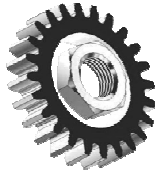


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ



Ústav konstruování a částí strojů

Konstrukční návrh zvedací plošiny

Design of Lifting Platform

Bakalářská práce

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Kříčka Ph.D.

Jakub Dušek

Praha 2016

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dušek** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **409551**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Konstrukční návrh zvedací plošiny

Název bakalářské práce anglicky:

Design of Lifting Platform

Pokyny pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je navrhnout konstrukční řešení zvedací plošiny s nůžkovým mechanismem. Součástí práce bude rešerše možných konstrukčních řešení.

Seznam doporučené literatury:

ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008. ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003. KUGL, O. Projekt - III. ročník. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jaroslav Kříčka Ph.D.

Jméno a pracoviště konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **04.04.2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: 10.6.2016

Platnost zadání bakalářské práce: _____



Podpis vedoucí(ho) práce



Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



Podpis děkana(ky)

Neodevzdá-li student bakalářskou práci v určeném termínu (tuto skutečnost písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána), stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé.

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

20.4.2016

Datum převzetí zadání



Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci s názvem: „Konstrukční návrh zvedací plošiny“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jaroslava Kříčky Ph.D., s použitím literatury, která je uvedena na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze

Jakub Dušek

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat rodině za jejich podporu při studiu a všem, kteří mi pomohli při vytváření této práce, především panu Ing. Jaroslavu Kříčkovi Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky.

Anotační list

Jméno autora: **Jakub Dušek**

Název BP: *Konstrukční návrh zvedací plošiny*

Anglický název: Design of Lifting Platform

Rok: 2016

Studijní program: B2342 Teoretický základ strojího inženýrství

Obor studia: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Ústav: *Ústav konstruování a částí strojů*

Vedoucí BP: *Ing. Jaroslav Kříčka Ph.D.*

Bibliografické údaje: počet stran 55
počet obrázků 39
počet tabulek 3
počet příloh 4

Klíčová slova: Zvedací plošina, Nůžkový mechanismus, nosnost 500 kg

Keywords: Lifting Platform, Scissor Mechanism, Loading Capacity 500 kg

Anotace:

Cílem této bakalářské práce je navrhnout konstrukční řešení zvedací plošiny s nůžkovým mechanismem s rozměrem pracovní plošiny 1700 x 1000 mm, nosností 500 kg a výškou zdvihu 2000 mm. Práce obsahuje další možnosti realizace zvedání, pevnostní výpočty a návrh mechanismu.

Abstract:

The aim of this bachelor thesis is to design solution of lifting platform with scissor mechanism with the dimension of the work platform 1700 x 1000 mm, loading capacity 500 kg and lift height 2000 mm. Thesis includes more options for the implementation of lifting, strength calculations and design of the mechanism.



Obsah

ÚVOD	8
TEORETICKÁ ČÁST.....	9
1. ZVEDACÍ ZAŘÍZENÍ.....	10
1.1. JEŘÁBY.....	10
1.2. KLDKOSTROJE.....	12
1.3. VÝTAHY.....	12
PRAKTICKÁ ČÁST	17
2. NÁVRH A KONSTRUKCE NŮŽKOVÉHO MECHANISMU	18
2.1. ZVOLENÉ KONTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	18
2.2. ZATÍŽENÍ A PARAMETRY MECHANISMU	19
2.3. VÝPOČET STUPŇŮ VOLNOSTI	19
2.4. VÝPOČET ZATÍŽENÍ	19
3. STATICKÝ VÝPOČET PRACOVNÍ PLOŠINY	20
3.1. I. ZPŮSOB ZATÍŽENÍ - SÍLA UPROSTŘED	20
3.1.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY	20
3.1.2. VÝPOČET REAKCÍ	20
3.2. II. ZPŮSOB ZATÍŽENÍ - SÍLA V PODPOŘE „A“	21
3.2.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY	21
3.2.2. VÝPOČET REAKCÍ	21
3.3. III. ZPŮSOB ZATÍŽENÍ - SÍLA V PODPOŘE „B“	22
3.3.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY	22
3.3.2. VÝPOČET REAKCÍ	22
3.4. IV. ZPŮSOB ZATÍŽENÍ - SÍLA NA KONCI	23
3.4.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY	23
3.4.2. VÝPOČET REAKCÍ	23
4. STATICKÝ VÝPOČET NOSNÍKŮ MECHANISMU	24
4.1. TĚLESO I.....	24
4.1.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY	24
4.2. TĚLESO II.....	25
4.2.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY	25
4.3. TĚLESO III.....	26
4.3.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY	26
4.4. TĚLESO IV.....	27



4.4.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY	27
4.5. TĚLESO V.....	28
4.5.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY	28
4.5.2. VÝPOČET DÉLKY HYDRAULICKÉHO PÍSTU.....	29
4.6. VÝPOČET REAKCÍ	30
5. VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY	31
5.1. TĚLESO I.....	31
5.1.1. VÝPOČET PRŮMĚTŮ	31
5.1.2. VÝPOČET MOMENTŮ	32
5.2. TĚLESO II.....	34
5.2.1. VÝPOČET PRŮMĚTŮ	34
5.2.2. VÝPOČET MOMENTŮ	35
5.3. TĚLESO III.....	36
5.3.1. VÝPOČET PRŮMĚTŮ	36
5.3.2. VÝPOČET MOMENTŮ	37
5.4. TĚLESO IV.....	38
5.4.1. VÝPOČET PRŮMĚTŮ	38
5.4.2. VÝPOČET MOMENTŮ	39
6. VÝPOČET PRŮMĚRŮ ČEPŮ	40
7. VÝPOČET SMYKOVÝCH SIL.....	41
8. NÁVRH PROFILU NOSNÍKU	42
9. KONTROLA ČEPŮ NA OTLAČENÍ A OHYB.....	43
9.1. KONTROLA NA OTLAČENÍ.....	43
9.2. KONTROLA NA OHYB.....	44
10. VOLBA HYDRAULICKÉHO VÁLCE.....	45
ZÁVĚR	46
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	50
SEZNAM OBRÁZKŮ	52
SEZNAM TABULEK	54
SEZNAM PŘÍLOH.....	55



ÚVOD

Stroje ke zvedání a přemísťování břemen jsou velice využívány a to ve všech možných odvětvích. Jedním z hlavních kritérií při výběru zvedacího zařízení je cena, rychlost zdvihu, velikost, nosnost zařízení, ale také maximální počet zdvihů (cyklů) za směnu. Hlavním důvodem použití zvedacích zařízení je ulehčení práce (shýbání) pracovního dělníka, rychlejší, přesnější a efektivnější provádění požadované práce. Jsou to výtahy, jeřáby, hevery, zvedací plošiny.

V této bakalářské práci mám za úkol navrhnout zvedací plošinu s nůžkovým mechanismem, který se používá poměrně často, a to z důvodu vysoké spolehlivosti, jednoduché údržby a mnoha možných rozměrů a nosností. V Teoretické části se budu obecně věnovat různým druhům zvedacích zařízení. V Praktické části navrhnu samotnou nůžkovou zvedací plošinu.



TEORETICKÁ ČÁST



1. ZVEDACÍ ZAŘÍZENÍ

1.1. JEŘÁBY

- k přemísťování břemen ve svislém a vodorovném směru. Je několik typů jeřábů, které jsou rozděleny podle:

a) Konstrukce

- | | |
|-----------------------|--|
| 1) Mostového typu | - mostový
- portálový mostový
- poloportálový mostový |
| 2) S nosnými lany | - lanový
- mostový lanový |
| 3) Výložníkového typu | - portálový otočný
- poloportálový otočný
- mobilní
- věžový
- železniční
- plovoucí
- palubní
- stožárový
- konzolový |

b) Konstrukce prostředku pro uchopení břemene

- 1) S hákem
- 2) Drapákový
- 3) Magnetový
- 4) Trnový
- 5) Mostový stohovací
- 6) Slévárenský
- 7) Sázecí
- 8) Kovací
- 9) Hlubinný
- 10) Stripovací



c) Možnosti pojezdu

- 1) Stacionární
- 2) Šplhací
- 3) Přemístitelný
- 4) Radiální
- 5) Pojízdný

d) Druhu pohonu

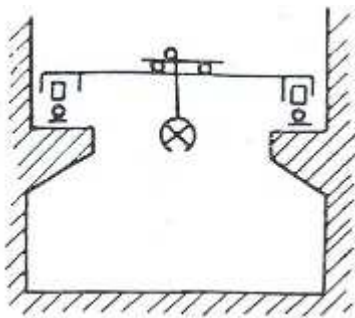
- 1) Ruční
- 2) Elektrický
- 3) Hydraulický

e) Stupně natočení

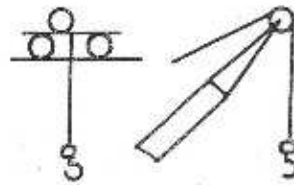
- 1) Otočný
- 2) Neotočný

f) Způsobu nasazení

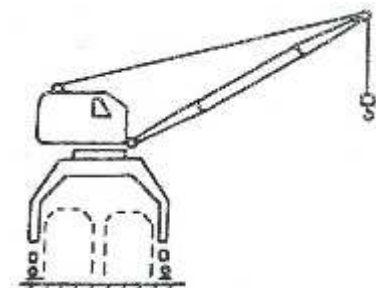
- 1) Podpěrný
- 2) Podvěsný



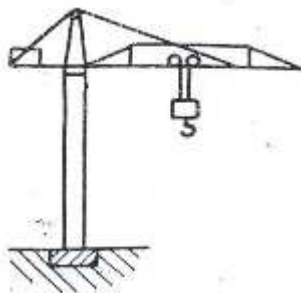
Obr. 1.: Podpěrný jeřáb [12]



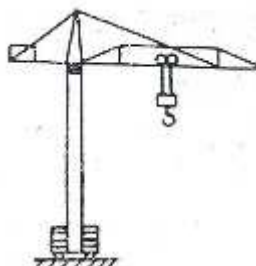
Obr. 2.: Jeřáb s hákem [12]



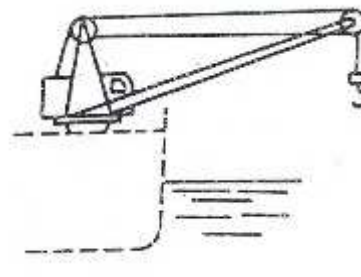
Obr. 3.: Portálový
otočný jeřáb [12]



Obr. 4.: Stacionární jeřáb [12]



Obr. 5.: Věžový jeřáb [12]

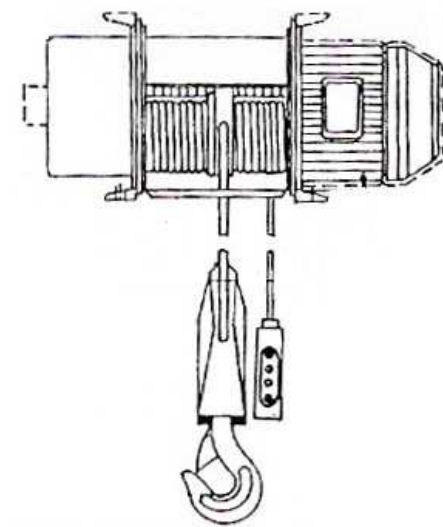


Obr. 6.: Palubní jeřáb [12]



1.2. KLADKOSTROJE

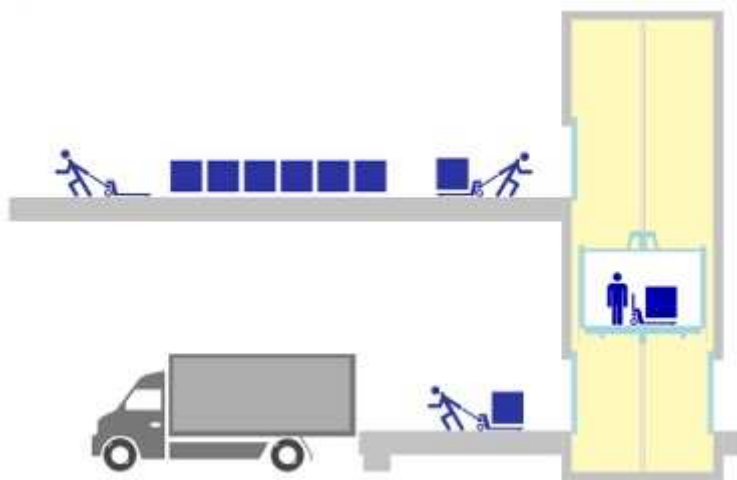
- přenosná zdvihadla používaná na montážích. Mají malé rozměry a hmotnost. Nejčastěji se zavěšují závěsným hákem na nosnou konstrukci pojíždějící po jeřábové dráze. Elektrické kladkostroje zrychlují práci, neboť obsluha spočívá v dálkovém ovládní.



Obr. 7.: Elektrický kladkostroj [14]

1.3. VÝTAHY

- určeny k dopravě osob nebo nákladu převážně ve svislém směru. Podél pevných vodiček v šachtě se pohybuje klec, kabina, plošina nebo speciálně upravený prostor pro náklad. Pohon je převážně elektrický. Zvedací zařízení jsou lana nebo kloubové řetězy. Zachycovače jsou velmi důležitým bezpečnostním zařízením.



Obr. 8.: Výtah pro přepravu osob a nákladů [15]

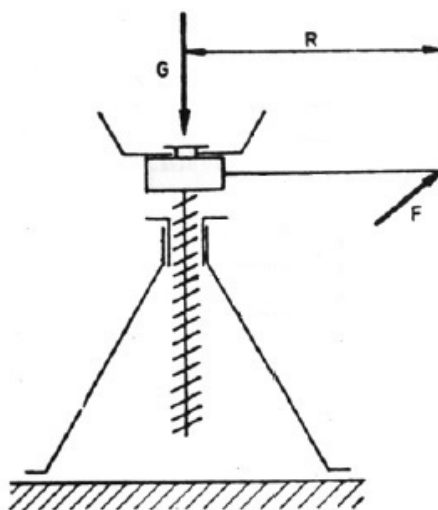


1.4. ZVEDÁKY

- základním znakem všech zvedáků je velká zvedací síla, malý zdvih a malá vlastní váha. Pohon bývá ruční, pneumatický, elektrický nebo spalovacím motorem.

a) Šroubový zvedák

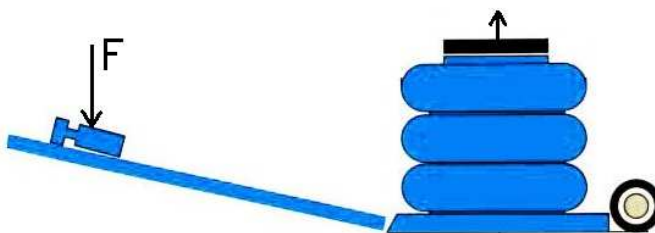
- břemeno se zvedá otáčením šroubu, který na svém horním konci nese hlavici. Šroub prochází maticí, která je pevně uložena v podstavci. Matice bývá obvykle bronzová, aby se zmenšilo tření při otáčení šroubu. Šroub musí být samosvorný. Používají se spíše pro podpírání než ke střídavému zvedání a spouštění.



Obr. 9.: Šroubový zvedák [16]

d) Pneumatický zvedák

- pro menší hmotnosti. Funguje na principu měchu, do kterého se vhání stlačený vzduch a tím se zdvihá břemeno. Tyto zvedáky jsou z bezpečnostních důvodů vybaveny mechanickým bezpečnostním zařízením, které zabraňuje poklesu břemena při poklesu tlaku vzduchu v měchu.

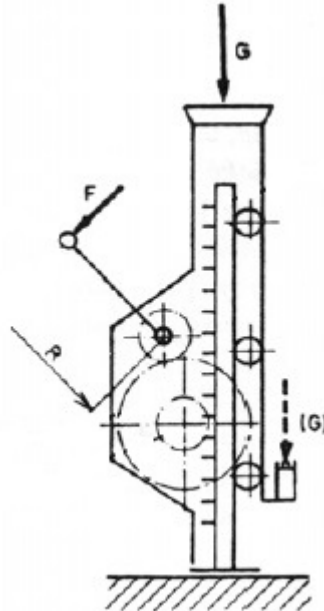


Obr. 10.: Pneumatický zvedák [17]



b) Hřebenový zvedák

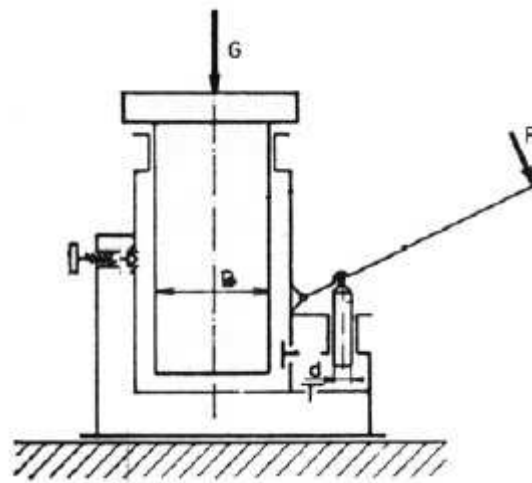
- umožňuje zvedání břemen ruční silou působící pomocí páky přes složený převod ozubenými koly na ozubený hřeben. Tyč s převody je uložena v dvoudílné plechové skříni. Břemena lze zvedat zasunutím zvedáku pod břemeno v horní části. Tyto zvedáky mají poměrně malé zdvihy.



Obr. 11.: Hřebenový zvedák [16]

c) Hydraulický zvedák

- pro zvedání těžkých břemen. Je založen na principu Pascalova zákona. Zvedákem se silou působící na zvedací páku zvedá břemeno. Spouštění břemene se provádí otevřením přepouštěcího ventilu.

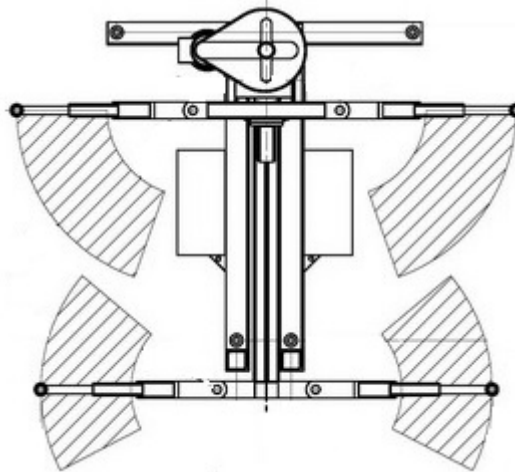


Obr. 12.: Hydraulický zvedák [16]

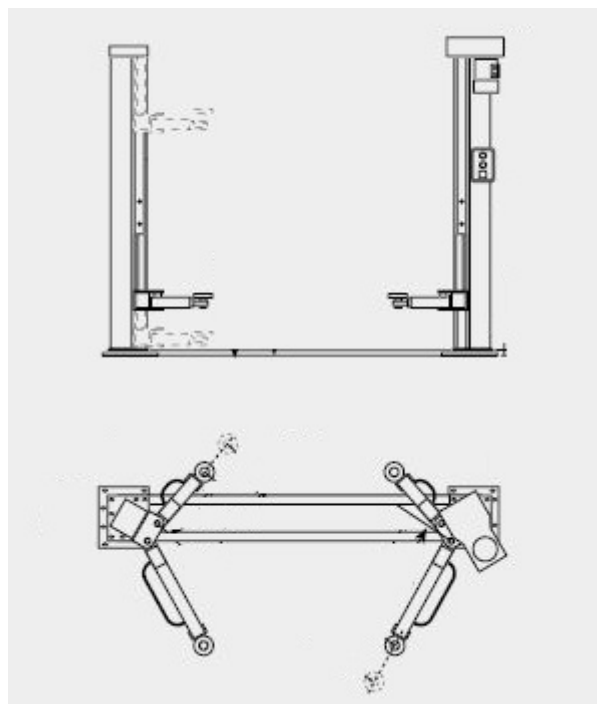


e) Sloupový zvedák

- tyto zvedáky se používají převážně pro automobilový průmysl a to díky jejich velké nosnosti. Mohou se skládat z jednoho nebo více ocelových sloupů umístěných kolmo k pevné podlaze nebo na podvozku. Vertikální pohyb zajišťuje pohybový šroub, který je podélně uložen v ložiscích, a nosná matice, která je pevně spojena s nosnou konstrukcí. Aretace je zajištěna tím, že je závit samosvorný.



Obr. 13.: Jednosloupový zvedák [18]



Obr. 14.: Dvousloupový zvedák [18]



f) Nůžkový zvedák

- při manipulaci s materiálem a překonávání výškových rozdílů. Pracovní koše mohou být pevné, otočné a také výsuvné, mohou být vybaveny ochranným rámem (zábradlím). Pohonná jednotka je hydraulická jednočinná (hydraulické válce a jejich komponenty), kde je elektrická energie spotřebovávána pouze při zvedání, spouštění je bez přičinění elektromotoru, nebo mechanická pohonná jednotka, která je složena z matice a trapézového šroubu poháněného elektromotorem. Nůžkový mechanismus je spojen s horním i spodním rámem na dvou místech pevně a na protějších stranách pojíždí uchycení například v kolejnicích. Mechanismus je jednonůžkový, ale i vícenůžkový.



Obr. 15.: Pevná dvojnůžková zvedací plošina s hydraulickými válci [19]



Obr. 16.: Mobilní dvojnůžková zvedací plošina s hydraulickým válcem [20]



Obr. 17.: Vícenůžkový zvedací mechanismus s výsuvnou pracovní plošinou a zábradlím [20]



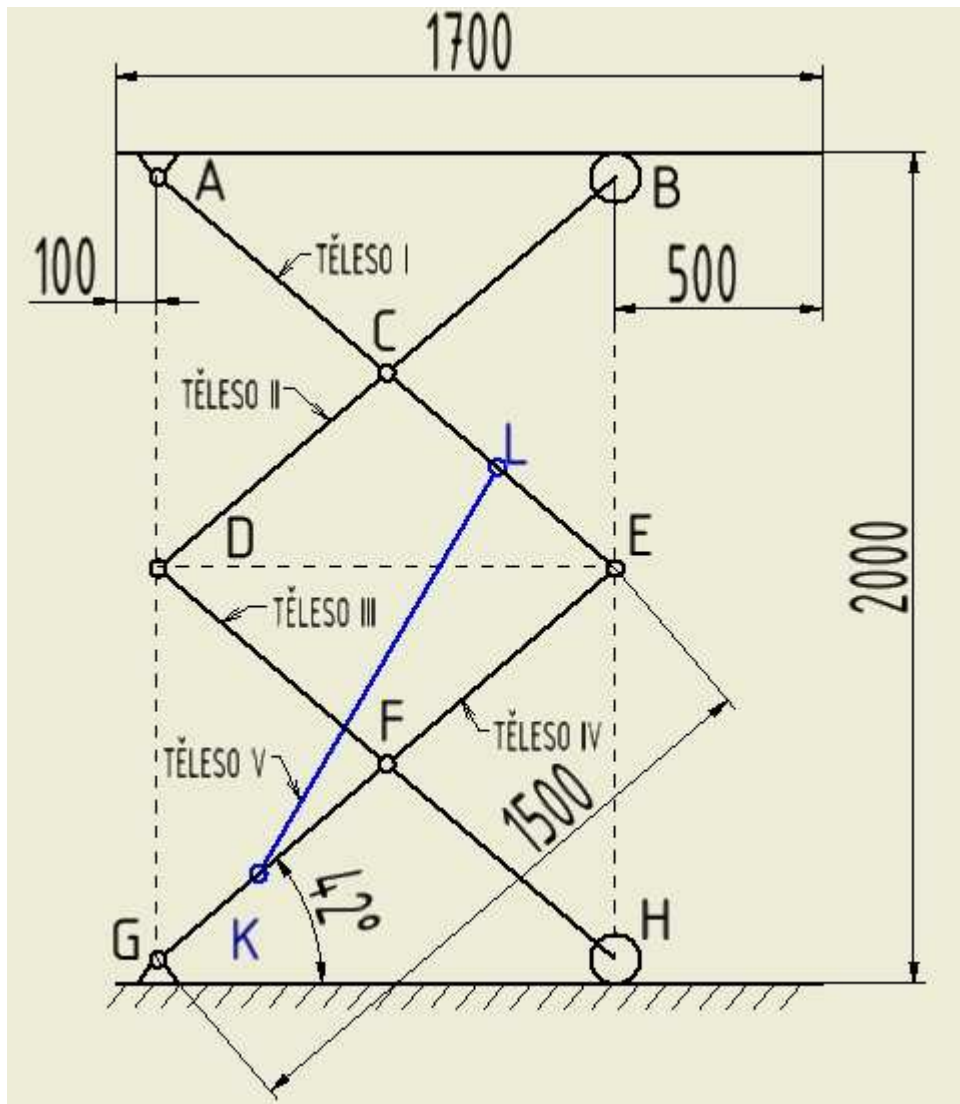
PRAKTICKÁ ČÁST



2. NÁVRH A KONSTRUKCE NŮŽKOVÉHO MECHANISMU

2.1. ZVOLENÉ KONTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

- Pohonný mechanismus volím pomocí dvou hydraulických válců uložených po obou stranách na nůžkovém mechanismu a elektromotorem. Popojíždějí ramena nůžkového mechanismu, která popojíždějí po spodní části pracovní plošiny a po dolním rámu, jsou složena s kladky a čepu. Požadovaná výška je maximálně 2000 mm, proto volím dvojnůžkový zvedací mechanismus s pevným pracovním košem a nepohyblivou pracovní plošinou. Pracovní koš má hmotnost 320 kg a rozměry 1700 x 1000 mm a při nejnižší poloze má výšku 380 mm.



Obr. 18.: Schematické zobrazení nůžkového mechanismu



2.2. ZATÍŽENÍ A PARAMETRY MECHANISMU

- hmotnost koše:	$m_k = 320 \text{ kg}$
- maximální zatížení:	$m = 500 \text{ kg}$
- maximální zdvih:	$w = 2000 \text{ mm}$
- šířka zvedáku:	$\check{s} = 1000 \text{ mm}$
- délka zvedáku:	$\check{s} = 1700 \text{ mm}$
- výška zvedáku ve sklopeném stavu:	$v = 380 \text{ mm}$

2.3. VÝPOČET STUPŇŮ VOLNOSTI

- Počet stupňů volnosti soustavy provedu na levé části nůžkového mechanismu podle daného vztahu:

$$n = 3 \cdot (t - 1) - 2 \cdot r - p \quad (1)$$

kde n je počet stupňů volnosti, t je počet těles včetně spodního rámu a koše, r počet rotačních vazeb a p počet obecných vazeb.

$$n = 3 \cdot (7 - 1) - 2 \cdot 8 - 2$$

$$n = 0$$

2.4. VÝPOČET ZATÍŽENÍ

- pro zjednodušení uvažuji úlohu jako rovinnou. Při výpočtu je soustava uložena nepohyblivě (staticky určitě). Těleso V v obr. 18 představuje hydraulický válec, který mění svou délku. Tíhová síla pracovního koše F_k je přenášena oběma páry mechanismu stejnou měrou, a proto se počítá s její polovinou v každé podpoře.

- tíhová síla pracovního koše:

$$F_k = m_k \cdot g \quad (2)$$

$$F_k = 320 \cdot 9,81 = 3\,139,2 \text{ N} \cong 3\,200 \text{ N}$$

- zatěžující síla od břemene:

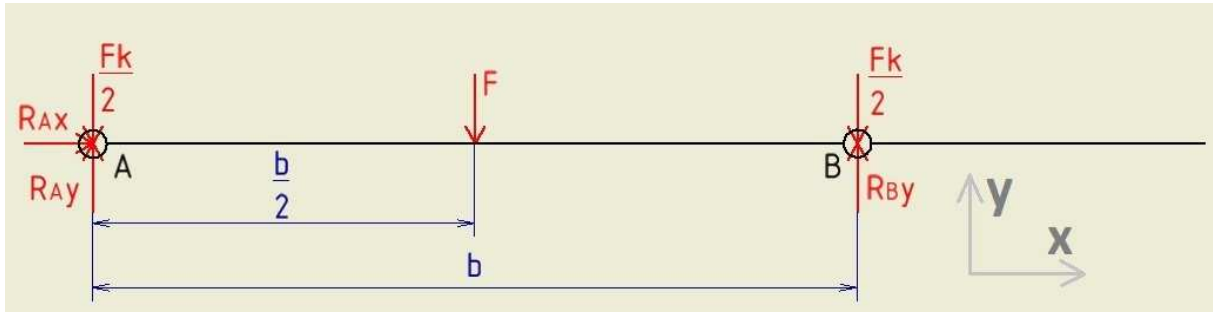
$$F = m \cdot g \quad (3)$$

$$F = 500 \cdot 9,81 = 4\,905 \text{ N} \cong 5\,000 \text{ N}$$



3. STATICKÝ VÝPOČET PRACOVNÍ PLOŠINY

3.1. I. ZPŮSOB ZATÍŽENÍ - SÍLA UPROSTŘED



Obr. 19.: I. způsob zatížení - uprostřed

3.1.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY

$$F_x: R_{Ax} = 0 \quad (4)$$

$$F_y: R_{Ay} + R_{By} - \frac{F_k}{2} - \frac{F_k}{2} - F = 0 \quad (5)$$

$$M_A: -F \cdot \frac{b}{2} + R_{By} \cdot b - \frac{F_k}{2} \cdot b = 0 \quad (6)$$

kde R_{Ax} a R_{Ay} jsou reakce v podpoře A, R_{By} je reakce v podpoře B a b je vzdálenost mezi podporami A a B ve zvednutém stavu.

$$b = 1\,100 \text{ mm}$$

3.1.2. VÝPOČET REAKCÍ

- z rovnice (6) se určí reakce R_{By} :

$$R_{By} = \frac{F \cdot \frac{b}{2} + \frac{F_k}{2} \cdot b}{b} = \frac{F}{2} + \frac{F_k}{2}$$

$$R_{By} = \frac{5\,000}{2} + \frac{3\,200}{2} = 4\,100 \text{ N}$$

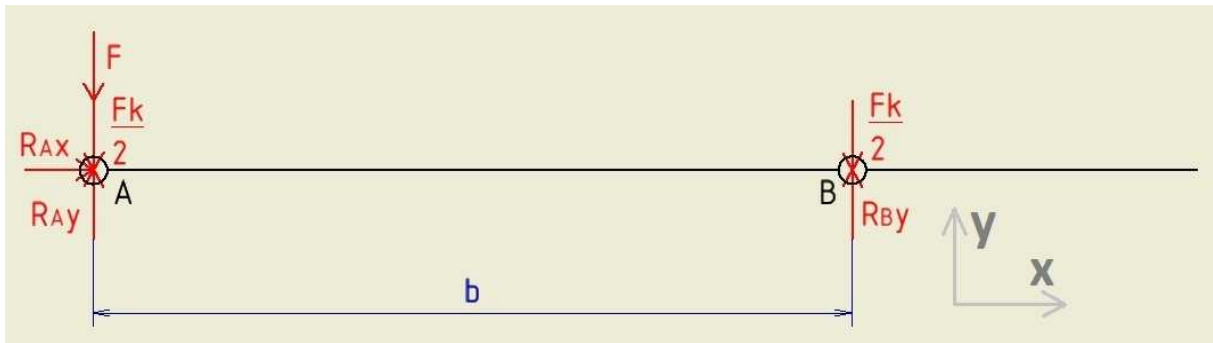
- z rovnice (5) se určí reakce R_{Ay} :

$$R_{Ay} = \frac{F_k}{2} + \frac{F_k}{2} + F - R_{By}$$

$$R_{Ay} = \frac{3\,200}{2} + \frac{3\,200}{2} + 5\,000 - 4\,100 = 4\,100 \text{ N}$$



3.2. II. ZPŮSOB ZATÍŽENÍ - SÍLA V PODPOŘE „A“



Obr. 20.: II. způsob zatížení - v podpoře „A“

3.2.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY

$$F_x: R_{Ax} = 0 \quad (7)$$

$$F_y: R_{Ay} + R_{By} - \frac{F_k}{2} - \frac{F_k}{2} - F = 0 \quad (8)$$

$$M_A: R_{By} \cdot b - \frac{F_k}{2} \cdot b = 0 \quad (9)$$

kde R_{Ax} a R_{Ay} jsou reakce v podpoře A, R_{By} je reakce v podpoře B a b je vzdálenost mezi podporami A a B ve zvednutém stavu.

$$b = 1\,100 \text{ mm}$$

3.2.2. VÝPOČET REAKCÍ

- z rovnice (9) se určí reakce R_{By} :

$$R_{By} = \frac{F_k}{2}$$

$$R_{By} = \frac{3\,200}{2} = 1\,600 \text{ N}$$

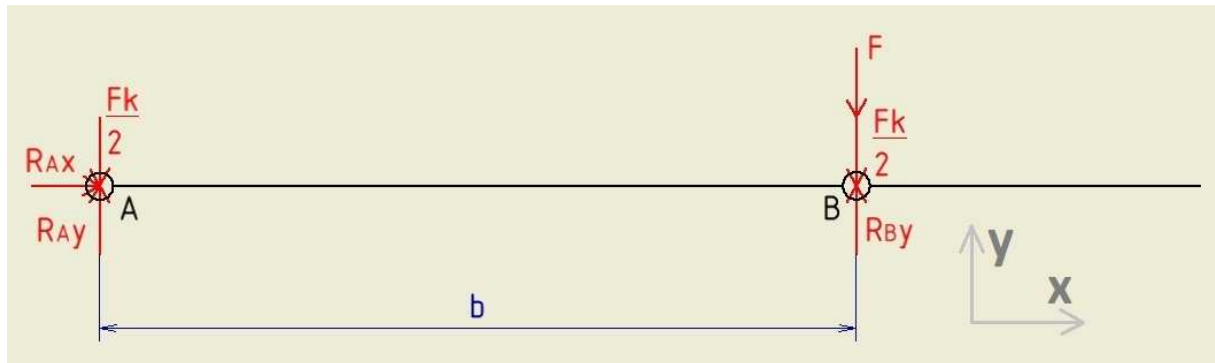
- z rovnice (8) se určí reakce R_{Ay} :

$$R_{Ay} = \frac{F_k}{2} + \frac{F_k}{2} + F - R_{By}$$

$$R_{Ay} = \frac{3\,200}{2} + \frac{3\,200}{2} + 5\,000 - 1\,600 = 6\,600 \text{ N}$$



3.3. III. ZPŮSOB ZATÍŽENÍ - SÍLA V PODPOŘE „B“



Obr. 21.: III. způsob zatížení - v podpoře B

3.3.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY

$$F_x: R_{Ax} = 0 \quad (10)$$

$$F_y: R_{Ay} + R_{By} - \frac{F_k}{2} - \frac{F_k}{2} - F = 0 \quad (11)$$

$$M_A: -F \cdot b + R_{By} \cdot b - \frac{F_k}{2} \cdot b = 0 \quad (12)$$

kde R_{Ax} a R_{Ay} jsou reakce v podpoře A, R_{By} je reakce v podpoře B a b je vzdálenost mezi podporami A a B ve zvednutém stavu.

$$b = 1\,100 \text{ mm}$$

3.3.2. VÝPOČET REAKCÍ

- z rovnice (12) se určí reakce R_{By} :

$$R_{By} = \frac{F \cdot b + \frac{F_k}{2} \cdot b}{b} = F + \frac{F_k}{2}$$

$$R_{By} = 5\,000 + \frac{3\,200}{2} = 6\,600 \text{ N}$$

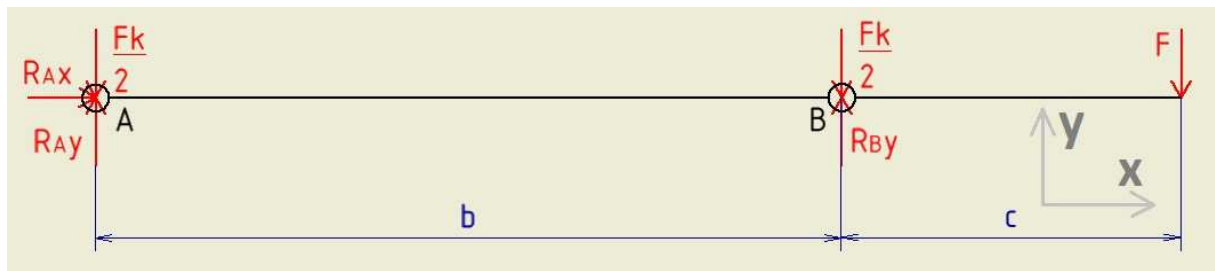
- z rovnice (11) se určí reakce R_{Ay} :

$$R_{Ay} = \frac{F_k}{2} + \frac{F_k}{2} + F - R_{By}$$

$$R_{Ay} = \frac{3\,200}{2} + \frac{3\,200}{2} + 5\,000 - 6\,600 = 1\,600 \text{ N}$$



3.4. IV. ZPŮSOB ZATÍŽENÍ - SÍLA NA KONCI



Obr. 22.: IV. způsob zatížení - na konci

3.4.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY

$$F_x: R_{Ax} = 0 \quad (13)$$

$$F_y: R_{Ay} + R_{By} - \frac{F_k}{2} - \frac{F_k}{2} - F = 0 \quad (14)$$

$$M_A: -F \cdot (b + c) + R_{By} \cdot b - \frac{F_k}{2} \cdot b = 0 \quad (15)$$

kde R_{Ax} a R_{Ay} jsou reakce v podpoře A, R_{By} je reakce v podpoře B, b je vzdálenost mezi podporami A a B a c je vzdálenost mezi B a volným koncem plošiny ve zvednutém stavu.

$$b = 1\,100 \text{ mm}$$

$$c = 500 \text{ mm}$$

3.4.2. VÝPOČET REAKCÍ

- z rovnice (15) se určí reakce R_{By} :

$$R_{By} = \frac{F \cdot (b + c) + \frac{F_k}{2} \cdot b}{b} = \frac{F}{2} + \frac{F_k}{2}$$

$$R_{By} = \frac{5\,000 \cdot (1\,100 + 500)}{1\,100} + \frac{3\,200}{2} = 8\,873 \text{ N}$$

- z rovnice (14) se určí reakce R_{Ay} :

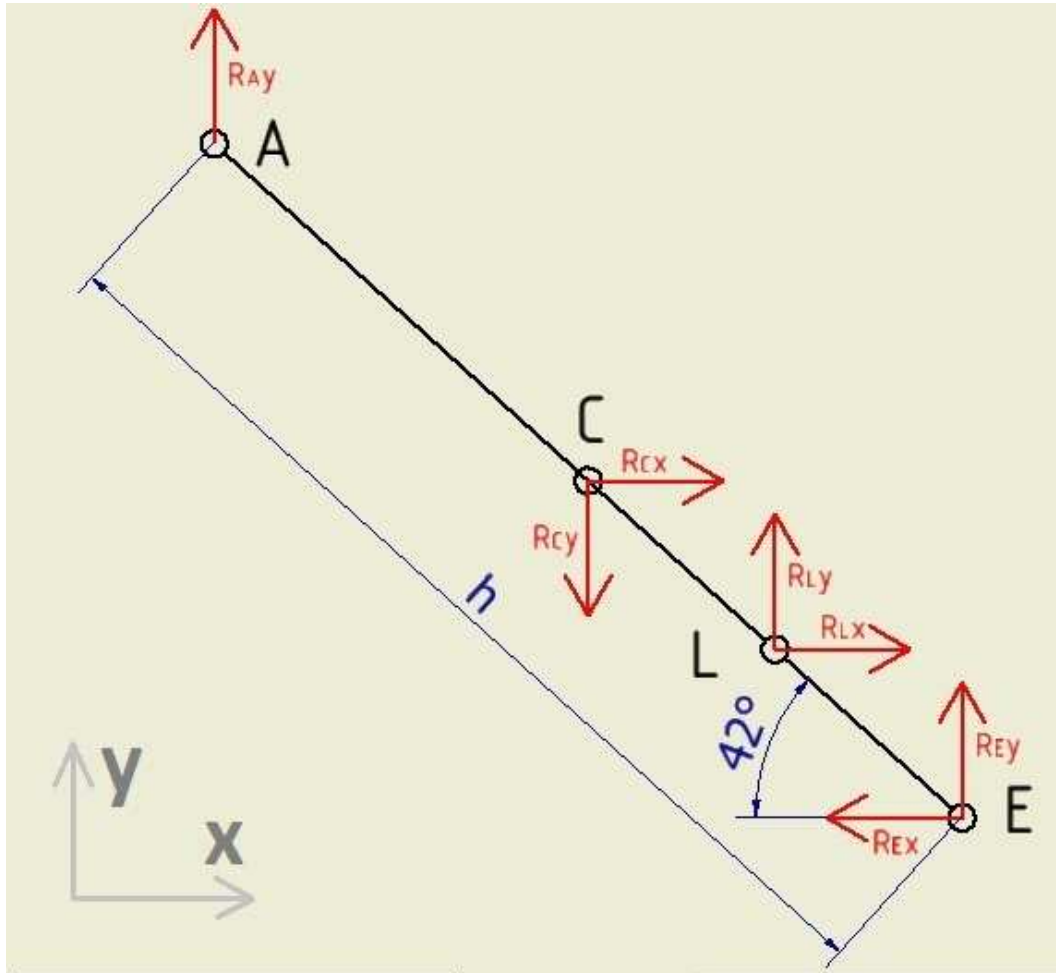
$$R_{Ay} = \frac{F_k}{2} + \frac{F_k}{2} + F - R_{By}$$

$$R_{Ay} = \frac{3\,200}{2} + \frac{3\,200}{2} + 5\,000 - 8\,873 = -673 \text{ N}$$

- toto zatížení je nejnebezpečnější, a proto s ním budu dále počítat. Síla R_{Ay} je záporná a z toho důvodu obrátím její orientaci a pro další výpočty s ní budu počítat jako s kladnou silou.

4. STATICKÝ VÝPOČET NOSNÍKŮ MECHANISMU

4.1. TĚLESO I



Obr. 23.: Uvolnění tělesa I

4.1.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY

$$F_x: R_{Cx} + R_{Lx} - R_{Ex} = 0 \quad (16)$$

$$F_y: R_{Ay} - R_{Cy} + R_{Ly} + R_{Ey} = 0 \quad (17)$$

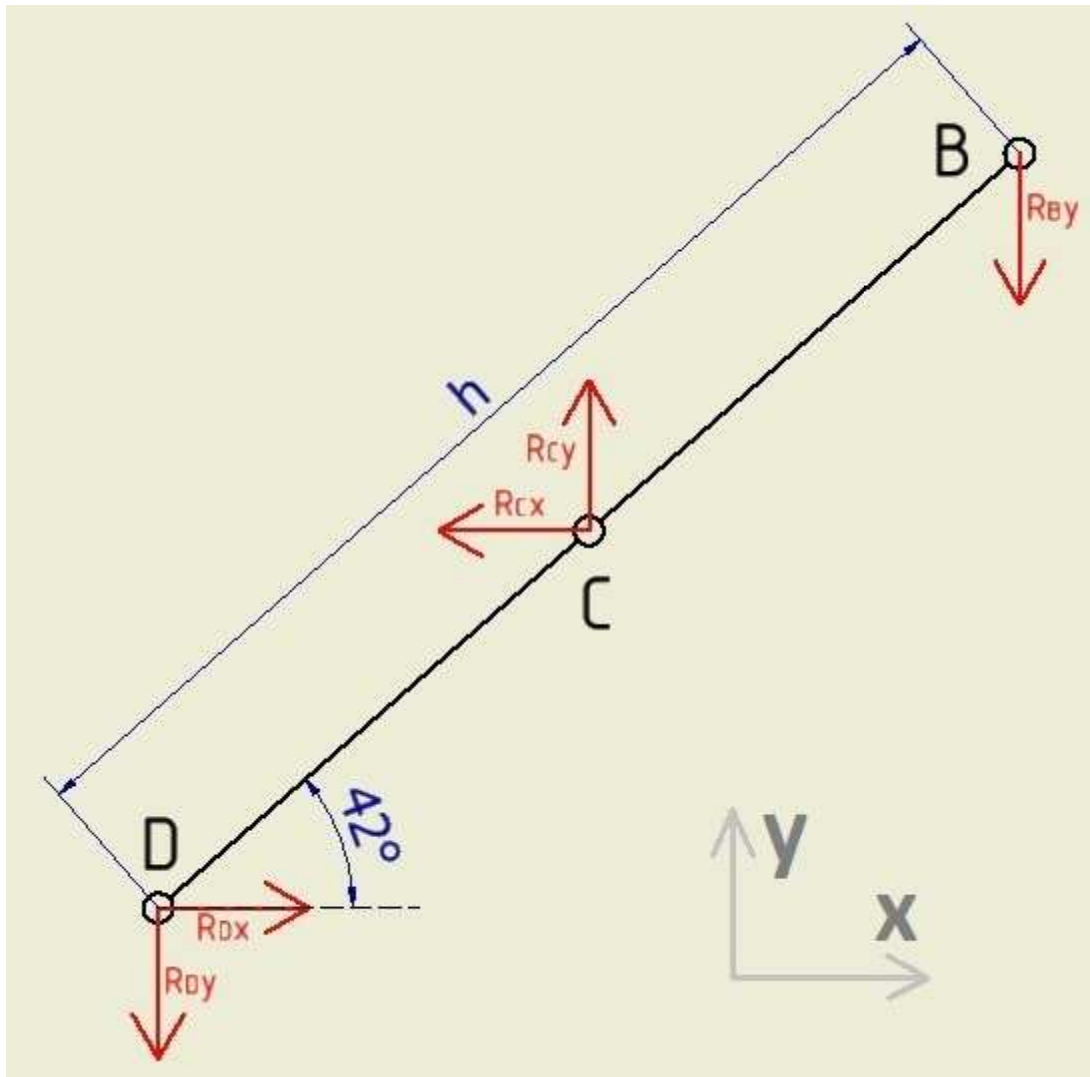
$$\begin{aligned}
 M_C: R_{Ly} \cdot \frac{h}{4} \cdot \cos 42^\circ - R_{Ay} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos 42^\circ + R_{Ey} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos 42^\circ + \\
 + R_{Lx} \cdot \frac{h}{4} \cdot \sin 42^\circ - R_{Ex} \cdot \frac{h}{2} \cdot \sin 42^\circ = 0 \quad (18)
 \end{aligned}$$

kde R_{Cx} a R_{Cy} jsou síly působící v bodě C, R_{Lx} a R_{Ly} v bodě L, R_{Ex} a R_{Ey} v bodě E a h je délka nosníku.

$$h = 1500 \text{ mm}$$



4.2. TĚLESO II



Obr. 24.: Uvolnění tělesa II

4.2.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY

$$F_x: R_{Dx} - R_{Cx} = 0 \quad (19)$$

$$F_y: R_{Cy} - R_{By} - R_{Dy} = 0 \quad (20)$$

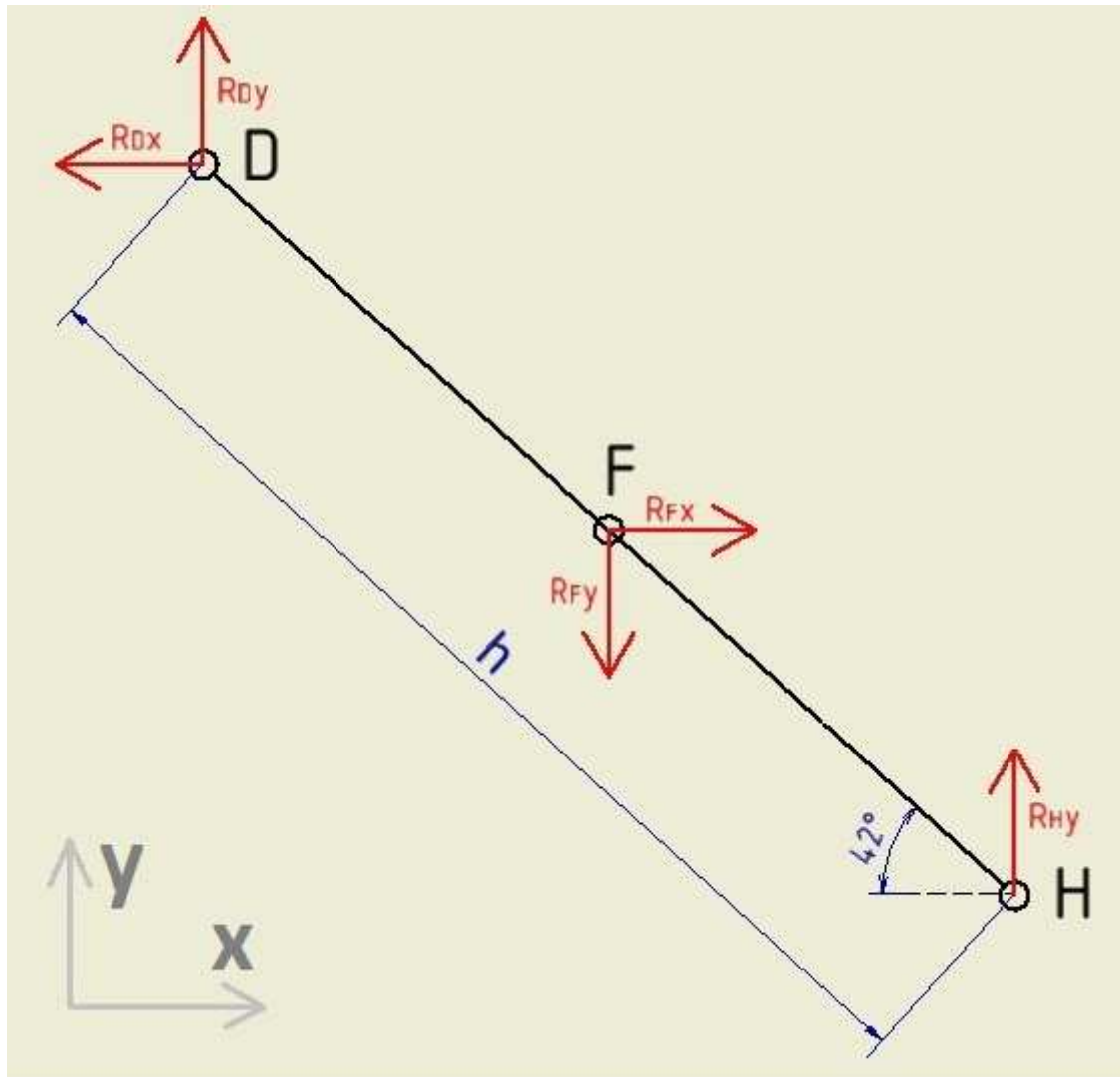
$$M_C: R_{Dy} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos 42^\circ - R_{By} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos 42^\circ + R_{Dx} \cdot \frac{h}{2} \cdot \sin 42^\circ = 0 \quad (21)$$

kde R_{Dx} a R_{Dy} jsou síly působící v bodě D, R_{Cx} a R_{Cy} v bodě C a h je délka nosníku.

$h = 1500 \text{ mm}$



4.3. TĚLESO III



Obr. 25.: Uvolnění tělesa III

4.3.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY

$$F_x: R_{Fx} - R_{Dx} = 0 \quad (22)$$

$$F_y: R_{Dy} - R_{Fy} + R_{Hy} = 0 \quad (23)$$

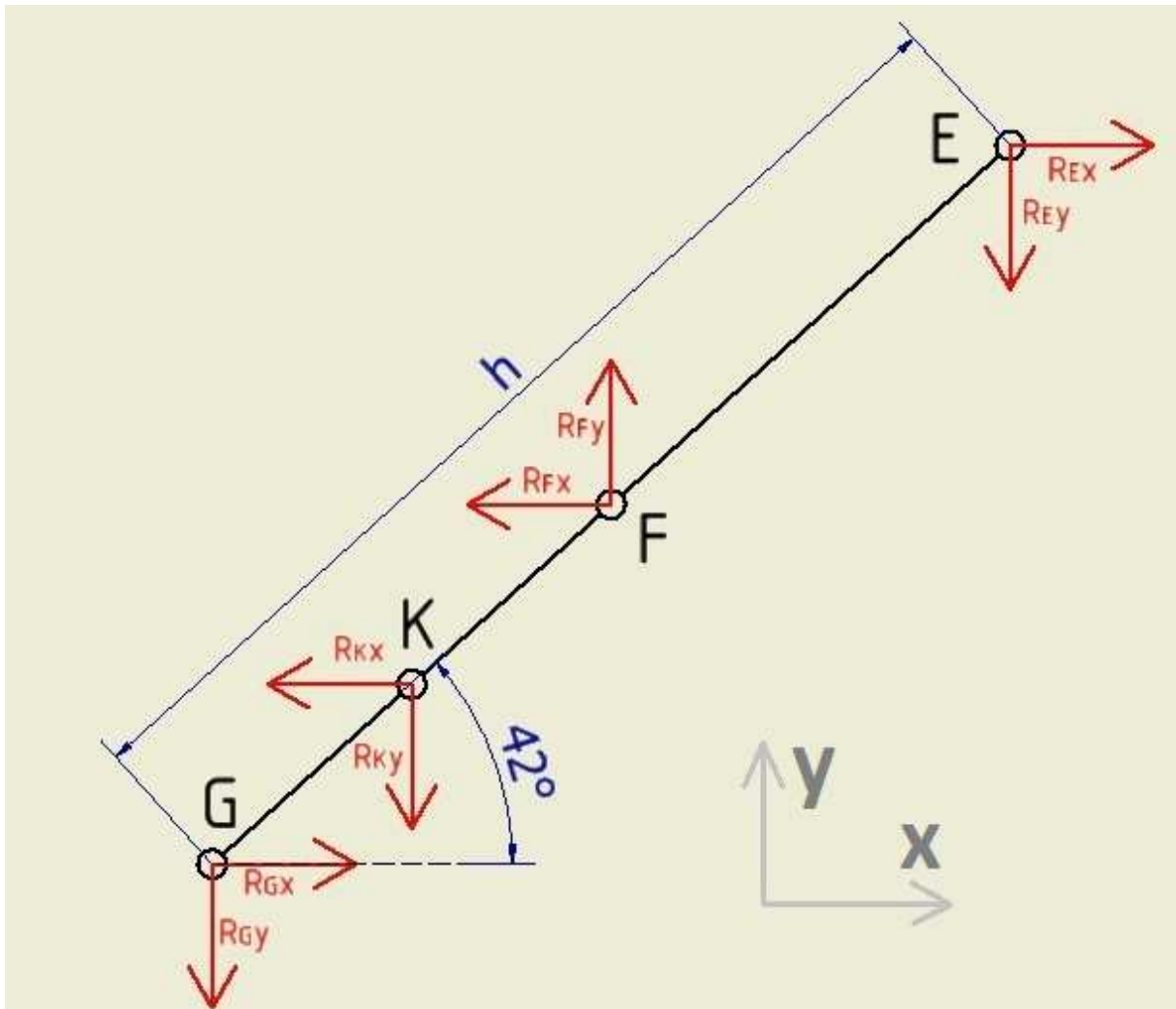
$$M_F: R_{Hy} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos 42^\circ - R_{Dy} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos 42^\circ + R_{Dx} \cdot \frac{h}{2} \cdot \sin 42^\circ = 0 \quad (24)$$

kde R_{Dx} a R_{Dy} jsou síly působící v bodě D, R_{Hy} v bodě H, R_{Fx} a R_{Fy} v bodě F a h je délka nosníku.

$$h = 1500 \text{ mm}$$



4.4. TĚLESO IV



Obr. 26.: Uvolnění tělesa IV

4.4.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY

$$F_x: R_{Ex} - R_{Fx} - R_{Kx} + R_{Gx} = 0 \quad (25)$$

$$F_y: R_{Fy} - R_{Ey} - R_{Ky} - R_{Gy} = 0 \quad (26)$$

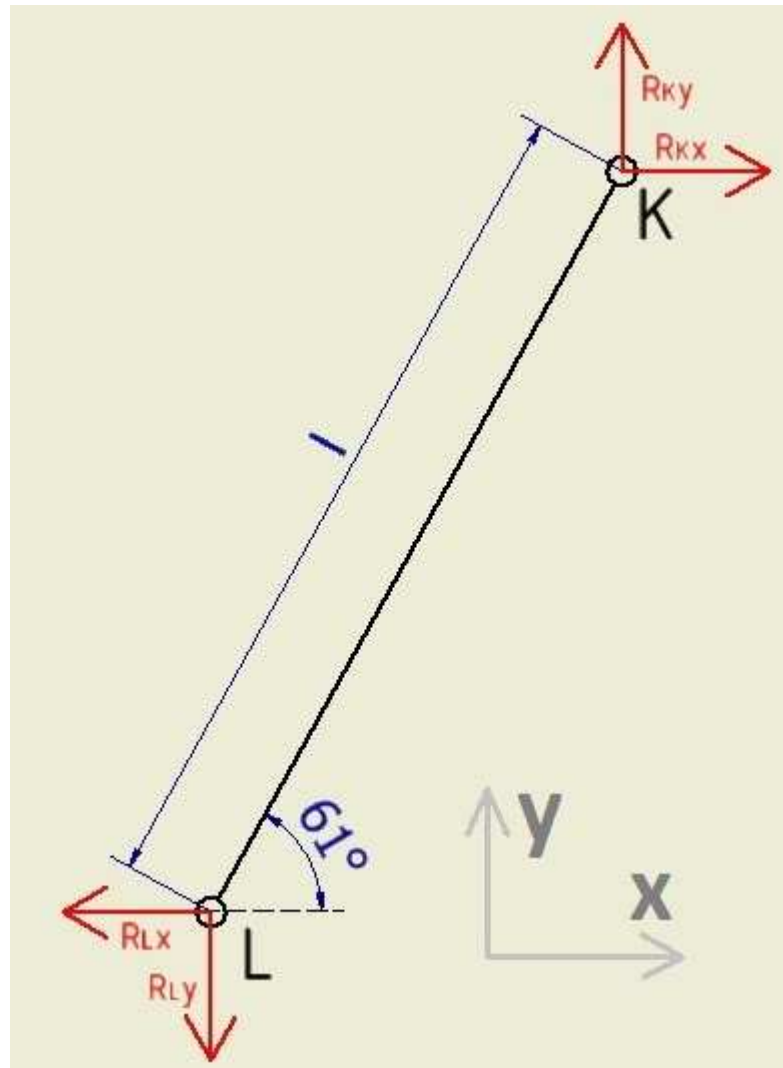
$$M_F: R_{Gy} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos 42^\circ + R_{Ky} \cdot \frac{h}{4} \cdot \cos 42^\circ - R_{Ey} \cdot \frac{h}{2} \cdot \cos 42^\circ + \\ + R_{Gx} \cdot \frac{h}{2} \cdot \sin 42^\circ - R_{Ex} \cdot \frac{h}{2} \cdot \sin 42^\circ - R_{Kx} \cdot \frac{h}{4} \cdot \sin 42^\circ = 0 \quad (27)$$

kde R_{Ex} a R_{Ey} jsou síly působící v bodě E, R_{Fy} a R_{Fx} v bodě F, R_{Kx} a R_{Ky} v bodě K, R_{Gx} a R_{Gy} v bodě G a h je délka nosníku.

$$h = 1500 \text{ mm}$$



4.5. TĚLESO V



Obr. 27: Uvolnění tělesa V

4.5.1. PODMÍNKY STATICKÉ ROVNOVÁHY

$$F_x: R_{Kx} - R_{Lx} = 0 \quad (28)$$

$$F_y: R_{Ky} - R_{Ly} = 0 \quad (29)$$

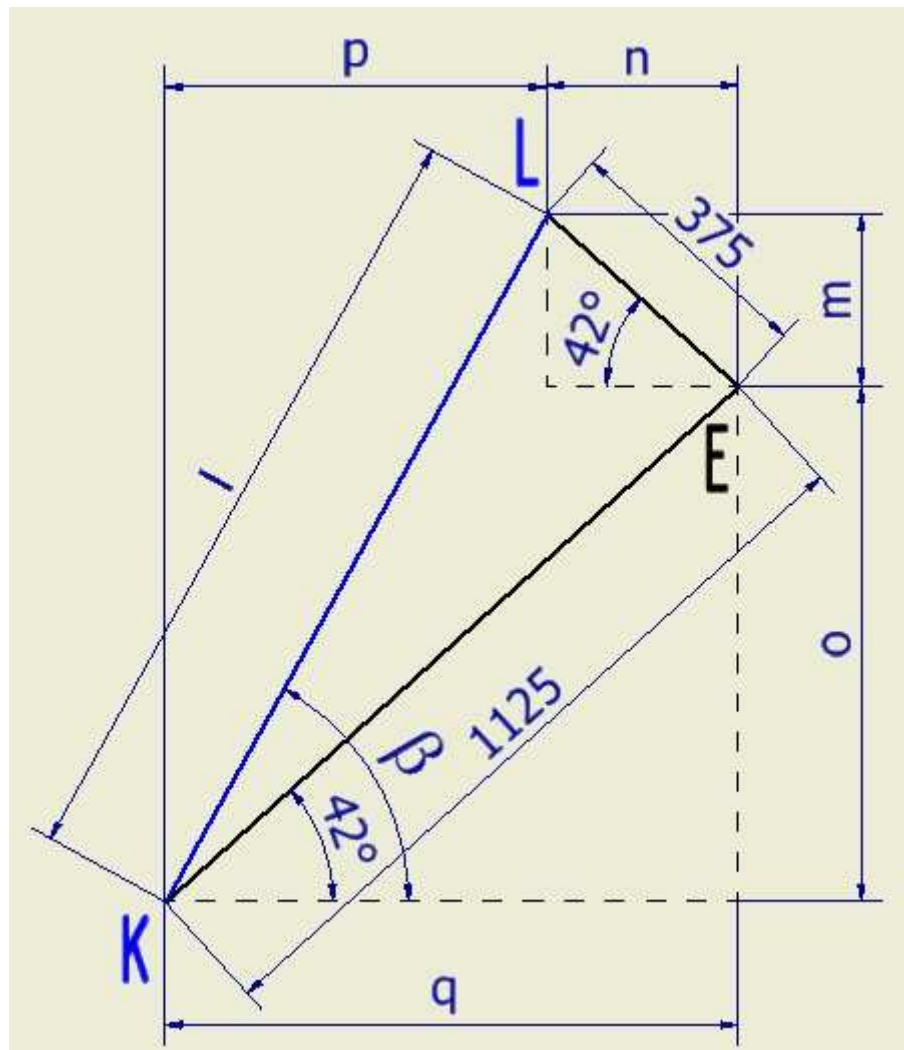
$$M_F: R_{Ky} \cdot \frac{l}{2} \cdot \cos 61^\circ + R_{Ly} \cdot \frac{l}{2} \cdot \cos 61^\circ - R_{Kx} \cdot \frac{l}{2} \cdot \sin 61^\circ - R_{Lx} \cdot \frac{l}{2} \cdot \sin 61^\circ = 0 \quad (30)$$

kde R_{Kx} a R_{Ky} jsou síly působící v bodě K, R_{Lx} a R_{Ly} v bodě L a l je délka nosníku.

$l = 1149 \text{ mm}$.



4.5.2. VÝPOČET DÉLKY HYDRAULICKÉHO PÍSTU



Obr. 28.: Parametry pístu

$$o = \sin 42^\circ \cdot 1125 = 753 \text{ mm}$$

$$q = \cos 42^\circ \cdot 1125 = 836 \text{ mm}$$

$$m = \sin 42^\circ \cdot 375 = 251 \text{ mm}$$

$$n = \cos 42^\circ \cdot 375 = 279 \text{ mm}$$

$$p = q - n = 836 - 279 = 557 \text{ mm}$$

$$l = \sqrt{p^2 + (o + m)^2} = \sqrt{557^2 + (753 + 251)^2} = 1149 \text{ mm}$$

4.6. VÝPOČET REAKCÍ

- po úpravách vznikne 15 rovnic o 15-ti neznámých:

$$R_Cx + R_Lx - R_Ex = 0$$

$$R_Ay - R_Cy + R_Ly + R_Ey = 0$$

$$\frac{1}{2} \cdot R_Ly \cdot \cos 42^\circ - R_Ay \cdot \cos 42^\circ + R_Ey \cdot \cos 42^\circ + \frac{1}{2} R_Lx \cdot \sin 42^\circ - R_Ex \cdot \sin 42^\circ = 0$$

$$R_Dx - R_Cx = 0$$

$$R_Cy - R_By - R_Dy = 0$$

$$R_Dy \cdot \cos 42^\circ - R_By \cdot \cos 42^\circ + R_Dx \cdot \sin 42^\circ = 0$$

$$R_Fx - R_Dx = 0$$

$$R_Dy - R_Fy + R_Hy = 0$$

$$R_Hy \cdot \cos 42^\circ - R_Dy \cdot \cos 42^\circ + R_Dx \cdot \sin 42^\circ = 0$$

$$R_Ex - R_Fx - R_Kx + R_Gx = 0$$

$$R_Fy - R_Ey - R_Ky - R_Gy = 0$$

$$R_Gy \cdot \cos 42^\circ + \frac{1}{2} \cdot R_Ky \cdot \cos 42^\circ - R_Ey \cdot \cos 42^\circ$$

$$+ R_Gx \cdot \sin 42^\circ - R_Ex \cdot \sin 42^\circ - \frac{1}{2} \cdot R_Kx \cdot \sin 42^\circ = 0$$

$$R_Kx - R_Lx = 0$$

$$R_Ky - R_Ly = 0$$

$$R_Ky \cdot \cos 61^\circ + R_Ly \cdot \cos 61^\circ - R_Kx \cdot \sin 61^\circ - R_Lx \cdot \sin 61^\circ = 0$$

- pro výpočet reakcí jsem použil program „jhmatika“, který je určen pro výpočty soustav rovnic. Jejich výsledky jsem zapsal do tabulky:

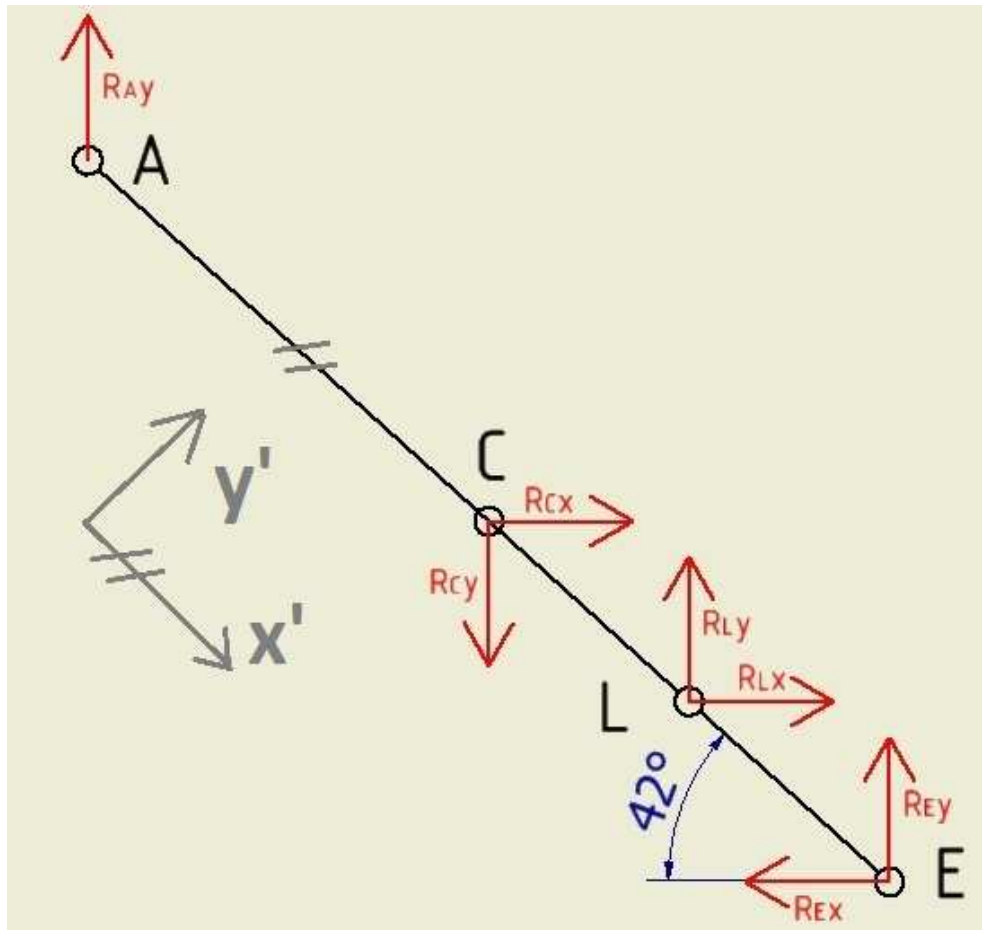
Tab. 1.: Síly působící v jednotlivých bodech

Složka síly	Velikost síly	Složka síly	Velikost síly
R _{CX}	4 928,25 N	R _{GX}	0 N
R _{CY}	13 310,42 N	R _{GY}	9 504,28 N
R _{DX}	4 928,25 N	R _{HY}	17 704,28 N
R _{DY}	4 437,42 N	R _{LX}	5 569,79 N
R _{EX}	10 498,04 N	R _{LY}	10 060,08 N
R _{EY}	2 577,34 N	R _{KX}	5 569,79 N
R _{FX}	4 928,25 N	R _{KY}	10 060,08 N
R _{FY}	22 141,7 N		



5. VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY

5.1. TĚLESO I



Obr. 29.: Rozložení sil v tělese I

5.1.1. VÝPOČET PRŮMĚTŮ

$$R_{Ax'} = -R_{Ay} \cdot \cos 48^\circ \quad (31)$$

$$R_{Ay'} = R_{Ay} \cdot \sin 48^\circ \quad (32)$$

$$R_{Cx'} = R_{Cx} \cdot \cos 42^\circ + R_{Cy} \cdot \cos 48^\circ \quad (33)$$

$$R_{Cy'} = R_{Cx} \cdot \sin 42^\circ - R_{Cy} \cdot \sin 48^\circ \quad (34)$$

$$R_{Lx'} = R_{Lx} \cdot \cos 42^\circ - R_{Ly} \cdot \cos 48^\circ \quad (35)$$

$$R_{Ly'} = R_{Lx} \cdot \sin 42^\circ + R_{Ly} \cdot \sin 48^\circ \quad (36)$$

$$R_{Ex'} = -R_{Ex} \cdot \cos 42^\circ - R_{Ey} \cdot \cos 48^\circ \quad (37)$$

$$R_{Ey'} = -R_{Ex} \cdot \sin 42^\circ + R_{Ey} \cdot \sin 48^\circ \quad (38)$$

kde reakce s čárkou jsou průměty sil do jednotlivých os x' a y' .



$$R_{Ax'} = -673 \cdot \cos 48^\circ = -450,3 \text{ N}$$

$$R_{Ay'} = 673 \cdot \sin 48^\circ = 500,1 \text{ N}$$

$$R_{Cx'} = 4\,928,25 \cdot \cos 42^\circ + 13\,310,42 \cdot \cos 48^\circ = 12\,568,8 \text{ N}$$

$$R_{Cy'} = 4\,928,25 \cdot \sin 42^\circ - 13\,310,42 \cdot \sin 48^\circ = -6\,593,9 \text{ N}$$

$$R_{Lx'} = 5\,569,79 \cdot \cos 42^\circ - 10\,060,08 \cdot \cos 48^\circ = -2\,592,3 \text{ N}$$

$$R_{Ly'} = 5\,569,79 \cdot \sin 42^\circ + 10\,060,08 \cdot \sin 48^\circ = 11\,203 \text{ N}$$

$$R_{Ex'} = -10\,498,04 \cdot \cos 42^\circ - 2\,577,34 \cdot \cos 48^\circ = -9\,526,1 \text{ N}$$

$$R_{Ey'} = -10\,498,04 \cdot \sin 42^\circ + 2\,577,34 \cdot \sin 48^\circ = -5\,109,2 \text{ N}$$

5.1.2. VÝPOČET MOMENTŮ

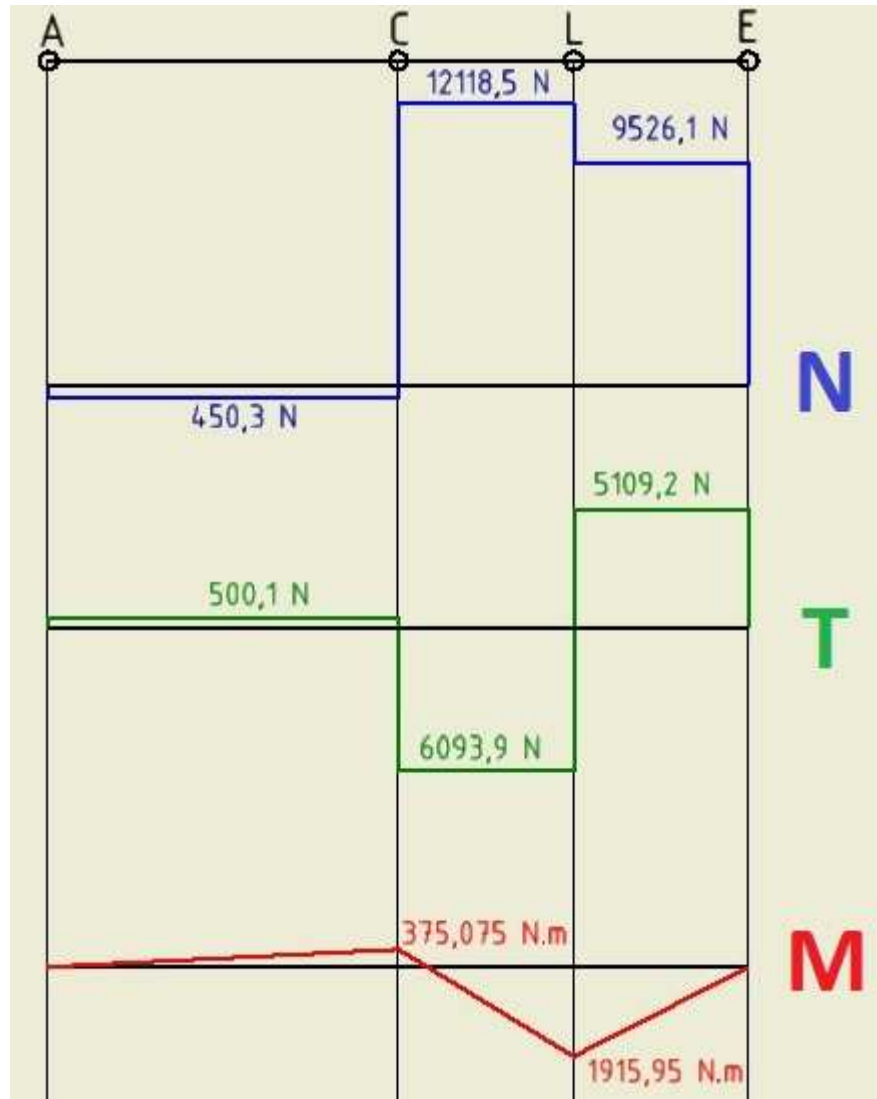
$$M_A = \frac{h}{2} \cdot |R_{Ay'}| \tag{39}$$

$$M_E = \frac{h}{4} \cdot |R_{Ey'}| \tag{40}$$

kde M_E a M_A jsou ohybové momenty.

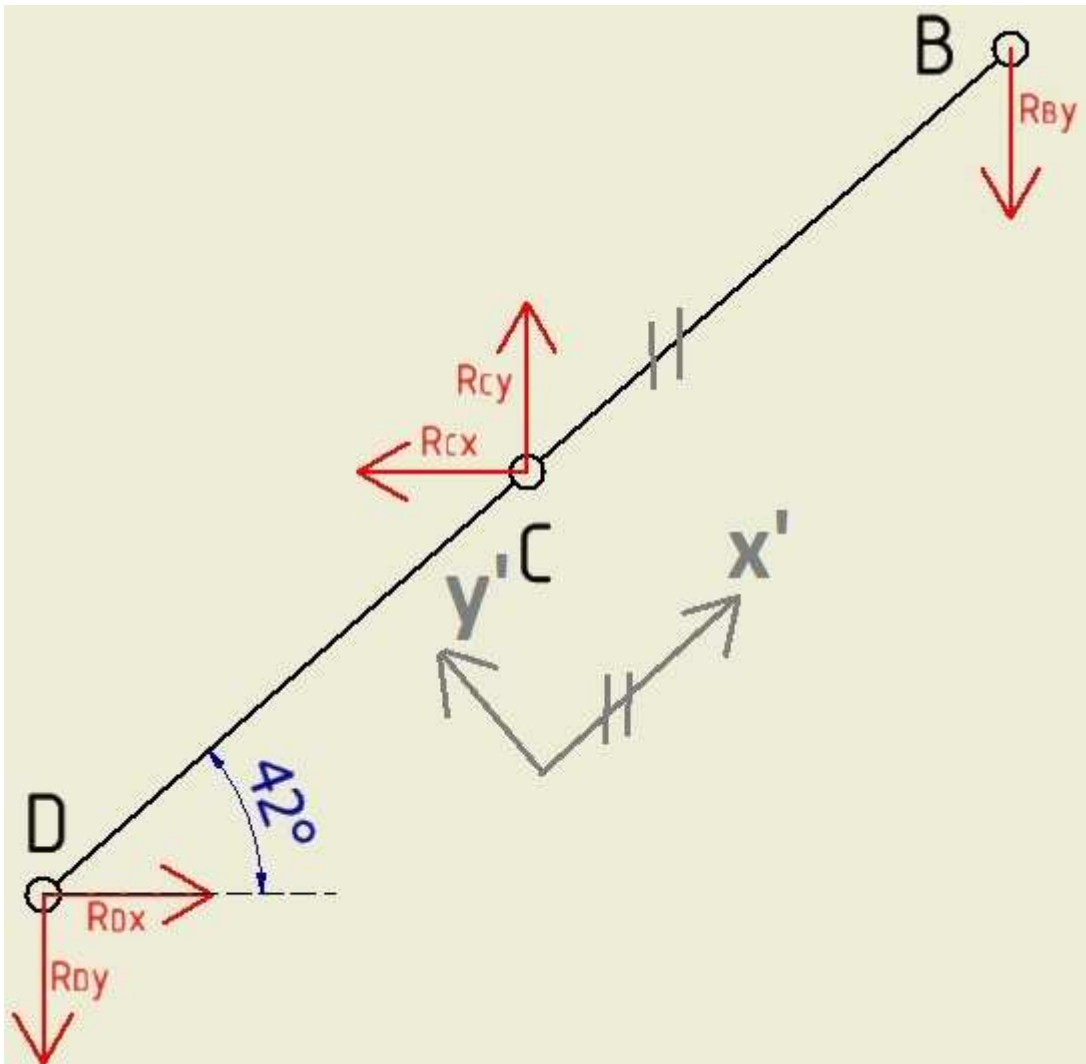
$$M_A = 0,75 \cdot |500,1| = 375,075 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_E = 0,375 \cdot |-5\,109,2| = 1\,915,95 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Obr. 30.: Výsledné vnitřní účinky tělesa I

5.2. TĚLESO II



Obr. 31.: Rozložení sil v tělese II

5.2.1. VÝPOČET PRŮMĚTŮ

$$R_{Dx'} = R_{Dx} \cdot \cos 42^\circ - R_{Dy} \cdot \cos 48^\circ \quad (41)$$

$$R_{Dy'} = -R_{Dx} \cdot \sin 42^\circ - R_{Dy} \cdot \sin 48^\circ \quad (42)$$

$$R_{Cx'} = -R_{Cx} \cdot \cos 42^\circ + R_{Cy} \cdot \cos 48^\circ \quad (43)$$

$$R_{Cy'} = R_{Cx} \cdot \sin 42^\circ + R_{Cy} \cdot \sin 48^\circ \quad (44)$$

$$R_{Bx'} = -R_{By} \cdot \cos 48^\circ \quad (45)$$

$$R_{By'} = -R_{By} \cdot \sin 48^\circ \quad (46)$$

kde reakce s čárkou jsou průměty sil do jednotlivých os x' a y' .



$$R_{Dx'} = 4\,928,25 \cdot \cos 42^\circ - 4\,437,42 \cdot \cos 48^\circ = 693,2 \text{ N}$$

$$R_{Dy'} = -4\,928,25 \cdot \sin 42^\circ - 4\,437,42 \cdot \sin 48^\circ = -6\,595,3 \text{ N}$$

$$R_{Cx'} = -4\,928,25 \cdot \cos 42^\circ + 13\,310,42 \cdot \cos 48^\circ = 5\,244 \text{ N}$$

$$R_{Cy'} = 4\,928,25 \cdot \sin 42^\circ + 13\,310,42 \cdot \sin 48^\circ = 13\,189,2 \text{ N}$$

$$R_{Bx'} = -8\,873 \cdot \cos 48^\circ = -5\,937,2 \text{ N}$$

$$R_{By'} = -8\,873 \cdot \sin 48^\circ = -6\,593,9 \text{ N}$$

5.2.2. VÝPOČET MOMENTŮ

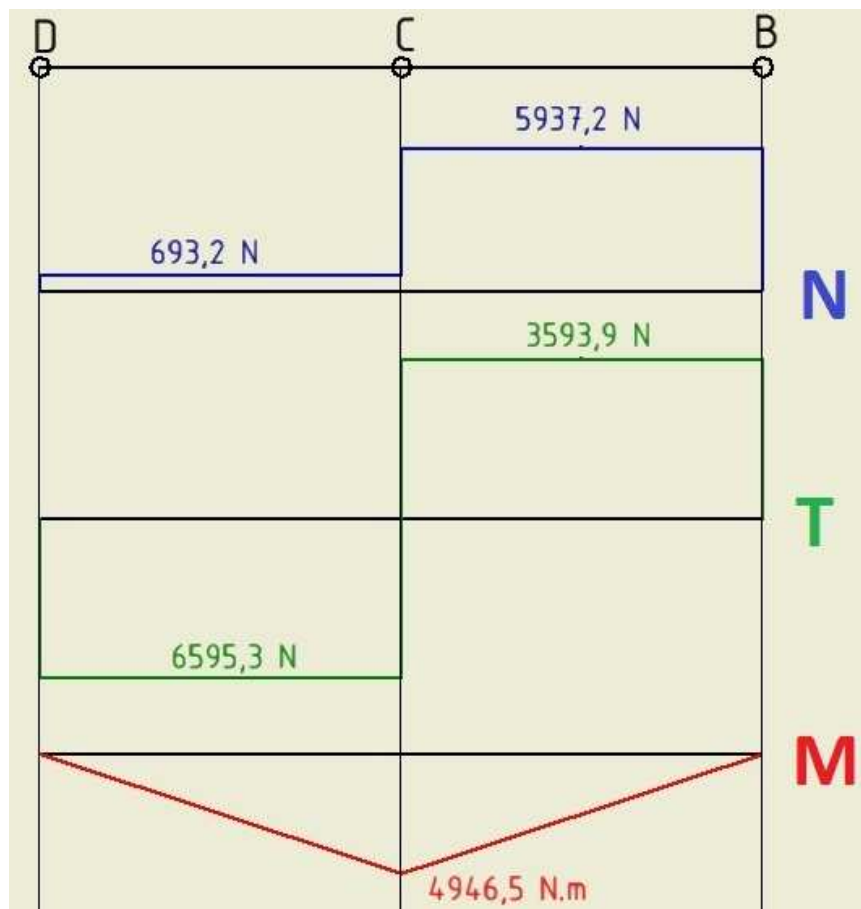
$$M_D = \frac{h}{2} \cdot |R_{Dy'}| \quad (47)$$

$$M_B = \frac{h}{2} \cdot |R_{By'}| \quad (48)$$

kde M_E a M_A jsou ohybové momenty.

$$M_D = 0,75 \cdot |-6\,595,3| = 4\,946,5 \text{ N.m}$$

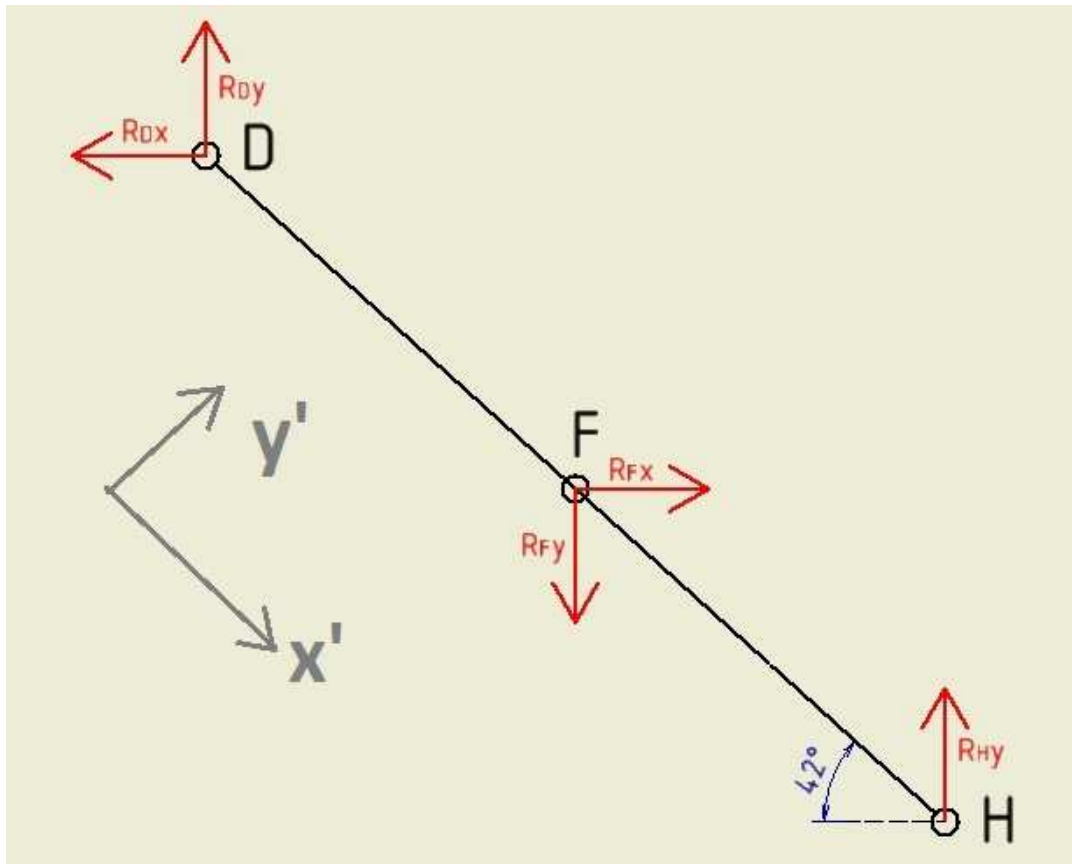
$$M_B = 0,75 \cdot |-6\,595,9| = 4\,945,4 \text{ N.m}$$



Obr. 32.: Výsledné vnitřní účinky tělesa II



5.3. TĚLESO III



Obr. 33.: Rozložení sil v tělese III

5.3.1. VÝPOČET PRŮMĚTŮ

$$R_{Dx'} = -R_{Dx} \cdot \cos 42^\circ - R_{Dy} \cdot \cos 48^\circ \quad (49)$$

$$R_{Dy'} = -R_{Dx} \cdot \sin 42^\circ + R_{Dy} \cdot \sin 48^\circ \quad (50)$$

$$R_{Fx'} = R_{Fx} \cdot \cos 42^\circ + R_{Fy} \cdot \cos 48^\circ \quad (51)$$

$$R_{Fy'} = R_{Fx} \cdot \sin 42^\circ - R_{Fy} \cdot \sin 48^\circ \quad (52)$$

$$R_{Hx'} = -R_{Hy} \cdot \cos 42^\circ \quad (53)$$

$$R_{Hy'} = R_{Hy} \cdot \sin 42^\circ \quad (54)$$

kde reakce s čárkou jsou průměty sil do jednotlivých os x' a y' .

$$R_{Dx'} = -4\,928,25 \cdot \cos 42^\circ - 4\,437,42 \cdot \cos 48^\circ = -6\,631,6 \text{ N}$$

$$R_{Dy'} = -4\,928,25 \cdot \sin 42^\circ + 4\,437,42 \cdot \sin 48^\circ = 0 \text{ N}$$

$$R_{Fx'} = 4\,928,25 \cdot \cos 42^\circ + 22\,141,7 \cdot \cos 48^\circ = 18\,478,1 \text{ N}$$

$$R_{Fy'} = 4\,928,25 \cdot \sin 42^\circ - 22\,141,7 \cdot \sin 48^\circ = -13\,156,8 \text{ N}$$

$$R_{Hx'} = -17\,704,28 \cdot \cos 48^\circ = -11\,846,5 \text{ N}$$

$$R_{Hy'} = 17\,704,28 \cdot \sin 48^\circ = 13\,156,8 \text{ N}$$



5.3.2. VÝPOČET MOMENTŮ

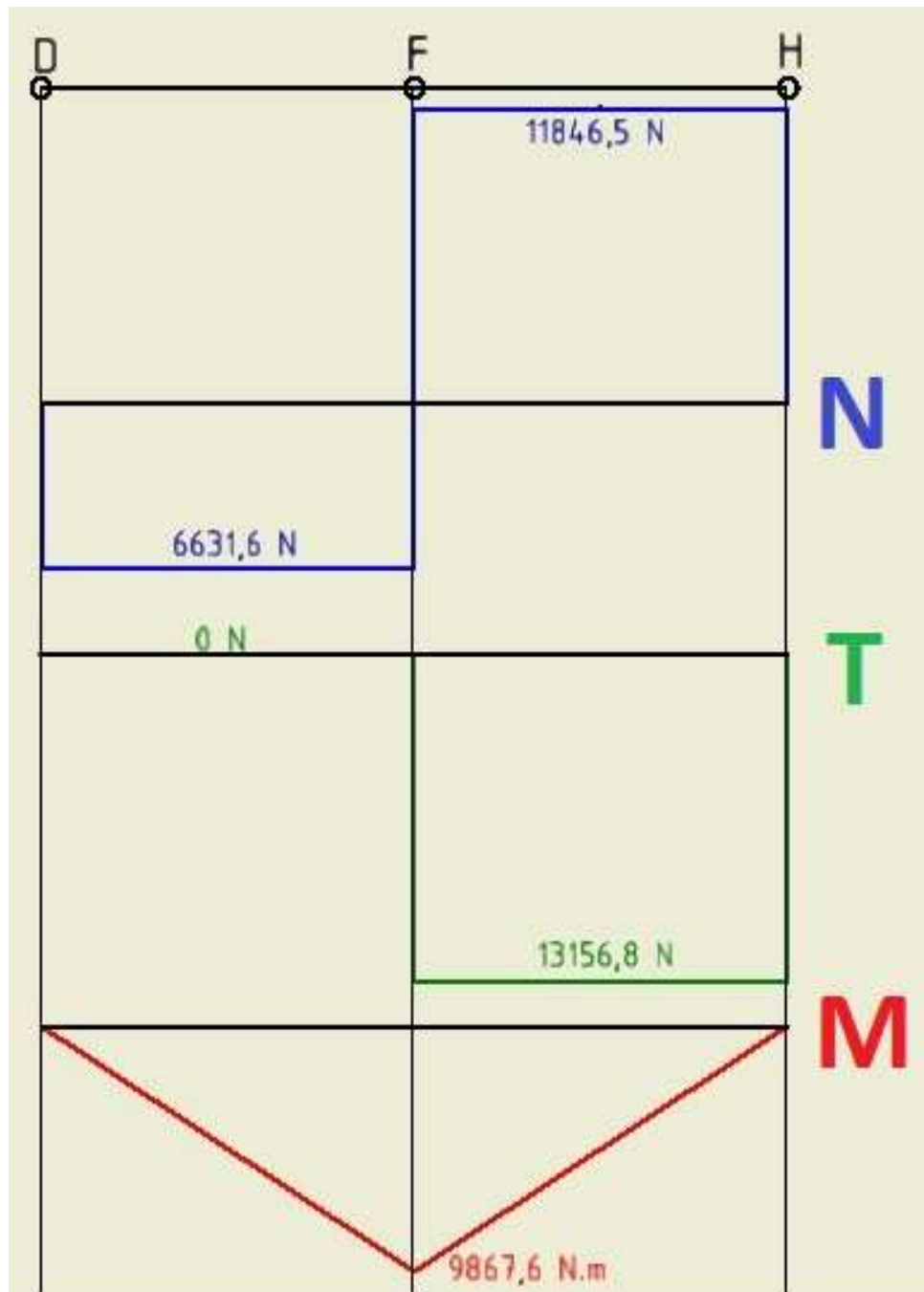
$$M_D = \frac{h}{2} \cdot |R_D y'| \quad (55)$$

$$M_H = \frac{h}{2} \cdot |R_H y'| \quad (56)$$

kde M_E a M_A jsou ohybové momenty.

$$M_D = 0,75 \cdot |0| = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

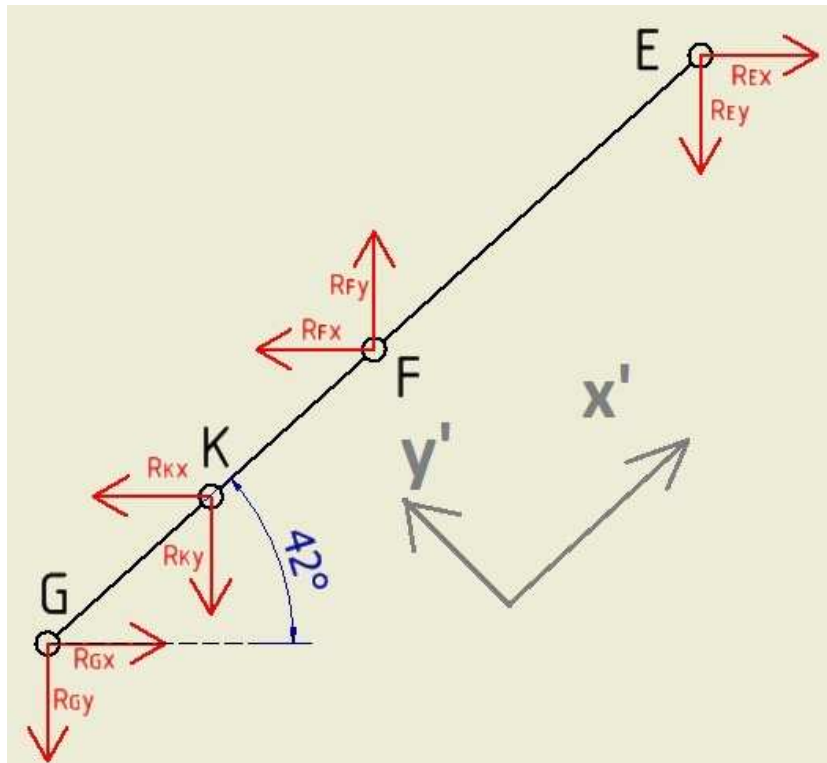
$$M_H = 0,75 \cdot |13\,156,8| = 9\,867,6 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Obr. 34.: Výsledné vnitřní účinky tělesa III



5.4. TĚLESO IV



Obr. 35.: Rozložení sil v tělese IV

5.4.1. VÝPOČET PRŮMĚTŮ

$$R_{Gx'} = R_Gx \cdot \cos 42^\circ - R_Gy \cdot \cos 48^\circ \quad (57)$$

$$R_{Gy'} = -R_Gx \cdot \sin 42^\circ - R_Gy \cdot \sin 48^\circ \quad (58)$$

$$R_{Kx'} = -R_Kx \cdot \cos 42^\circ - R_Ky \cdot \cos 48^\circ \quad (59)$$

$$R_{Ky'} = R_Kx \cdot \sin 42^\circ - R_Ky \cdot \sin 48^\circ \quad (60)$$

$$R_{Fx'} = -R_Fx \cdot \cos 42^\circ + R_Fy \cdot \cos 48^\circ \quad (61)$$

$$R_{Fy'} = R_Fx \cdot \sin 42^\circ + R_Fy \cdot \sin 48^\circ \quad (62)$$

$$R_{Ex'} = R_Ex \cdot \cos 42^\circ - R_Ey \cdot \cos 48^\circ \quad (63)$$

$$R_{Ey'} = -R_Ex \cdot \sin 42^\circ - R_Ey \cdot \sin 48^\circ \quad (64)$$

kde reakce s čárkou jsou průměty sil do jednotlivých os x' a y' .

$$R_{Gx'} = 0 \cdot \cos 42^\circ - 9\,504,28 \cdot \cos 48^\circ = -6\,359,6 \text{ N}$$

$$R_{Gy'} = -0 \cdot \sin 42^\circ - 9\,504,28 \cdot \sin 48^\circ = -7\,063,1 \text{ N}$$

$$R_{Kx'} = -5\,569,79 \cdot \cos 42^\circ - 10\,060,08 \cdot \cos 48^\circ = -10\,870,7 \text{ N}$$

$$R_{Ky'} = 5\,569,79 \cdot \sin 42^\circ - 10\,060,08 \cdot \sin 48^\circ = -3\,749,2 \text{ N}$$



$$R_{Fx'} = -4\,928,25 \cdot \cos 42^\circ + 22\,141,7 \cdot \cos 48^\circ = 11\,153,3 \text{ N}$$

$$R_{Fy'} = 4\,928,25 \cdot \sin 42^\circ + 22\,141,7 \cdot \sin 48^\circ = 19\,752,1 \text{ N}$$

$$R_{Ex'} = 10\,498,04 \cdot \cos 42^\circ - 2\,577,34 \cdot \cos 48^\circ = 6\,077 \text{ N}$$

$$R_{Ey'} = -10\,498,04 \cdot \sin 42^\circ - 2\,577,34 \cdot \sin 48^\circ = -8\,939,9 \text{ N}$$

5.4.2. VÝPOČET MOMENTŮ

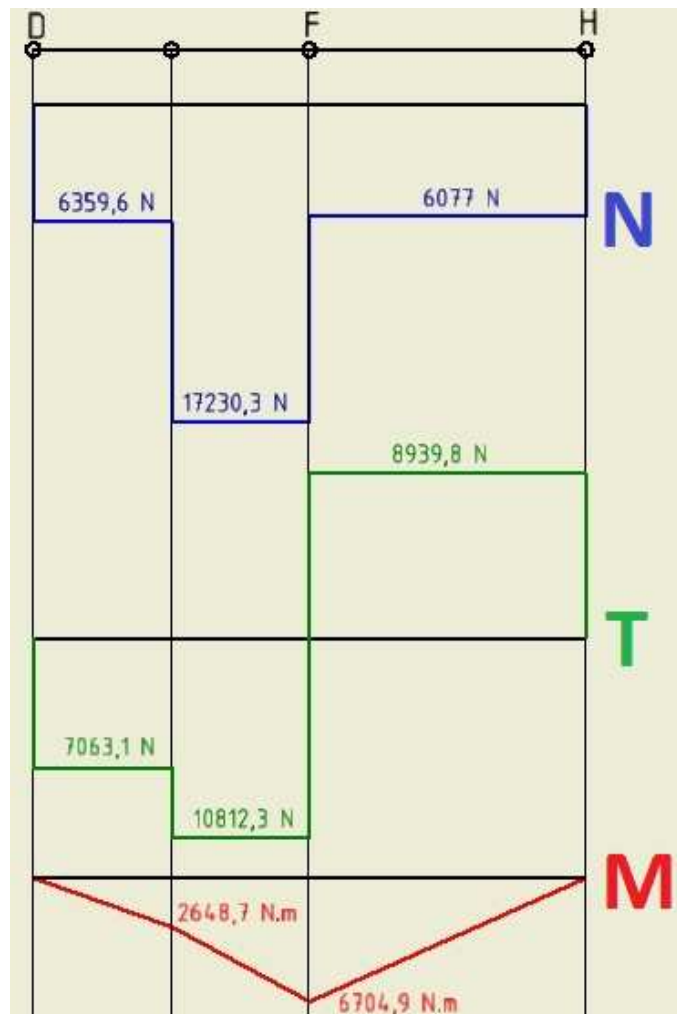
$$M_G = \frac{h}{4} \cdot |R_{Gy'}| \tag{65}$$

$$M_E = \frac{h}{2} \cdot |R_{Ey'}| \tag{66}$$

kde M_E a M_A jsou ohybové momenty.

$$M_G = 0,375 \cdot |-7\,063,1| = 2\,648,7 \text{ N.m}$$

$$M_E = 0,75 \cdot |-8\,939,9| = 6\,704,9 \text{ N.m}$$



Obr. 36.: Výsledné vnitřní účinky tělesa IV



6. VÝPOČET PRŮMĚRŮ ČEPŮ

- průměry čepů jsou počítány podle vzorce:

$$\tau_s = \frac{F}{S} \leq \tau_{sDov} \quad (67)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (68)$$

- spojením těchto dvou vzorců získáme vzorec pro minimální průměr čepu.

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \tau_{sDov}}}$$

- materiál čepů volím 12 020, jeho smykové napětí $\tau_{sDov} = 50 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ [2].



7. VÝPOČET SMYKOVÝCH SIL

- pro výpočet průměru čepu musím brát místo s největším smykovým zatížením, a proto výpočtu smykové síly v jednotlivých místech.

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \quad (69)$$

- postup pro výpočty všech čepů je stejný. Výsledky jsou zapsány do tabulky.

Tab. 2.: Smykové síly na čepy a jejich průměry

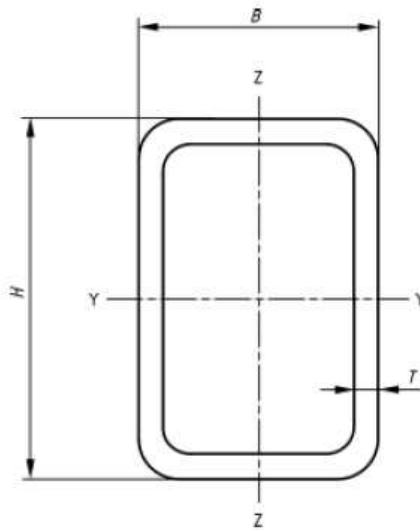
Síla	Velikost síly	Průměr čepu v daném místě	Průměr čepu
R_C	14 193,5 N	d_C	19,01 mm
R_D	6 631,6 N	d_D	13,01 mm
R_E	10 809,8 N	d_E	16,59 mm
R_F	22 683,5 N	d_F	24,03 mm
R_K	11 499 N	d_K	17,11 mm
R_G	9 504,28 N	d_G	15,6 mm

- volím jednotný průměr čepů pro všechny kontrolované a to $d_C = 25$ mm, přičemž síla R_K je síla působící na píst hydraulického válce.



8. NÁVRH PROFILU NOSNÍKU

- pro nosníky navrhují jácklový profil.



Obr. 37.: Průřez nosníku [8]

- materiál nosníků volím 11 523 (S355J0), který má $Re = 300 \text{ N.mm}^{-2}$,
 $Rm = 600 \text{ N.mm}^{-2}$, $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N.mm}^{-2}$ [1].

- maximální ohybový moment je v místě F, $M_F = M_o = 9\,867,6 \text{ N.m}$

- dle normy ČSN 1493:

$$\sigma_{DOV} = \frac{Re}{k} \quad (70)$$

$$\sigma_{DOV} = \frac{300}{2} = 150 \text{ N.mm}^{-2}$$

- od výrobce jsou dány tyto parametry [8]:

$$H = 120 \text{ mm}$$

$$B = 100 \text{ mm}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

$$S = 3044 \text{ mm}^2$$

$$J_{yy} = 5\,763\,500 \text{ mm}^4$$

$$J_{zz} = 4\,338\,300 \text{ mm}^4$$

$$W_{yy} = 96\,060 \text{ mm}^3$$

$$W_{zz} = 86\,770 \text{ mm}^3$$

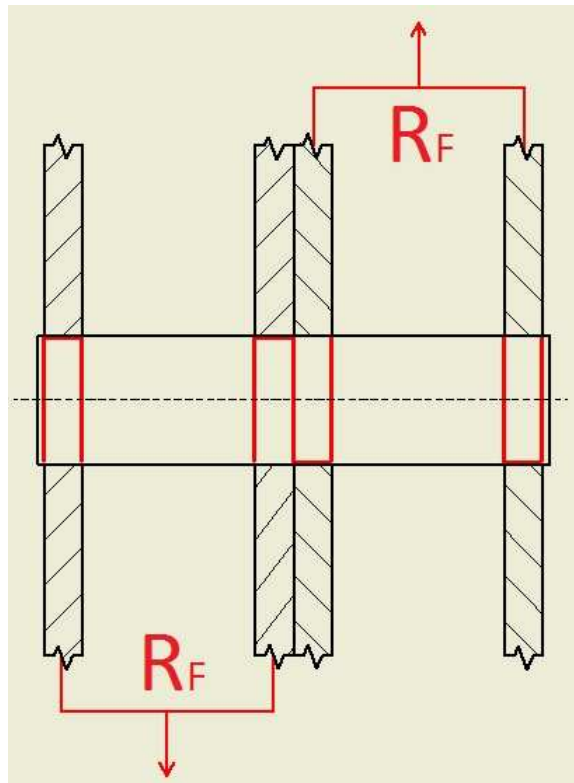
$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (71)$$

$$\sigma_o = \frac{9\,867,6 \cdot 10^3}{86\,770} = 113,7 \text{ N.mm}^{-2} < 150 \text{ N.mm}^{-2} \rightarrow \text{Nosník vyhovuje}$$



9. KONTROLA ČEPŮ NA OTLAČENÍ A OHYB

- pro zjednodušení budu kontrolovat pouze jeden čep a to ten, který je zatížen nejvíce, tedy čep v místě F. Pokud bude vyhovovat tento čep, budou vyhovovat i všechny ostatní. Dovolенý tlak pro materiál čepu 12 020 je $p_D = 110 \text{ MPa}$ a dovolené napětí v ohybu $\sigma_{oDOV} = 110 \text{ N.mm}^{-2}$ [2].



Obr. 38.: Zatížení čepu v místě F

9.1. KONTROLA NA OTLAČENÍ

- kontrolu na otláčení provedu podle známého vzorce:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{R_F}{2 \cdot d_{\check{c}} \cdot b} \leq p_D \quad (72)$$

kde síla F představuje smykové napětí na čep vypočtené v kapitole 7.

$$p = \frac{22\,683,5}{2 \cdot 25,8} = 56,71 \text{ MPa} < 110 \text{ MPa} \rightarrow \text{čep na otláčení vyhovuje}$$



9.2. KONTROLA NA OHYB

- kontrolu na ohyb provedu podle známých vzorců:

$$\sigma_{red} = \sqrt{3 \cdot \tau_s^2 + \sigma_o^2} \leq \sigma_{oDOV} \quad (73)$$

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{4 \cdot R_F}{\pi \cdot d_{\check{c}}^2} \quad (74)$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad (75)$$

$$M_o = \frac{1}{8} \cdot R_F \cdot (2 \cdot b + a) \quad (76)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^3}{32} \quad (77)$$

kde b je tloušťka profilu a a je v mém případě rovno 0.

$$W_o = \frac{\pi \cdot 25^3}{32} = 1\,534 \text{ mm}^{-2}$$

$$M_o = \frac{1}{8} \cdot 22\,683,5 \cdot 2,8 = 45\,367 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_o = \frac{45\,367}{1\,534} = 29,6 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$\tau_s = \frac{4 \cdot 22\,683,5}{\pi \cdot 25^2} = 46,2 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{3 \cdot 46,2^2 + 29,6^2} = 85,32 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} < 110 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \rightarrow \text{čep na ohyb vyhovuje}$$



10. VOLBA HYDRAULICKÉHO VÁLCE

- síla na válec je mezi body K a L o velikosti 11 499 N. Maximální délka hydraulického válce při vysunutí je 1 149 mm. Použijí dva hydraulické válce z katalogu firmy HYDRAULICS s.r.o. typu ZH-PL1, které má jmenovité tlaky ve válcích 20 MPa.
- pro určení velikosti válce jsem použil vzorec:

$$p = \frac{Fv}{2 \cdot Sv} \quad (78)$$

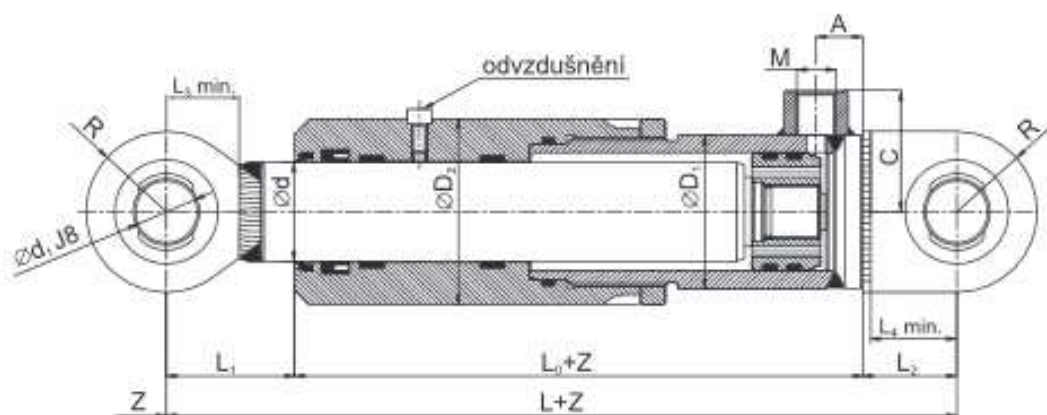
kde Sv je plocha válce, která je vynásobena dvěma díky použití dvou válců

$$Sv = \frac{Fv}{p} = \frac{\pi \cdot D_p^2}{2} \quad (79)$$

kde D_p je průměr hydraulického pístu

$$D_p = \sqrt{\frac{2 \cdot Fv}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 11\,499}{\pi \cdot 20}} = 19,13 \text{ mm}$$

- podle otvoru pro čep a požadovanému zdvihu hydraulického válce volím válec o průměru válce 90 mm a pístu 50 mm a průměru díry pro čep 25 mm.



Obr. 39.: Použitý hydraulický válec [9]

Tab. 3.: Rozměry hydraulického válce

Průměr pístní tyče	d	50 mm
Průměr válce	D_2	90 mm
Průměr díry pro čep	d_1	25 mm
Maximální zdvih	Z	1180 mm
Minimální délka válce	L_0	110 mm
Průměr oka	D	70 mm
Maximální tlak	-	25MPa
Jmenovitý tlak	-	20 MPa



ZÁVĚR

Na počátku práce jsem se lehce zaměřil na různá zvedací zařízení. V praktické části jsem se již věnoval konstrukčnímu návrhu zvedací plošiny realizované pomocí nůžkového mechanismu s hydraulickým pohonem. Podle zadaných parametrů jsem volil počet nůžkových dvojic, velikost pracovní plošiny, uložení hydromotorů, které jsem zvolil na obou koncích uchycené na nůžkovém mechanismu. Vedení je zajištěno pomocí čepů a kladek, které se dají zakoupit a jejichž kontrola nebyla mým úkolem.

V praktické části jsem nejprve zjistil nejnebezpečnější možnost zatížení plošiny, dále jsem uvolnil jednotlivá tělesa (nůžky) a vypočítal požadovanou délku vysunutého hydraulického válce s pístem. Dále jsem vypočítal vnitřní působení v jednotlivých tělesech. Navrhnul jsem průměry čepů a zkontroloval je na stříh, otláčení a ohyb. Mnou zvolený profil nosníku jsem zkontroloval také na ohyb. Těmito kontrolami jsem zjistil, že mnou navržené hodnoty plně vyhovují. Navrhnul jsem i minimální použitý hydraulický válec.

Jako doporučení bych navrhnul pojištění proti převrácení pracovní plošiny vhodným vedením kladky po spodním povrchu pracovní plošiny. Dále bych doporučil čepy s možností mazání a alespoň jednoduchými pouzdry.

Úloha byla řešena jako rovinná, a proto navržené profily a čepy musí být po obou stranách mechanismu.

Tato práce by mohla sloužit jako základní informace a jako návod pro řešení nebo návrh jednoduchého nůžkového mechanismu pro různá využití.



SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ŘASA, J. - ŠVERCL, J. *Strojnické tabulky pro školu a praxi 1*. Praha: Scienta, 2004. ISBN 80-7183-312-6
- [2] ŘASA, J. - ŠVERCL, J. *Strojnické tabulky pro školu a praxi 2*. Praha: Scienta, 2004. ISBN 978-80-86960-20-3
- [3] GRYGAŘÍK, V. *Nůžkový mechanismus zdvihací plošiny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 73 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.
- [4] TRENSINGER, J. *Návrh a konstrukce plošinového zvedáku*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, 2013. 142 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. František Volek, CSc.
- [5] FAJKUS, P. *Mobilní manipulační plošina nosnost 800 kg*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 37 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
- [6] ŠVEC, V. *Části a mechanism strojů, spoje a části spojovací* - skripta, 3. vydání, Praha: ČVUT v Praze, 2008. 169 s. ISBN 978-80-01-04138-3
- [7] ŠVEC, V. *Části a mechanism strojů, Mechanické převody* - skripta, Praha: ČVUT v Praze 2003. 174 s.
- [8] Sortimentální katalog. FERONA A.S. *Ferona* [online]. [cit. 2016-08-07]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php>
- [9] Výrobní katalog přímočarých motorů. HYDRAULICS S.R.O. *Hydraulics* [online]. 2009 [cit. 2016-08-07]. Dostupné z: <http://www.hydraulics.cz/cz/vyroba/vyroba-katalogovych-hydomotoru>



- [10] Výrobní katalog dvojitých nůžkových mechanismů. ČEMAT trading, spol.s.r.o., *Cemat* [online]. 2013 [cit. 2016-08-07]. Dostupné z: http://www.cemat.cz/userfiles/file/plosiny_2_e.pdf
- [11] TECHNOSTROJ [online] - *Zdvihací stroje*. [cit. 2016-08-07]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/S/S01.pdf>
- [12] INSTITUT DOPRAVY VŠB-TU [online] - *Jeřáby názvosloví*. [cit. 2016-08-07]. Dostupné z: http://www.342.vsb.cz/hra42/jer_3.pdf
- [13] Katalog kluzných pouzder. SKF. *Tpb* [online]. 2000 [cit. 2016-08-07]. Dostupné z: <http://www.tpb.cz/editor/filestore/File/SKF%20-%20KluznaPouzdra.pdf>
- [14] Sortimentální katalog. KLADEXE s.r.o. *Kladexa* [online]. 2016.[cit. 2016-08-07]. Dostupné z: <http://www.kladexa.cz/produkty/elektricke-lanove-kladkostroje/typ-t/elektricky-lanovy-kladkostroj-patkovy-typ-t01/>
- [15] Nákladní výtahy. GMV Martini CZ, s.r.o. *GMV Martini CZ* [online] 2016. [cit. 2016-08-07]. Dostupné z: <http://www.hlc-gmv.cz/vytahy/nakladni.html>
- [16] *Strojírenství*. [online] 2016 .[cit. 2016-08-07]. Dostupné z: <http://strojirenstvi.studentske.cz/2010/11/17-zdvihadla-jeřaby.html>
- [17] Sortimentální katalog. PROFO HK, a.s., *Profo HK* [online]. 2012. [cit. 2016-08-07]. Dostupné z: <http://www.profo.cz/zvedaky/pneumaticke-zvedaky/>
- [18] Sortimentální katalog. Jiří Kubů Autotechnik ASG. *Autotechni ASG* [online], 2014. [cit. 2016-08-07]. Dostupné z: http://www.autotechnik-asg.cz/s_09zvedaky.html



- [19] Sortimentální katalog. Konstruktis-Delta s.r.o. *Hanse Lifter* [online], 2014.
[cit. 2016-08-07]. Dostupné z:
http://www.hanselifter.cz/staticke_nuzkove_plosiny_dsht.html
- [20] Sortimentální katalog. PM-Portal GmbH. *Machinery Park*, [online], 2016.
[cit. 2016-08-07]. Dostupné z:
<http://de.machinerypark.com/scherenb%C3%BChne-haulotte-arbeitsb%C3%BChne-haulotte-compact-8-elektro-317-gebraucht-de-64658>



SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

R_Ax	[N]	Síla v podpoře A ve směru x
R_Ay	[N]	Síla v podpoře A ve směru y
R_Bx	[N]	Síla v podpoře B ve směru x
R_By	[N]	Síla v podpoře B ve směru y
R_Cx	[N]	Síla v bodě C ve směru x
R_Cy	[N]	Síla v bodě C ve směru y
R_Dx	[N]	Síla v bodě D ve směru x
R_Dy	[N]	Síla v bodě D ve směru y
R_Ex	[N]	Síla v bodě E ve směru x
R_Ey	[N]	Síla v bodě E ve směru y
R_Fx	[N]	Síla v bodě F ve směru x
R_Fy	[N]	Síla v bodě F ve směru y
R_Gx	[N]	Síla v bodě G ve směru x
R_Gy	[N]	Síla v bodě G ve směru y
R_Hx	[N]	Síla v bodě H ve směru x
R_Hy	[N]	Síla v bodě H ve směru y
R_Kx	[N]	Síla v bodě K ve směru x
R_Ky	[N]	Síla v bodě K ve směru y
R_Lx	[N]	Síla v bodě L ve směru x
R_Ly	[N]	Síla v bodě L ve směru y
R_Ax'	[N]	Průmět síly v podpoře A do osy x'
R_Ay'	[N]	Průmět síly v podpoře A do osy y'
R_Bx'	[N]	Průmět síly v podpoře B do osy x'
R_By'	[N]	Průmět síly v podpoře B do osy y'
R_Cx'	[N]	Průmět síly v bodě C do osy x'
R_Cy'	[N]	Průmět síly v bodě C do osy y'
R_Dx'	[N]	Průmět síly v bodě D do osy x'
R_Dy'	[N]	Průmět síly v bodě D do osy y'
R_Ex'	[N]	Průmět síly v bodě E do osy x'
R_Ey'	[N]	Průmět síly v bodě E do osy y'
R_Fx'	[N]	Průmět síly v bodě F do osy x'



$R_F y'$	[N]	Průmět síly v bodě F do osy y'
$R_G x'$	[N]	Průmět síly v bodě G do osy x'
$R_G y'$	[N]	Průmět síly v bodě G do osy y'
$R_H x'$	[N]	Průmět síly v bodě H do osy x'
$R_H y'$	[N]	Průmět síly v bodě H do osy y'
h	[mm]	Délka těles nůžkového mechanismu
l	[mm]	Délka pístu
g	[m.s ⁻²]	Tíhové zrychlení
m_k	[kg]	Hmotnost koše
m	[kg]	Zatížení plošiny
R_C	[N]	Smyková síla na čep v místě C
R_D	[N]	Smyková síla na čep v místě D
R_E	[N]	Smyková síla na čep v místě E
R_F	[N]	Smyková síla na čep v místě F
R_G	[N]	Smyková síla na čep v místě G
R_K	[N]	Smyková síla na čep v místě K
d_C	[mm]	Průměr čepu v místě C
d_D	[mm]	Průměr čepu v místě D
d_E	[mm]	Průměr čepu v místě E
d_F	[mm]	Průměr čepu v místě F
d_G	[mm]	Průměr čepu v místě G
d_K	[mm]	Průměr čepu v místě K
$d_{\check{c}}$	[mm]	Sjednocený průměr čepů
M_A	[N.m]	Ohybový moment v místě C na tělese I
M_E	[N.m]	Ohybový moment v místě L na tělese I
M_D	[N.m]	Ohybový moment v místě C na tělese II
M_B	[N.m]	Ohybový moment v místě C na tělese II
M_G	[N.m]	Ohybový moment v místě K na tělese III
τ_S	[N.mm ⁻²]	Smykové napětí
τ_{SDOV}	[N.mm ⁻²]	Dovolené smykové napětí
J_{yy}	[mm ⁴]	Kvadratický moment průřezu k soe y
J_{zz}	[mm ⁴]	Kvadratický moment průřezu k ose z



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.: Podpěrný jeřáb [12].....	11
Obr. 2.: Jeřáb s hákem [12]	11
Obr. 3.: Portálový otočný jeřáb [12]	11
Obr. 4.: Stacionární jeřáb [12]	11
Obr. 5.: Věžový jeřáb [12]	11
Obr. 6.: Palubní jeřáb [12]	11
Obr. 7.: Elektrický kladkostroj [14]	12
Obr. 8.: Výtah pro přepravu osob a nákladů [15]	12
Obr. 9.: Šroubový zvedák [16]	13
Obr. 10.: Pneumatický zvedák [17]	13
Obr. 11.: Hřebenový zvedák [16]	14
Obr. 12.: Hydraulický zvedák [16]	14
Obr. 13.: Jednosloupový zvedák [18]	15
Obr. 14.: Dvousloupový zvedák [18]	15
Obr. 15.: Pevná dvojnůžková zvedací plošina s hydraulickými válci [19]	16
Obr. 16.: Mobilní dvojnůžková zvedací plošina s hydraulickým válcem [19]	16
Obr. 17.: Vícenůžkový zvedací mechanismus s výsuvnou pracovní plošinou a zábradlím [20]	16
Obr. 18.: Schematické zobrazení nůžkového mechanismu.....	18
Obr. 19.: I. způsob zatížení - uprostřed.....	20
Obr. 20.: II. způsob zatížení - v podpoře A.....	21
Obr. 21.: III. způsob zatížení - v podpoře B.....	22
Obr. 22.: IV. způsob zatížení - na konci.....	23
Obr. 23.: Uvolnění tělesa I.....	24
Obr. 24.: Uvolnění tělesa II.....	25
Obr. 25.: Uvolnění tělesa III.....	26
Obr. 26.: Uvolnění tělesa IV.....	27
Obr. 27.: Uvolnění tělesa V.....	28
Obr. 28.: Parametry pístu.....	29
Obr. 29.: Rozložení sil v tělese I.....	31
Obr. 30.: Výsledné vnitřní účinky tělesa I.....	33
Obr. 31.: Rozložení sil v tělese II.....	34
Obr. 32.: Výsledné vnitřní účinky tělesa II.....	35
Obr. 33.: Rozložení sil v tělese III.....	36



<i>Obr. 34.: Výsledné vnitřní účinky tělesa III.....</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 35.: Rozložení sil v tělese IV.....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 36.: Výsledné vnitřní účinky tělesa IV.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 37.: Průřez nosníku.....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 38.: Zatížení čepu v místě F.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 39.: Použitý hydraulický válec.....</i>	<i>45</i>



SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1.: Síly působící v jednotlivých bodech.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 2.: Smykové síly na čepy a jejich průměry.....</i>	<i>41</i>
<i>Tab. 3.: Rozměry hydraulického válce.....</i>	<i>45</i>



SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1.: NŮŽKOVÝ MECHANISMUS V HORNÍ POLOZE

Příloha č. 2.: NŮŽKOVÝ MECHANISMUS V DOLNÍ POLOZE

Příloha č. 3.: UCHYCENÍ PÍSTŮ NA MECHANISMU

Příloha č. 4.: ZVEDACÍ PLOŠINA - SESTAVA