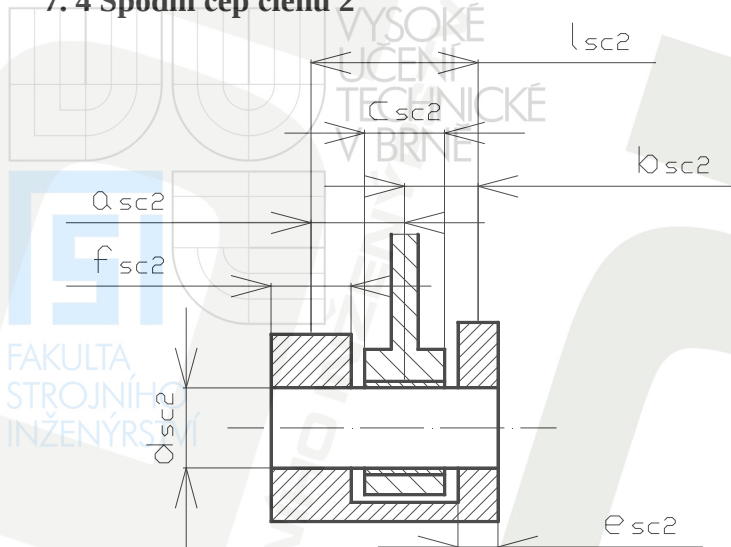
$$p_P = \frac{F_{1HM}}{c_{spc} \cdot d} \quad (241)$$

$$p_P = \frac{57614,1}{65 \cdot 30}$$

$$p_P = 30 \text{ MPa}$$

$$p_p < p_{dov} \quad \text{Maximální dovolené statické zatížení 250MPa, dodavatel SKF}$$

7.4 Spodní čep členu 2



Obr.67 Spodní čep členu 2

Zatížení čepu

$$F_A = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2} \quad (242)$$

$$F_A = \sqrt{85339,66^2 + 11563,58^2}$$

$$F_A = 86119,53N$$

Čep je nejvíce namáhán v dolní poloze za stavu A viz str. 22

$$l_{sc2} = 62,5mm$$

$$a_{sc2} = 35mm$$

$$b_{sc2} = 27,5mm$$

$$c_{sc2} = 30mm$$

$$d_{sc2} = 30mm$$

$$e_{ec2} = 15mm$$

$$f_{ec2} = 30mm$$

Liniové zatížení

$$q_{sc2} = \frac{F_A}{l_{sc2}} = \frac{86119,53}{30} = 2870,7 \frac{N}{mm} \quad (243)$$

Výpočet reakcí

$$Ra_{sc2} = -\frac{q_{sc2} \cdot c_{sc2}}{4 \cdot l_{sc2}^3} \cdot [4 \cdot b_{sc2}^2 (3 \cdot a_{sc2} + b_{sc2}) + c_{sc2}^2 \cdot (a_{sc2} - b_{sc2})] \quad (244)$$

$$Ra_{ssc2} = -\frac{2870,7 \cdot 30}{4 \cdot 62,5^3} \cdot [4 \cdot 27,5^2 (3 \cdot 35 + 27,5) + 30^2 \cdot (35 - 27,5)]$$

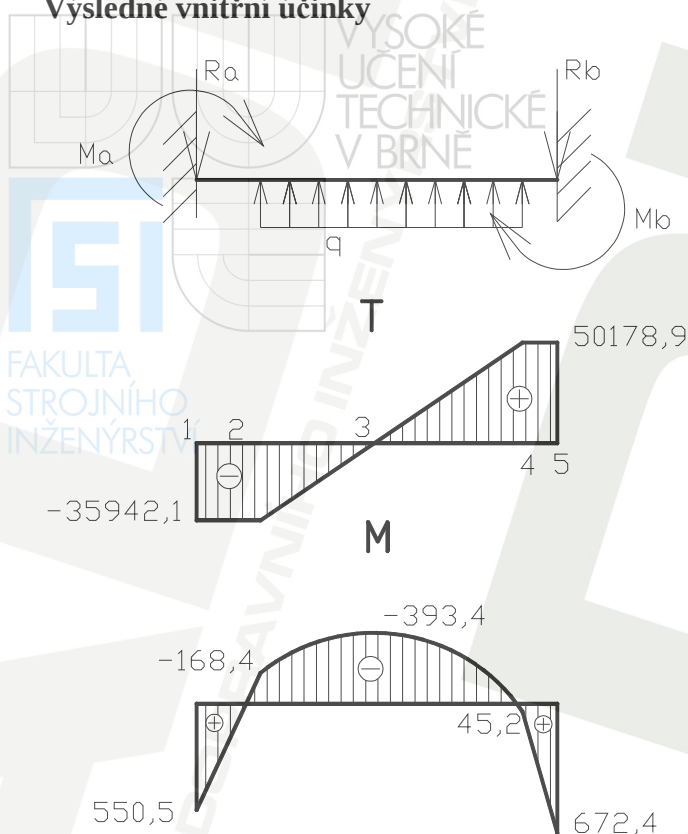
$$Ra_{ssc2} = -35942,1N$$

$$Rb_{sc2} = \frac{q_{sc2} \cdot c_{sc2}}{4 \cdot l_{sc2}^3} \cdot [4 \cdot a_{sc2}^2 (a_{sc2} + 3b_{sc2}) + c_{sc2}^2 \cdot (b_{sc2} - a_{sc2})] \quad (245)$$

$$Rb_{ssc2} = \frac{2870,7 \cdot 30}{4 \cdot 62,5^3} \cdot [4 \cdot 35^2 (35 + 3 \cdot 27,5) + 30^2 \cdot (27,5 - 35)]$$

$$Rb_{ssc2} = 50178,9N$$

Výsledné vnitřní účinky



Obr.68 VVU na spodním čepu členu 2 (N, Nm)

Dle literatury [6]

Výpočet posouvajících sil

$$T1_{SC2} = Ra_{SC2} = -35942,1N \quad (246)$$

$$T2_{SC2} = -Ra_{SC2} \quad (247)$$

$$T3^L_{SC2} = -Ra_{SC2} + q_{SC2} \cdot \frac{X_P^L}{2} \quad (248)$$

$$T3^L_{SC2} = -35942,1 + 2870,7 \cdot 12,52$$

$$T3^L_{SC2} = 0N$$

$$T3^P_{SC2} = Rb_{SC2} - q_{SC2} \cdot \frac{X_P^P}{2} \quad (249)$$

$$T3^P_{SC2} = 50178,9 - 2870,7 \cdot 17,48$$

$$T3^P_{SC2} = 0N$$

Poloha přechodného průřezu

$$X_p = \frac{R}{q} \quad (250)$$

$$X_p^L = \frac{Ra_{SC2}}{q_{SC2}} = \frac{35942,1}{2870,7} = 12,52mm$$

$$X_p^P = \frac{Rb}{q_{SC2}} = \frac{50178,9}{2870,7} = 17,48mm$$

Výpočet momentů

$$M_{1SC2} = \frac{q_{SC2} \cdot c_{SC2}}{12 \cdot I_{SC2}^2} \cdot (12 \cdot a_{SC2} \cdot b_{SC2}^2 + a_{SC2}^2 \cdot c_{SC2}^2 - 2 \cdot b_{SC2} \cdot c_{SC2}^2) \quad (251)$$

$$M_{1SC2} = \frac{2870,7 \cdot 30}{12 \cdot 62,5^2} \cdot (12 \cdot 35 \cdot 27,5^2 + 35 \cdot 30^2 - 2 \cdot 27,5 \cdot 30^2)$$

$$M_{1SC2} = 550485,4 Nmm$$

$$M_{2SC2} = Ma_{SC2} + Ra_{SC2} \cdot \left(a_{SC2} - \frac{c_{SC2}}{2} \right) \quad (252)$$

$$M_{2SC2} = 550485,4 - 35942,1 \cdot \left(35 - \frac{30}{2} \right)$$

$$M_{2SC2} = -168356,6 Nmm$$

$$M_{3^L SC2} = Ma_{SC2} - Ra_{SC2} \cdot \left(a_{SC2} - \frac{c_{SC2}}{2} + X_P^L \right) + q_{SC2} \cdot \left(\frac{X_P^{L^2}}{2} \right) \quad (253)$$

$$M_{3^L SC2} = 550485,4 - 35942,1 \cdot (35 - 15 + 12,52) + 2870,7 \cdot \frac{12,52^2}{2}$$

$$M_{3^L SC2} = -393360 Nmm$$

$$M_{5SC2} = -\frac{q_{SC2} \cdot c_{SC2}}{12 \cdot I_{SC2}^2} \cdot (12 \cdot a_{SC2}^2 \cdot b_{SC2} + b_{SC2}^2 \cdot c_{SC2}^2 - 2 \cdot a_{SC2} \cdot c_{SC2}^2) \quad (254)$$

$$M_{5SC2} = -\frac{2870,7 \cdot 30}{12 \cdot 62,5^2} \cdot (12 \cdot 35^2 \cdot 27,5 + 27,5 \cdot 30^2 - 2 \cdot 35 \cdot 30^2)$$

$$M_{5SC2} = -672432,8 Nmm$$

$$M_{4SC2} = Ma_{SC2} - Ra_{SC2} \cdot \left(b_{SC2} - \frac{c_{SC2}}{2} \right) \quad (255)$$

$$M_{4SC2} = 672432,8 - 50178,9 \cdot \left(27,5 - \frac{30}{2} \right)$$

$$M_{4SC2} = 45196,55 Nmm$$

$$M_{3^P SC2} = Mb_{SC2} - Rb_{SC2} \cdot \left(b_{SC2} - \frac{c_{SC2}}{2} + X_P^P \right) + q_{SC2} \cdot \left(\frac{X_P^{P^2}}{2} \right) \quad (256)$$

$$M_{3^P SC2} = 672432,8 - 50178,9 \cdot (27,5 - 15 + 17,48) + 2870,7 \cdot \frac{17,48^2}{2}$$

$$M_{3^P SC2} = -393358,9 Nmm$$

Plocha čepu

$$S_{sc2} = \frac{p \cdot d_{sc2}^2}{4} \quad (257)$$

$$S_{sc2} = \frac{p \cdot 30^2}{4}$$

$$S_{sc2} = 706,9 mm^2$$

Kontrola na smyk

$$t_{sc2} = \frac{F}{S} = \frac{T_5}{S_{sc2}} = \frac{50178,9}{706,9} = 70,1 \text{ MPa} \quad (258)$$

$$t_{sc2} < t_{DO} \\ 70,1 < 240 \text{ MPa}$$

Kontrola na maximální ohyb

$$s_{Osc2} = \frac{M_{o \max sc2}}{W_{Osc2}} = \frac{M_{o \max sc2}}{\frac{p \cdot d_{sc2}^3}{32}} = \frac{672432,8}{\frac{p \cdot 30^3}{32}} = 253,7 \text{ MPa} \quad (259)$$

$$s_{Osc2} < s_{DOV} \\ 253,7 < 300 \text{ MPa}$$

Redukované napětí

$$s_{red} = \sqrt{s^2 + 3 \cdot t^2} \quad (260)$$

$$s_{red} = \sqrt{s_{Osc2}^2 + 3 \cdot t_{sc2}^2}$$

$$s_{red} = \sqrt{253,7^2 + 3 \cdot 70,1^2} \\ s_{red} = 281,2 \text{ MPa}$$

$$s_{red} < s_{DOV} \\ 281,2 < 300 \text{ MPa}$$

Kontrola čepu na otláčení

$$p_{\check{c}} = \frac{Rb_{sc2}}{e_{sc2} \cdot d_{sc2}} \quad (261)$$

$$p_{\check{c}} = \frac{50178,9}{15 \cdot 30} \\ p_{\check{c}} = 111,5 \text{ MPa}$$

$$p_{\check{c}} < p_{dov}$$

Kontrola zatížení pouzdra

$$p_P = \frac{F_A}{c_{SP2} \cdot d_{SP2}} \quad (262)$$

$$p_P = \frac{86119,53}{30 \cdot 30} \\ p_P = 95,7 \text{ MPa}$$

$$p_P < p_{dovp}$$

Maximální dovolené statické zatížení 250MPa, dodavatel SKF.

7.5 Horní čep člena 3

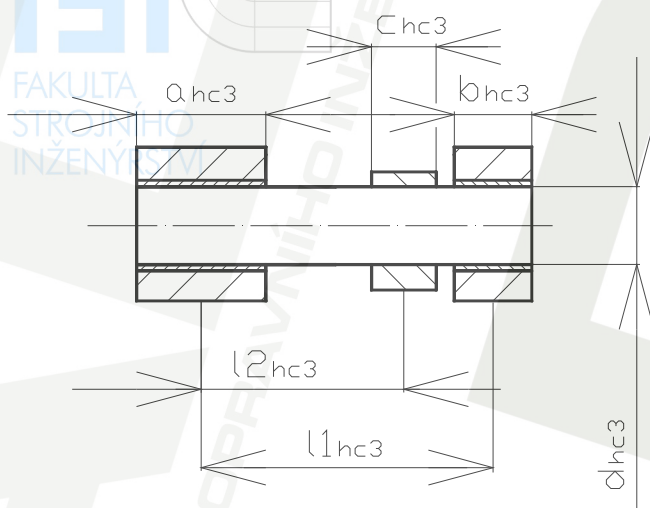
Čep je více zatížen za stavu B v dolním poloze

$$F_B = \sqrt{F_{BX}^2 + F_{BY}^2}$$

$$F_B = \sqrt{60,60^2 + 7084,43^2}$$

$$F_B = 7084,7 \text{ N}$$

(263)



Obr.69 Horní čep člena 3

$$l1_{hc3} = 110 \text{ mm}$$

$$l2_{hc3} = 75 \text{ mm}$$

$$d_{hc3} = 50 \text{ mm}$$

$$b_{hc3} = 30 \text{ mm}$$

$$b_{hc3} = 30 \text{ mm}$$

$$c_{hc3} = 25 \text{ mm}$$

Výpočet reakcí

$$Ra_{hc3} - F_B + Rb_{hc3} = 0$$

(264)

$$-F_B \cdot l2_{hc3} + Rb_{hc3} \cdot l1_{hc3} = 0$$

(265)

$$Rb_{hc3} = \frac{F_B \cdot l2_{hc3}}{l1_{hc3}}$$

(266)

$$Rb_{hc3} = \frac{7084,7 \cdot 75}{110}$$

$$Rb_{hc3} = 4830,5 \text{ N}$$

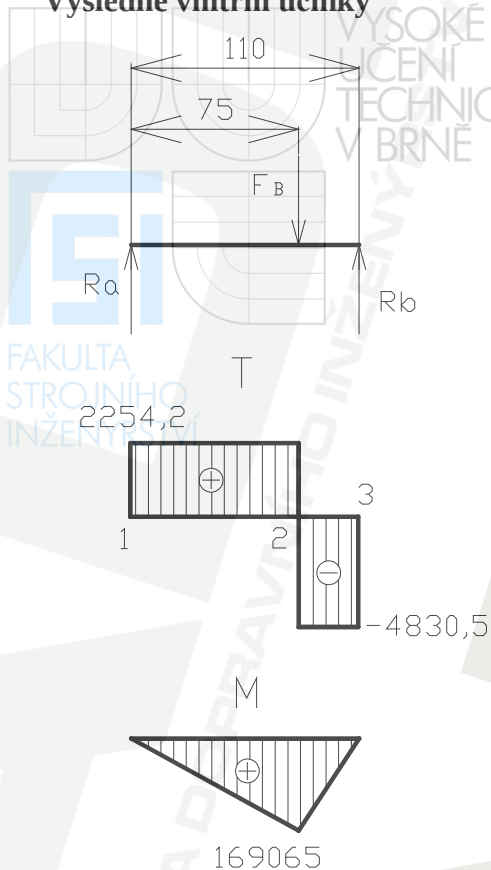
$$Ra_{hc3} = F_B - Rb_{hc3}$$

(267)

$$Ra_{hc3} = 7084,7 - 4830,5$$

$$Ra_{hc3} = 2254,2 \text{ N}$$

Výsledné vnitřní účinky



Obr.70 VVU na horním čepu členu 3 (N, Nmm)

Výpočet momentů

$$Mo^1_{hc3} = 0 \text{ Nmm} \quad (268)$$

$$Mo^2_{hc3} = Ra_{hc3} \cdot l_{2hc3} = 2254,2 \cdot 75 = 169065 \text{ Nmm} \quad (269)$$

$$Mo^3_{hc3} = 0 \text{ Nmm} \quad (270)$$

Plocha čepu

$$S_{hc3} = \frac{p \cdot d_{hc3}^2}{4} \quad (271)$$

$$S_{hc3} = \frac{p \cdot 30^2}{4}$$

$$S_{hc3} = 706,9 \text{ mm}^2$$

Kontrola na smyk

$$t_{hc3} = \frac{F}{S} = \frac{Rb_{hc3}}{S_{hc3}} = \frac{4830,5}{706,9} = 6,8 \text{ MPa} \quad (272)$$

$$t_{hc3} < t_{DO}$$

$$6,8 < 240 \text{ MPa}$$

Kontrola na maximální ohyb

$$s_{Ohc3} = \frac{M_{o \max hc3}}{W_{Ohc3}} = \frac{M_{o \max hc3}}{p \cdot d_{hc3}^3} = \frac{169065}{p \cdot 30^3} = 63,8 \text{ MPa} \quad (273)$$

$$s_{Ohc3} < s_{DOV} \\ 63,8 < 300 \text{ MPa}$$

Redukované napětí

$$s_{red} = \sqrt{s^2 + 3 \cdot t^2} \\ s_{red} = \sqrt{s_{Ohc3}^2 + 3 \cdot t_{hc3}^2} \\ s_{red} = \sqrt{63,8^2 + 3 \cdot 6,8^2} \\ s_{red} = 65 \text{ MPa} \quad (274)$$

$$s_{red} < s_{DOV} \\ 65 < 300 \text{ MPa}$$

Kontrola čepu na otláčení

$$p_{\check{c}} = \frac{F_B}{c_{hc3} \cdot d_{hc3}} \\ p_{\check{c}} = \frac{7084,7}{25 \cdot 30} \\ p_{\check{c}} = 10 \text{ MPa} \quad (275)$$

$$p_{\check{c}} < p_{dov}$$

Kontrola zatížení pouzdra

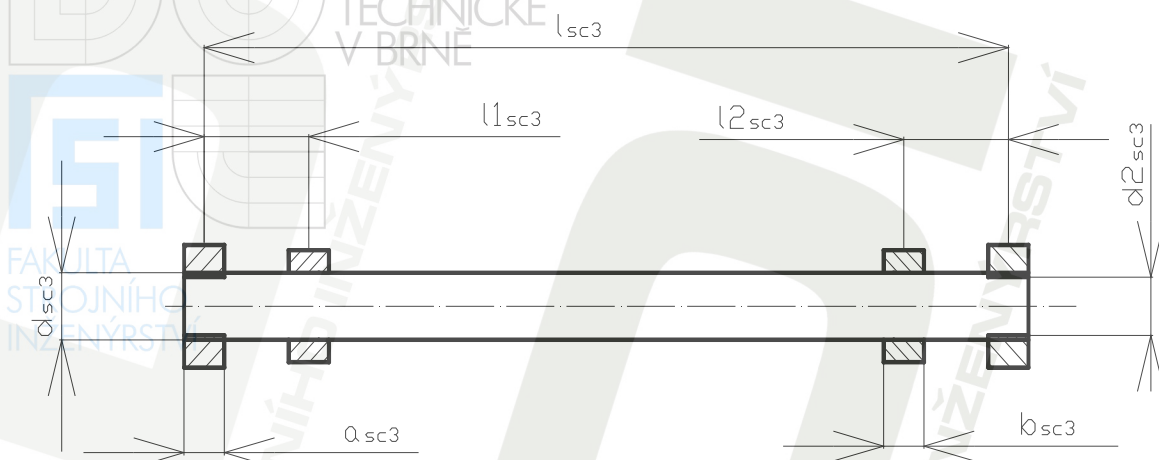
$$p_p = \frac{Rb_{hc3}}{b_{hc3} \cdot d_{hc3}} \\ p_p = \frac{4830,5}{30 \cdot 30} \\ p_p = 5,4 \text{ MPa} \quad (276)$$

$$p_p < p_{dovp}$$

Maximální dovolené statické zatížení 250MPa, dodavatel SKF.

7. 6 Spodní čep členu 3

Čep je nejvíce zatížen v horní poloze zvedáku za stavu A



Obr.71 Spodní čep členu 3

$$\begin{aligned} l_{sc3} &= 530 \text{ mm} \\ l1_{sc3} &= l2_{sc3} = 43,4 \text{ mm} \\ d_{sc3} &= 35 \text{ mm} \\ d2_{sc3} &= 28 \text{ mm} \\ a_{sc3} &= 20 \text{ mm} \\ b_{sc3} &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_E &= \sqrt{F_{EX}^2 + F_{EY}^2} \\ F_E &= \sqrt{159,46^2 + 8770,5^2} \\ F_E &= 8772 \text{ N} \end{aligned} \quad (277)$$

Výpočet reakcí

$$Ra_{sc3} = F_E = 8772 \text{ N} \quad (278)$$

$$Rb_{sc3} = F_E = 8772 \text{ N} \quad (279)$$

Výpočet posouvajících sil

$$T_1^L_{sc3} = F_F = 8772 \text{ N} \quad (280)$$

$$T_2^L_{sc3} = Ra_{sc3} - F_F = 8772 - 8772 = 0 \text{ N} \quad (281)$$

Výpočet momentů

$$Mo^1_{sc3} = 0 \text{ Nmm} \quad (282)$$

$$Mo^2_{sc3} = Ra_{sc3} \cdot l1_{sc3} = 8772 \cdot 43,4 = 380704,8 \text{ Nmm} \quad (283)$$

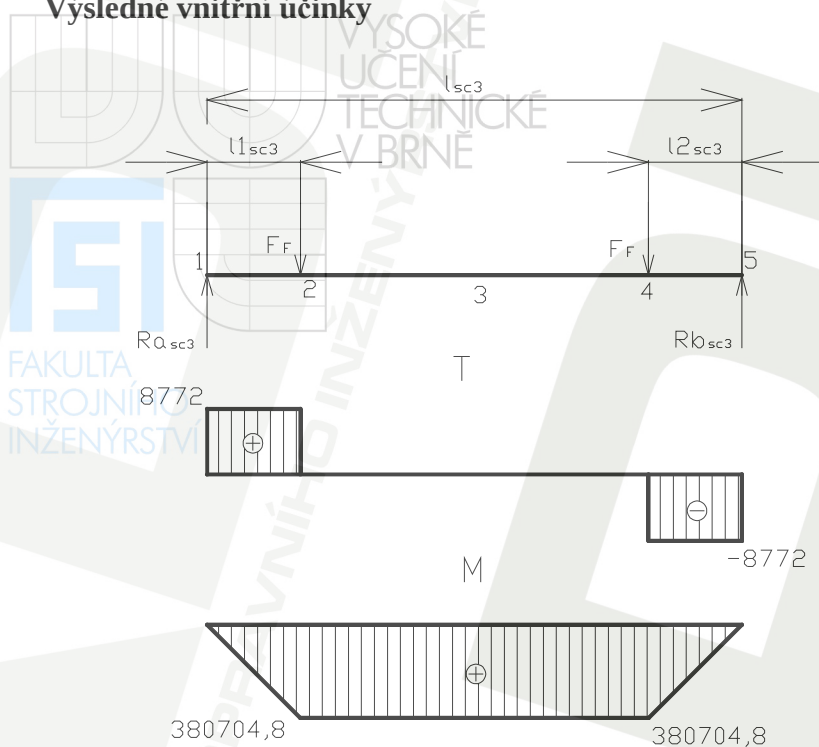
$$\begin{aligned} Mo^{3L}_{sc3} &= Ra_{sc3} \cdot \left(\frac{l_{sc3}}{2} \right) - F_F \cdot \left(\frac{l_{sc3}}{2} - l1_{sc3} \right) \\ Mo^{3L}_{sc3} &= 8772 \cdot 265 - 8772 \cdot (265 - 43,4) \end{aligned} \quad (284)$$

$$Mo^{3L}_{sc3} = 380704,8 \text{ Nmm}$$

$$Mo^{4P}_{sc3} = Rb_{sc3} \cdot l2_{sc3} = 8772 \cdot 43,4 = 380704,8 \text{ Nmm} \quad (285)$$

$$Mo^{5P}_{sc3} = 0 \text{ Nmm}$$

Výsledné vnitřní účinky



Obr.72 VVU na spodním čepu členu 3(N, Nmm)

Plocha čepu v místě maximálního ohybu

$$S_{Sc3} = \frac{p \cdot d_{Sc3}^2}{4} \quad (286)$$

$$S_{Sc3} = \frac{p \cdot 35^2}{4}$$

$$S_{Sc3} = 962 \text{ mm}^2$$

Kontrola na smyk

$$t_{Sc3} = \frac{F}{S} = \frac{F_E}{S_{Sc3}} = \frac{8772}{962} = 9 \text{ MPa} \quad (287)$$

$$t_{Sc3} < t_{DO}$$

$$9 < 240 \text{ MPa}$$

Kontrola na maximální ohyb

$$s_{OSc3} = \frac{M_{o \max Sc3}}{W_{OSc3}} = \frac{M_{o \max Sc3}}{\frac{p \cdot d_{Sc3}^3}{32}} = \frac{380704,8}{\frac{p \cdot 35^3}{32}} = 90 \text{ MPa} \quad (288)$$

$$s_{OSc3} < s_{DOV}$$

$$90 < 300 \text{ MPa}$$

Redukované napětí

$$\begin{aligned}s_{red} &= \sqrt{s^2 + 3 \cdot t^2} \\s_{red} &= \sqrt{s_{Ohc3}^2 + 3 \cdot t_{hc3}^2} \\s_{red} &= \sqrt{90^2 + 3 \cdot 9^2} \\s_{red} &= 91,3 \text{ MPa} \\s_{red} &< s_{DOV} \\91,3 &< 300 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(289)

Kontrola čepu v místě změny průřezu

Ohybový moment v místě změny průřezu

$$M_{oSc3} = R a_{sc3} \cdot (a_{sc3} / 2) = 8772 \cdot 10 = 87720 \text{ Nmm}$$

(290)

Plocha čepu

$$\begin{aligned}S_{Sc3} &= \frac{p \cdot d 2_{Sc3}^2}{4} \\S_{Sc3} &= \frac{p \cdot 28^2}{4} \\S_{Sc3} &= 616 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

(291)

Kontrola na smyk

$$t_{Sc3} = \frac{F}{S} = \frac{F_E}{S_{Sc3}} = \frac{8772}{616} = 14,2 \text{ MPa}$$

(292)

$a_s = 3$ - Je voleno dle [5]

Kontrola na ohyb

$$s_{Osc3} = \frac{M_{oSc3}}{W_{oSc3}} = \frac{M_{oSc3}}{\frac{p \cdot d 2_{Sc3}^3}{32}} = \frac{87720}{\frac{p \cdot 28^3}{32}} = 40,7 \text{ MPa}$$

(293)

$a_o = 1,85$ - Je voleno dle [8]

Redukované napětí

$$\begin{aligned}s_{red} &= \sqrt{(a_o \cdot s)^2 + 3 \cdot (a_s \cdot t)^2} \\s_{red} &= \sqrt{(a_o \cdot s_{Ohc3})^2 + 3 \cdot (a_s \cdot t_{hc3})^2} \\s_{red} &= \sqrt{(1,85 \cdot 40,7)^2 + 3 \cdot (3 \cdot 14,2)^2} \\s_{red} &= 105 \text{ MPa} \\s_{red} &< s_{DOV} \\88,6 &< 300 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(294)

Kontrola čepu na otláčení

$$p_{\check{c}} = \frac{F_E}{b_{sc3} \cdot d_{sc3}}$$
$$p_{\check{c}} = \frac{20 \cdot 35}{8772}$$
$$p_{\check{c}} = 12,5 \text{ MPa}$$
$$p_{\check{c}} < p_{dov}$$

(295)

Kontrola zatížení pouzdra

$$p_p = \frac{Ra_{sc3}}{a_{sc3} \cdot d_{sc3}}$$
$$p_p = \frac{20 \cdot 28}{8772}$$
$$p_p = 15,7 \text{ MPa}$$
$$p_p < p_{dovp}$$

(296)

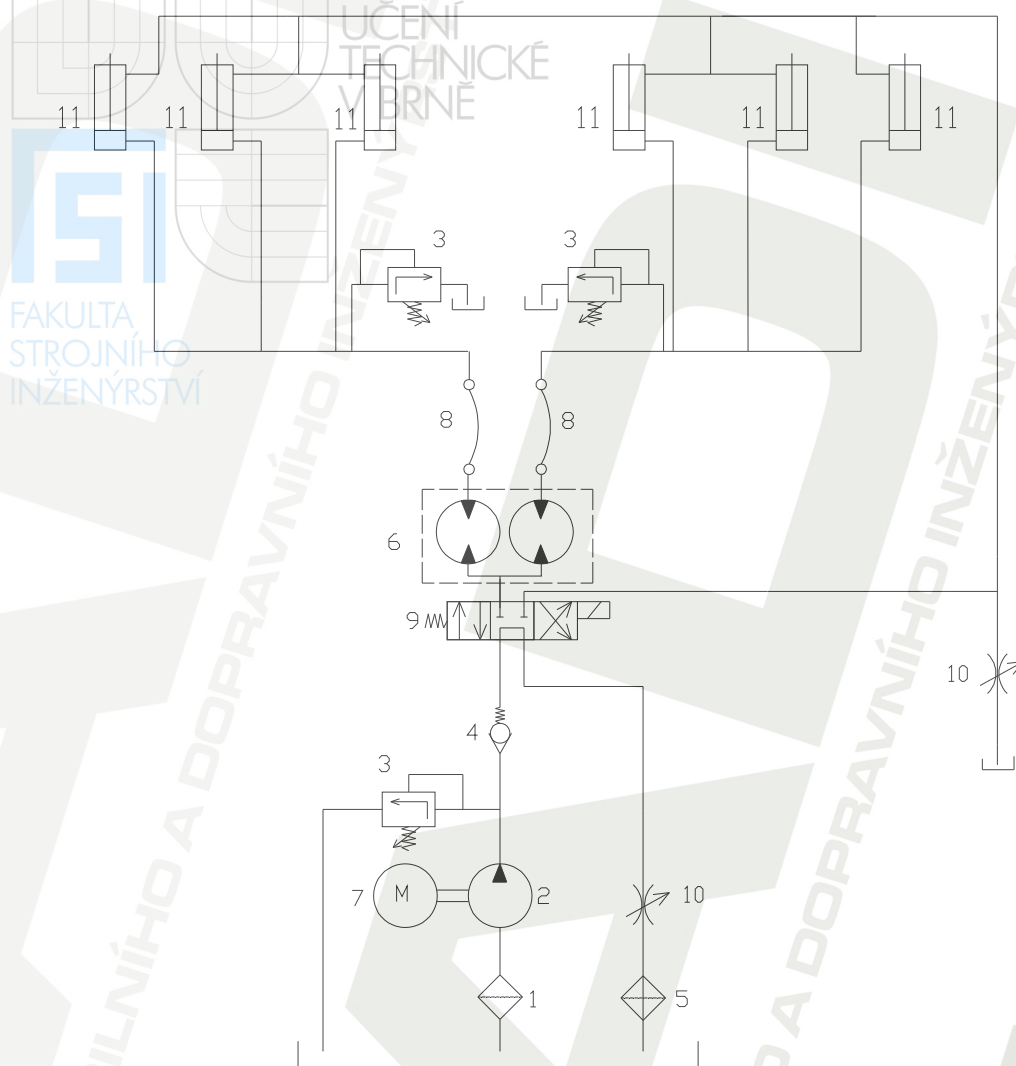
Maximální dovolené statické zatížení 250MPa, dodavatel SKF.

7. 7 Dílčí závěr

Vrchní čep členu 2 je obdobný jako spodní čep členu 3. Zatížení čepu členu 2 je srovnatelné a rameno u ohybového momentu několikanásobně kratší, a z toho důvodu usuzuji, že není potřebné pevnostně jej kontrolovat.

Na tomto místě bych chtěl ještě podotknout, že základní maticový výpočet je nastaven pro výpočet jednoho nůžkového mechanismu a jednoho hydraulického válce. Tedy pro jednu zvedací plošinu byli uvažovány dva nůžkové mechanismy a dva hydraulické válce. Kvůli komplikacím s tlakem v hydraulickém obvodu byl přidán další válec na jednu plošinu.

8 Návrh hydraulického obvodu



Obr.73 Hydraulický obvod

8. 1 Prvky obvodu

- 1, Sací filtr Agro-Hytos [16]
- 2, Zubový hydrogenerátor Parker PGP503 A 0033 Y viz [26]
- 3, Pojistný ventil PQS Rakovník s.r.o. VP 5 – 20/32 1Y – P 230U – 1 [27]
- 4, Zpětný ventil PQS Rakovník s.r.o. CV – 1 / 4 – 40 [27]
- 5, Odpadní filtr v hlavní větvi Agro-Hytos [16]
- 6, Zubový dělič průtoku Jihostroj DPV 2 [20]
- 7, Elektromotor SIEMENS 1LA7 130-0BA6x [21]
- 8, Hydraulická hadice Hansa-Flex KP 200 S [18]
- 9, Elektromagnetický ovládaný rozvaděč PQS Rakovník s.r.o. Dn 04 [27]
- 10, Ovládaný škrťací ventil PQS Rakovník s.r.o. ATV-01-1 [27]
- 11, Dvoučinný lineární hydromotor Krob hydraulika 55-32-198 viz [22]

Z těchto jednotlivých členů by měl jít sestavit hydraulický obvod, ale bezpochyby by bylo výhodnější nechat sestavit hydraulický agregát například firmou Q-Hydraulika kteří se na to specializují.

8. 2 Výpočet hydraulického obvodu

Tlak na jeden hydraulický válec

$$P = \frac{F_p}{S_{HV}} = \frac{57614,1}{\frac{p \cdot D_{HV}^2}{4}} = \frac{4 \cdot 57614,1}{p \cdot 55^2} = 24,3 \text{ MPa} \quad (297)$$

Průtok hydraulickým válcem

$$v_{HV} = \frac{Q}{S_{HV}} \Rightarrow Q = v_{HV} \cdot S_{HV} = 0,05 \cdot \frac{p \cdot D_{HV}^2}{4} = 0,05 \cdot \frac{p \cdot 0,055^2}{4} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (298)$$

$$v_{HV} = 0,05 \text{ m/s} \quad - \text{ volím viz str. 12}$$

$$f D_{HV} = 0,055 \text{ m}$$

$$Q = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 7,13 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$$

Volba hydrogenerátoru

Zubový hydrogenerátor Parker PGP503 A 0033 Y viz [26]

$$V_o = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{ot}$$

$$Q_G = 8,25 \text{ l min}^{-1} = 1,375 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{při } 2500 \text{ ot/min}$$

$$P_{G \max} = 35 \text{ MPa}$$

$$n_{G \max} = 4000 \text{ min}^{-1}$$

$$P_G = 27,5 \text{ MPa}$$

Potřebný výkon elektromotoru

$$P_{EG} = \frac{Q_G \cdot P_G}{h_{CG}} \quad (299)$$
$$P_{EG} = \frac{1,375 \cdot 10^{-4} \cdot 27,5 \cdot 10^6}{0,95}$$
$$P_{EG} = 3980 \text{ W} \approx 4 \text{ kW}$$

Rychlost v potrubí

$$v_p = \frac{Q_G}{S_p} = \frac{Q_G}{\frac{p \cdot d_p^2}{4}} = \frac{1,375 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{p \cdot 0,016^2} = 0,68 \text{ m/s} \quad (300)$$

$$d_p = 0,016 \text{ m} \quad \text{průměr potrubí}$$

Reynoldsovo číslo

$$\text{Re} = \frac{v_p \cdot d_p}{n} = \frac{0,68 \cdot 0,016}{67 \cdot 10^{-6}} = 163,3 \quad (301)$$

$n = 67 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ viz [25]
 $r = 876 \text{ kg} / \text{m}^3$ hustota oleje viz [25]

l – Pro hadice

$$l = \frac{80-85}{\text{Re}} = \frac{83}{163,3} = 0,51$$

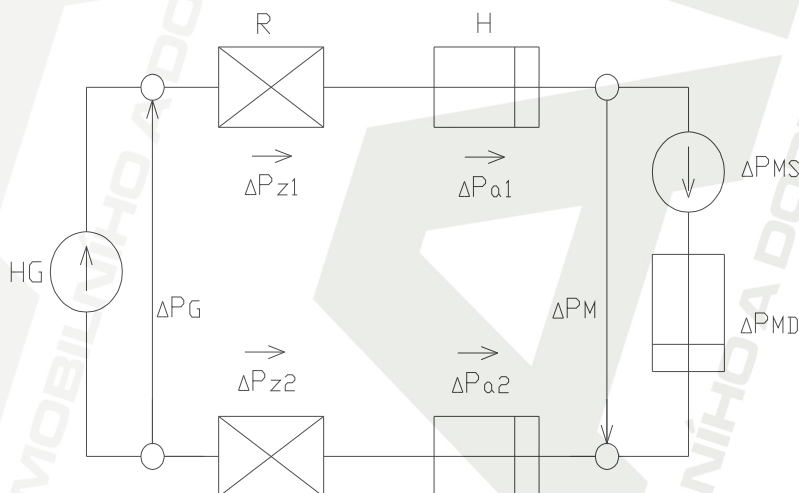
Objem hydromotorů

$$V_{HV} = \left(\frac{p \cdot D_{HV}^2}{4} \right) \cdot 6 \cdot Z = \frac{3}{2} \cdot p \cdot D_{HV}^2 \cdot Z = \frac{3}{2} \cdot p \cdot 0,055^2 \cdot 0,198 = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Čas zdvihu

$$t_{HV} = \frac{V_{HV}}{Q_G} = \frac{2,8 \cdot 10^{-3}}{1,375 \cdot 10^{-4}} = 21 \text{ s}$$

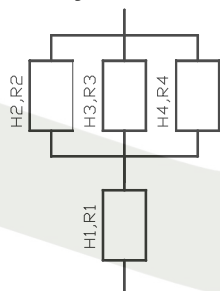
8. 3 Náhradní schéma hydraulického obvodu



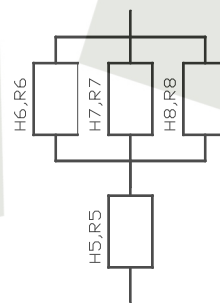
Obr.74 Náhradní schéma hydraulického obvodu

Odpor proti zrychlení v potrubí

Vzhledem k umístění hydraulického agregátu bokem zvedáku bude výsledné sérioparalelní zapojení následující.



Obr.75 Sérioparalelní zapojení první plošiny



Obr.76 Sérioparalelní zapojení druhé plošiny

Odpor proti zrychlení v přívodním potrubí pro zdvih zvedáku

$$H_1 = \frac{m}{S_p^2} \cdot \frac{p \cdot d_p^2 \cdot l_{p1} \cdot r}{4} \quad (305)$$

$$H_1 = \frac{4}{\left(\frac{p \cdot d_p^2}{4}\right)^2} \cdot \frac{p \cdot 0,016^2 \cdot 2 \cdot 876}{4}$$

$$H_1 = \frac{4}{\left(\frac{p \cdot 0,016^2}{4}\right)^2}$$

$$H_1 = 8713733,13 \text{ kgm}^{-4}$$

Odpor proti zrychlení v potrubí k hydromotorům pro zdvih zvedáku

$$H_2 = \frac{m}{S_p^2} \cdot \frac{p \cdot d_p^2 \cdot l_{PH1} \cdot r}{4} \quad (306)$$

$$H_2 = \frac{4}{\left(\frac{p \cdot d_p^2}{4}\right)^2} \cdot \frac{p \cdot 0,016^2 \cdot 0,3 \cdot 876}{4}$$

$$H_2 = \frac{4}{\left(\frac{p \cdot 0,016^2}{4}\right)^2}$$

$$H_2 = 1307059,97 \text{ kgm}^{-4}$$

Z důvodu stejné délky a průměrů hadic – $H_2 = H_3 = H_4$

$$\frac{1}{H_{234}} = \frac{1}{H_2} + \frac{1}{H_3} + \frac{1}{H_4} = \frac{3}{1,31 \cdot 10^6} \quad (307)$$

$$\frac{1}{H_{234}} = 2,295 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{kgm}^{-4}}$$

$$H_{234} = 435686,66 \text{ kgm}^{-4}$$

Odpor proti zrychlení v přívodním potrubí k druhé plošině zvedáku

$$H_5 = \frac{m}{S_p^2} = \frac{\frac{p \cdot d_p^2}{4} \cdot l_{p2} \cdot r}{\left(\frac{p \cdot d_p^2}{4}\right)^2} \quad (308)$$

$$H_5 = \frac{4}{\left(\frac{p \cdot 0,016^2}{4}\right)^2} \cdot \frac{p \cdot 0,016^2 \cdot 3,5 \cdot 876}{4}$$

$$H_5 = \frac{4}{\left(\frac{p \cdot 0,016^2}{4}\right)^2}$$

$$H_5 = 15249032,98 \text{ kgm}^{-4}$$

Odpor proti zrychlení v potrubí k hydromotorům u druhé plošiny zvedáku je stejný jako u první plošiny $H_{234} = H_{678}$

Celkový odpor proti zrychlení v potrubí pro zdvih zvedáku

$$\frac{1}{H_C^Z} = \frac{1}{H_1 + H_{234}} + \frac{1}{H_5 + H_{678}} \quad (309)$$

$$\frac{1}{H_C^Z} = \frac{1}{8,71 \cdot 10^6 + 4,36 \cdot 10^5} + \frac{1}{1,525 \cdot 10^7 + 4,36 \cdot 10^5}$$

$$\frac{1}{H_C^Z} = 1,73 \cdot 10^{-7} \frac{1}{kgm^{-4}}$$

$$H_C^Z = 5,78 \cdot 10^6 kgm^{-4}$$

Výpočet odporu proti zrychlení v potrubí pro zpuštění zvedáku

Odpor proti zrychlení v přívodním potrubí

$$H_1 = \frac{m}{S_p^2} \quad (310)$$

$$H_1 = \frac{\frac{p \cdot d_p^2}{4} \cdot l_{PS} \cdot r}{\left(\frac{p \cdot d_p^2}{4}\right)^2}$$

$$H_1 = \frac{\frac{p \cdot 0,016^2}{4} \cdot 5,5 \cdot 876}{\left(\frac{p \cdot 0,016^2}{4}\right)^2}$$

$$H_1 = 2,4 \cdot 10^7 kgm^{-4}$$

Odpor proti zrychlení v potrubí k hydromotorům

$$H_2 = \frac{m}{S_p^2} \quad (311)$$

$$H_2 = \frac{\frac{p \cdot d_p^2}{4} \cdot l_{PHS} \cdot r}{\left(\frac{p \cdot d_p^2}{4}\right)^2}$$

$$H_2 = \frac{\frac{p \cdot 0,016^2}{4} \cdot 0,7 \cdot 876}{\left(\frac{p \cdot 0,016^2}{4}\right)^2}$$

$$H_2 = 3049806,6 kgm^{-4}$$

Z důvodu stejné délky a průměrů hadic – $H_2 = H_3 = H_4 = H_6 = H_7 = H_8$

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{H_2} + \frac{1}{H_3} + \frac{1}{H_4} + \frac{1}{H_6} + \frac{1}{H_7} + \frac{1}{H_8} = \frac{6}{3,05 \cdot 10^6} \quad (312)$$

$$\frac{H}{H_{234678}} = 1,97 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{kgm}^{-4}}$$

$$H_{234678} = 5,08 \cdot 10^5 \text{kgm}^{-4}$$

Celkový odpor proti zrychlení v potrubí pro zpoštění zvedáku

$$H_C^S = H_1 + H_{234678} \quad (313)$$

$$H_C^S = 2,4 \cdot 10^7 + 5,08 \cdot 10^5$$

$$H_C^S = 2,45 \cdot 10^7 \text{kgm}^{-4}$$

Odpor proti zrychlení v hydraulických válcích

$$H_z = \frac{m}{S_{HV}^2 \cdot 6} \quad (314)$$

$$H_z = \frac{m}{\left(\frac{p \cdot d_{HV}^2}{4} \right)^2 \cdot 6}$$

$$H_z = \frac{m}{\left(\frac{p \cdot 0,055^2}{4} \right)^2 \cdot 6}$$

$$H_z = 118107702,2 \text{kgm}^{-4}$$

Součet odporů proti zrychlení

$$H = H_C^Z + H_C^S + H_z \quad (315)$$

$$H = 5,78 \cdot 10^6 + 2,45 \cdot 10^7 + 1,18 \cdot 10^8$$

$$H = 1,483 \cdot 10^8 \text{kgm}^{-4}$$

Odpor proti pohybu přírodním potrubí pro zdvih zvedáku

$$\Delta P = l \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{r \cdot v^2}{2} \quad (316)$$

$$l = \frac{83}{\text{Re}} \quad \text{Re} = \frac{v \cdot d}{n} \quad v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{p \cdot d^2}$$

$$\Delta P = \frac{83 \cdot n \cdot l \cdot r \cdot v^2}{v \cdot d^2 \cdot 2} \quad (317)$$

$$\Delta P = \frac{83 \cdot n \cdot l \cdot r}{d^2 \cdot 2} \cdot \frac{Q \cdot 4}{p \cdot d^2}$$

$$\Delta P = \frac{166 \cdot n \cdot l \cdot r}{p \cdot d^4} \cdot Q \quad (318)$$

$$R_1 = \frac{166 \cdot n \cdot l_{p1} \cdot r}{p \cdot d_p^4} \quad (319)$$

$$R_1 = \frac{166 \cdot 67 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 876}{p \cdot 0,016^4}$$

$$R_1 = 9,46 \cdot 10^7 \text{ kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Odpor proti pohybu v potrubí k hydromotorům pro zdvih zvedáku

$$R_2 = \frac{166 \cdot n \cdot l_{H1} \cdot r}{p \cdot d_p^4} \quad (320)$$

$$R_2 = \frac{166 \cdot 67 \cdot 10^{-6} \cdot 0,3 \cdot 876}{p \cdot 0,016^4}$$

$$R_2 = 1,42 \cdot 10^7 \text{ kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Z důvodu stejné délky a průměrů hadic – $R_2 = R_3 = R_4$

$$\frac{1}{R_{234}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{3}{1,42 \cdot 10^7} \quad (321)$$

$$\frac{1}{R_{234}} = 2,11 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}}$$

$$R_{234} = 4,73 \cdot 10^6 \text{ kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Odpor proti pohybu v přívodním potrubí k druhé plošině zvedáku

$$R_5 = \frac{166 \cdot n \cdot l_{p2} \cdot r}{p \cdot d_p^4} \quad (322)$$

$$R_5 = \frac{166 \cdot 67 \cdot 10^{-6} \cdot 3,5 \cdot 876}{p \cdot 0,016^4}$$

$$R_5 = 1,66 \cdot 10^8 \text{ kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Odpor proti pohybu v potrubí k hydromotorům u druhé plošiny zvedáku je stejný jako u první plošiny $R_{234} = R_{678}$

Celkový odpor proti pohybu v potrubí pro zdvih zvedáku

$$\frac{1}{R_C^Z} = \frac{1}{R_1 + R_{234}} + \frac{1}{R_5 + R_{678}} \quad (323)$$

$$\frac{1}{R_C^Z} = \frac{1}{9,46 \cdot 10^7 + 4,73 \cdot 10^6} + \frac{1}{1,66 \cdot 10^8 + 4,73 \cdot 10^6}$$

$$\frac{1}{R_C^Z} = 1,59 \cdot 10^{-8} \frac{1}{\text{kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}}$$

$$R_C^Z = 6,28 \cdot 10^7 \text{ kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Výpočet odporu proti pohybu v potrubí pro zpuštění zvedáku

Odpor proti pohybu v přívodním potrubí

$$R_1 = \frac{166 \cdot n \cdot l_{PS} \cdot r}{p \cdot d_p^4} \quad (324)$$

$$R_1 = \frac{166 \cdot 67 \cdot 10^{-6} \cdot 5,5 \cdot 876}{p \cdot 0,016^4}$$

$$R_1 = 2,6 \cdot 10^8 \text{ kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Odpor proti pohybu v potrubí k hydromotorům

$$R_2 = \frac{166 \cdot n \cdot l_{PHS} \cdot r}{p \cdot d_p^4} \quad (325)$$

$$R_2 = \frac{166 \cdot 67 \cdot 10^{-6} \cdot 0,7 \cdot 876}{p \cdot 0,016^4}$$

$$R_2 = 3,3 \cdot 10^7 \text{ kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Z důvodu stejné délky a průměrů hadic – $R_2 = R_3 = R_4 = R_6 = R_7 = R_8$

$$\frac{1}{R_{234678}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8} = \frac{6}{3,3 \cdot 10^7} \quad (326)$$

$$\frac{1}{R_{234678}} = 1,82 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}}$$

$$R_{234678} = 5,5 \cdot 10^6 \text{ kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Celkový odpor proti pohybu v potrubí pro zpuštění zvedáku

$$R_C^S = R_1 + R_{234678} \quad (327)$$

$$R_C^S = 3,3 \cdot 10^7 + 5,5 \cdot 10^6$$

$$R_C^S = 3,85 \cdot 10^7 \text{ kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Součet odporů proti pohybu

$$R = R_C^Z + R_C^S \quad (328)$$

$$R = 6,28 \cdot 10^7 + 3,85 \cdot 10^7$$

$$R = 1,013 \cdot 10^8 \text{ kgm}^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Časová konstanta

$$T = \frac{H}{R} \quad (329)$$

$$T = \frac{1,483 \cdot 10^8}{1,013 \cdot 10^8}$$

$$T = 1,46 \text{ s}$$

Ustálený průtok v obvodu

$$Q_u = \frac{(\Delta P_G - \Delta P_{MS})}{R} \quad (330)$$

$$Q_u = \frac{(27,5 - 24,3)}{1,013 \cdot 10^8}$$

$$Q_u = \frac{3,2 \cdot 10^6}{1,013 \cdot 10^8}$$

$$Q_u = 3,16 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$Q_u \gg Q_G$$

Čas rozběhu hydraulického obvodu

$$tr = \frac{Q_G \cdot T}{Q_u} \quad (331)$$

$$tr = \frac{1,375 \cdot 10^{-4}}{3,16 \cdot 10^{-2}} \cdot 1,46$$

$$tr = 6,35 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

Odpor proti pohybu nositele energie

$$\Delta Pa1 = H_c^z \cdot \frac{dQ}{dt} \quad (332)$$

$$\Delta Pa1 = 5,78 \cdot 10^6 \cdot \frac{1,375 \cdot 10^{-4}}{6,35 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Delta Pa1 = 125157,5 \text{ Pa} = 0,125 \text{ MPa}$$

$$\Delta Pa2 = H_c^s \cdot \frac{dQ}{dt} \quad (333)$$

$$\Delta Pa2 = 2,45 \cdot 10^7 \cdot \frac{1,375 \cdot 10^{-4}}{6,35 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Delta Pa2 = 530511,8 \text{ Pa} = 0,53 \text{ MPa}$$

Odpor proti zrychlení nositele energie

$$\Delta Pz1 = l \cdot \frac{l_p}{d_p} \cdot r \cdot \frac{v_p^2}{2} = R_C^z \cdot Q \quad (334)$$

$$\Delta Pz1 = 6,28 \cdot 10^7 \cdot 1,375 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta Pz1 = 8635 \text{ Pa} = 0,0086 \text{ MPa}$$

$$\Delta P_{z2} = l \frac{l_p}{d_p} \cdot r \cdot \frac{v_p^2}{2} = R_c^s \cdot Q \quad (335)$$

$$\Delta P_{z2} = 3,85 \cdot 10^7 \cdot 1,375 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta P_{z2} = 5294 Pa = 0,0053 MPa$$

Přeměna tlakové energie na mechanickou práci

$$\Delta P_{MS} = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{p \cdot D_{HV}^2} \quad (336)$$

$$\Delta P_{MS} = \frac{5873 \cdot 9,81 \cdot 4}{p \cdot 0,055^2}$$

$$\Delta P_{MS} = 24,3 MPa$$

Přeměna kinetické energie dopravovaných hmot

$$\Delta P_{MD} = H_z \frac{dQ}{dt} = \frac{m}{S_{HV}^2} \cdot \frac{dQ}{dt} \quad (337)$$

$$\Delta P_{MD} = 118107702,2 \cdot \frac{1,375 \cdot 10^{-4}}{6,35 \cdot 10^{-3}}$$

$$\Delta P_{MD} = 2557450,2 Pa = 2,56 MPa$$

Tlak na generátoru

$$\Delta P_G = \Delta P_{a1} + \frac{\Delta P_{a2}}{h_{CG}} \cdot \frac{S_{HV} - S_{PH}}{S_{HV}} + \Delta P_{z1} + \frac{\Delta P_{z2}}{h_{CG}} + \frac{\Delta P_{MS}}{h_{CG}} + \frac{\Delta P_{MD}}{h_{CG}} \quad (338)$$

$$\Delta P_G = 0,125 + \frac{0,53}{0,95} \cdot 0,572 + 0,0086 + \frac{0,0053}{0,95} + \frac{24,3}{0,95} + \frac{2,56}{0,95}$$

$$\Delta P_G = 28,7 MPa$$

$$\frac{S_{HV} - S_{PH}}{S_{HV}} = \frac{55^2 - 36^2}{55^2} = 0,572 \quad (339)$$

Čas brzdění hydraulického mechanismu

$$t_b = Q \frac{H}{\Delta P_{MS}} \quad (340)$$

$$t_b = 3,16 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1,438 \cdot 10^8}{24,3 \cdot 10^6}$$

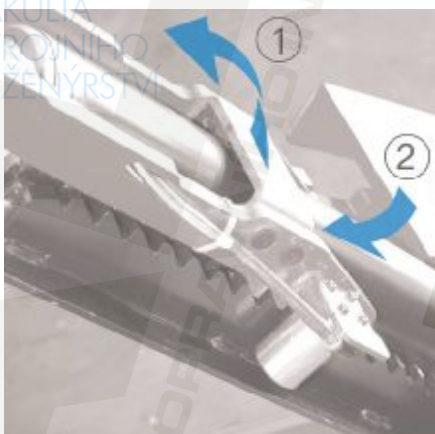
$$t_b = 0,19 s$$

9 Návrh zádržného zařízení

Zádržné zařízení má za úkol při případné poruše udržet zvedák v horní poloze. Často používané zádržné zařízení u těchto zvedáků je na principu zaseknutí ozubeného hřebene umístěného po okrajích hydraulického válce do zubů záchytného zařízení.

Z důvodu malého prostoru pod horní deskou zvedáku ve složeném stavu se používá k vyzvednutí záchytného zařízení miniaturních pneumatických válců.

Na obr.77 a obr.78 jsou ukázky používaných zádržných zařízení



Obr.77 Zádržné zařízení s pneumatickým válcem do strany[19]



Obr. 78 Zádržné zařízení s pneumatickým válcem z hora[28]

Rozdíl v těchto zařízeních je hlavně v umístění pneumatického válce.

9. 1 Vlastní návrh zádržného zařízení

Při návrhu zádržného zařízení vycházím z nejčastěji používaných druhů. Zařízení se bude tedy skládat ze dvou zachycovačů, dvou spojovacích plechů, dvou ozubených hřebenů kolem hydraulického válce, pneumatického válce a jeho příslušenství.

Zádržné zařízení bude použito pouze na jednom ze tří válců na každé plošině, jelikož v horní poloze zvedáku nepůsobí na hydromotory již tak velká síla jako při začátku zdvihání viz graf 20 str. 25.



Obr. 79 Návrh zádržného zařízení

Hmotnost zádržného zařízení

Z programu Autodesk Inventor Professional 2009 jsem zjistil hmotnost zádržného zařízení $m_z = 2,3kg$ z důvodu tření a hmotnosti dalších prvků navyšuji vlastní hmotnost o 20%.

9. 2 Návrh pneumatického válce

Síla působící na válec

$$\begin{aligned} F_{PV} &= m_z \cdot g \\ F_{PV} &= 2,3 \cdot 9,81 \cdot 1,2 \\ F_{PV} &= 27N \end{aligned}$$

(341)

Volím pneumatický jednočinný válec s vratnou pružinou od firmy Festo typ. 156 938 AEVU-16-20-P-A [17]

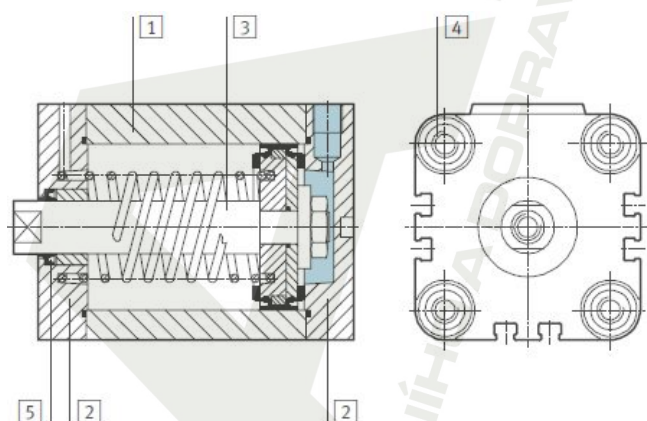
Průměr pístu: 16mm

Zdvih: 20mm

Teoretická síla při 6 barech: 111N

Pohyb vpřed: 81N

Vlastní hmotnost: 89g



Obr. 80 Funkční řez pneumatického válce AEVU [17]

Tlak na jeden pneumatický válec

$$P_{PV} = \frac{F_{PV}}{S_{PV}} = \frac{F_{PV}}{\frac{p \cdot D_{PV}^2}{4}} = \frac{4 \cdot 27}{p \cdot 16^2} = 0,135MPa$$

(342)

Průtok vzduchu

$$V_{PV} = \frac{Q_{PV}}{S_{PV}} \Rightarrow Q_{PV} = V_{PV} \cdot S_{PV} = 0,05 \cdot \frac{p \cdot D_{PV}^2}{4} = 0,05 \cdot \frac{p \cdot 0,016^2}{4} = 1 \cdot 10^{-5} m^3 \cdot s^{-1}$$

(343)

Rychlost v potrubí

$$v_{PP} = \frac{Q_{PV}}{S_{PP}} = \frac{Q_{PV}}{\frac{p \cdot d_{PP}^2}{4}} = \frac{1 \cdot 10^{-5} \cdot 4}{p \cdot 0,006^2} = 0,35 \text{ m/s}$$

(344)

Objem pneumatů

$$V_{PV} = \left(\frac{p \cdot D_{PV}^2}{4} \right) \cdot 2 \cdot Z = \frac{1}{2} \cdot p \cdot D_{PV}^2 \cdot Z = \frac{1}{2} \cdot p \cdot 0,016^2 \cdot 0,02 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

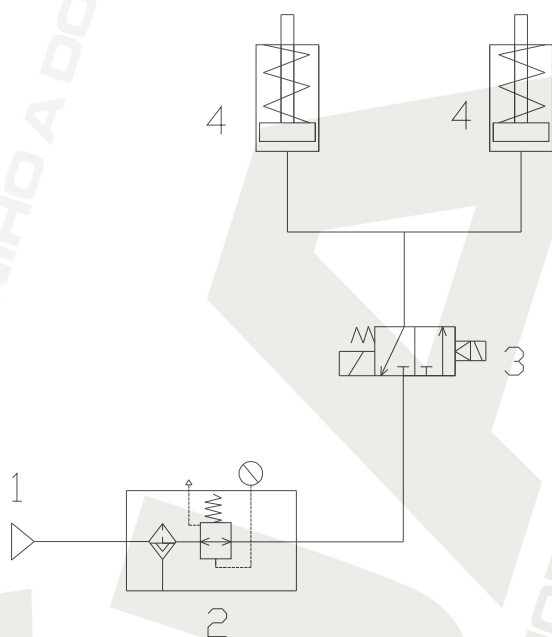
(345)

Čas zdvihu

$$t_{PV} = \frac{V_{PV}}{Q_{PV}} = \frac{8 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-5}} = 1 \text{ s}$$

(346)

Návrh pneumatického obvodu



Obr. 81 Pneumatický obvod

1. Kompresor
2. Vzduchový filtr s regulátorem
3. Tří polohový dvoucestný elektromagnetický ventil
4. Dva vzduchové válce

9. 3 Pevnostní kontrola zádržného zařízení

Zádržné zařízení musí udržet stejnou váhu jako hydromotory ve vysunutém stavu. Z maticového výpočtu je patrné, že horší zatížení v horním poloze zvedáku je za stavu A viz. str. 21

Pro tento stav je proveden průběh vnitřních sil v Příloze A z něhož snadno zjistíme sílu na jeden válec. Protože se zádržné zařízení skládá ze dvou zachycovačů, tak síla na jeden válec se rovná síle na jeden zachycovač.



Obr. 82 Zachycovač

Síla na jeden zachycovač

$$F_{1z} = 22147,6N \text{ viz. příloha A str. 10}$$

Síla na jeden zub zachycovače

$$F_{1zz} = \frac{F_{1z}}{5} \quad (347)$$

$$F_{1zz} = \frac{22147,6}{5}$$

$$F_{1zz} = 4429,52N$$

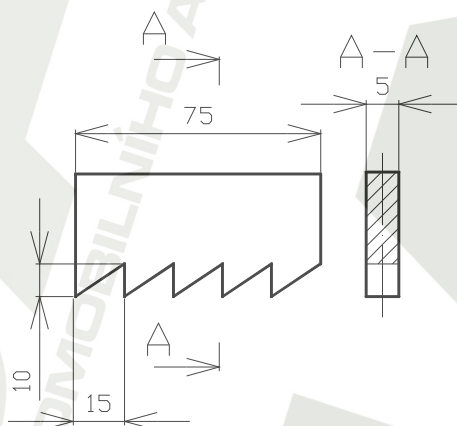
Zachycovač je vybaven 5-ti zuby

Kontrola zubu na smyk

$$t_z = \frac{F_{1zz}}{S_z} \quad (348)$$

$$t_z = \frac{4429,52}{5 \cdot 15}$$

$$t_z = 59MPa$$



Obr. 83 Zuby zachycovače

Kontrola zubu na ohyb

$$s_{OZ} = \frac{F_{1ZZ} \cdot z}{\frac{1}{12} b_z \cdot h_z^3} = \frac{F_{1ZZ} \cdot z}{\frac{1}{6} b_z \cdot h_z^2} \quad (349)$$
$$s_{OZ} = \frac{4429,52 \cdot 5}{\frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 15^2} = 118,1 \text{ MPa}$$

Redukované namáhání

$$s_{red} = \sqrt{s_{OZ}^2 + 3 \cdot t_z^2} \quad (350)$$
$$s_{red} = \sqrt{118,1^2 + 3 \cdot 59^2}$$
$$s_{red} = 156,2 \text{ MPa}$$
$$s_{red} \leq s_{dov}$$

Kontrola svaru pro upevnění zubů

Napětí ve smyku

$$t_{s1} = \frac{F_{1Z}}{S_{SZ}} \quad (351)$$
$$t_{s1} = \frac{22147,6}{75 \cdot 5}$$
$$t_{s1} = 59 \text{ MPa}$$

Napětí v ohybu

$$s_{OS} = \frac{6 \cdot M_s}{a_s \cdot L_s^2} \quad (352)$$
$$s_{OS} = \frac{6 \cdot 22147,6 \cdot 2,5}{5 \cdot 75^2}$$
$$s_{OS} = 11,8 \text{ MPa}$$

Výsledné kombinované namáhání svaru

$$s_{komb} = \sqrt{s_{OS}^2 + 3 \cdot t_s^2} \quad (353)$$
$$s_{komb} = \sqrt{11,8^2 + 3 \cdot 59^2}$$
$$s_{komb} = 102,9 \text{ MPa}$$

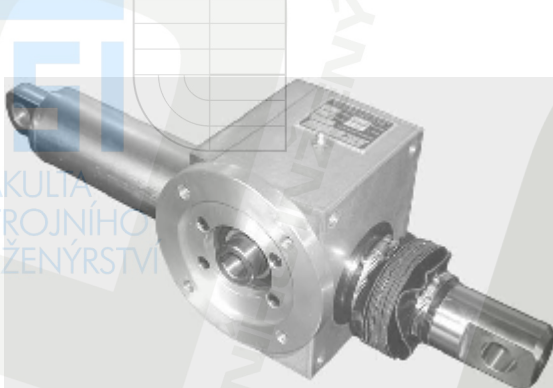
Dovolené napětí ve svaru

$$s_{Dov} \approx \frac{R_e}{k_s} \quad (354)$$
$$s_{Dov} \approx \frac{450}{3}$$
$$s_{Dov} \approx 150 \text{ MPa}$$
$$s_{komb} \leq s_{Dov}$$

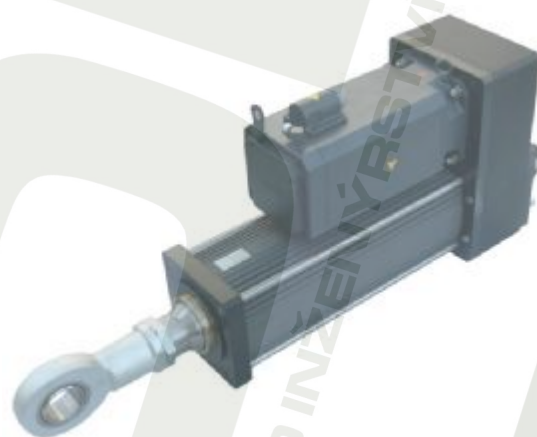
$k_s = 3$ - dle Joseph P. Visodic. viz [23]

10 Návrh mechanismu mechanického zdvihu

V návrhu mechanického zdvihu jsme se zpočátku snažili nahradit přímočaré hydromotory šroubovými převodovkami například od firmy Stromag viz obr.84 popřípadě od firmy Servo-Drive viz obr. 85.



Obr. 84 Převodovka Stromag [33]



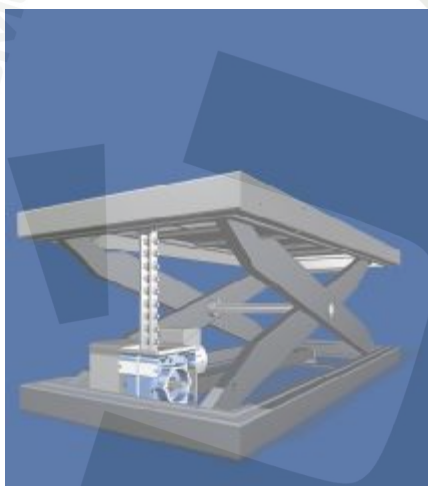
Obr. 85 Převodovka Servo-Drive[31]

Z důvodu rozměrů však nelze tyto převodovky použít pro náš případ. Pro potřebnou sílu jsou převodovky vyšší jak 120mm, což je výška zvedáku ve sklopeném stavu, proto není jejich použití v rámci vyhovění zadání této práce možné.

10. 1 Pohon zvedáku pomocí tlačných řetězů firmy Serapid

Vzhledem k výše zmiňovanému zadání práce, využijeme při návrhu mechanického zdvihu tlačných řetězů od firmy Serapid, přičemž budou tyto řetězové stanice umístěny vedle zvedáků. Při bočním umístění nebudou tedy překážet pro přejezd zvedáku, navíc dosáhneme maximální výšky plošiny ve sklopeném stavu 120mm, a tím vyhovíme zadání práce.

Z emailové komunikace s firmou Serapid, konkrétně s panem Dominique Thoumire, byl pro zvedák navržen LinkLift 50 umístěný na každé straně zvedáku.



Obr. 86 Model Serapid [30]



Obr. 87 Serapid řetězový zvedák [30]

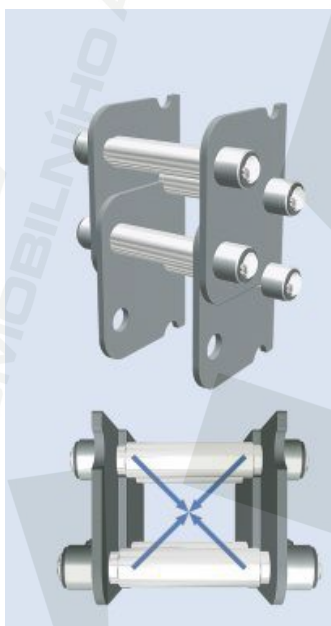
10. 2 Funkce lineárního teleskopického zvedacího zařízení

Zvedací systémy firmy Serapid poskytují mechanický způsob k vyzvednutí těžkých břemen například vozidel. Princip je založen na zamykání a odemykání flexibilních připojení, spojovacích elementů. Při zvedání břemene se speciálně tvarované řetězy navzájem spojí a vytvoří pevné sloupce. Při sklápění se řetězy postupně ve spodní části odemykají a skládají viz obr. 89.

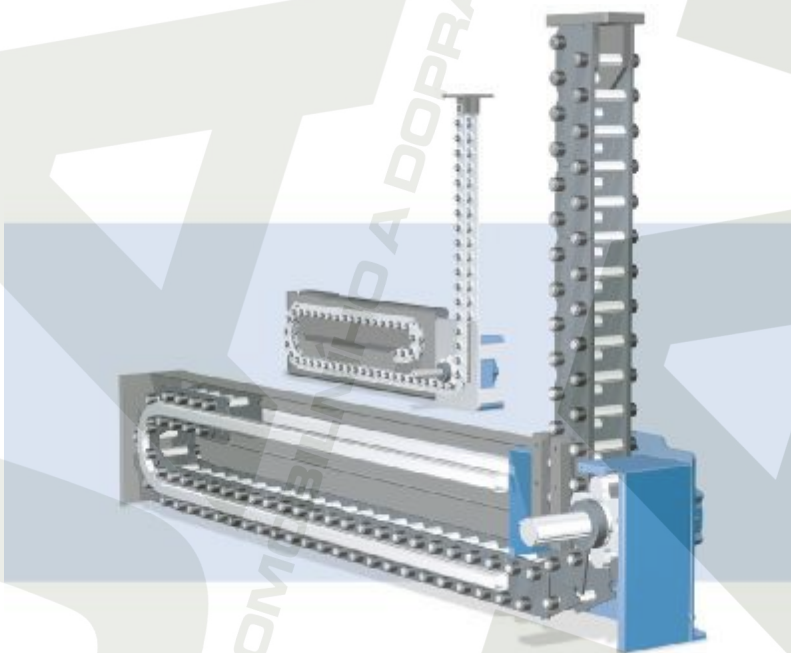
Tlačné řetězy spojují silné stránky jiných metod pohybu, jako jsou pásy nebo pohybové šrouby, a zároveň kompenzují jejich slabiny. Toto platí zejména při vertikálním pohybu.

Výhody:

- opakované zdvihy s přesností milimetru i při vysokých rychlostech,
- rychlost zdvihu až 300mm/s (možné i rychlejší),
- kapacita až 10 tun při zdvihu do 7m,
- úsporné na místo,
- jednoduchá konfigurace,
- 80% účinnost,
- dlouhá životnost,
- minimální údržba.



Obr.88 Článek řetězu Serapid [30]



Obr. 89 Model Serapid [30]

10.2 Výpočet plošiny pro mechanický zdvih v horní poloze zvedáku za stavu A



Obr. 90 Statický rozbor

$$l_1 = 0,284m$$

$$l_2 = 0,916 \div 1,132m$$

$$l_3 = 0,5 \div 0,284m$$

$$F_1 = 7112,25N$$

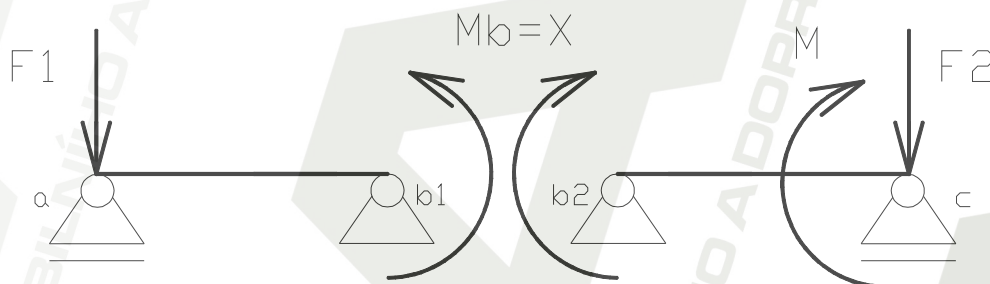
$$F_2 = 12753N$$

Stupeň statické neurčitosti

$$4 - 3 = 1SN$$

(355)

Volba staticky neurčité veličiny



Obr. 91 Volby staticky neurčitých veličin

Přetvárné podmínky

$$\Phi_{b,a} = -\Phi_{b,c} \Rightarrow \Phi_{b,a} + \Phi_{b,c} = 0$$

$$j_{b,a} = 0$$

$$j_{b,c} = \frac{-M \cdot l_2}{3E \cdot I} = \frac{-F_2 \cdot l_3 \cdot l_2}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{-12753 \cdot 0,5 \cdot 0,916}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 4,07 \cdot 10^{-6}} = -2,28 \cdot 10^{-3} rad \quad (356)$$

$$a_{b,a} = \frac{l_1}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{0,284}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 4,07 \cdot 10^{-6}} = 1,11 \cdot 10^{-7} rad \quad (357)$$

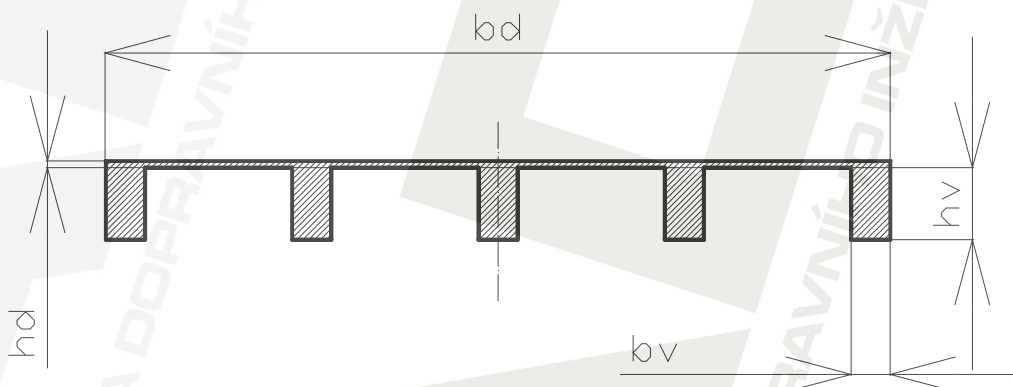
$$a_{b,c} = \frac{l_2}{3 \cdot E \cdot I} = \frac{0,916}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 4,07 \cdot 10^{-6}} = 3,57 \cdot 10^{-7} rad \quad (358)$$

$$b_{a,b} = \frac{l_1}{6 \cdot E \cdot I} = \frac{0,284}{6 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 4,07 \cdot 10^{-6}} = 5,54 \cdot 10^{-8} rad \quad (359)$$

$$b_{c,b} = \frac{l_2}{6 \cdot E \cdot I} = \frac{0,916}{6 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 4,07 \cdot 10^{-6}} = 3,57 \cdot 10^{-7} rad \quad (360)$$

$$\begin{aligned}
 f_{b,a} &= j_{b,a} + X \cdot a_{b,a} + b_{a,b} \\
 f_{b,c} &= j_{b,c} + X \cdot a_{b,c} + b_{c,b} \\
 j_{b,a} + X \cdot a_{b,a} + b_{a,b} &= -j_{b,c} - X \cdot a_{b,c} - b_{c,b} \\
 X \cdot a_{b,a} + X \cdot a_{b,c} &= -j_{b,c} - j_{b,a} - b_{c,b} - b_{a,b} \\
 X &= \frac{-j_{b,c} - j_{b,a} - b_{c,b} - b_{a,b}}{a_{b,a} + a_{b,c}} \\
 X &= \frac{2,28 \cdot 10^{-3} - 0 - 3,57 \cdot 10^{-7} - 5,54 \cdot 10^{-8}}{1,11 \cdot 10^{-7} + 3,57 \cdot 10^{-7}} \\
 X &= 4866,51 \text{ Nm}
 \end{aligned}
 \tag{361}$$

Kvadratický moment průřezu

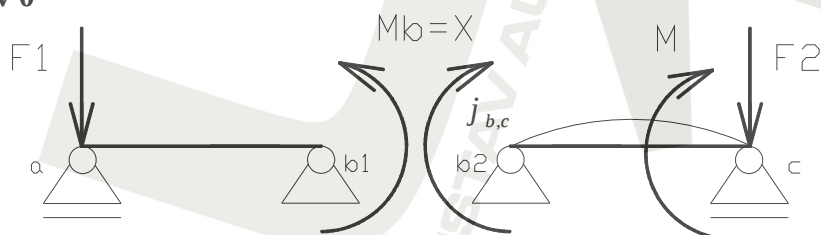


Obr. 92 Profil horní plošiny

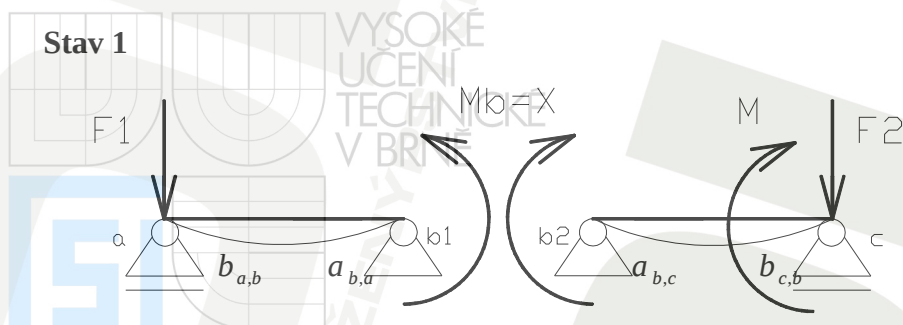
$$\begin{aligned}
 b_d &= 0,6 \text{ m} \\
 h_d &= 0,005 \text{ m} \\
 b_v &= 0,03 \text{ m} \\
 h_v &= 0,055 \text{ m} \\
 Y_T &= \frac{b_d \cdot h_d \cdot Y_{dT} + h_v \cdot b_v \cdot Y_{vT} \cdot 5}{b_d \cdot h_d} \\
 Y_T &= \frac{0,6 \cdot 0,005 \cdot 0,0575 + 0,055 \cdot 0,03 \cdot 0,0275 \cdot 5}{0,6 \cdot 0,005 + 0,055 \cdot 0,03 \cdot 5} \\
 Y_T &= 0,0355 \text{ m}
 \end{aligned}
 \tag{362}$$

$$\begin{aligned}
 I_{PM} &= \frac{1}{12} b_d \cdot h_d^3 + b_d \cdot h_d \cdot (Y_{dT} - Y_T)^2 + \frac{1}{12} b_v \cdot h_v^3 \cdot 5 + b_v \cdot h_v \cdot (Y_T - Y_{vT})^2 \cdot 5 \\
 I_{PM} &= \frac{1}{12} \cdot 0,6 \cdot 0,005^3 + 0,6 \cdot 0,005 \cdot (0,0575 - 0,0355)^2 + \frac{1}{12} \cdot 0,03 \cdot 0,055^3 \cdot 5 + \\
 &+ 0,03 \cdot 0,055 \cdot (0,0355 - 0,0275)^2 \cdot 5 \\
 I_{PM} &= 4,07 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4
 \end{aligned}
 \tag{363}$$

Stav 0

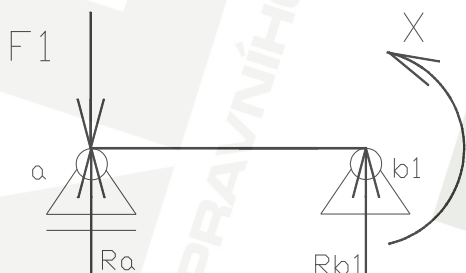


Obr. 93 Stav 0



Obr. 94 Stav 1

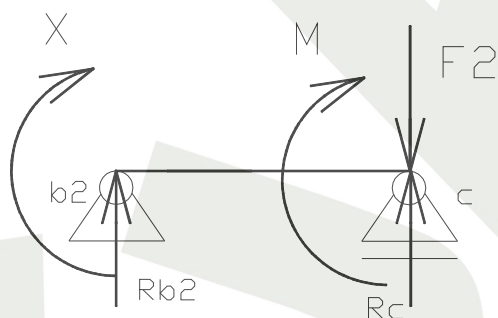
Výpočet reakcí



Obr. 95 Prostý nosník 1/2

$$\sum M_a = 0 \Rightarrow Rb1 \cdot l1 + X \Rightarrow Rb1 = \frac{-X}{l1} = \frac{-4866,51^3}{0,284} = -17135,61N \quad (364)$$

$$\sum M_b = 0 \Rightarrow -Ra \cdot l1 + F1 \cdot l1 + X \Rightarrow Ra = \frac{X + F1 \cdot l1}{l1} = \frac{4866,51 + 7112,25 \cdot 0,284}{0,284} = 24247,86N \quad (365)$$



Obr. 96 Prostý nosník 2/2

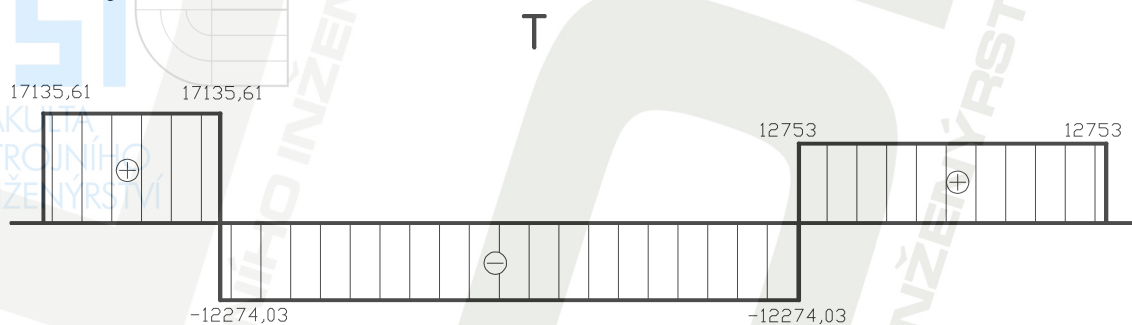
$$\sum M_b = 0 \Rightarrow Rc \cdot l2 - F2 \cdot l2 - X - M \Rightarrow Rc = \frac{X + F2 \cdot l2 + M}{l2} = \frac{4866,51 + 12753 \cdot 0,916 + 6376,5}{0,916} = 25027,03N \quad (366)$$

$$\sum M_c = 0 \Rightarrow -Rb2 \cdot l2 - X - M \Rightarrow Rb2 = \frac{-X - M}{l2} = \frac{-4866,51 - 6376,5}{0,916} = -12274,03N \quad (367)$$

Reakce R_a a R_c již známe, R_b dopočítáme součtem na jednotlivých prostých nosnících

$$\begin{aligned} R_b &= R_{b1} + R_{b2} \\ R_b &= -17135,61 - 12274,03 \\ R_b &= -29409,64 \text{ N} \end{aligned} \quad (368)$$

Průběhy vnitřních sil



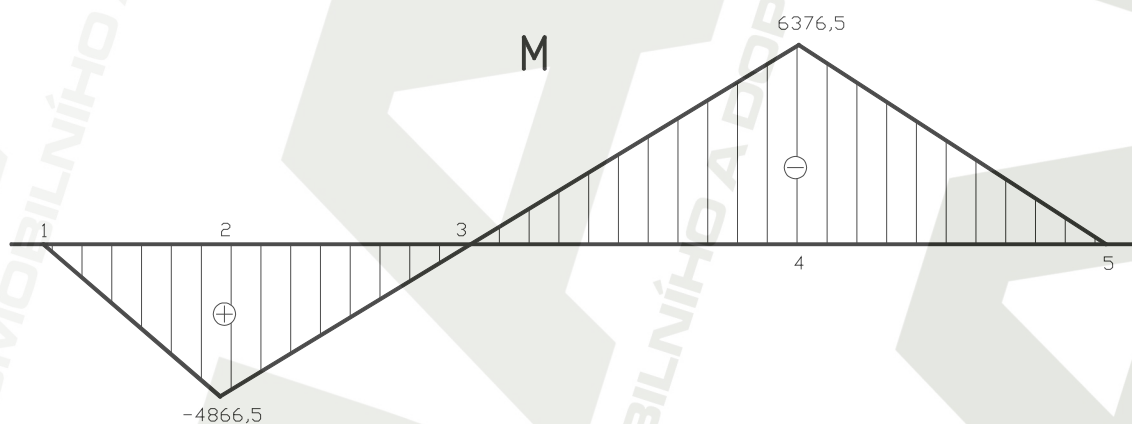
Obr. 97 Průběh posouvajících sil (N)

$$T_1 = R_a - F_1 = 24247,86 - 7112,25 = 17135,61 \text{ N} \quad (369)$$

$$T_2 = T_1 + R_b = 17135,61 - 29409,64 = -12274,03 \text{ N} \quad (370)$$

$$T_3 = T_2 + R_c = -12274,03 + 25027,03 = 12753 \text{ N} \quad (371)$$

$$T_4 = T_3 - F_2 = 12753 - 12753 = 0 \text{ N} \quad (372)$$



Obr. 98 Průběh momentů (Nm)

$$M_1 = M_5 = 0 \text{ Nm} \quad (373)$$

$$M_2^L = (R_a - F_1) \cdot l_1 = (24247,86 - 7112,25) \cdot 0,284 = 4866,5 \text{ Nm} \quad (374)$$

$$M_4^P = F_2 \cdot l_3 = 12753 \cdot 0,5 = 6376,5 \text{ Nm} \quad (375)$$

Tabulka hodnot pro polohy a stavy zvedáku

	Horní poloha		Dolní poloha	
	A	B	A	B
Ra [N]	24247,86	22308,02	17304,28	18435,6
Rb [N]	-29409,64	-16399,73	-15948,55	-8892,63
Rc [N]	25027,03	13956,96	18509,53	10322,27
T1 [N]	17135,61	9555,02	10192,03	5682,6
T2 [N]	-12274,03	-6844,71	-5756,52	-3210,03
T3 [N]	12753	7112,25	12753	7112,25
M2 [Nm]	4866,5	2713,63	2894,54	1613,86
M4 [Nm]	6376,5	3556,125	3621,85	2019,88

Tab. 2 Hodnoty pro určité stavy zvedáku

Z tabulky je patrné, že největší zatížení plošiny je za stavu A v horní poloze zvedáku. Je to způsobeno vlivem velkého ohybového momentu v horní poloze na pravé straně. Tato plošina se liší od plošiny pro hydraulický zdvih hlavně tím, že výztuhy mohou být přes celou délku plošiny, což u hydraulického zdvihu nebylo možné z důvodu umístění přímočarých hydromotorů pod plošinou.

Při výpočtu plošiny pro mechanický zdvih počítáme s dvojnásobným zatížením oproti plošině pro hydraulický zdvih, kde je zatížení počítáno vzhledem k jednomu nůžkovému mechanismu, jelikož hledáme výslednou reakci Ra pro kterou budeme navrhovat tlačný řetěz.

Pevnostní kontrola v bodě 4

Kontrola na smyk

$$t_{PM} = \frac{F}{S} = \frac{F_2}{S_{PM}} = \frac{12753}{11250} = 1,34 \text{ MPa} \quad (376)$$

$$t_{PM} < t_{DO} \quad \text{viz (139)} \\ 1,34 < 240 \text{ MPa}$$

Plocha průřezu

$$S_{PM} = b_d \cdot h_d + 5 \cdot b_v \cdot h_v \quad (377) \\ S_{PM} = 0,6 \cdot 0,005 + 5 \cdot 0,03 \cdot 0,055 \\ S_{PM} = 0,01125 \text{ m}^2 = 11250 \text{ mm}^2$$

Kontrola na maximální ohyb

$$s_{OPM} = \frac{M_{o \max}}{W_o} = \frac{M_{o \max}}{\frac{I_{PM}}{Z}} = \frac{6376,5 \cdot 1000}{\frac{4,07 \cdot 10^6}{30}} = 47 \text{ MPa} \quad (378)$$

$$s_{OPM} < s_{DOV} \quad \text{viz (138)} \\ 47 < 300 \text{ MPa}$$

Redukované napětí

$$s_{red} = \sqrt{s^2 + 3 \cdot t^2}$$

$$s_{red} = \sqrt{s \cdot o^2 + 3 \cdot t^2}$$

$$s_{red} = \sqrt{47^2 + 3 \cdot 1,34^2}$$

$$s_{red} = 47 \text{ MPa}$$

$$s_{red} < s_{DOV} \quad \text{viz (138)}$$

$$47 < 300 \text{ MPa}$$

(379)

10.3 Výpočet potřebného výkonu dle firmy Separid [30]

Celkové zatížení jedné zvedací plošiny

$$m_{1ZP} = 2000 \text{ kg}$$

Zátěžná síla

$$F_G = m_{1ZP} \cdot g$$

$$F_G = 2000 \cdot 9,81$$

$$F_G = 19620 \text{ N}$$

(380)

Třecí síla

$$F_t = F_G \cdot f$$

$$F_t = 19620 \cdot 0,1$$

$$F_t = 1962 \text{ N}$$

(381)

$f = 0,1$ volím součinitel tření ocel – ocel

Externí síly

Můžou nastat prostřednictvím rázového zatížení, například při mechanickém zastavení.

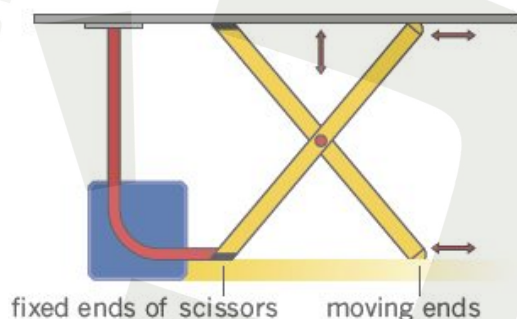
$$F_e = F_G \cdot f_e$$

$$F_e = 19620 \cdot 0,2$$

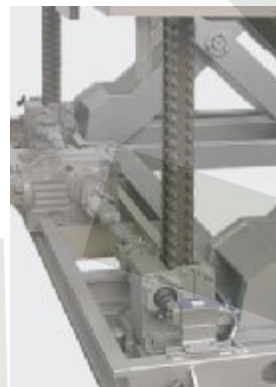
$$F_e = 3924 \text{ N}$$

$$f_e = 0,2 \text{ koeficient rázu}$$

(382)



Obr. 99 Nůžkový zvedák poháněný tlačným řetězem [30]



Obr. 100 Model tlačného řetězu [30]

Celková síla

$$F_C = F_G + F_t + F_e$$

$$F_C = 19620 + 1962 + 3924$$

$$F_C = 25506 \text{ N}$$

(383)

Výpočet momentu

$$M_p = \frac{F_C \cdot 10^{-3} \cdot p}{0,8}$$

$$M_p = \frac{25506 \cdot 10^{-3} \cdot 50}{0,8}$$

$$M_p = 1594,13 \text{ Nm}$$

(384)

$p = 50$ vzdálenost čepů tlačného řetězu

0,8 – konstanta účinnosti

Otáčky

$$n_p = \frac{v}{6 \cdot 10^{-3} \cdot p}$$

$$n_p = \frac{0,08 \cdot 60}{6 \cdot 10^{-3} \cdot 50}$$

$$n_p = 16 \text{ ot} / \text{min}$$

$v = 0,08 \text{ m/s}$ volím dle str.12

(385)

Výkon

$$P_p = \frac{M \cdot n}{9550}$$

$$P_p = \frac{1594,13 \cdot 16}{9550}$$

$$P_p = 2,7 \text{ kW}$$

(386)

Volba elektropřevodovky

Volím čelní elektropřevodovku Nord-drive system [24]

typ: sk SK5282-100LA/4

Výkon převodovky $P_E = 3 \text{ kW}$

otáčky $n_E = 17 \text{ ot} / \text{min}$

Moment $M_E = 1685 \text{ Nm}$

Výstup dutá hřídel $d_E = f 60 \text{ mm}$



Obr.101 Elektropřevodovka Nord-drive system [24]

11 Závěr

Dle zadaných parametrů jsem navrhl plošinový zvedák s hydraulickým i mechanickým pohonem.

Na začátku práce jsem se věnoval jednotlivým alternativám řešení plošinových zvedáků a jejich stručným charakteristikám. Poté jsem přistoupil k návrhu plošinového zvedáku s hydraulickým pohonem pro který jsem zvolil nůžkový mechanismus. Ten jsem navrhl a pevnostně zkontroloval, u některých prvků jsem provedl analýzu pomocí MKP.

V rámci pevnostní kontroly jsem se věnoval jednotlivým členům nůžkového mechanismu včetně čepů. Vycházel jsem z normy ČSN 1493+A1 Zvedáky vozidel, která předepisuje bezpečnost pro jednotlivé členy mechanismu 1,5. Kontrolou jsem dospěl k hodnotám jež plně vyhovují normě.

Pokračoval jsem návrhem hydraulického obvodu včetně jeho členů, a jeho výpočtem. U hydraulického obvodu jsou vypsány jednotlivé členy ze kterých by měl jít obvod sestavit, ale bezpochyby by bylo výhodnější nechat sestavit hydraulický agregát například firmou Q-Hydraulika, jež se na toto specializuje.

Pro případ závady na mechanismu jsem použil zádržné zařízení na principu zaseknutí zubů zachycovačů do ozubených hřebenů, které jsou umístěny na okraji hydraulických válců. Dále jsem vyhotovil sestavný výkres, který je přiložen.

V poslední části jsem provedl návrh mechanického zdvihu nůžkového zvedáku pomocí tlačných řetězů francouzské firmy Serapid. Toto provedení jsem se zástupci firmy konzultoval a byl mi doporučen konkrétní typ LinkLift50, jež plně dostačuje zadané nosnosti zvedáku a díky své konstrukci včetně umístění po stranách, nijak neomezuje využitelnost zvedáku. Opět jsem přiložil sestavný výkres.

Některé části by zasloužily více prostoru, ale vzhledem k rozsahu a charakteru práce nebylo možné je dále řešit.

Při vytváření této práce jsem čerpal z níže uvedených zdrojů a znalostí získaných zejména z předmětů Pružnost a pevnost, Konstruování strojů – strojní součásti, Hydraulické pohony strojů a dalších.

12 Seznam použitých zdrojů

Literatura:

- [1] Florian, Z., Ondráček, E., Příkryl, K.: Statika, Brno, 182 s.
- [2] Gajdůšek, J., Škopán, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripty VUT Brno 1988
- [3] Gere J.M. and Timoshenko: Mechanics of materials. Chapman and Hall. Third SI Edition, 1989, ISBN 55-503-79.
- [4] Jančík, L.: Části a mechanismy strojů, ČVUT Praha, 2004
- [5] Janíček P., Ondráček E., Vrbka J.: Pružnost a pevnost, VUT Brno, 1992
- [6] Kadlčák, J., Kytýr, J.: Statika stavebních konstrukcí II. VUTIUM Brno, 2004, 431 s., ISBN 80-214-2631-4
- [7] Klimeš P.: Části a mechanismy strojů I, II, VUT Brno, 2003
- [8] Leinveber, J., Řasa, J., Vávra, J.: Strojnické tabulky, Scientia Praha, 2000, 985 s. ISBN 80-7183-164-6
- [9] Pekař, V.: Vozidlové zvedáky, 2008, 52 s.
- [10] Škopán, M.: Aplikovaná mechanika stavebních a transportních strojů (syllabus), VUT Brno, 2003, 117 s.
- [11] Škopán, M.: Hydraulické pohony strojů (syllabus), VUT Brno, 2004, 166 s.
- [12] Vostrovský, J.: Hydraulické a pneumatické mechanismy. ČVUT Praha, 1988

Normy:

- [13] Norma ČSN 27 0808 Zdvahací zařízení
- [14] Norma ČSN EN 1493+A1 Zvedáky vozidel
- [15] Norma ČSN EN 1494+A1 Mobilní a přemístitelné zvedáky a související zdvihací zařízení

Ostatní zdroje:

- [16] Agro-Hytos [online]
Dostupné z: <http://www.argo-hytos.com/>
- [17] Festo [online] 2010
Dostupné z: http://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm
- [18] Hansa-flex [online] 2010
Dostupné z: <http://cat.hansa-flex.com/cs/product/903330>
- [19] HESHBON [online]. 2003
Dostupné z: http://www.heshbon.com/new_enghome/products/pro_10/pro_12/08_26a/pro_12_44.asp#main1
- [20] Jihostroj a.s. [online] 2007
Dostupné z: <http://www.jihostroj.com/cz/>
- [21] JP Šumperk, a.s. [online] 2009
Dostupné z: <http://www.elektromotory.com/>

[22] Krob s.r.o [online] 2007

Dostupné z: <http://www.firmakrob.cz/>

[23] mitcalc [online] 2010

Dostupné z: http://www.mitcalc.com/doc/help/CZ/C_safety.htm

[24] Nord-drive system [online] 2010

Dostupné z: http://www2.nord.com/cms/cz/product_catalogue/geared_motors/geared-motors.jsp

[25] Oleje [online] 2010

Dostupné z : <http://www.oleje.cz>

[26] Parker [online] 2009

Dostupné z: http://www.seall.cz/produkty/hydraulika/images/HY11-3302_UK.pdf

[27] PQS Rakovník s.r.o. [online] 2008

Dostupné z: <http://www.pqs-rakovnik.cz/index.php?dok=0023&idp=127&id=2&podsekce=4>

[28] Quality tools [online]. 2009

Dostupné z: http://www.quality-tools.cz/Default.htm?produkty/zvedaky_ceskesloupove-hydraul.htm

[29] RHS Hohlprofile [katalog] 2007

[30] Separid [online] 2010

Dostupné z: <http://www.separid.org>

[31] Servo-drive [online] 2010

Dostupné z: http://www.servo-drive.com/high_power_servo_actuator.php

[32] SPŠ Kratochvíl, J., Prokop, J.: Pružnost pevnost [online] 2009

Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/data/MEC_PRU_kratichvil.html

[33] Stromag Brno [online] 2005

Dostupné z: <http://www.stromag.cz/cs/c/frekvencni-menice-2/hlavni-stranka.htm>

[34] Úlohy ze statiky [online] 2010

Dostupné z : http://www.umt.fme.vutbr.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=24&Itemid=37

13 Seznam použitých symbolů

Označení	Jednotka	Název
a_{hc3}	[mm]	Délka čepu v pouzdře
a_{hpc}	[mm]	Délka horního čepu k hydromotoru v držáku
a_{sc}	[mm]	Délka středového čepu v jednom pouzdře
a_{sc2}	[mm]	Vzdálenost středu čepu od reakční síly
a_{sc3}	[mm]	Délka čepu v pouzdře
a_{spc}	[mm]	polovina délka horního čepu k hydromotoru
b_d	[m]	Šířka horní desky
b_{hpc}	[mm]	Délka horního čepu k hydromotoru v pouzdře
b_{hc3}	[mm]	Šířka uložení čepu
d_{PH}	[mm]	Průměr pístní tyče
b_{sc2}	[mm]	Vzdálenost středu čepu od reakční síly
b_{sc3}	[mm]	Šířka členu 3 na čepu
b_{spc}	[mm]	polovina délky horního čepu k hydromotoru
b_v	[m]	Šířka výstuhu
b_{2C-E}	[mm]	Šířka profilu mezi body C-E na členu 2
b_{3A-B}	[mm]	Šířka profilu mezi body A-B na členu 3
b_{3B-C}	[mm]	Šířka profilu mezi body B-C na členu 3
b_{3C-D}	[mm]	Šířka profilu mezi body C-D na členu 3
b_{3C-E}	[mm]	Šířka profilu mezi body C-E na členu 3
b_{3D-E}	[mm]	Šířka profilu mezi body D-E na členu 3
c_{hc3}	[mm]	Šířka členu 3 na čepu
c_{sc2}	[mm]	Délka pouzdra členu 2
c_{spc}	[mm]	Délka pouzdra
D_{HV}	[m]	Průměr hydraulického válce
D_{PV}	[m]	Průměr pneumatického válce
d_{hc3}	[mm]	Průměr horního čepu členu 3
d_{hpc}	[mm]	Průměr horního čepu k hydromotoru
d_p	[m]	Průměr potrubí
d_{pp}	[m]	Průměr pneumatického potrubí
d_{sc}	[mm]	Průměr středového čepu
d_{sc2}	[mm]	Průměr spodního čepu členu 2
d_{sc3}	[mm]	Průměr spodního čepu členu 3
d_{spc}	[mm]	Průměr spodního čepu k hydromotoru
E	[MPa]	Modul pružnosti

e_{sc2}	[mm]	Délka čepu v držáku na pravé straně
e_{spc}	[mm]	Délka čepu v držáku
f_{sc2}	[mm]	Délka čepu v držáku na levé straně
F_{AX}	[N]	Síla v podpoře A ve směru osy x
F_{AXX}	[N]	Rozklad síly F_{AX} do lokálního souřadnicového systému
F_{AXY}	[N]	Rozklad síly F_{AX} do lokálního souřadnicového systému
F_{AY}	[N]	Síla v podpoře A ve směru osy y
F_{AYX}	[N]	Rozklad síly F_{AY} do lokálního souřadnicového systému
F_{Ayy}	[N]	Rozklad síly F_{AY} do lokálního souřadnicového systému
F_{BX}	[N]	Síla v podpoře B ve směru osy x
F_{BXX}	[N]	Rozklad síly F_{BX} do lokálního souřadnicového systému
F_{BXY}	[N]	Rozklad síly F_{BX} do lokálního souřadnicového systému
F_{BY}	[N]	Síla v podpoře B ve směru osy y
F_{BYX}	[N]	Rozklad síly F_{BY} do lokálního souřadnicového systému
F_{BYY}	[N]	Rozklad síly F_{BY} do lokálního souřadnicového systému
F_{CX}	[N]	Síla v podpoře C ve směru osy x
F_{CXX}	[N]	Rozklad síly F_{CX} do lokálního souřadnicového systému
F_{CXY}	[N]	Rozklad síly F_{CX} do lokálního souřadnicového systému
F_{CY}	[N]	Síla v podpoře C ve směru osy y
F_{CYX}	[N]	Rozklad síly F_{CY} do lokálního souřadnicového systému
F_{CYY}	[N]	Rozklad síly F_{CY} do lokálního souřadnicového systému
F_{DX}	[N]	Síla v podpoře D ve směru osy x
F_{DXX}	[N]	Rozklad síly F_{DX} do lokálního souřadnicového systému
F_{DXY}	[N]	Rozklad síly F_{DX} do lokálního souřadnicového systému
F_{DY}	[N]	Síla v podpoře D ve směru osy y
F_{DYX}	[N]	Rozklad síly F_{DY} do lokálního souřadnicového systému
F_{DYY}	[N]	Rozklad síly F_{DY} do lokálního souřadnicového systému
F_{EX}	[N]	Síla v podpoře E ve směru osy x
F_{EXX}	[N]	Rozklad síly F_{EX} do lokálního souřadnicového systému
F_{EXY}	[N]	Rozklad síly F_{EX} do lokálního souřadnicového systému
F_{EY}	[N]	Síla v podpoře E ve směru osy y
F_{EYX}	[N]	Rozklad síly F_{EY} do lokálního souřadnicového systému
F_{EYY}	[N]	Rozklad síly F_{EY} do lokálního souřadnicového systému
F_e	[N]	Externí zatížení
F_{FX}	[N]	Síla v podpoře F ve směru osy x
F_{FXX}	[N]	Rozklad síly F_{FX} do lokálního souřadnicového systému
F_{FXY}	[N]	Rozklad síly F_{FX} do lokálního souřadnicového systému

F_{FY}	[N]	Síla v podpoře F ve směru osy y
$F_{F_{YX}}$	[N]	Rozklad síly F_{FY} do lokálního souřadnicového systému
$F_{F_{YY}}$	[N]	Rozklad síly F_{FY} do lokálního souřadnicového systému
F_G	[N]	Zátěžná síla
F_{Ht}	[N]	Síla v podpoře H ve směru osy x
F_{Hn}	[N]	Síla v podpoře H ve směru osy y
F_{IX}	[N]	Síla v podpoře I ve směru osy x
$F_{I_{XX}}$	[N]	Rozklad síly F_{IX} do lokálního souřadnicového systému
$F_{I_{XY}}$	[N]	Rozklad síly F_{IX} do lokálního souřadnicového systému
F_{IY}	[N]	Síla v podpoře I ve směru osy y
$F_{I_{YX}}$	[N]	Rozklad síly F_{IY} do lokálního souřadnicového systému
$F_{I_{YY}}$	[N]	Rozklad síly F_{IY} do lokálního souřadnicového systému
F_{Jn}	[N]	Síla v podpoře J ve směru osy y
F_{Jt}	[N]	Síla v podpoře J ve směru osy x
F_P	[N]	Síla na jeden hydraulický válec
F_{PV}	[N]	Síla na pneumatický válec
F_t	[N]	Třecí síla
$F1$	[N]	Síla na levé straně zvedáku
F_{1A}	[N]	Síla na jede nůžkový mech. na levé straně zvedáku za stavu A
F_{1B}	[N]	Síla na jede nůžkový mech. na levé straně zvedáku za stavu B
F_{1CA}	[N]	Celková síla na levé straně zvedáku za stavu A
F_{1CB}	[N]	Celková síla na levé straně zvedáku za stavu B
F_{1HM}	[N]	Síla na jeden hydromotor
F_{1Z}	[N]	Síla na jeden zachycovač
F_{1ZZ}	[N]	Síla na jeden zub zachycovače
$F2$	[N]	Síla na pravé straně zvedáku
F_{2A}	[N]	Síla na jede nůžkový mech. na pravé straně zvedáku za stavu A
F_{2B}	[N]	Síla na jede nůžkový mech. na pravé straně zvedáku za stavu B
F_{2CA}	[N]	Celková síla na pravé straně zvedáku za stavu A
F_{2CB}	[N]	Celková síla na pravé straně zvedáku za stavu B
G_{1A}	[kg]	Zatížení na levé straně zvedáku za stavu A
G_{1B}	[kg]	Zatížení na levé straně zvedáku za stavu B
G_{2A}	[kg]	Zatížení na pravé straně zvedáku za stavu A
G_{2B}	[kg]	Zatížení na pravé straně zvedáku za stavu B
g	[$m \cdot s^{-2}$]	Tíhové zrychlení
H	[kgm^{-4}]	Celkový odpor proti zrychlení
H_z	[kgm^{-4}]	Odpor proti zrychlení v hydraulických válcích

H_1	$[\text{kgm}^{-4}]$	Odpor proti zrychlení v přívodním potrubí
H_2	$[\text{kgm}^{-4}]$	Odpor proti zrychlení v potrubí k hydromotorům
H_3	$[\text{kgm}^{-4}]$	Odpor proti zrychlení v potrubí k hydromotorům
H_4	$[\text{kgm}^{-4}]$	Odpor proti zrychlení v potrubí k hydromotorům
H_5	$[\text{kgm}^{-4}]$	Odpor proti zrychlení v přívodním potrubí k druhé plošině zvedáku
H_6	$[\text{kgm}^{-4}]$	Odpor proti zrychlení v potrubí k hydromotorům
H_7	$[\text{kgm}^{-4}]$	Odpor proti zrychlení v potrubí k hydromotorům
H_8	$[\text{kgm}^{-4}]$	Odpor proti zrychlení v potrubí k hydromotorům
H_C^Z	$[\text{kgm}^{-4}]$	Celkový odpor proti zrychlení v potrubí pro zdvih zvedáku
H_C^S	$[\text{kgm}^{-4}]$	Celkový odpor proti zrychlení v potrubí pro zpouštění zvedáku
h_d	$[\text{m}]$	Výška horní desky
h_v	$[\text{m}]$	Výška výstupy
h_{2C-E}	$[\text{mm}]$	Výška profilu mezi body C-E na členu 2
h_{3A-B}	$[\text{mm}]$	Výška profilu mezi body A-B na členu 3
h_{3B-C}	$[\text{mm}]$	Výška profilu mezi body B-C na členu 3
h_{3C-D}	$[\text{mm}]$	Výška profilu mezi body C-D na členu 3
h_{3C-E}	$[\text{mm}]$	Výška profilu mezi body C-E na členu 3
h_{3D-E}	$[\text{mm}]$	Výška profilu mezi body D-E na členu 3
I_{PM}	$[\text{m}^4]$	Kvadratický moment průřezu plošiny pro mechanický zdvih
i	$[-]$	Stupeň volnosti
iv	$[-]$	Počet stupňů volnosti v rovině
J_X^{PH}	$[\text{mm}^4]$	Kvadratický moment průřezu přímočarého hydromotoru
J_Y^{2CC}	$[\text{mm}^4]$	Celkový kvadratický moment průřezu na členu 2 v bodě C
J_Y^{2CP}	$[\text{mm}^4]$	Kvadratický moment průřezu na členu 2 v bodě C
J_Y^{2CO}	$[\text{mm}^4]$	Kvadratický moment průřezu otvoru na členu 2 v bodě C
$J_Y^{2.C-E}$	$[\text{mm}^4]$	Kvadratický moment průřezu v rovině Y mezi body C-E na členu 2
$J_Z^{2.C-E}$	$[\text{mm}^4]$	Kvadratický moment průřezu v rovině Z mezi body C-E
$J_Y^{3.A-B}$	$[\text{mm}^4]$	Kvadratický moment průřezu v rovině Y mezi body A-B na členu 3
$J_Z^{3.A-B}$	$[\text{mm}^4]$	Kvadratický moment průřezu v rovině Z mezi body A-B na členu 3
$J_Y^{3.B-C}$	$[\text{mm}^4]$	Kvadratický moment průřezu v rovině Y mezi body B-C na členu 3
$J_Z^{3.B-C}$	$[\text{mm}^4]$	Kvadratický moment průřezu v rovině Z mezi body B-C na členu 3
$J_Z^{3.C-D}$	$[\text{mm}^4]$	Kvadratický moment průřezu v rovině Z mezi body C-D na členu 3
$J_Y^{3.C-E}$	$[\text{mm}^4]$	Kvadratický moment průřezu v rovině Y mezi body C-E na členu 3

$J_Z^{3,D-E}$	[mm ⁴]	Kvadratický moment průřezu v rovině Z mezi body D-E na členu 3
J_Y^{3CB}	[mm ⁴]	Celkový kvadratický moment průřezu na členu 3 v bodě B
J_Y^{3CC}	[mm ⁴]	Celkový kvadratický moment průřezu na členu 3 v bodě C
J_Y^{3CP}	[mm ⁴]	Kvadratický moment průřezu na členu 3 v bodě C
J_Y^{3CO}	[mm ⁴]	Kvadratický moment průřezu otvoru na členu 3 v bodě C
k_k	[-]	Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti
k_s	[-]	Bezpečnost ve svaru
l_{hpc}	[mm]	Délka horního čepu k hydromotoru
l_{PHS}	[m]	Délka přívodního potrubí k hydromotorům pro zpoštění zvedáku
l_{PH1}	[m]	Délka přívodního potrubí k hydromotorům pro zdvih zvedáku
l_{PS}	[m]	Délka přívodního potrubí pro zpouštění zvedáku
l_{P1}	[m]	Délka přívodního potrubí pro zdvih zvedáku
l_{P2}	[m]	Délka přívodního potrubí k druhé plošině pro zdvih zvedáku
l_{spc}	[mm]	Délka spodního čepu k hydromotoru
l_{sc2}	[mm]	Délka spodního čepu členu 2
l_{Sc3}	[mm]	Délka spodního čepu členu 3
l_{hc3}	[mm]	Délka na horním čepu členu 3
l_{Sc3}	[mm]	Délka na spodním čepu členu 3
l_1	[m]	Délka na plošině pro mechanický zdvih
l_{hc3}	[mm]	Délka horního čepu členu 3
l_{Sc3}	[mm]	Délka spodním čepu členu 3
l_2	[m]	Délka na plošině pro mechanický zdvih
l_{21}	[m]	Délka na členu 2
l_{22}	[m]	Délka členu 2
l_3	[m]	Délka na plošině pro mechanický zdvih
l_{31}	[m]	Délka na členu 3
l_{32}	[m]	Délka na členu 3
l_{33}	[m]	Délka členu 3
l_{34}	[m]	Délka na členu 3
l_{41}	[m]	Délka na členu 4
l_{42}	[m]	Délka na členu 4
l_{43}	[m]	Délka na členu 4
l_{44}	[m]	Délka na členu 4
l_5	[m]	Délka členu 5
Ma_{hpc}	[N · mm]	Ohybový moment v podpoře a
Ma_{spc}	[N · mm]	Ohybový moment v podpoře a

$M_{s_{hpc}}$	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment ve středu čepu
M_p	$[N \cdot mm]$	Potřebný moment převodovky
M_{hc3}^1	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 1 na horním čepu členu 3
M_{hc3}^2	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 2 na horním čepu členu 3
M_{hc3}^3	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 3 na horním čepu členu 3
Mo_{Sc3}^1	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 1 na spodním čepu členu 3
Mo_{Sc3}^2	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 2 na spodním čepu členu 3
Mo_{Sc3}^3	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 3 na spodním čepu členu 3
Mo_{Sc3}^4	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 4 na spodním čepu členu 3
Mo_{Sc3}^5	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 5 na spodním čepu členu 3
$M_{2_{spc}}$	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 2 na čepu
$M_{3_{spc}}$	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 3 na čepu
$M_{1_{SC2}}$	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 1 na spodním čepu členu 2
$M_{2_{SC2}}$	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 2 na spodním čepu členu 2
$M_{3_{SC2}}$	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 3 na spodním čepu členu 2
$M_{4_{SC2}}$	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 4 na spodním čepu členu 2
$M_{5_{SC2}}$	$[N \cdot mm]$	Ohybový moment v bodě 5 na spodním čepu členu 2
M_{21}	$[N \cdot m]$	Ohybový moment na členu 2 v bodě 1
M_{22}	$[N \cdot m]$	Ohybový moment na členu 2 v bodě 2
M_{23}	$[N \cdot m]$	Ohybový moment na členu 2 v bodě 3
M_{31}	$[N \cdot m]$	Ohybový moment na členu 3 v bodě 1
M_{32}	$[N \cdot m]$	Ohybový moment na členu 3 v bodě 2
M_{33}	$[N \cdot m]$	Ohybový moment na členu 3 v bodě 3
M_{34}	$[N \cdot m]$	Ohybový moment na členu 3 v bodě 4
M_{42}	$[N \cdot m]$	Ohybový moment na členu 4 v bodě 2
M_{43}	$[N \cdot m]$	Ohybový moment na členu 4 v bodě 3
M_{44}	$[N \cdot m]$	Ohybový moment na členu 4 v bodě 4
M_{45}	$[N \cdot m]$	Ohybový moment na členu 4 v bodě 5
m_z	$[kg]$	hmotnost zádržného zařízení
m_{1ZP}	$[kg]$	Celková zvedaná hmotnost jedné plošiny
N_{21}	$[N]$	Normálová síla na členu 2 v bodě 1
N_{22}	$[N]$	Normálová síla na členu 2 v bodě 2
N_{23}	$[N]$	Normálová síla na členu 2 v bodě 3
N_{31}	$[N]$	Normálová síla na členu 3 v bodě 1
N_{32}	$[N]$	Normálová síla na členu 3 v bodě 2
N_{33}	$[N]$	Normálová síla na členu 3 v bodě 3
N_{34}	$[N]$	Normálová síla na členu 3 v bodě 4

N_{43}	[N]	Normálová síla na členu 4 v bodě 3
N_{44}	[N]	Normálová síla na členu 4 v bodě 4
N_{51}	[N]	Normálová síla na členu 5 v bodě 1
N_{52}	[N]	Normálová síla na členu 5 v bodě 2
n	[-]	Počet členů soustavy
$n_{G\max}$	[min^{-1}]	Maximální otáčky generátoru
n_p	[min^{-1}]	Potřebné otáčky převodovky
P	[MPa]	Tlak na jeden hydraulický válec
P_c	[MPa]	Tlak na čep
P_{dov}	[MPa]	Dovolený tlak
P_{EG}	[kW]	Potřebný výkon elektromotoru
$P_{G\max}$	[MPa]	Maximální tlak generátoru
P_G	[MPa]	Pracovní tlak generátoru
P_p	[kW]	Potřebný výkon převodovky
P_{PV}	[MPa]	Tlak na jeden pneumatický válec
ΔP_G	[MPa]	Tlak na generátoru
ΔP_{a1}	[MPa]	Odpor proti pohybu nositele energie
ΔP_{MD}	[MPa]	Přeměna kinetické energie dopravovaných hmot
ΔP_{MS}	[MPa]	Přeměna tlakové energie na mechanickou práci
ΔP_{Z1}	[MPa]	Odpor proti zrychlení nositele energie
q_{spc}	[mm]	Liniové zatížení
q_{sc2}	[mm]	Liniové zatížení
Q	[$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Průtok v hydraulickém válci
Q_G	[$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Průtok generátoru
Q_u	[$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Ustálený průtok v obvodu
Q_{PV}	[$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	Průtok v pneumatickém válci
R_e	[MPa]	Mez pevnosti v kluzu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
R_6	[m]	Poloměr horního kolečka
R_7	[m]	Poloměr dolního kolečka
R	[$\text{kgm}^{-4} \cdot \text{s}^{-1}$]	Odpor proti pohybu
Re	[-]	Reynoldsovo číslo
Ra_{hpc}	[N]	Reakční síla v podpoře a
Ra_{hc3}	[N]	Reakční síla v podpoře a
Ra_{spc}	[N]	Reakční síla v podpoře a
Ra_{sc2}	[N]	Reakční síla v podpoře a
Ra_{sc3}	[N]	Reakční síla v podpoře a na spodním čepu členu 3

Rb_{hpc}	[N]	Reakční síla v podpoře b
Rb_{spc}	[N]	Reakční síla v podpoře b
Rb_{sc2}	[N]	Reakční síla v podpoře b
Rb_{hc3}	[N]	Reakční síla v podpoře b
Rb_{sc3}	[N]	Reakční síla v podpoře b na spodním čepu členu 3
R_C^Z	[$kgm^{-4}s^{-1}$]	Odpor proti pohybu v potrubí pro zdvih zvedáku
R_C^S	[$kgm^{-4}s^{-1}$]	Odpor proti pohybu v potrubí pro zpouštění zvedáku
R_1	[$kgm^{-4}s^{-1}$]	Odpor proti pohybu v přívodním potrubí
R_2	[$kgm^{-4}s^{-1}$]	Odpor proti pohybu v potrubí k hydromotorům
R_3	[$kgm^{-4}s^{-1}$]	Odpor proti pohybu v potrubí k hydromotorům
R_4	[$kgm^{-4}s^{-1}$]	Odpor proti pohybu v potrubí k hydromotorům
R_5	[$kgm^{-4}s^{-1}$]	Odpor proti pohybu v přívodním potrubí k druhé plošině zvedáku
R_{678}	[$kgm^{-4}s^{-1}$]	Odpor proti pohybu v potrubí k hydromotorům
S_{HV}	[mm^2]	Plocha hydraulického válce
S_{hpc}	[mm^2]	Plocha horního čepu k hydromotoru
S_{PM}	[m^2]	Plocha průřezu plošiny pro mechanický zdvih
S_{PP}	[mm^2]	Plocha pneumatického potrubí
S_{PV}	[mm^2]	Plocha pneumatického válce
S_{PH}	[mm^2]	Plocha přímočarého hydromotoru
S_{SC}	[mm^2]	Plocha středového čepu
S_{spc}	[mm^2]	Plocha spodního čepu k hydromotoru
S_{sc3}	[mm^2]	Plocha spodního čepu členu 3
S_{sc2}	[mm^2]	Plocha spodního čepu členu 2
S_{hc3}	[mm^2]	Plocha horního čepu členu 3
S_{O2C}	[mm^2]	Plocha průřezu otvoru na členu 2 v bodě C
S_{2C}	[mm^2]	Celková plocha průřezu na členu 2 v bodě C
S_{P2C}	[mm^2]	Plocha průřezu na členu 2 v bodě C
S_{O3B}	[mm^2]	Plocha průřezu otvoru na členu 3 v bodě B
S_{O3C}	[mm^2]	Plocha průřezu otvoru na členu 3 v bodě C
S_{P3B}	[mm^2]	Plocha průřezu na členu 3 v bodě B
S_{P3C}	[mm^2]	Plocha průřezu na členu 3 v bodě C
$S_{2,C-E}$	[mm^2]	Střední plocha průřezu mezi body C-E na členu 2
$S_{3,A-B}$	[mm^2]	Střední plocha průřezu mezi body A-B na členu 3
$S_{3,B-C}$	[mm^2]	Střední plocha průřezu mezi body B-C na členu 3
$S_{3,C-E}$	[mm^2]	Střední plocha průřezu mezi body C-E na členu 3
$S_{3,C-D}$	[mm^2]	Střední plocha průřezu mezi body C-D na členu 3

$S_{3,D-E}$	$[mm^2]$	Střední plocha průřezu mezi body D-E na členu 3
S_{3B}	$[mm^2]$	Celková plocha průřezu na členu 3 v bodě B
S_{3C}	$[mm^2]$	Celková plocha průřezu na členu 3 v bodě C
s	$[-]$	Koeficient bezpečnosti
T	$[s]$	Časová konstanta
T_{21}	$[N]$	Posouvající síla na členu 2 v bodě 1
T_{22}	$[N]$	Posouvající síla na členu 2 v bodě 2
T_{23}	$[N]$	Posouvající síla na členu 2 v bodě 3
T_{31}	$[N]$	Posouvající síla na členu 3 v bodě 1
T_{32}	$[N]$	Posouvající síla na členu 3 v bodě 2
T_{33}	$[N]$	Posouvající síla na členu 3 v bodě 3
T_{34}	$[N]$	Posouvající síla na členu 3 v bodě 4
T_{42}	$[N]$	Posouvající síla na členu 4 v bodě 2
T_{43}	$[N]$	Posouvající síla na členu 4 v bodě 3
T_{44}	$[N]$	Posouvající síla na členu 4 v bodě 4
T_{45}	$[N]$	Posouvající síla na členu 4 v bodě 5
t_b	$[s]$	Čas brzdění hydraulického mechanismu
t_r	$[s]$	Čas rozběhu hydraulického obvodu
t_{HV}	$[s]$	Čas zdvihu
t_{PV}	$[s]$	Čas zdvihu pneumotorů
V_{HV}	$[m^3]$	Objem přímočarých hydromotorů
V_0	$[m^3]$	Geometrický objem
V_{PV}	$[m^3]$	Objem pneumotorů
v_{HV}	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost vysunutí hydraulického válce
v_P	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost kapaliny v potrubí
v_{PP}	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost v pneumatickém obvodu
v_{PV}	$[m \cdot s^{-1}]$	Rychlost vysunutí pneumatického válce
X	$[N \cdot mm]$	Moment v reakci b
X_P	$[N]$	Poloha přechodného průřezu
X_P^L	$[N]$	Poloha přechodného průřezu z levé strany
X_P^P	$[N]$	Poloha přechodného průřezu z pravé strany
Y_T	$[m]$	Výška těžiště celého průřezu
Y_{dT}	$[m]$	Výška těžiště horní desky
Y_{vT}	$[m]$	Výška těžiště výztuhy
a	$[^\circ]$	Úhel sklonu nůžkového mechanismu
$a_{b,a}$	$[rad]$	Koncové pootočení od jednotkových účinků
$a_{b,c}$	$[rad]$	Koncové pootočení od jednotkových účinků

a_o	[-]	Tvarový součinitel
a_s	[-]	Tvarový součinitel
b	[°]	Úhel sklonu hydraulického válce
$b_{a,b}$	[rad]	Koncové pootočení od jednotkových účinků
$b_{c,b}$	[rad]	Koncové pootočení od jednotkových účinků
$j_{b,a}$	[rad]	Koncové pootočení od vnějšího zatížení
$j_{b,c}$	[rad]	Koncové pootočení od vnějšího zatížení
g	[°]	Úhel na členu 3 k uchycení hydraulického válce
h	[-]	Počet předpokládaných deformačních parametrů
h_{CG}	[-]	Celková účinnost generátoru
l	[-]	Ztráta třením v potrubí
l_K	[-]	Mezní štíhlost tyče
l_Y	[-]	Štíhlost tyče v rovině Y
l_Z	[-]	Štíhlost tyče v rovině Z
m	[-]	Neznámé parametry
m_F	[-]	Neznámé silové parametry
m_M	[-]	Neznámé momentové parametry
n	[$mm^2 \cdot s^{-1}$]	Kinematická viskozita
r	[kgm^{-3}]	Hustota oleje
s_{DOV}	[MPa]	Dovolené napětí
s_{komb}	[MPa]	Kombinované napětí ve svaru pro upevnění zubů zachycovače
s_{KR}	[MPa]	Kritické napětí
s_{red}	[MPa]	Redukované napětí
so_{hpc}	[MPa]	Napětí v ohybu na horním čepu hydromotoru
so_{hc3}	[MPa]	Napětí v ohybu na horním čepu členu 3
so_{PM}	[MPa]	Napětí v ohybu v plošině pro mechanický zdvih
so_s	[MPa]	Napětí v ohybu ve svaru pro upevnění zubů zachycovače
so_{spc}	[MPa]	Napětí v ohybu na spodním čepu hydromotoru
so_{sc2}	[MPa]	Napětí v ohybu na spodním čepu členu 2
so_{sc3}	[MPa]	Napětí v ohybu na spodním čepu členu 3
so_Z	[MPa]	Napětí v ohybu na jednom zubu zachycovače
so_2^C	[MPa]	Napětí v ohybu na členu 2 v bodě C
so_3^C	[MPa]	Napětí v ohybu na členu 3 v bodě C
so_3^B	[MPa]	Napětí v ohybu na členu 3 v bodě B
st_2^C	[MPa]	Napětí v tahu na členu 2 v bodě C
st_3^B	[MPa]	Napětí v tahu na členu 3 v bodě B

st_3^C	[MPa]	Napětí v tahu na členu 3 v bodě C
t_{DOV}	[MPa]	Dovolené napětí ve smyku
t_{hpc}	[MPa]	Napětí ve smyku na horním čepu hydromotoru
t_{hc3}	[MPa]	Napětí ve smyku na horním čepu členu 3
t_{PM}	[MPa]	Napětí ve smyku v plošině pro mechanický zdvih
t_{sc}	[MPa]	Napětí ve smyku na středovém čepu
t_{spc}	[MPa]	Napětí ve smyku na spodním čepu hydromotoru
t_{sc2}	[MPa]	Napětí ve smyku na spodním čepu členu 2
t_{sc3}	[MPa]	Napětí ve smyku na spodním čepu členu 3
t_{s1}	[MPa]	Napětí ve smyku ve svaru pro upevnění zubů zachycovače
t_z	[MPa]	Napětí ve smyku na jeden zubu zachycovače
t_2^C	[MPa]	Napětí ve smyku na členu 2 v bodě C
t_3^B	[MPa]	Napětí ve smyku na členu 3 v bodě B
t_3^C	[MPa]	Napětí ve smyku na členu 3 v bodě C
u	[-]	Použitelné podmínky rovnováhy
u_F	[-]	Použitelné silové podmínky rovnováhy
u_M	[-]	Použitelné momentové podmínky rovnováhy
x	[m]	Rameno valivého odporu
x	[-]	Počet odebraných stupňů volnosti od vazby

14 Seznam příloh

Příloha A:

Výsledné vnitřní účinky na členech zvedáku v horní poloze, 15 s.

Příloha B:

Řešení zádržného zařízení pomocí MKP

Příloha C:

Řešení plošiny zvedáku pro hydraulický zdvih pomocí MKP

Příloha D:

3D Model zvedáku s hydraulickým pohonem

Příloha E:

Sestavné výkresy

Plošinový zvedák s hydraulickým pohonem B328569 M1

Plošinový zvedák s mechanickým pohonem B328660 M1

Kusovníky

B328569 000 – 1/6

B328569 000 – 2/6

B328569 000 – 3/6

B328569 000 – 4/6

B328569 000 – 5/6

B328569 000 – 1/6

B328660 000 – 1/4

B328660 000 – 2/4

B328660 000 – 3/4

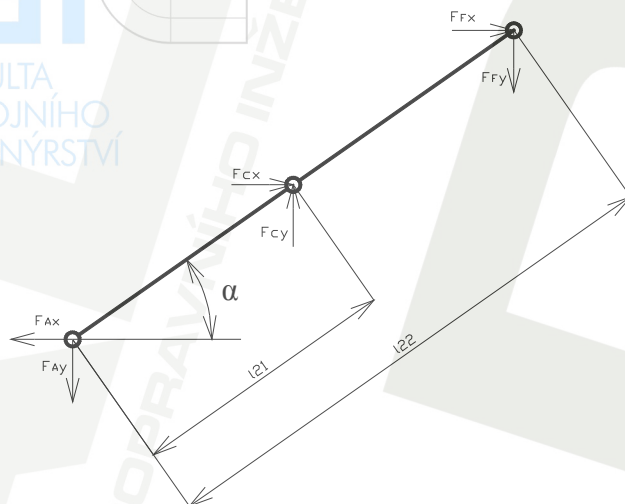
B328660 000 – 4/4

Příloha A

Výsledné vnitřní účinky na členech zvedáku v horní poloze

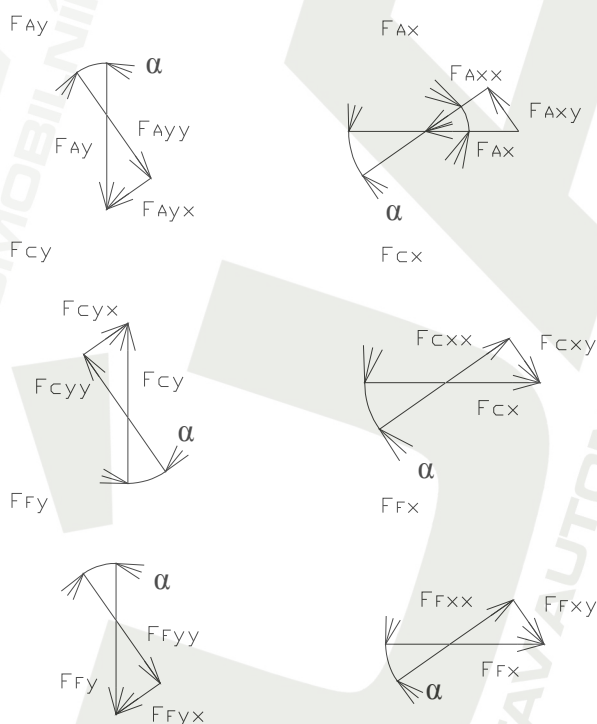
Člen 2 v horní poloze za stavu A

Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.



Obr.1 Orientace sil na členu 2

Rozklad sil do lokálního souřadnicového systému



Obr.2 Rozklad sil na členu 2

Výpočet jednotlivých sil

$$F_{AXX} = F_{AX} \cdot \cos a = 11961,40 \cdot \cos(36) = 9676,98N \quad (1)$$

$$F_{AXY} = F_{AX} \cdot \sin a = 11961,40 \cdot \sin(36) = 7030,73N \quad (2)$$

$$F_{AYY} = F_{AY} \cdot \cos a = 17579,02 \cdot \cos(36) = 14221,73N \quad (3)$$

$$F_{AYX} = F_{AY} \cdot \sin a = 17579,02 \cdot \sin(36) = 10332,69N \quad (4)$$

$$F_{CXX} = F_{CX} \cdot \cos a = 11775,16 \cdot \cos(36) = 9526,30N \quad (5)$$

$$F_{CXY} = F_{CX} \cdot \sin a = 11775,16 \cdot \sin(36) = 6921,27N \quad (6)$$

$$F_{CYY} = F_{CY} \cdot \cos a = 26332,27 \cdot \cos(36) = 21303,25N \quad (7)$$

$$F_{CXY} = F_{CY} \cdot \sin a = 26332,27 \cdot \sin(36) = 15447,72N \quad (8)$$

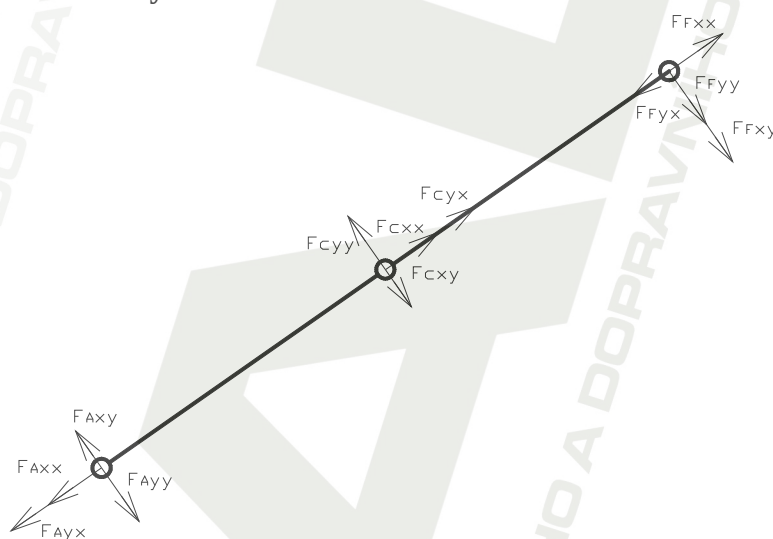
$$F_{FXX} = F_{FX} \cdot \cos a = 186,24 \cdot \cos(36) = 150,67N \quad (9)$$

$$F_{FXY} = F_{FX} \cdot \sin a = 186,24 \cdot \sin(36) = 109,47N \quad (10)$$

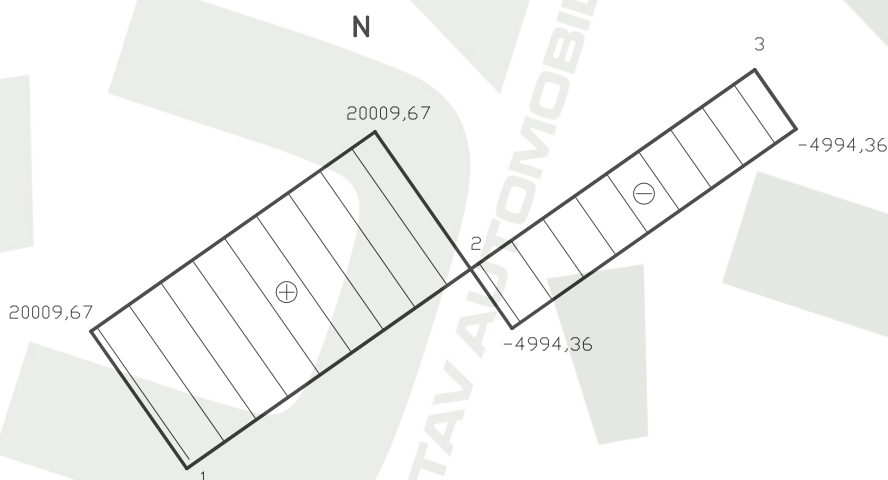
$$F_{FYY} = F_{FY} \cdot \cos a = 8753,25 \cdot \cos(36) = 7081,53N \quad (11)$$

$$F_{FYX} = F_{FY} \cdot \sin a = 8753,25 \cdot \sin(3) = 5145,03N \quad (12)$$

Výsledné vnitřní účinky



Obr.3 Rozklad sil na členu 2

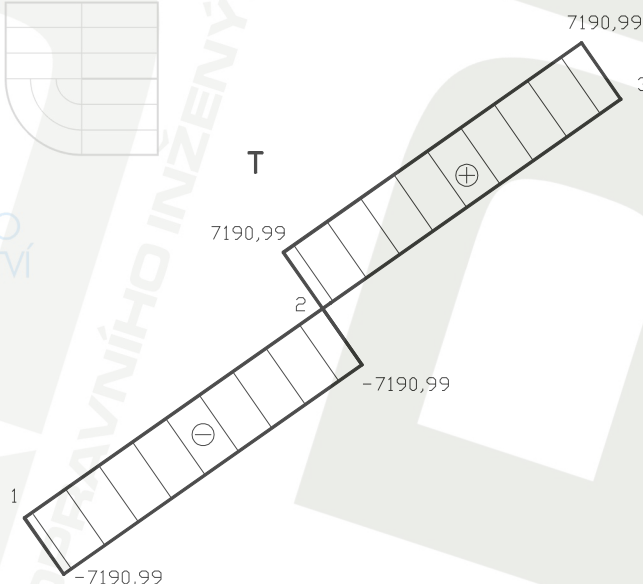


Obr.4 Normálové síly na členu 2 (N)

$$N_{21}^L = F_{AYX} + F_{AXX} = 10332,69 + 9676,98 = 20009,67 \text{ N} \quad (13)$$

$$N_{22}^L = N_{21}^L - F_{CXX} - F_{CYX} = 20009,67 - 9526,30 - 15477,72 = -4994,36 \text{ N} \quad (14)$$

$$N_{23}^P = F_{FXX} - F_{FYY} = 150,67 - 5145,03 = -4994,36 \text{ N} \quad (15)$$



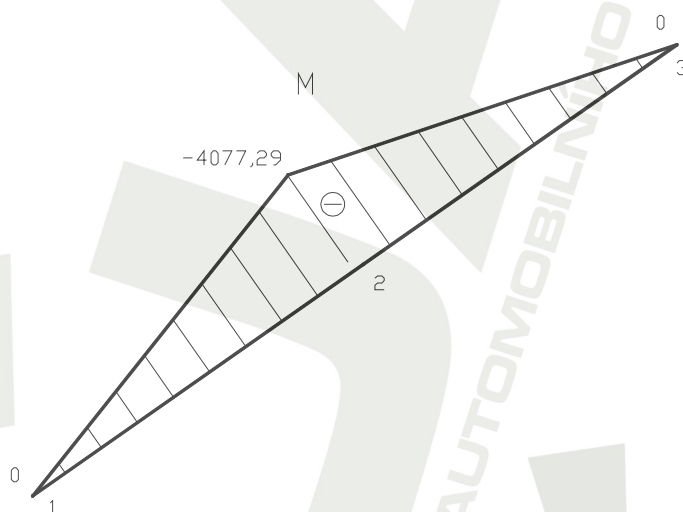
Obr.5 Posouvající síly na členu 2 (N)

$$T_{21}^L = -F_{AYY} + F_{AXY} = -14221,73 + 7030,73 = -7190,99 \text{ N} \quad (16)$$

$$T_{22}^L = T_{21}^L - F_{CXY} + F_{CYX} = -7190,99 - 6921,27 + 21303,25 = 7190,99 \text{ N} \quad (17)$$

$$T_{23}^P = F_{FYY} + F_{FXY} = 7081,53 + 109,47 = 7190,99 \text{ N} \quad (18)$$

$$l_{21} = 0,567 \text{ m} \quad (19)$$



Obr.6 Momenty na členu 2 (Nm)

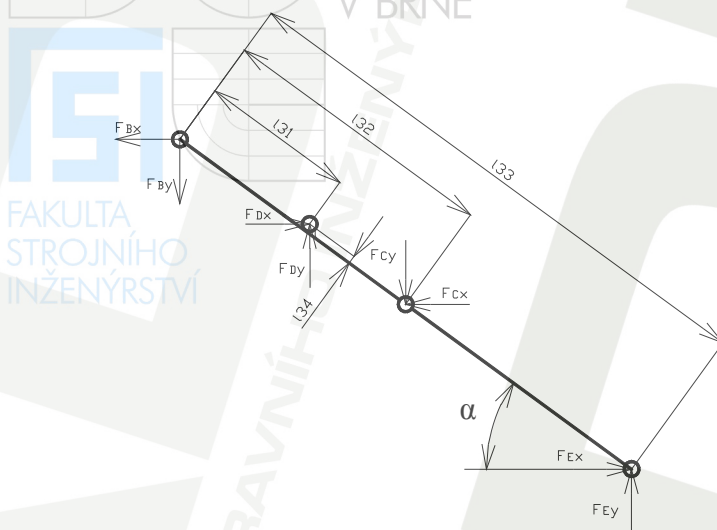
$$M_{21}^L = 0 \text{ Nm} \quad (20)$$

$$M_{22}^L = (F_{AXY} - F_{AYY}) \cdot l_{21} = (7030,73 - 14221,73) \cdot 0,567 = -4077,29 \text{ Nm} \quad (21)$$

$$M_{22}^P = (-F_{FYY} - F_{FXY}) \cdot l_{21} = (-7081,53 - 109,47) \cdot 0,567 = -4077,29 \text{ Nm} \quad (22)$$

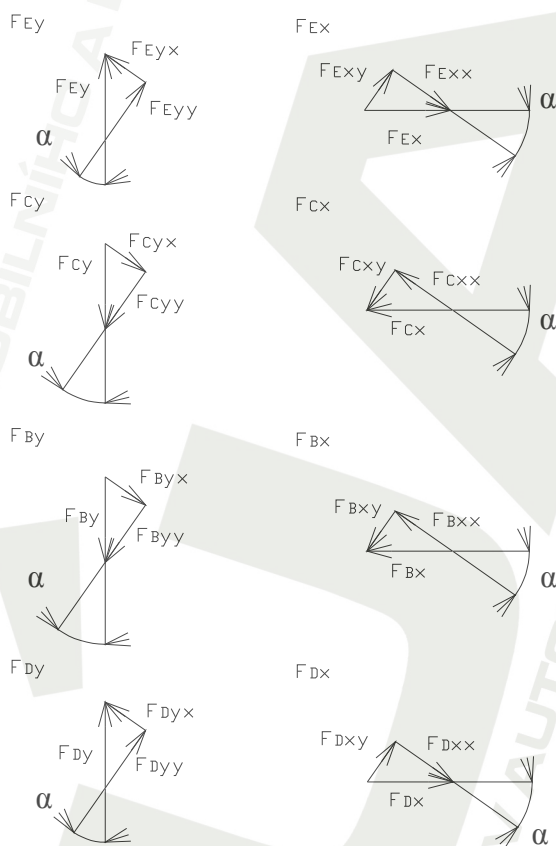
Člen 3 v horní poloze zvedáku za stavu A

Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.

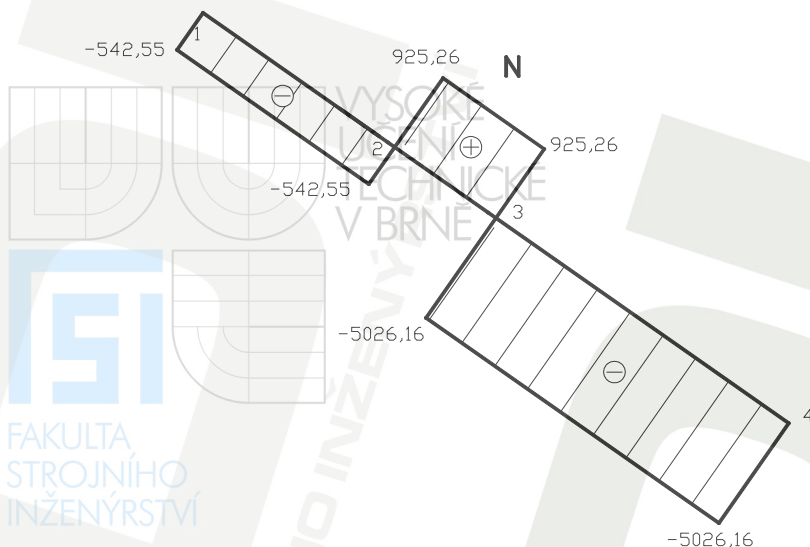


Obr.7 Orientace sil na členu 3

Rozklad sil do lokálního souřadnicového systému



Obr.8 Rozklad sil na členu 3



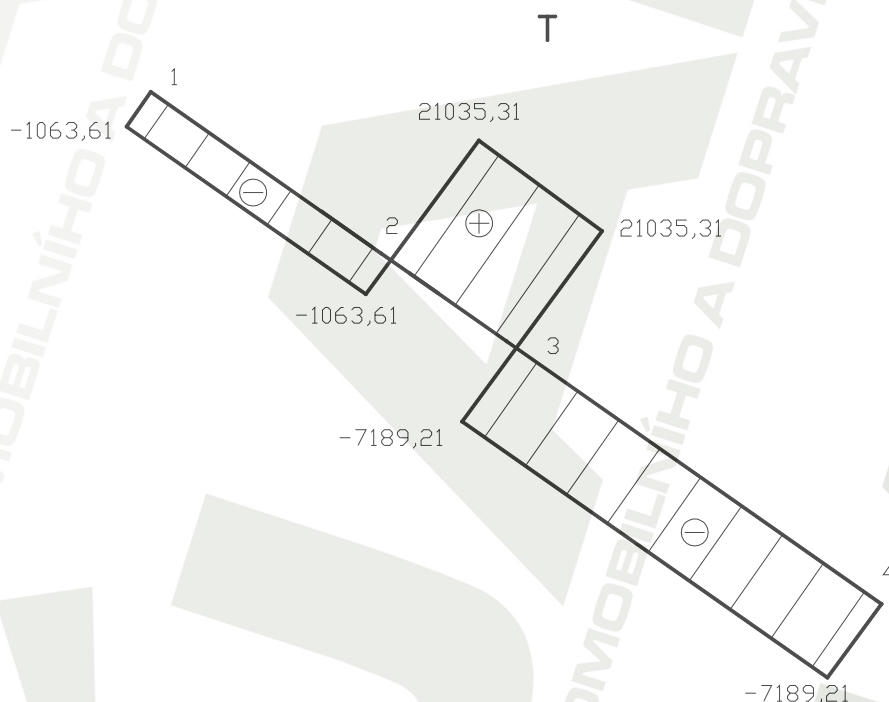
Obr.10 Normálové síly na členu 3 (N)

$$N_{31}^L = F_{BXX} - F_{BYX} = 150,67 - 693,22 = -542,55N \quad (39)$$

$$N_{32}^L = N_{31}^L - F_{DXX} + F_{DXY} = -542,55 - 9547,97 + 11015,78 = 925,26N \quad (40)$$

$$N_{33}^L = N_{32}^L - F_{CXX} + F_{CXY} = 925,26 - 15477,72 + 9526,30 = -5026,16N \quad (41)$$

$$N_{34}^P = F_{EXX} - F_{EYX} = 129,01 - 5155,17 = -5026,16N \quad (42)$$



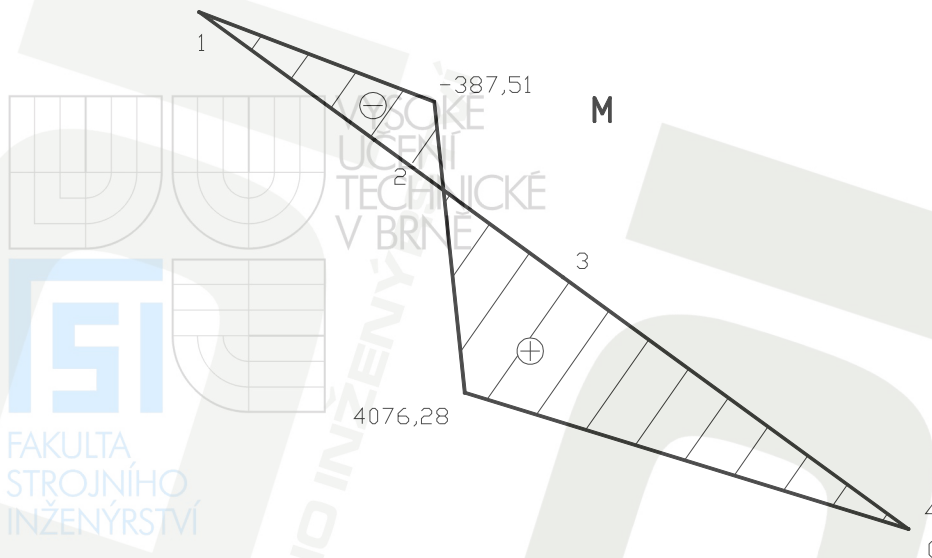
Obr.11 Posouvající síly na členu 3 (N)

$$T_{31}^L = -F_{BXY} - F_{BYX} = -109,47 - 954,14 = -1063,61N \quad (43)$$

$$T_{32}^L = T_{31}^L + F_{DXY} + F_{DYY} = -1063,61 + 6937,00 + 15161,91 = 21035,31N \quad (44)$$

$$T_{33}^L = T_{32}^L - F_{CXY} - F_{CYY} = 21035,31 - 6921,27 - 21303,25 = -7189,21N \quad (45)$$

$$T_{34}^P = -F_{EYX} - F_{EXY} = -7095,48 - 93,73 = -7189,21N \quad (46)$$



Obr.12 Momenty na členu 3 (Nm)

$$M_{31}^L = 0 \text{ Nm} \quad (47)$$

$$M_{32}^L = (-F_{BY} - F_{BX}) \cdot l_{31} + (F_{BX} - F_{BY}) \cdot l_{34} \quad (48)$$

$$M_{32}^L = (-954,14 - 109,47) \cdot 0,3545 + (150,67 - 693,22) \cdot 0,019287$$

$$M_{32}^L = -387,51 \text{ Nm}$$

$$M_{33}^P = (F_{EY} + F_{EX}) \cdot l_{32} = (7095,48 + 93,73) \cdot 0,567 = 4076,28 \text{ Nm} \quad (49)$$

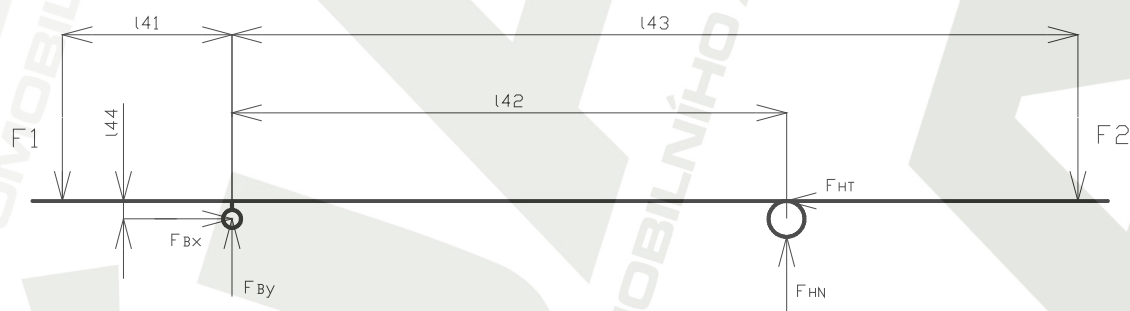
$$l_{31} = 0,3545 \text{ m}$$

$$l_{32} = 0,567 \text{ m}$$

$$l_{34} = 0,019287 \text{ m}$$

Člen 4 v horní poloze zvedáku za stavu A (u jednoho nůžkového mechanismu)

Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.



Obr.13 Orientace sil na členu 4

5. 3. 2 Velikosti jednotlivých sil

$$F_{BX} = 186,24 \text{ N}$$

$$F_{BY} = 1179,38 \text{ N}$$

$$F_{HT} = 186,24 \text{ N}$$

$$F_{HN} = 8753,25 \text{ N}$$

$$F_1 = 3556,13 \text{ N}$$

$$F_2 = 6376,5 \text{ N}$$

5. 3. 3 Výsledné vnitřní účinky



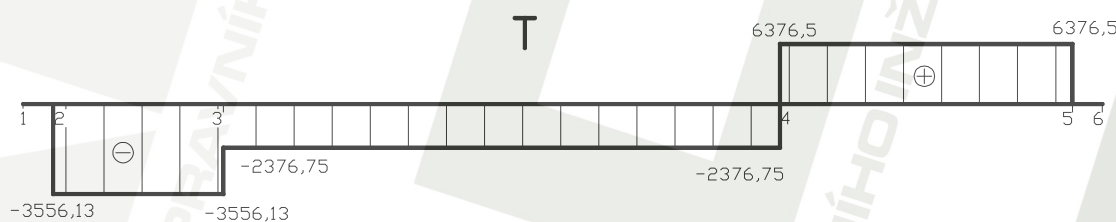
Obr.14 Normálové síly na členu 4 (N)

$$N_{43}^L = -F_{BX} = -186,24N$$

(50)

$$N_{44}^P = -F_{HT} = -186,24N$$

(51)



Obr.15 Posouvající síly na členu 4 (N)

$$T_{42}^L = -F_1 = -3556,13N$$

(52)

$$T_{43}^L = T_{42}^L + F_{BY} = -3556,13 + 1179,38 = -2376,75N$$

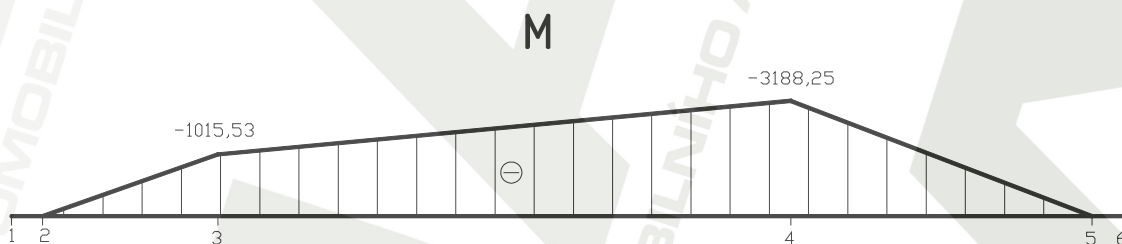
(53)

$$T_{44}^L = T_{43}^L + F_{HN} = -2376,75 + 8753,25 = 6376,5N$$

(54)

$$T_{45}^P = F_2 = 6376,5N$$

(55)



Obr.16 Momenty na členu 4 (Nm)

$$M_{42}^L = 0Nm$$

(56)

$$M_{43}^L = -F_1 \cdot l_{21} - F_{BX} \cdot l_{44} = -3556,13 \cdot 0,284 - 186,24 \cdot 0,03 = -1015,53Nm$$

(57)

$$M_{44}^P = -F_2 \cdot (l_{43} - l_{42}) = -6376,5 \cdot 0,5 = -3188,25Nm$$

(58)

$$M_{45}^P = 0Nm$$

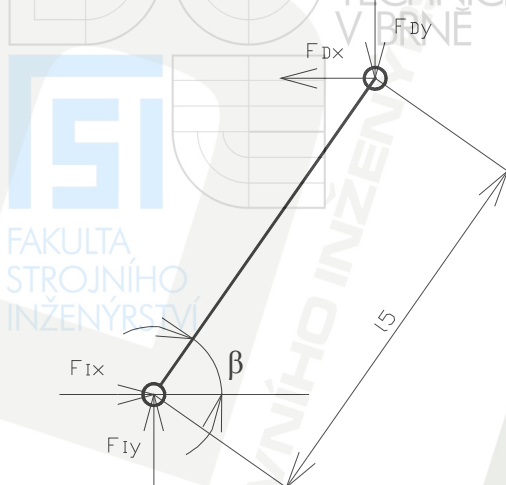
(59)

$$l_{43} = 1,416m$$

$$l_{42} = 0,916m$$

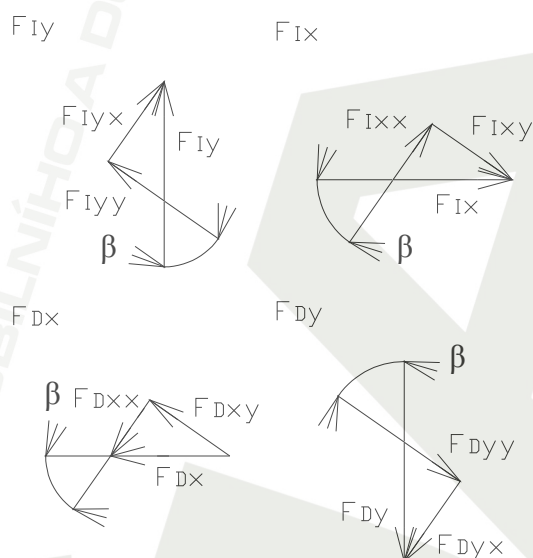
Člen 5 v horní poloze zvedáku za stavu A

Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.



Obr.17 Orientace sil na členu 5

5. 4. 2 Rozklad sil do lokálního souřadnicového systému



Obr.18 Rozklad sil na členu 5

5. 4. 3 Výpočet jednotlivých sil

$$F_{Dxx} = F_{Dx} \cdot \cos b = 11801,94 \cdot \cos(57,8) = 6288,97N \quad (60)$$

$$F_{Dxy} = F_{Dx} \cdot \sin b = 11801,94 \cdot \sin(57,8) = 9986,72N \quad (61)$$

$$F_{Dyy} = F_{Dy} \cdot \cos b = 18741,16 \cdot \cos(57,8) = 9986,72N \quad (62)$$

$$F_{Dyx} = F_{Dy} \cdot \sin b = 18741,16 \cdot \sin(57,8) = 15858,64N \quad (63)$$

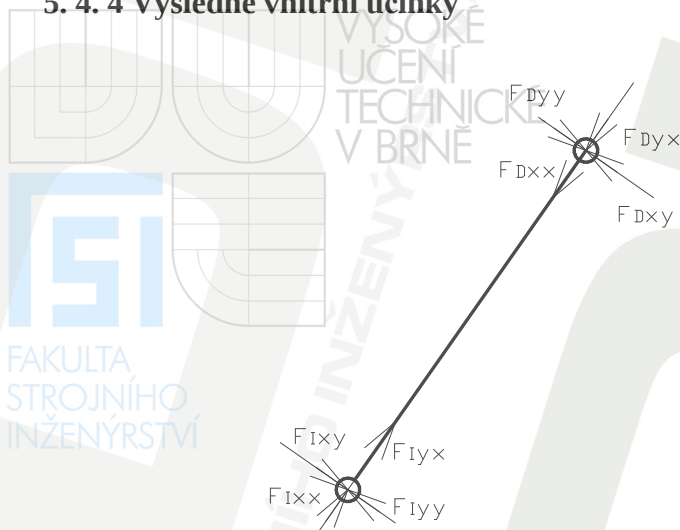
$$F_{Ixx} = F_{Ix} \cdot \cos b = 11801,94 \cdot \cos(57,8) = 6288,97N \quad (64)$$

$$F_{Ixy} = F_{Ix} \cdot \sin b = 11801,94 \cdot \sin(57,8) = 9986,72N \quad (65)$$

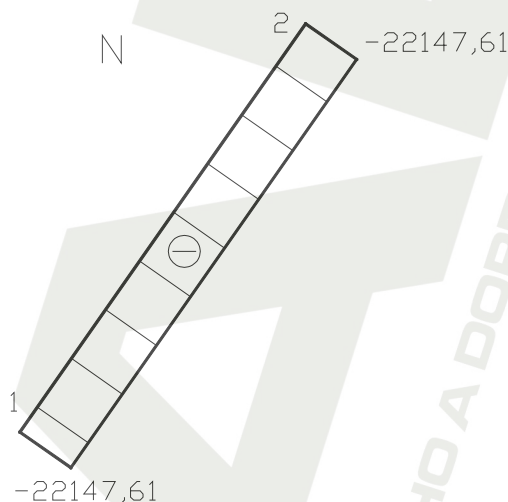
$$F_{Iyy} = F_{Iy} \cdot \cos b = 18741,16 \cdot \cos(57,8) = 9986,72N \quad (66)$$

$$F_{Iyx} = F_{Iy} \cdot \sin b = 18741,16 \cdot \sin(57,8) = 15858,64N \quad (67)$$

5. 4. 4 Výsledné vnitřní účinky



Obr.19 Orientace sil na členu 5



Obr.20 Normálové síly na členu 5 (N)

$$N_{51}^L = -F_{Ixx} - F_{Iyx} = -6288,97 - 15858,64 = -22147,61N \quad (68)$$

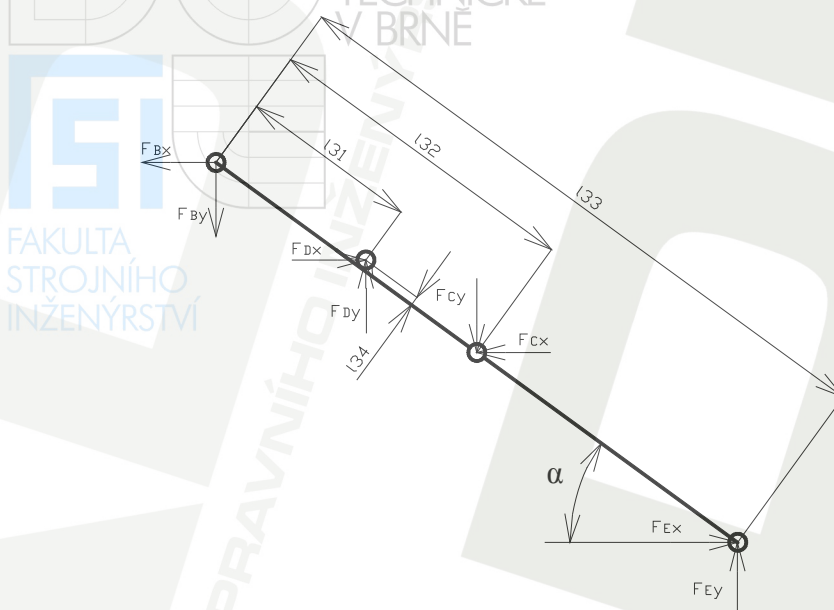
$$N_{52}^P = -F_{Dxx} - F_{Dyx} = -6288,97 - 15858,64 = -22147,61N \quad (69)$$

Z výpočtu je patrné že přímočarý hyromotor je zatížen pouze normálovými silami.

Stejně jako u kontroly v dolní poloze zvedáku je síla F_{By} větší za stavu B proto provedeme průběh vnitřních sil na prutech kde tato síla působí.

Člen 3 v horní poloze zvedáku za stavu B

Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.



Obr.21 Orientace sil na členu 3

Rozklad sil do lokálního souřadnicového systému

Stejný jako ve stavu A viz obr. 8

Výpočet jednotlivých sil

$$F_{EXX} = F_{EX} \cdot \cos a = 64,30 \cdot \cos(36) = 52,02N \quad (70)$$

$$F_{EXY} = F_{EX} \cdot \sin a = 64,30 \cdot \sin(36) = 37,80N \quad (71)$$

$$F_{EYY} = F_{EY} \cdot \cos a = 3536,71 \cdot \cos(36) = 2861,26N \quad (72)$$

$$F_{EYX} = F_{EY} \cdot \sin a = 3536,71 \cdot \sin(36) = 2078,82N \quad (73)$$

$$F_{CXX} = F_{CX} \cdot \cos a = 11617,47 \cdot \cos(36) = 9398,73N \quad (74)$$

$$F_{CXY} = F_{CX} \cdot \sin a = 11617,47 \cdot \sin(36) = 6828,58N \quad (75)$$

$$F_{CYY} = F_{CY} \cdot \cos a = 15558,84 \cdot \cos(36) = 12611,64N \quad (76)$$

$$F_{CYX} = F_{CY} \cdot \sin a = 15558,84 \cdot \sin(36) = 9162,89N \quad (77)$$

$$F_{BXX} = F_{BX} \cdot \cos a = 74,89 \cdot \cos(36) = 60,59N \quad (78)$$

$$F_{BXY} = F_{BX} \cdot \sin a = 74,89 \cdot \sin(36) = 44,02N \quad (79)$$

$$F_{BYY} = F_{BY} \cdot \cos a = 6412,91 \cdot \cos(36) = 5188,15N \quad (80)$$

$$F_{BYX} = F_{BY} \cdot \sin a = 6412,91 \cdot \sin(36) = 3769,41N \quad (81)$$

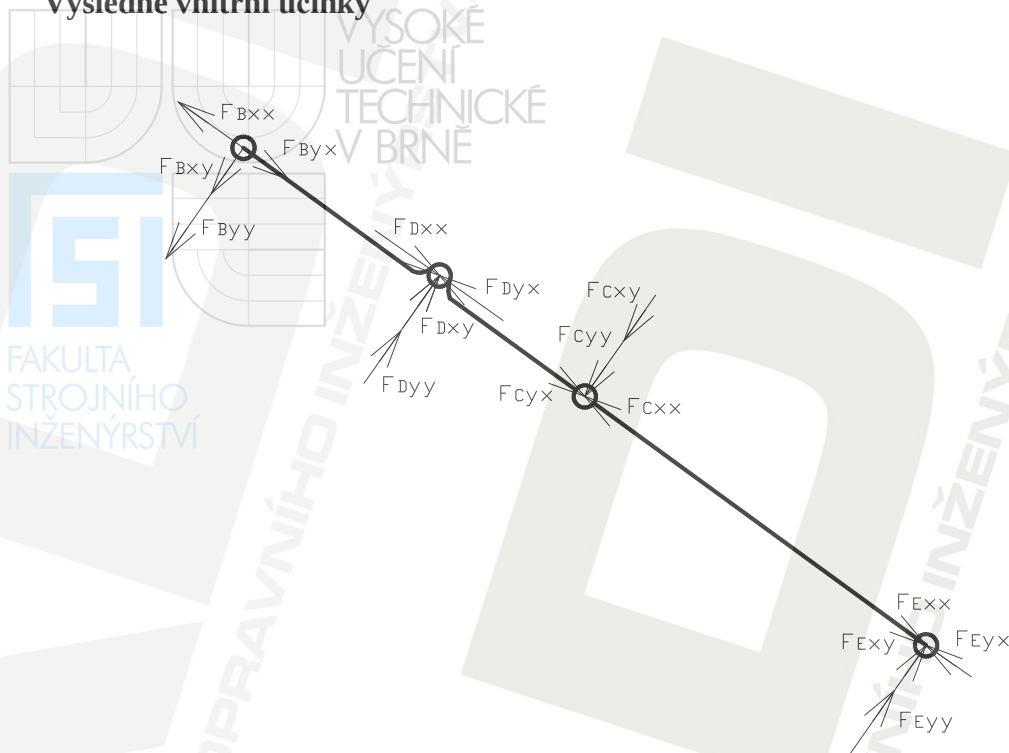
$$F_{DXX} = F_{DX} \cdot \cos a = 11628,06 \cdot \cos(36) = 9407,30N \quad (82)$$

$$F_{DXY} = F_{DX} \cdot \sin a = 11628,06 \cdot \sin(36) = 6834,80N \quad (83)$$

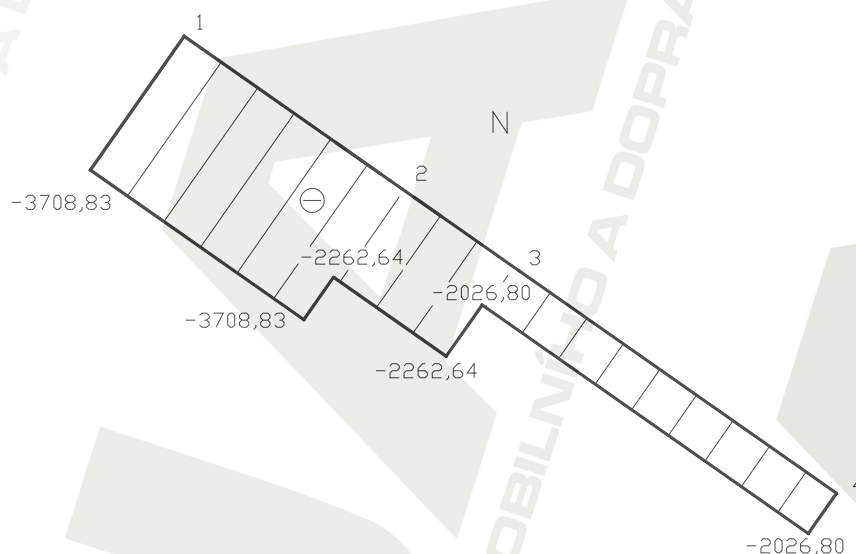
$$F_{DYY} = F_{DY} \cdot \cos a = 18465,04 \cdot \cos(36) = 14938,53N \quad (84)$$

$$F_{DYX} = F_{DY} \cdot \sin a = 18465,04 \cdot \sin(36) = 10853,48N \quad (85)$$

Výsledné vnitřní účinky



Obr.22 Rozklad sil na členu 3



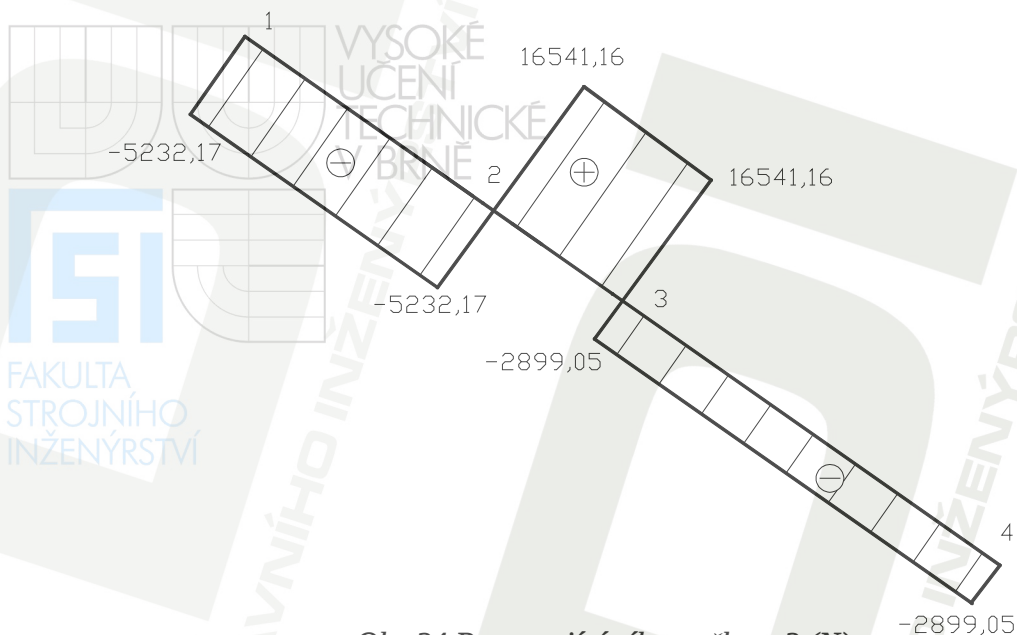
Obr.23 Normálové síly na členu 3 (N)

$$N_{31}^L = F_{Bxx} - F_{Byx} = 60,59 - 3769,41 = -3708,83N \quad (86)$$

$$N_{32}^L = N_{31}^L - F_{Dxx} + F_{Dyx} = -3708,83 - 9407,30 + 10853,48 = -2262,64N \quad (87)$$

$$N_{33}^L = N_{32}^L - F_{Cyx} + F_{Cxx} = -2262,64 - 9162,89 + 9398,73 = -2026,80N \quad (88)$$

$$N_{34}^P = F_{Exx} - F_{Eyx} = 52,02 - 2078,82 = -2026,80N \quad (89)$$



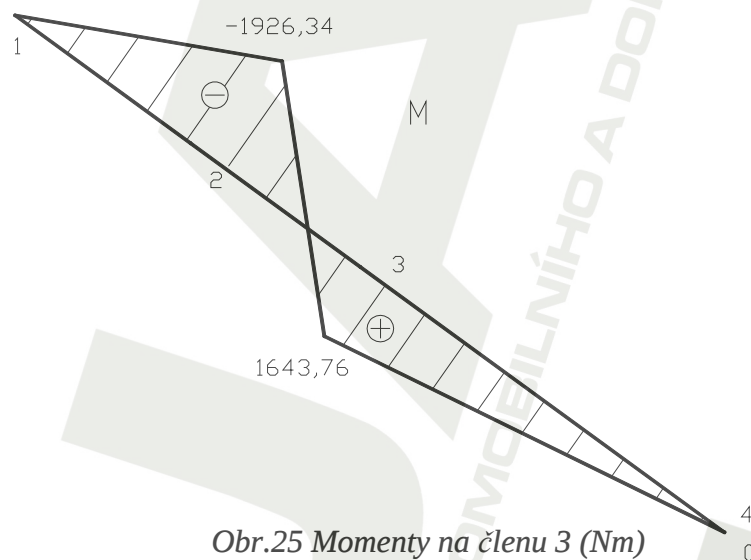
Obr.24 Posouvající síly na členu 3 (N)

$$T_{31}^L = -F_{BXY} - F_{BYY} = -44,02 - 5188,15 = -5232,17 \text{ N} \quad (90)$$

$$T_{32}^L = T_{31}^L + F_{DXY} + F_{DYY} = -5232,17 + 6834,80 + 14938,53 = 16541,16 \text{ N} \quad (91)$$

$$T_{33}^L = T_{32}^L - F_{CXY} - F_{CYY} = 16541,16 - 6828,58 - 12611,64 = -2899,05 \text{ N} \quad (92)$$

$$T_{34}^P = -F_{EYY} - F_{EYX} = -2861,26 - 37,80 = -2899,05 \text{ N} \quad (93)$$



Obr.25 Momenty na členu 3 (Nm)

$$M_{31}^L = 0 \text{ Nm} \quad (94)$$

$$M_{32}^L = (-F_{BYY} - F_{BXY}) \cdot l_{31} + (F_{BXX} - F_{BYX}) \cdot l_{34} \quad (95)$$

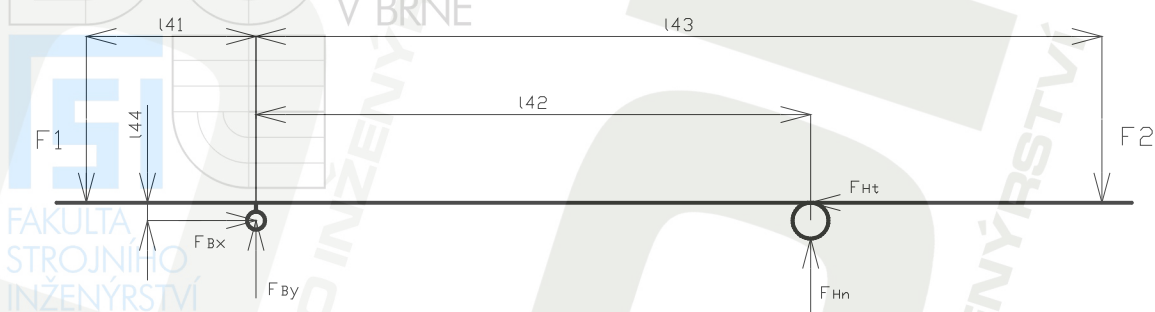
$$M_{32}^L = (-5188,15 - 44,02) \cdot 0,3545 + (60,59 - 3769,41) \cdot 0,019287$$

$$M_{32}^L = -1926,34 \text{ Nm}$$

$$M_{33}^P = (F_{EYY} + F_{EYX}) \cdot l_{32} = (2861,26 + 37,80) \cdot 0,567 = 1643,76 \text{ Nm} \quad (96)$$

Člen 4 v horní poloze zvedáku za stavu B (u jednoho nůžkového mechanismu)

Skutečná orientace sil na členu dle maticového výpočtu.



Obr.26 Orientace sil na členu 4

Velikosti jednotlivých sil

$$F_{BX} = 74,89N$$

$$F_{BY} = 6412,91N$$

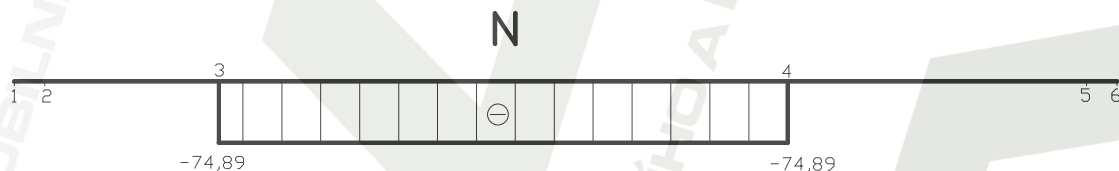
$$F_{HT} = 74,89N$$

$$F_{HN} = 3519,72N$$

$$F_1 = 6376,5N$$

$$F_2 = 3556,13N$$

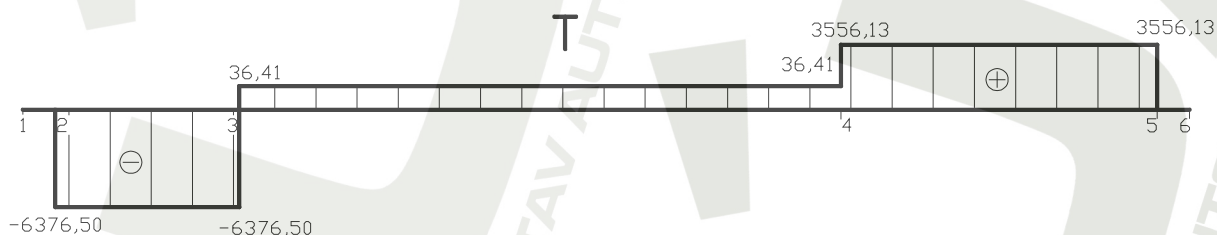
Výsledné vnitřní účinky



Obr.27 Normálové síly na členu 4 (N)

$$N_{43}^L = -F_{BX} = -74,89N \quad (97)$$

$$N_{44}^P = -F_{HT} = -74,89N \quad (98)$$



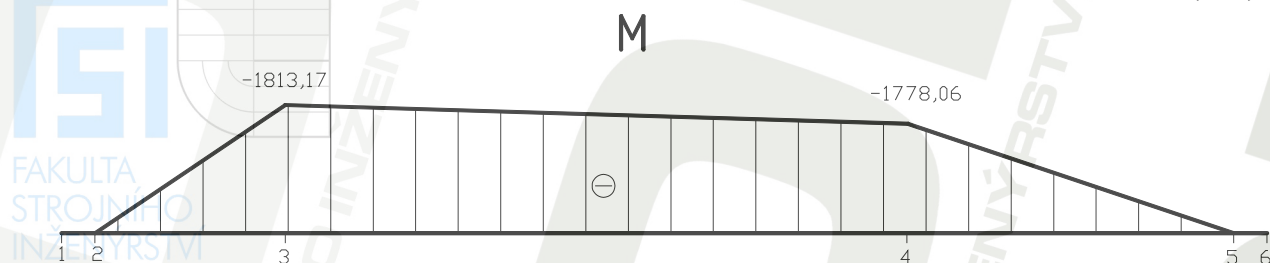
Obr.28 Posouvající síly na členu 4 (N)

$$T_{42}^L = -F_1 = -6376,5N \quad (99)$$

$$T_{43}^L = T_{42}^L + F_{BY} = -6376,5 + 6412,91 = 36,41N \quad (100)$$

$$T_{44}^L = T_{43}^L + F_{HN} = 36,41 + 3519,72 = 3556,13N \quad (101)$$

$$T_{45}^P = F_2 = 3556,13N \quad (102)$$



Obr.29 Momenty na členu 4 (Nm)

$$M_{42}^L = 0Nm \quad (103)$$

$$M_{43}^L = -F_1 \cdot l_{21} - F_{BX} \cdot l_{44} = -6376,5 \cdot 0,284 - 74,89 \cdot 0,03 = -1813,17Nm \quad (104)$$

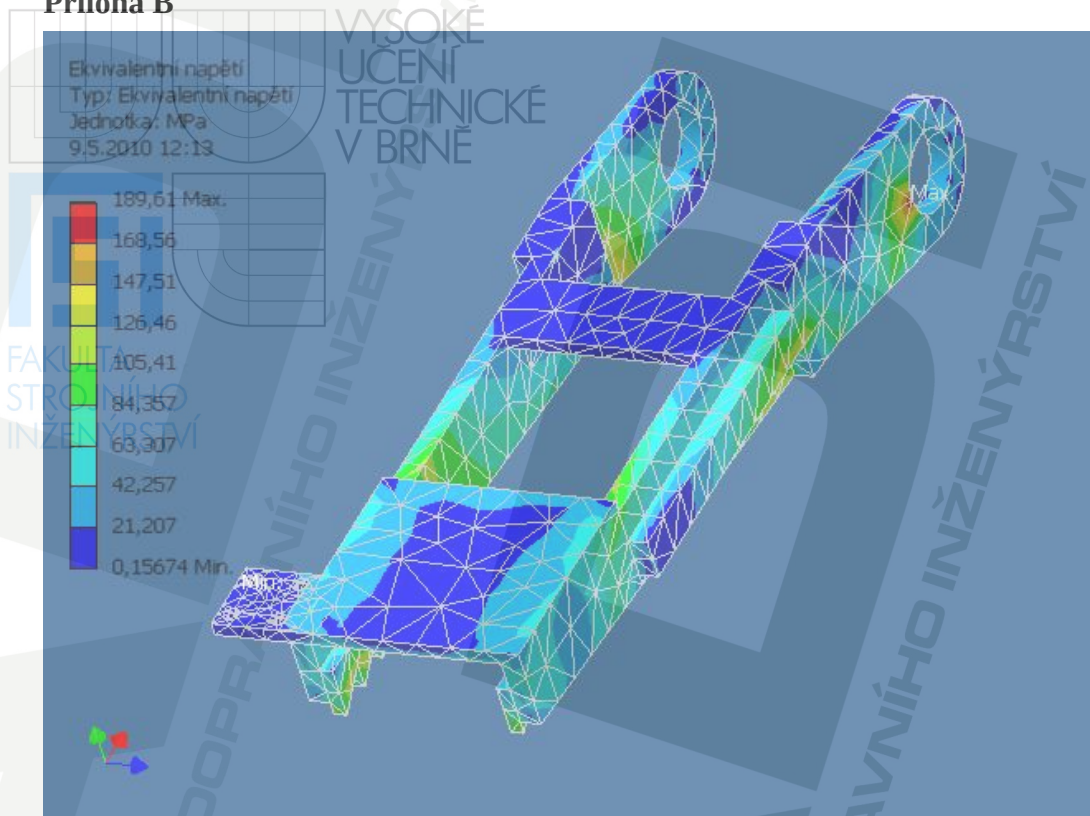
$$M_{44}^P = -F_2 \cdot (l_{43} - l_{42}) = -3556,13 \cdot 0,5 = -1778,06Nm \quad (105)$$

$$M_{45}^P = 0Nm \quad (106)$$

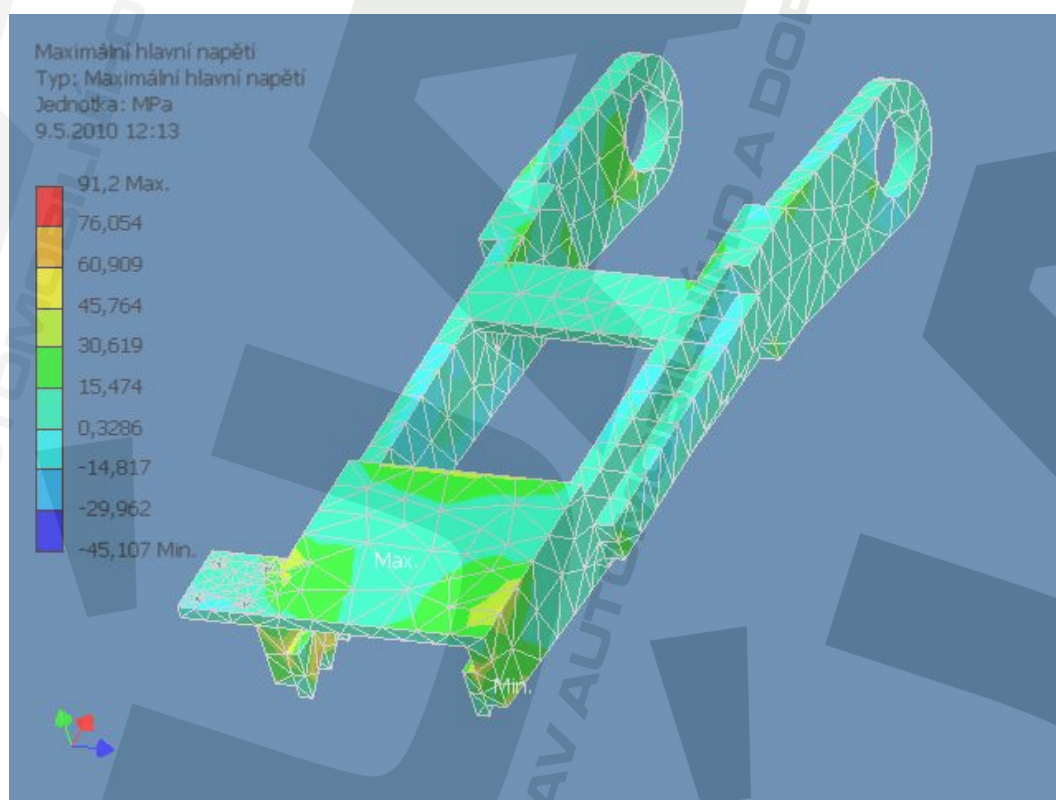
$$l_{43} = 1,416m$$

$$l_{42} = 0,916m$$

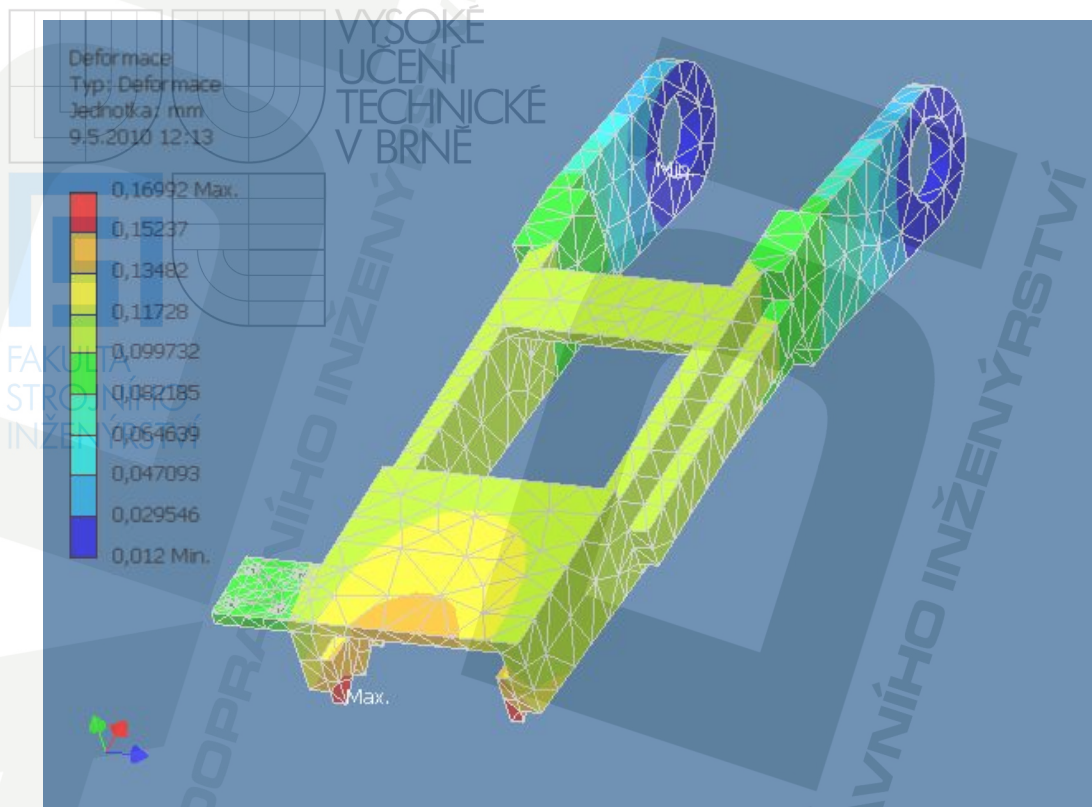
Příloha B



Obr. 1 Ekvivalentní napětí na zádržném zařízení

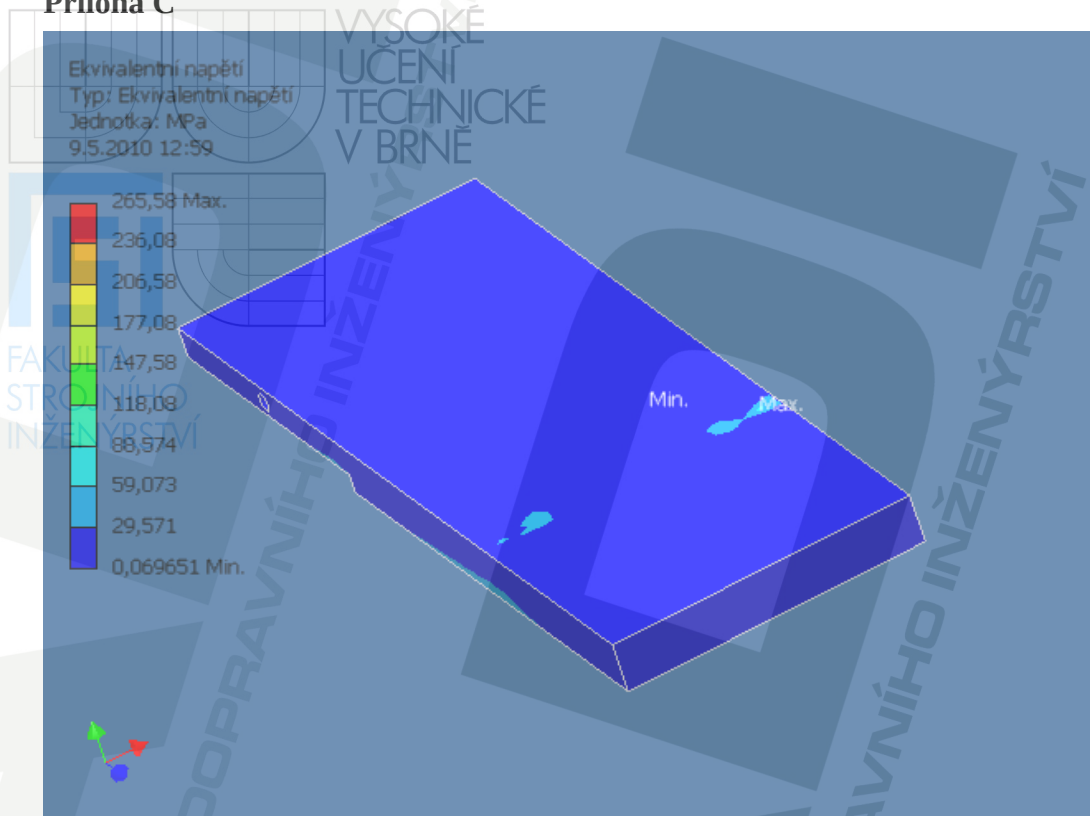


Obr. 2 Maximální hlavní napětí na zádržném zařízení

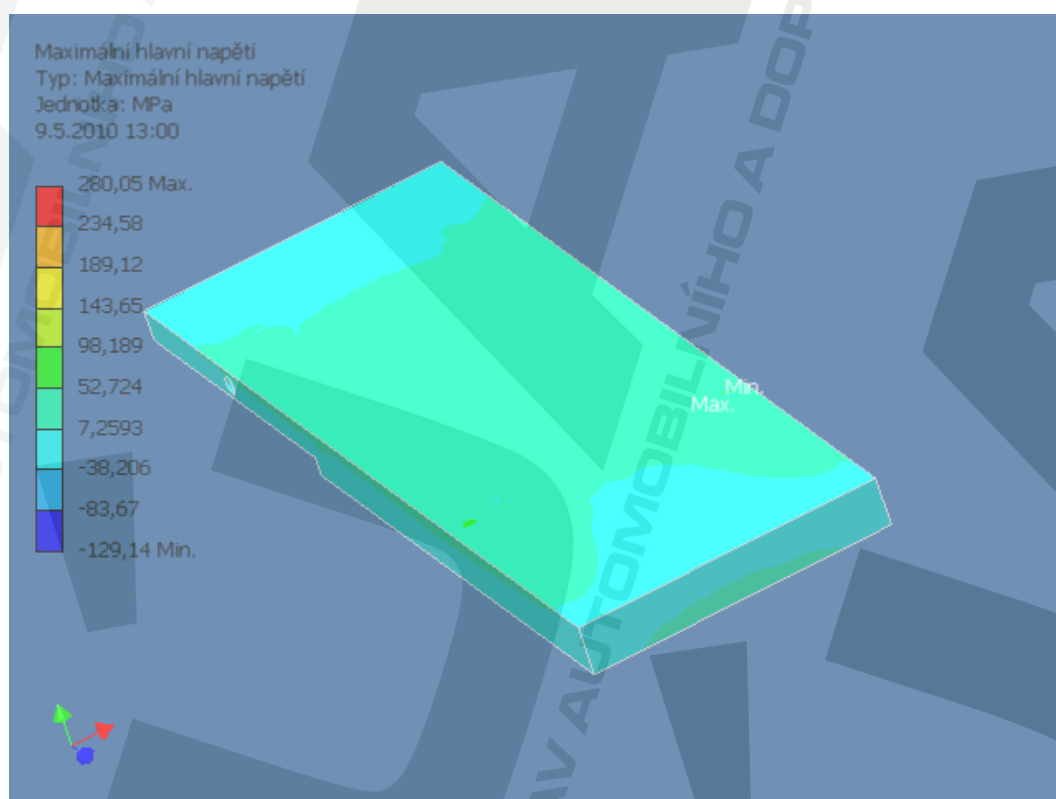


Obr. 3 Deformace na zádržném zařízení

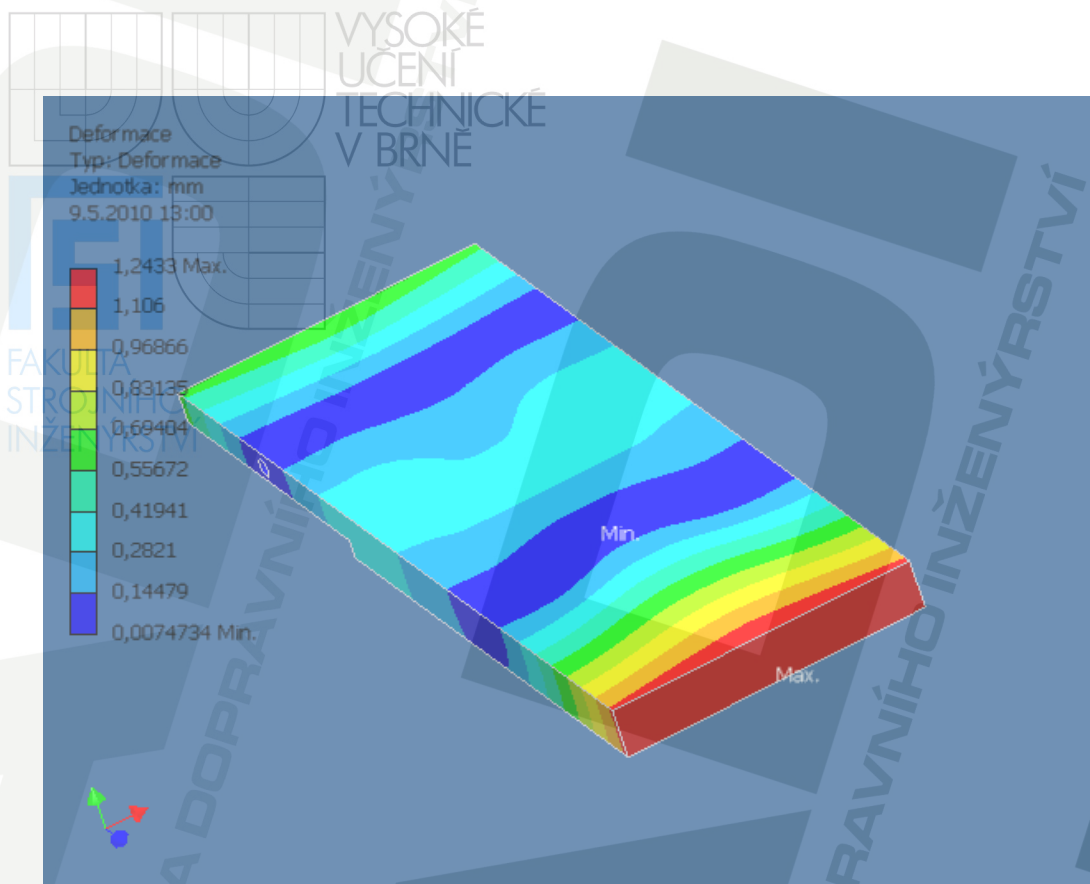
Příloha C



Obr. 1 Ekvivalentní napětí na horní desce zvedáku s hydraulickým pohonem

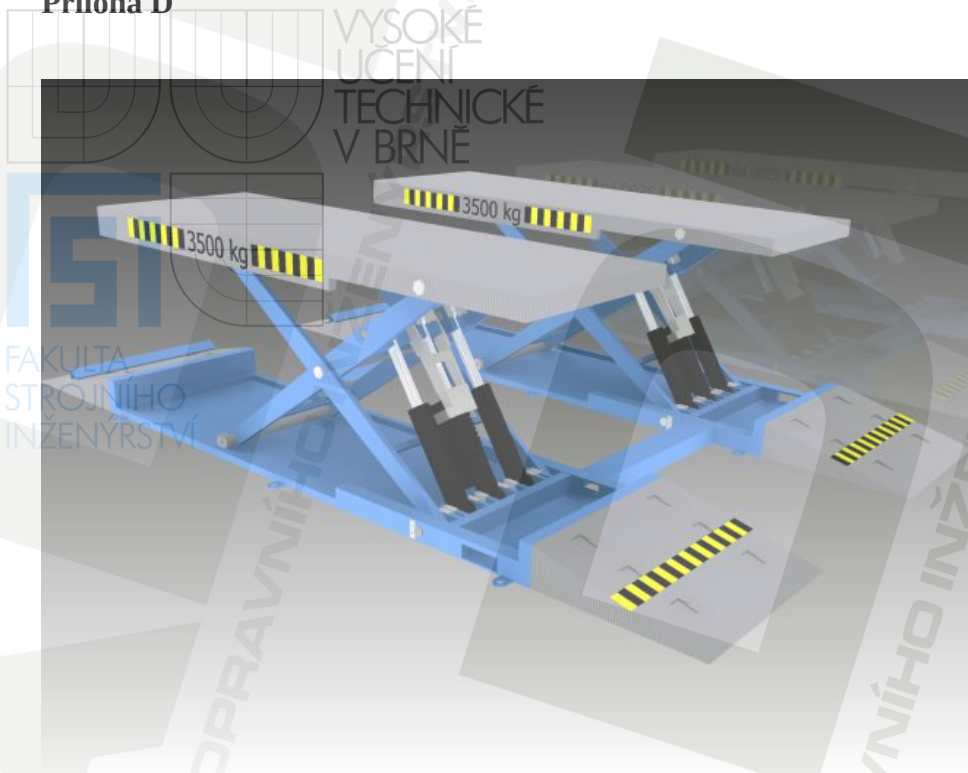


Obr. 2 Hlavní napětí na horní desce zvedáku s hydraulickým pohonem

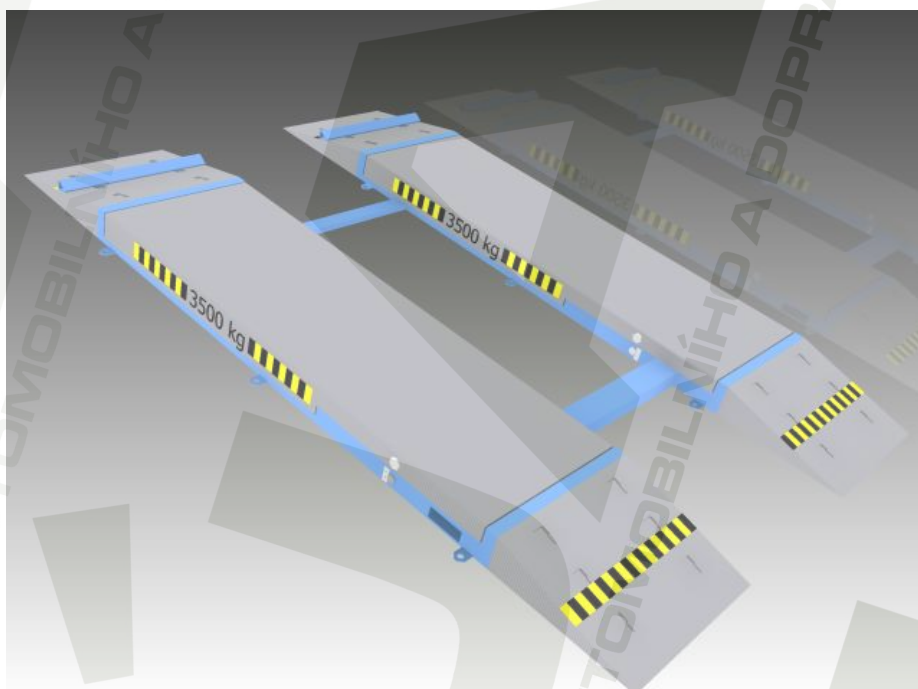


Obr. 3 Deformace horní desky zvedáku s hydraulickým pohonem

Příloha D



Obr. 1 Zvedák v horní poloze



Obr. 2 Zvedák v dolní poloze