



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## DIFERENCIÁLNÍ KLADKOSTROJE

DIFFERENTIAL TACKLES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Mahel

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

BRNO 2020



# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	<b>Pavel Mahel</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2019/20

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

## Diferenciální kladkostroje

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh samosvorného diferenciálního kladkostroje včetně nosné konstrukce dle zadaných parametrů.  
Výška zdvihu 9750 mm.  
Nosnost 450 kg.

### Cíle bakalářské práce:

Návrh samosvorného diferenciálního kladkostroje dle výsledků rešerše.  
Návrh nosné konstrukce kladkostroje.  
Provedení důležitých pevnostních výpočtů.  
Vypracování technické zprávy.  
Nakreslení sestavného výkresu zařízení a vybraných detailních výkresů.

### Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.).  
Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

KOVÁČ, Milan a Vladimír KLAPITA. Manipulácia s materiálom v doprave. 1. vyd. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 8080701741.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a pevnostním výpočtem samosvorného diferenciálního kladkostroje. Kladkostroj bude mít nosnost 450 kg, maximální výška zdvihu bude 9750 mm. Po zvolení vhodného typu diferenciálního kladkostroje následuje popis konstrukce jednotlivých dílů. Dále se práce zabývá výpočtem kladek a posouzením samosvornosti. Poté je provedena pevnostní kontrola namáhaných částí kladkostroje. Přílohu práce tvoří zadaná výkresová dokumentace.

## KLÍČOVÁ SLOVA

diferenciální kladkostroj, svařovaný řetěz, řetězová kladka, rám, hák, samosvornost

## ABSTRACT

This bachelor thesis deals with design and strength calculation of self-locking differential hoist. The hoist will have a lifting capacity of 450 kg, the maximum lifting height will be 9750 mm. After selecting a suitable type of differential hoist, the construction of individual parts follows. Furthermore, the work deals with the calculation of pulleys and self-locking assessment. Then the stressed parts of the chain block are checked. The work is accompanied by drawing documentation.

## KEYWORDS

differential tackle, welded chain, chain pulley, frame, hook, self-locking

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MAHEL, Pavel. *Diferenciální kladkostroje*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124972>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Jiří Malášek.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 15. června 2020

.....

Pavel Mahel

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a vstřícnost při tvorbě bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během studia.

## OBSAH

Úvod.....	11
1 Cíle bakalářské práce.....	12
2 Rozdělení kladkostrojů.....	13
3 Diferenciální kladkostroje.....	14
3.1 Thompsonův diferenciální kladkostroj.....	14
3.2 Moorův diferenciální kladkostroj.....	15
3.3 Westonův diferenciální kladkostroj.....	16
4 Vlastní konstrukce kladkostroje.....	17
4.1 Volba řetězu.....	18
4.2 Dvojitá řetězová kladka.....	20
4.3 Kladka dolní kladnice.....	21
4.4 Čepy.....	21
4.4.1 Čep dvojitě řetězové kladky.....	21
4.4.2 Čep dolní kladnice.....	22
4.5 Ložiska.....	22
4.5.1 Kluzné ložisko dvojitě řetězové kladky.....	22
4.5.2 Kluzné ložisko dolní kladnice.....	23
4.5.3 Axiální ložisko.....	23
4.6 Příčník.....	23
4.7 Rám kladkostroje.....	24
4.7.1 Rám dvojitě řetězové kladky.....	24
4.7.2 Rám dolní kladnice.....	25
4.8 Hák.....	25
4.9 Matice háku.....	26
4.10 Přídržky.....	26
4.11 Distanční kroužky.....	26
4.12 Závěsný šroub.....	27
4.13 Nosná konstrukce.....	28
5 Výpočty kladkostroje.....	29
5.1 Výpočty kladek.....	29
5.1.1 Větší kolo dvojitě řetězové kladky.....	30

5.1.2	Menší kolo dvojité řetězové kladky.....	33
5.1.3	Kladka dolní kladnice.....	35
5.2	Kontrola samosvornosti.....	37
5.2.1	Účinnost kladek.....	37
5.2.2	Podmínka samosvornosti.....	39
5.2.3	Bezpečnost samosvornosti.....	39
5.3	Síly ovlivňující kladkostroj.....	39
5.3.1	Hmotnosti dílů kladkostroje.....	39
5.3.2	Síla, která zatěžuje řetěz.....	40
5.3.3	Ovládací síly.....	40
5.3.4	Převodový poměr.....	42
5.3.5	Účinnost kladkostroje.....	42
5.3.6	Rovnováha sil.....	42
6	Pevnostní kontrola.....	43
6.1	Kontrola čepů.....	43
6.1.1	Čep dvojité řetězové kladky.....	43
6.1.2	Čep dolní kladnice.....	45
6.2	Kontrola rámu.....	46
6.2.1	Rám dvojité řetězové kladky.....	47
6.2.2	Rám dolní kladnice.....	49
6.3	Kontrola svarů.....	51
6.4	Kontrola příčnicku.....	52
6.4.1	Kontrola na ohyb uprostřed příčnicku.....	53
6.4.2	Kontrola na smyk a otláčení.....	54
6.5	Kontrola háku.....	55
6.6	Kontrola na otláčení v závitech.....	56
6.6.1	Závit závěsného šroubu.....	56
6.6.2	Závit háku.....	57
	Závěr.....	59
	Použité informační zdroje.....	60
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	61
	Seznam příloh.....	65

## ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí diferenciálního kladkostroje s nosností 450 kg. Diferenciální kladkostroj může znamenat několik typů kladkostrojů. V této práci vycházím z Westonova kladkostroje.

Velkou výhodou tohoto kladkostroje, v případě správné konstrukce, je samosvornost. Díky této vlastnosti je možné zastavit zavěšené břemeno během zvedání či spouštění bez dalšího zajištění nebo brzdění.

Začátek práce se zabývá jednotlivými typy diferenciálních kladkostrojů. Následuje popis konstrukce zvoleného typu kladkostroje. Poté je provedena kontrola namáhaných součástí kladkostroje.

V současné době jsou diferenciální kladkostroje méně využívány kvůli nízké účinnosti. V dnešní době jsou spíše využívány jiné druhy zvedacích zařízení, jejichž výhodou je rychlejší zdvih a větší nosnost. Ty ovšem nejsou samosvorné, proto musí být břemeno zajištěno proti pádu (např. brzdou).

## 1 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Návrh samosvorného diferenciálního kladkostroje dle výsledků rešerše.

Návrh nosné konstrukce kladkostroje.

Provedení důležitých pevnostních výpočtů.

Vypracování technické zprávy.

Nakreslení sestavného výkresu zařízení a vybraných detailních výkresů.

## 2 ROZDĚLENÍ KLADKOSTROJŮ

Kladkostroje dělíme podle různých kritérií, například:

### **Dle spojovacího a nosného členu**

- lanové
- řetězové

### **Dle druhu pohonu**

- elektrické
- ruční

### **Dle konstrukce**

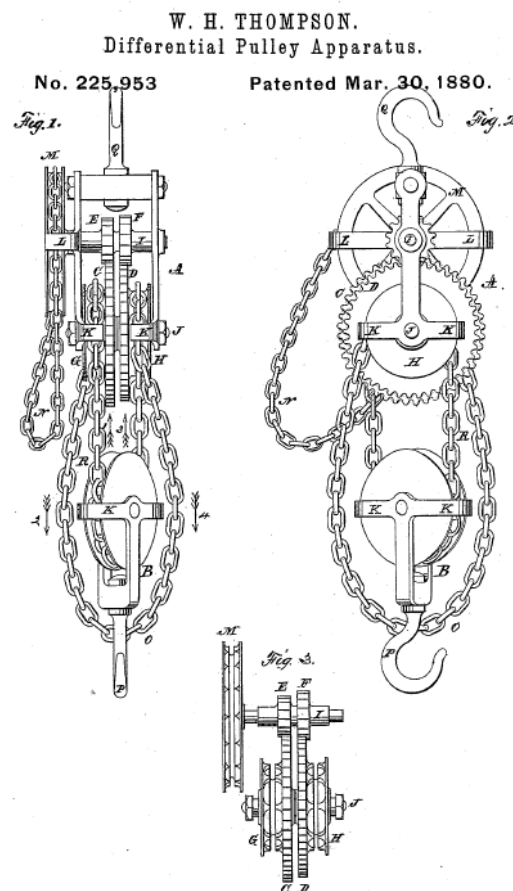
- šroubový se šnekovým převodem
- šroubový s čelními koly
- násobné
- diferenciální

### 3 DIFERENCIÁLNÍ KLADKOSTROJE

Používají se ke zvedání břemen větších hmotností. Diferenciální kladkostroj bývá většinou ovládán lidskou silou, může být ovládán i elektrickým pohonem. Existuje několik typů diferenciálních kladkostrojů. Pro návrh konstrukce si zvolím vhodnou variantu kladkostroje.

#### 3.1 THOMPSONŮV DIFERENCIÁLNÍ KLADKOSTROJ

Jedná se o ručně ovládaný kladkostroj, tažným prvkem je řetěz. Skládá se z horního bloku dvojitě kladky (A) a spodního bloku jednoduché kladky (B). Tyto díly jsou propojeny nekonečným zdvihacím řetězem. Horní blok je na konci opatřen závěsným hákem (Q). Spodní blok má na konci také hák (P), ten slouží k zavěšení břemene. Kladky v horním bloku (GH) jsou stejného průměru a na stranách mají ozubená kola různého průměru (CD). Ozubené kladky se otáčejí nezávisle na sobě okolo čepu (J). Ozubená kola jsou dána do pohybu díky dvěma pastorkům různého průměru (EF). Pastorky (EF) jsou pevně spojeny s hřídelí (I). To znamená, že oba pastorky se otáčejí současně. Hřídel (I) je ovládána řetězovým kolem za pomoci ručně ovládaného řetězu. Kladky (GH) se otáčejí zároveň, ale každá jinou rychlostí. Je to dáno rozdílným průměrem ozubených kol a pastorků. Při zvedání břemene se jedna část řetězu navíjí rychleji, než se druhá odvíjí. Tím pádem dochází ke zvedání břemene. Pokud spouštíme břemeno, je to obráceně. Podle toho, jestli břemeno zvedáme nebo spouštíme, dochází ke zvětšení nebo zmenšení volné části řetězu.

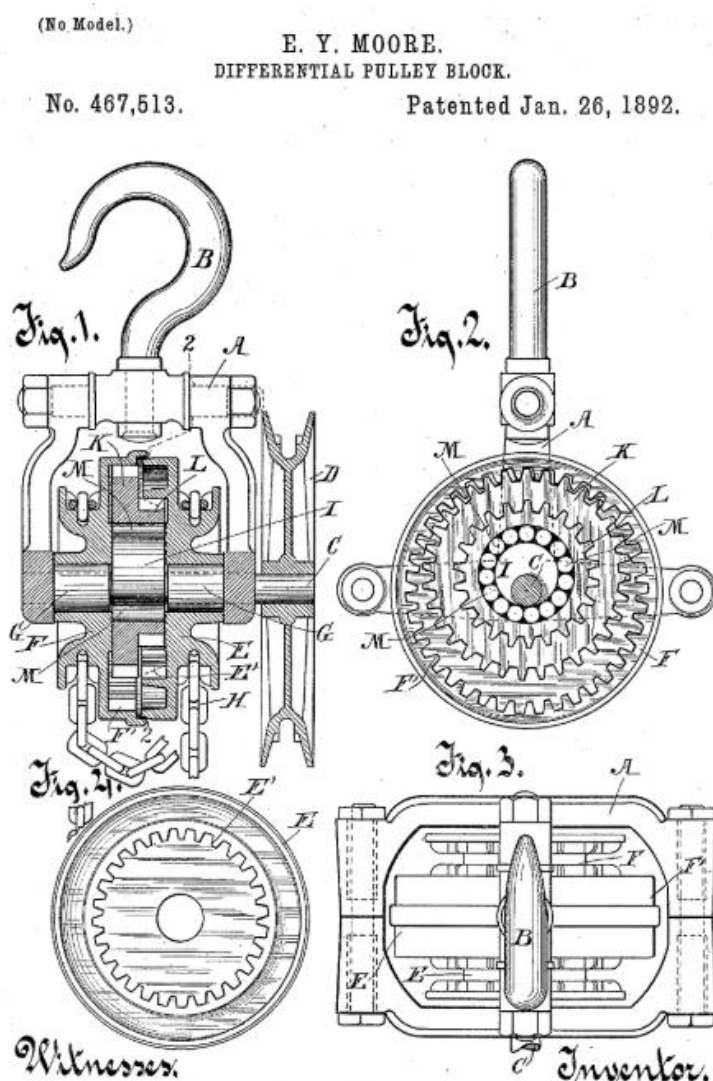


Obr. 1 Thompsonův diferenciální kladkostroj [9]

### 3.2 MOORŮV DIFERENCIÁLNÍ KLADKOSTROJ

Moorův diferenciální kladkostroj se skládá z rámu kladnice (A), který má vhodný tvar, aby podpíral pracovní mechanismus. Kladnice je zavěšena na otočném háku (B). Hřídel (C) je upevněna v rámu. Na konci hřídele je uloženo řetězové kolo (D). Nekonečný řetěz (na obrázku není znázorněn) se pohybuje spolu s hřídelí. Řetěz II se otáčí na dvou kolech (E) a (F). Řetěz je uspořádán tak, že se pohybuje přes jedno kolo (např. kolo E) zepředu dozadu nebo opačně. Břemeno je nesené třmenem (na obrázku není znázorněn) připojeným k volným koncům řetězu. Mezi koly (E) a (F) se nachází válcový výstředník (I) připevněný na hřídeli, se kterou se otáčí. Na výstředníku se nachází dvojitě ozubené kolo (KL). Válečky (M) jsou umístěny mezi koly a excentrem. Tyto válečky slouží jako valivá ložiska dvojitěho kola (KL). Řetězové kolo (E) zabírá svými zuby s menším ozubeným kolem (L), které má menší počet zubů než kolo (E). Řetězové kolo (F) zabírá s ozubeným kolem kola (K), které je menší a má menší počet zubů než ozubené kolo (F).

Vzhledem ke zvláštní konstrukci a uspořádání několika kol a jejich ložisek v tomto zařízení, jsou odpory takové, že díky tření hmotnost zátěže řetězu nezvrátí pohyb zařízení, ani nedovolí nákladu klesat kvůli jeho gravitaci.



Obr. 2 Moorův diferenciální kladkostroj [10]

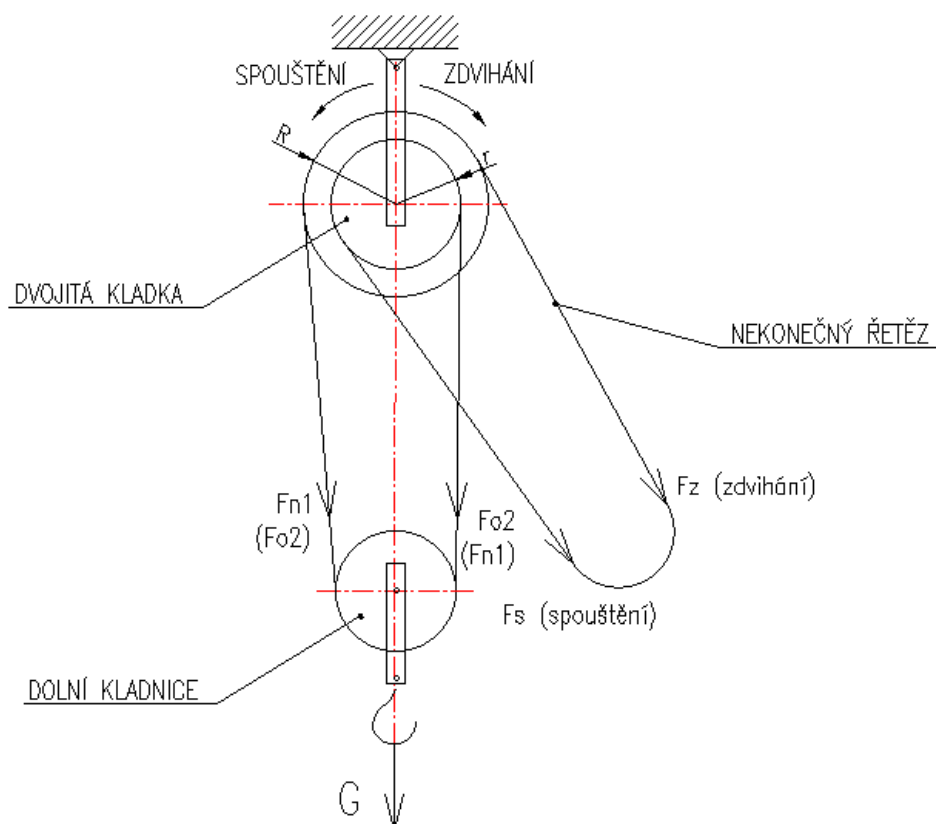
### 3.3 WESTONŮV DIFERENCIÁLNÍ KLADKOSTROJ

Westonův diferenciální kladkostroj se skládá z pevné kladnice, v níž jsou spojeny 2 ozubené kladky různého poloměru  $R$  a  $r$  v jediný celek. Dále se skládá z pohyblivé kladnice, kde je jedna kladka bez ozubení, na které je zavěšeno břemeno. Okolo těchto tří kladek je veden nekonečný řetěz tvořící dvě smyčky. Jedna smyčka obtáčí spodní kladku, druhá smyčka je volná. Za ni se tahá při zvedání břemene. Pokud se břemeno spouští, táhneme na druhou stranu. Řetěz plní nosnou i poháněcí funkci. Mezi výhody tohoto typu kladkostroje patří samosvornost a jednoduchá konstrukce. Nevýhodou je poměrně rychlé opotřebení řetězu.

Pro svou bakalářskou práci jsem si zvolil návrh Westonova kladkostroje, který je nejpoužívanější z diferenciálních kladkostrojů.

Princip Westonova diferenciálního kladkostroje:

Dvojitá ozubená kladka se otáčí jako 1 celek. Skládá se z větší kladky o poloměru  $R$  s počtem zubů  $Z_1$  a menší kladky o poloměru  $r$  s počtem zubů  $Z_2$ . Větší kladka má oproti menší kladce vyšší počet zubů, většinou o 1 až 2 zuby. Zatáhneme-li směrem síly  $F$  o dráhu  $s=2\pi R$ , dvojkladka se pootočí o  $360^\circ$ . Oblouk lana, na kterém je zavěšena dolní kladnice, se zkrátí o  $2\pi R - 2\pi r$ . Nosné průřezy lana jsou 2, proto břemeno  $G$  se zvedne o  $\frac{1}{2}(2\pi R - 2\pi r)$ .

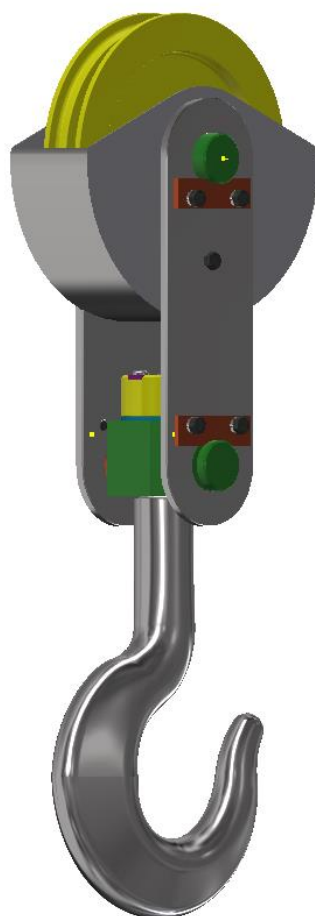


Obr. 3 Schéma Westonova diferenciálního kladkostroje

## 4 VLASTNÍ KONSTRUKCE KLADKOSTROJE



*Obr. 4 Model horní kladnice*



*Obr. 5 Model dolní kladnice*

## 4.1 VOLBA ŘETĚZU

V nabídce firmy Řetězárna a.s. byl zvolen svařovaný břemenový řetěz pro řetězová zdvihadla ČSN EN 818-7. Řetěz je namáhám tíhou břemene a hmotností dolní kladnice. V následujícím výpočtu bereme v úvahu pouze zatížení od břemene. Parametry svařovaného řetězu jsou zobrazeny v Tab. 1.

**Zatížení působením břemene:**

$$Q_{bř} = m_{bř} \cdot g \quad (4.1)$$

$$Q_{bř} = 450 \cdot 9,81$$

$$Q_{bř} = 4414,5 \text{ N}$$

**Dovolené zatížení řetězu:**

Kladkostroj musí mít součinitel bezpečnosti nejméně 4 dle ČSN EN 13157+A1. Volím součinitel bezpečnosti  $k = 5$ .

$$Q_{dř} = \frac{Q_{bř} \cdot k}{i} \quad (4.2)$$

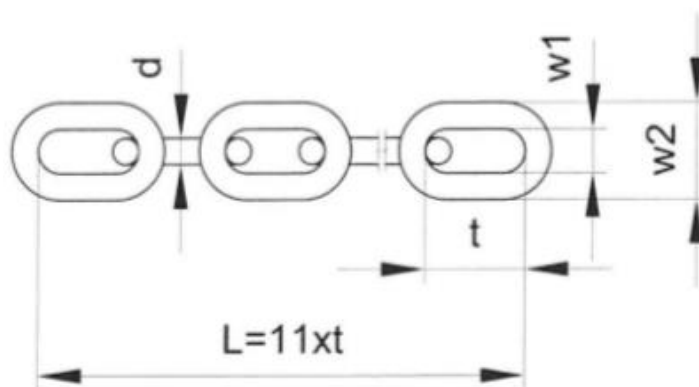
$$Q_{dř} = \frac{4414,5 \cdot 5}{2}$$

$$Q_{dř} = 11038,75 \text{ N}$$

Kde:

$i$  = počet nosných průřezů [-]

$k$  = součinitel bezpečnosti kladkostroje [-]



Obr. 6 Schéma řetězu [11]

Tab. 1 Parametry svařovaného řetězu [11]

tloušťka	rozteč	šířka		hmotnost	nosnost	zatížení	
		vnitřní	vnější			zkušební	trhací
d	t	w1	w2				
mm	mm	mm	mm	kg/m	kg	kN	kN
4	12 <sup>+0,15</sup> <sub>-0,1</sub>	4,8	13,6	0,35	500	12,6	20,1
5	15 <sup>+0,2</sup> <sub>-0,1</sub>	6	17	0,54	800	19,9	31,4
6	18 <sup>+0,25</sup> <sub>-0,1</sub>	7,2	20,4	0,8	1100	28,3	45,2
7	21 <sup>+0,25</sup> <sub>-0,15</sub>	8,4	23,8	1,1	1500	38,5	61,6

Na základě dovoleného zatížení řetězu a nosnosti zvolen řetěz 5x15 dle ČSN EN 818-7

Průměr jednoho článku řetězu  $d = 5$  mm

Rozteč řetězu  $t = 15$  mm

Horní úchylka rozteče řetězu  $\Delta t = 0,2$  mm

Maximální šířka článku řetězu  $w_2 = 17$  mm

**Délka řetězu:**

$$l_{\check{r} \min} = 4 \cdot h_z + \frac{\pi(D_{\check{r}1} + D_{\check{r}2} + D_{k3})}{2} \quad (4.3)$$

$$l_{\check{r} \min} = 4 \cdot 9,75 + \frac{\pi(0,143 + 0,134 + 0,135)}{2}$$

$$l_{\check{r} \min} = 39,65 \text{ m}$$

Volím délku řetězu:  $l_{\check{r}} = 40$  m

Kde:

$l_{\check{r} \min}$  = minimální délka řetězu [mm]

$l_{\check{r}}$  = délka řetězu [mm]

$h_z$  = výška zdvihu kladkostroje [mm]

$D_{\check{r}1}, D_{\check{r}2}, D_{k3}$  = roztečné průměry kladek [mm]

**Hmotnost řetězu:**

$$m_{\check{r}} = m_{\check{r}m} \cdot l_{\check{r}} = 0,54 \cdot 40 \quad (4.4)$$

$$m_{\check{r}} = 21,6 \text{ kg}$$

Kde:

$m_{\check{r}}$  = hmotnost řetězu [kg]

$m_{\check{r}m}$  = měrná hmotnost řetězu [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ ]

**Zatížení od řetězu:**

$$Q_{\check{r}} = m_{\check{r}} \cdot g \quad (4.5)$$

$$Q_{\check{r}} = 21,6 \cdot 9,81$$

$$Q_{\check{r}} = 211,9 \text{ N}$$

Kde:

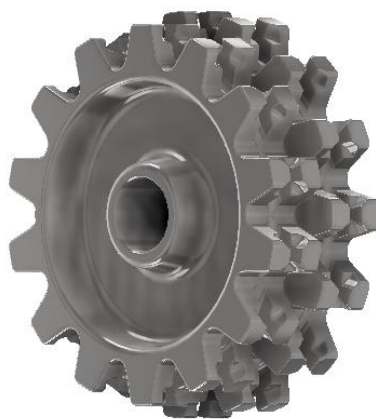
$Q_{\check{r}}$  = zatížení od řetězu [N]

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

## 4.2 DVOJITÁ ŘETĚZOVÁ KLADKA

Dvojitá kladka pro svařovaný řetěz je navržena podle normy ČSN 01 4805. Nejprve byl vybrán svařovaný řetěz a podle něj byly vypočteny jednotlivé rozměry kladky. Kladka je vyrobena odléváním z šedé litiny, následně jsou obrobeny stykové plochy. Materiál kladky je EN-GLJ-150 (ČSN 42 2415). Počet zubů kladky byl zvolen tak, aby byla splněna podmínka samosvornosti.

Počet zubů většího kola kladky je  $Z_1=15$  a menšího kola kladky  $Z_2=14$ .



Obr. 7 Dvojitá řetězová kladka

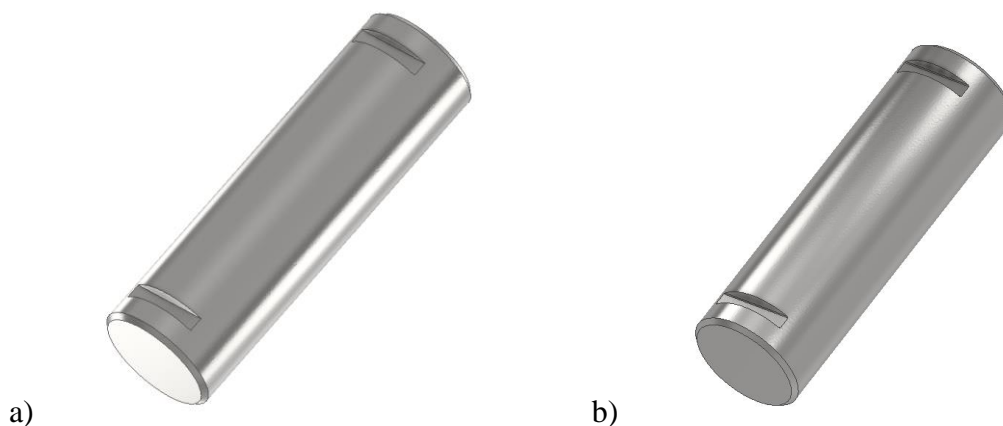
### 4.3 Kladka dolní kladnice

Kladka dolní kladnice je navržena dle normy ČSN 01 4805 s provedením bez zubů. Je vyrobena odléváním z šedé litiny, následně jsou obrobeny stykové plochy. Materiál kladky je EN–GLJ–150 (ČSN 42 2415)



Obr. 8 Kladka dolní kladnice

### 4.4 ČEPY



Obr. 9 a) Čep dvojitě řetězové kladky b) Čep dolní kladnice

#### 4.4.1 ČEP DVOJITÉ ŘETĚZOVÉ KLADKY

Čep dvojitě řetězové kladky je spojovací prvek pro dvojitou řetězovou kladku a horní rám kladkostroje. Je vyroben obráběním z materiálu 1.0070 (ČSN 11 700) podle normy ČSN EN 10025. V čepu jsou 2 drážky pro aretaci čepu proti natočení a vysouvání. Do drážky zapadá přídržka, která je přišroubována k hornímu rámu kladkostroje.

Rozměry čepu: průměr čepu:  $d_{\varepsilon 1} = 25 \text{ mm}$

délka čepu:  $l_{\varepsilon 1} = 83 \text{ mm}$

#### 4.4.2 ČEP DOLNÍ KLADNICE

Čep dolní kladnice je spojovací prvek pro dolní kladku a dolní rám kladkostroje. Je vyroben obráběním z materiálu 1.0070 (ČSN 11 700) podle normy ČSN EN 10025. V čepu jsou 2 drážky pro aretaci čepu proti natočení a vysouvání. Do drážky zapadá přídržka, která je přišroubována k dolnímu rámu kladkostroje.

Rozměry čepu: průměr čepu:  $d_{\varepsilon 2} = 25 \text{ mm}$

délka čepu:  $l_{\varepsilon 2} = 80 \text{ mm}$

### 4.5 LOŽISKA

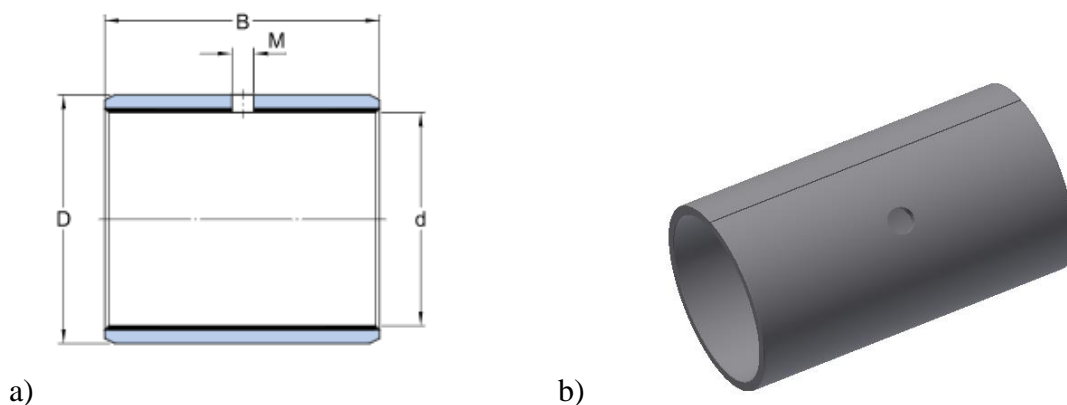
#### 4.5.1 KLUZNÉ LOŽISKO DVOJITÉ ŘETĚZOVÉ KLADKY

Z katalogu SKF [14] zvoleno bronzové kluzné ložisko pro dvojitou řetězovou kladku typ PCM 252850 M. Kluzné ložisko umožňuje otáčení řetězové kladky kolem čepu, je nalisováno v kladce. Ložisko je samomazné a provoz je bezúdržbový.

Rozměry ložiska: vnější průměr: 28 mm

vnitřní průměr: 25 mm

délka: 50 mm



Obr. 10 a) Schéma kluzného ložiska [14] b) Model kluzného ložiska

#### 4.5.2 KLIZNÉ LOŽISKO DOLNÍ KLADNICE

Z katalogu SKF [14] zvoleno bronzové kluzné ložisko pro dolní kladku typ PSM 253225 A51. Kluzné ložisko umožňuje otáčení dolní kladky kolem čepu, je nalisováno v kladce. Ložisko je samomazné a provoz je bezúdržbový.

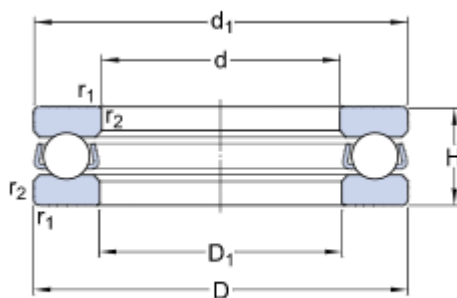
Rozměry ložiska: vnější průměr: 32 mm

vnitřní průměr: 25 mm

délka: 25 mm

#### 4.5.3 AXIÁLNÍ LOŽISKO

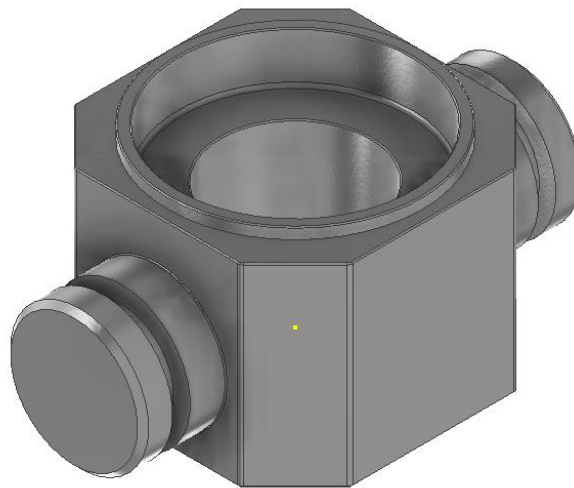
Z katalogu SKF [13] zvoleno axiální kuličkové ložisko 51 105. Ložisko je umístěno v příčniku dolní kladnice, umožňuje otáčení háku kolem své osy. Velikost ložiska je zvolena podle průměru dřívku háku.



Obr. 11 Schéma axiálního kuličkového ložiska [13]

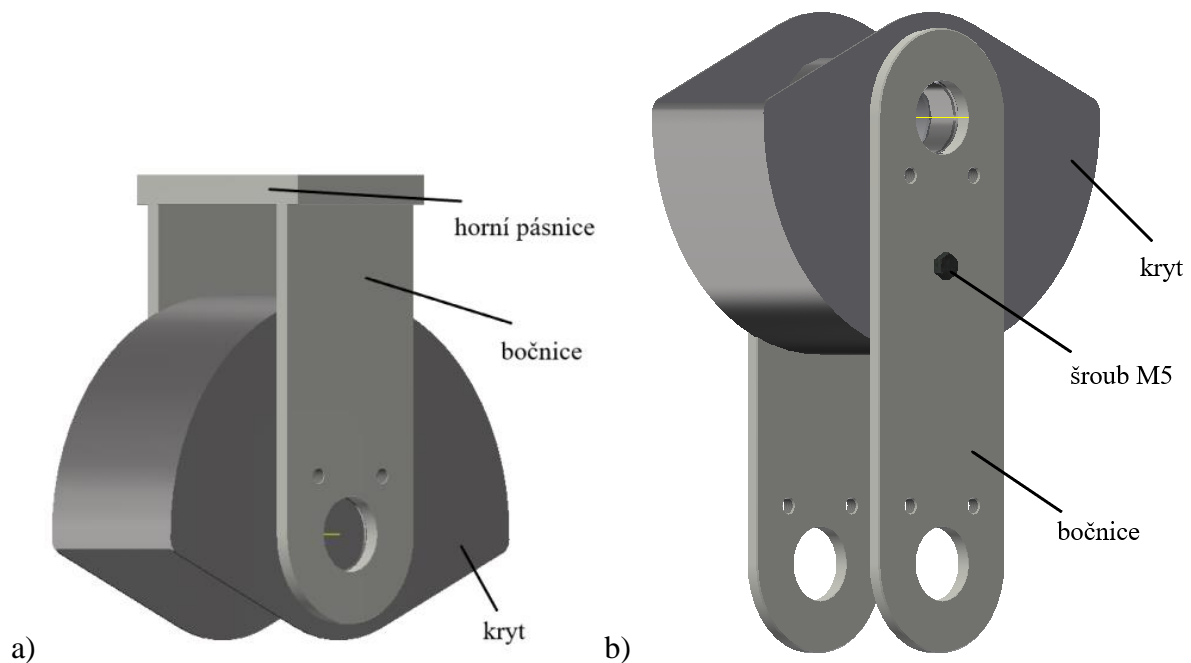
#### 4.6 PŘÍČNÍK

Příčník je vyroben třískovým obráběním z materiálu 1.0070 (ČSN 11 700) podle normy ČSN EN 10025. Je součástí dolní kladnice a slouží k otočnému uchycení háku. Hák prochází otvorem příčníku přes axiální kuličkové ložisko do matice háku. V čepu příčníku je na obou stranách drážka pro aretaci čepu proti vysouvání. Do drážky zapadá přídržka, která je přišroubována k dolnímu rámu kladkostroje. V příčníku je zhotoven otvor, který slouží pro uložení axiálního ložiska. Rozměry příčníku jsou 50x50 a délka je 80 mm.



Obr. 12 Příčnick dolní kladnice

## 4.7 RÁM KLADKOSTROJE



Obr. 13 a) Rám dvojitě řetězové kladky b) Rám dolní kladnice

### 4.7.1 RÁM DVOJITĚ ŘETĚZOVÉ KLADKY

Rám dvojitě kladky je zkonstruován jako svařenec, který se skládá z bočnic, horní pásnice a krytu. Bočnice jsou k horní pásnici přivařeny oboustranným koutovým svarem. Kryt je přivařen k bočnicím pouze bodově. Kryt má ochrannou funkci proti vniknutí nečistot do ústrojí kladkostroje, dále má zabránit vypadnutí řetězu z dvojitěho řetězového kola. Jednotlivé díly krytu jsou vyrobeny vypálením z plechu a následným svařením do požadovaného tvaru.

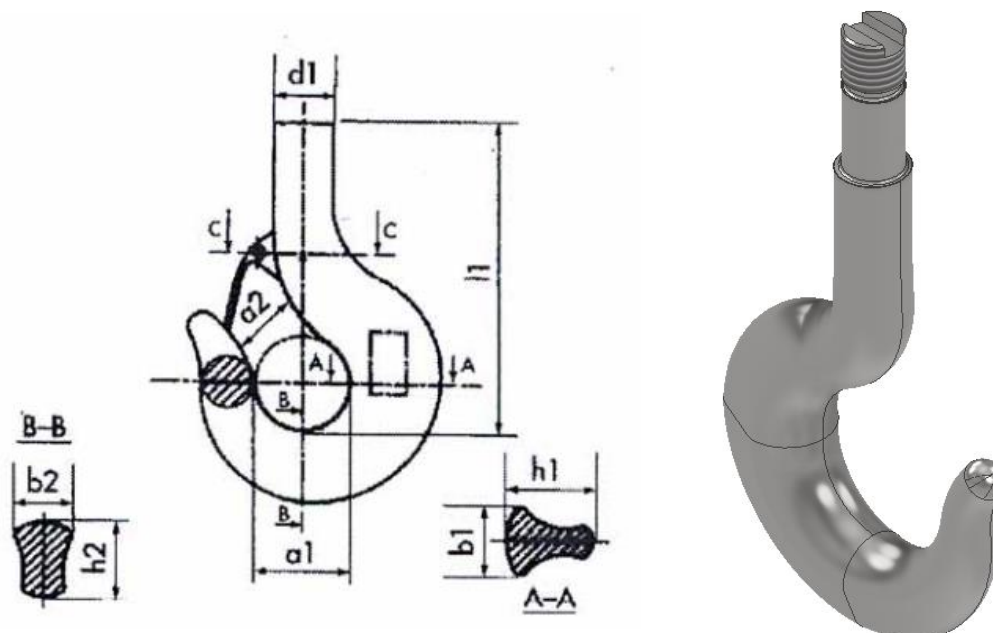
V rámové konstrukci jsou obráběny pouze otvory pro čep řetězové kladky, otvor pro závěsné oko a závity M5 pro upevnění přídržek. Materiál krytu, bočnic i horní pásnice je 1.0553 (dle ČSN 11 523) podle normy ČSN EN 10025, materiál je svařitelný. Tloušťka krytu je 1 mm, bočnic 5 mm a horní pásnice 10 mm.

#### 4.7.2 RÁM DOLNÍ KLADNICE

Rám dolní kladnice se skládá z bočnic a krytu. Kryt je připevněn k bočnicím šroubovým spojem. K přišroubování jsou použity šrouby M5x12 ČSN 02 1108, pružné podložky 5,1 ČSN 02 1740 a matice M5 ČSN 02 1403. Jednotlivé díly krytu jsou vyrobeny vypálením z plechu. V rámové konstrukci jsou obráběny pouze otvory pro čep dolní kladky, závity M5 pro upevnění přídržek a otvory pro šrouby M5. Materiál krytu i bočnice je 1.0553 (dle ČSN 11 523) podle normy ČSN EN 10025. Tloušťka krytu je 1 mm, tloušťka bočnic 5 mm.

#### 4.8 HÁK

Pro zavěšení břemene je použit kovaný hák číslo 1 dle DIN 15401, rozměry dané výrobcem [15]. Rozměry háku se nachází na obrázku pod textem. Na dřívku háku je zhotoven závit M24, který slouží k přišroubování k matici háku. Na čele háku je zhotovena drážka, na kterou je přišroubovaná pojistná destička o tloušťce 4 mm. Háček je vyroben z materiálu 1.0490 (dle DIN StE 285), pevnostní třída M.



č.	a1	a2	b1	b2	d1	h1	h2	l1	Hmotnost
1	50	40	38	32	30	48	40	197	3,2

Obr. 14 Schéma háku s rozměrovou tabulkou a model háku [15]

#### 4.9 MATICE HÁKU

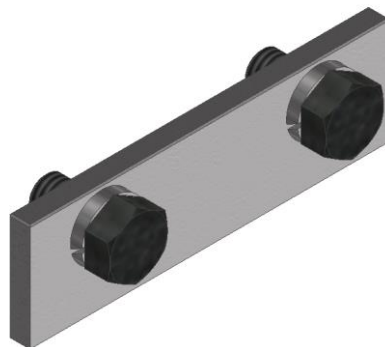
Matice háku je nenormalizovaná součást, která je vyrobena z materiálu 1.0060 (dle ČSN 11 600) podle normy ČSN EN 10025. Slouží k uchycení háku do příčnicku a zabraňuje proniknutí nečistot do axiálního ložiska. K dotažení matice slouží drážky pro utahovací klíč velikosti 36 mm. Matice je vyrobena se závitem M24. V horní části matice je drážka pro pojistnou destičku, která zabraňuje povolení matice. Destička je připevněna k matici pomocí dvou šroubů M5x14 ČSN 02 1108 a pružných podložek 5,1 ČSN 02 1740. Vnější průměr matice je 50 mm a délka je 24 mm.



Obr. 15 Matice háku

#### 4.10 PŘÍDRŽKY

Slouží k zajištění čepu proti otáčení a vysunutí. Přídržky jsou vyrobeny z materiálu 1.0036 (dle ČSN 11 373) podle normy ČSN EN 10025. Jsou spojeny s rámem pomocí 2 šroubů M5x10 ČSN 02 1108 a pružných podložek 5,1 ČSN 02 1740. Přídržky jsou umístěny v drážkách na obou stranách příčnicku, dále na obou stranách čepu dvojité kladky a dolní kladnice.



Obr. 16 Přídržka se šrouby

#### 4.11 DISTANČNÍ KROUŽKY

Distanční kroužky kladek jsou umístěny mezi rámem a kladkou (dvojitou řetězovou kladkou i kladkou dolní kladnice). Slouží k vymezení polohy kladek na čepu. Distanční kroužky příčnicku jsou umístěny mezi příčnickem a bočnicemi rámu. Všechny distanční kroužky jsou vyrobeny z materiálu 1.0036 (dle ČSN 11 373) podle normy ČSN EN 10025.

Rozměry kroužku dvojité kladky: vnější průměr: 36 mm

vnitřní průměr: 25 mm

tloušťka: 1,5 mm

Rozměry kroužku dolní kladnice: vnější průměr: 40 mm

vnitřní průměr: 25 mm

tloušťka: 12,5 mm

Rozměry kroužku příčnicku:

vnější průměr: 30 mm

vnitřní průměr: 25,3 mm

tloušťka: 1,3 mm

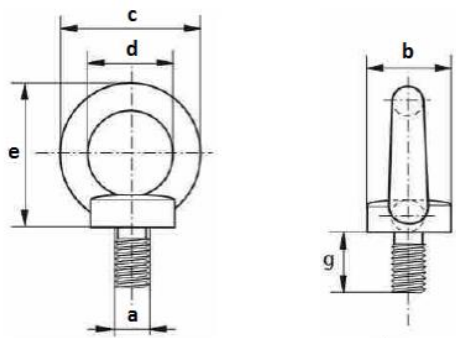


Obr. 17 Distanční kroužek: a) dvojité řetězové kladky b) kladky dolní kladnice c) příčnicku

#### 4.12 ZÁVĚSNÝ ŠROUB

Závěsný šroub se nachází v horní části kladkostroje, umožňuje zavěšení kladkostroje k nosné konstrukci. Je zvolen šroub M20 podle normy DIN 580 (ČSN 02 1369), příslušné rozměry jsou uvedeny v tabulce dané výrobcem. Ve šroubu je zhotoven otvor pro závlačku o průměru 4,2 mm. Maximální nosnost zvoleného šroubu je 1200 kg.

Závěsný šroub je přišroubován k hornímu rámu kladkostroje pomocí korunové matice M20 ČSN 02 1411. Proti povolení korunové matice slouží závlačka 4x33 ČSN 02 1781.



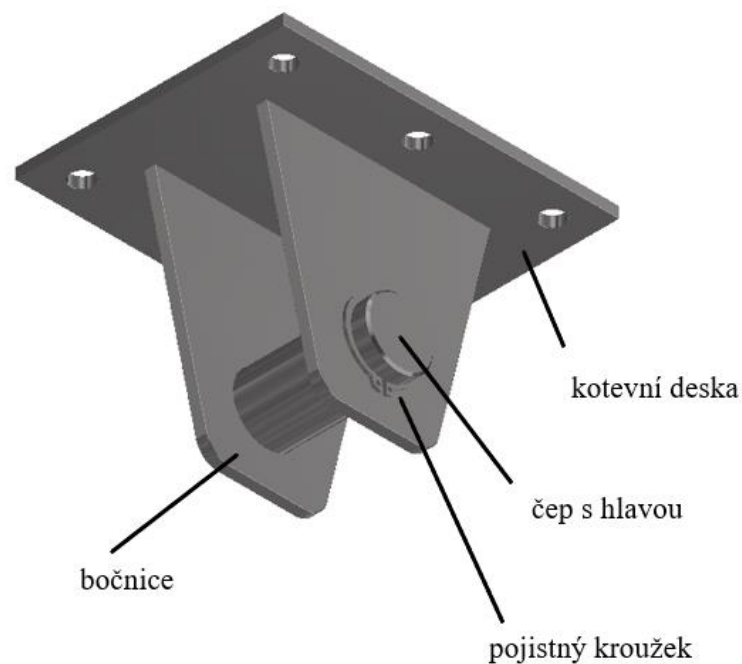
Závit M	Nosnost (kg)		Rozměry (mm)					
	1 bod	2 body, 0° - 45°	a	b	c	d	e	g
	$\delta$ G	$\delta$ G						
M6	70	50	M6	20	36	20	36	13
M8	140	100	M8	20	36	20	36	13
M10	230	170	M10	25	45	25	45	17
M12	340	240	M12	30	54	30	53	20
M16	700	500	M16	35	63	35	62	27
<b>M20</b>	<b>1200</b>	<b>860</b>	<b>M20</b>	<b>40</b>	<b>72</b>	<b>40</b>	<b>71</b>	<b>30</b>

Obr. 18 Schéma závěsného šroubu s rozměrovou tabulkou [12]

### 4.13 NOSNÁ KONSTRUKCE

Složí k připevnění kladkostroje k železné konstrukci stropu budovy. Jedná se o svařenec, který se skládá z kotevní desky a dvou bočnic. Bočnice jsou ke kotevní desce přivařeny oboustranným koutovým svarem. V bočnicích je otvor pro čep s hlavou o průměru 30 mm. Pojištění čepu proti vysunutí je zajištěno pomocí pojistného kroužku pro hřídele dle ČSN 02 2930. Kotevní deska má 6 otvorů o průměru 13,5 mm pro šrouby M12.

Materiál kotevní desky a bočnic je 1.0553 (dle ČSN 11 523) podle normy ČSN EN 10025, materiál má zaručenou svařitelnost. Materiál čepu s hlavou je 1.0070 (ČSN 11 700) podle normy ČSN EN 10025.

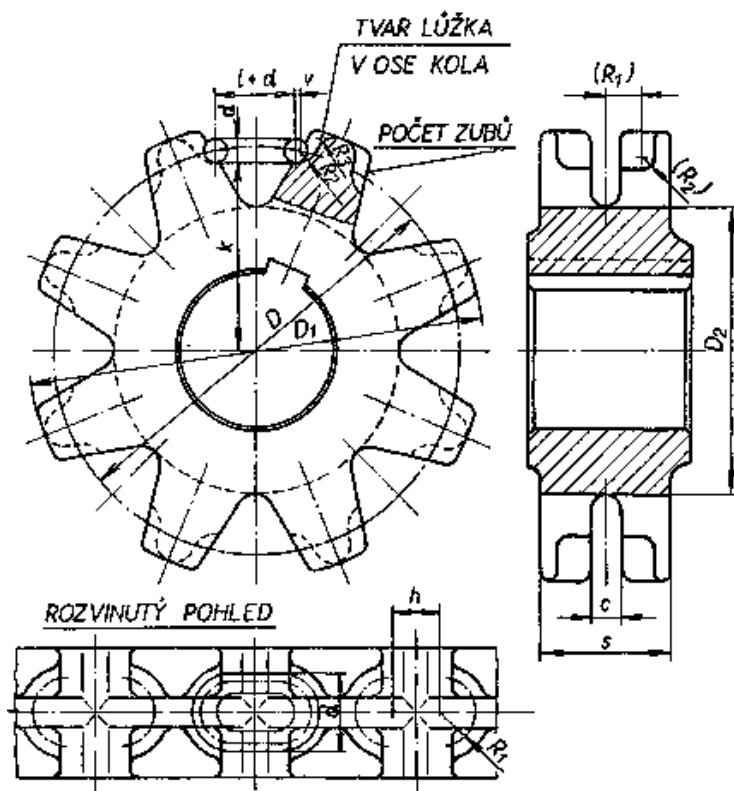


*Obr. 19 Nosná konstrukce*

## 5 VÝPOČTY KLDKOSTROJE

### 5.1 VÝPOČTY KLADEK

Výpočet řetězových kladek je popsán v normě ČSN 01 4805 [8]. Pro výpočet použijeme parametry zvoleného řetězu: 5x15 dle ČSN EN 818-7



Obr. 20 Schéma pro výpočet řetězových kol [8]

#### Předběžné určení počtu zubů:

Účinnost řetězových kladek bývá kolem  $0,93 \div 0,94$  dle [2] str. 92

Posouzení samosvornosti [1]:

Volím:  $\eta_{id} = 0,93$  Ideální účinnost řetězové kladky [-]

$Z_1 = 15$  Počet zubů většího kola dvojité řetězové kladky [-]

$Z_2 = 14$  Počet zubů menšího kola dvojité řetězové kladky [-]

$$\eta_{id}^2 \leq \frac{Z_2}{Z_1} \quad (5.1)$$

$$0,93^2 \leq \frac{14}{15}$$

$0,8649 \leq 0,933$  podmínka samosvornosti splněna

### 5.1.1 VĚTŠÍ KOLO DVOJITÉ ŘETĚZOVÉ KLDKY

Průměr roztečné kružnice  $D_{ř1}$

$$D_{ř1} = \sqrt{\left(\frac{t}{\sin \frac{90^\circ}{z_1}}\right)^2 + \left(\frac{d}{\cos \frac{90^\circ}{z_1}}\right)^2} \quad (5.2)$$

$$D_{ř1} = \sqrt{\left(\frac{15}{\sin \frac{90^\circ}{15}}\right)^2 + \left(\frac{5}{\cos \frac{90^\circ}{15}}\right)^2}$$

$$D_{ř1} = 143,59 \text{ mm}$$

Kde:

$t$  = rozteč řetězu [mm]

$d$  = průměr jednoho článku řetězu [mm]

$z_1$  = počet zubů většího kola dvojité řetězové kldky [-]

$D_{ř1}$  = průměr roztečné kružnice většího kola dvojité řetězové kldky [mm]

Průměr hlavové kružnice  $D_{ař1}$

$$D_{ař1} = D_{ř1} + 1,5 \cdot d \quad (5.3)$$

$$D_{ař1} = 143,59 + 1,5 \cdot 5$$

$$D_{ař1} = 151,09 \text{ mm}$$

Kde:

$D_{ař1}$  = průměr hlavové kružnice většího kola dvojité řetězové kldky [mm]

Vzdálenost lůžka od středu kola  $k_{ř1}$

$$k_{ř1} = 0,5 \cdot \left(t \cdot \cot g \frac{90^\circ}{z_1} - d \cdot \tan \frac{90^\circ}{z_1}\right) - 0,5 \cdot d \quad (5.4)$$

$$k_{ř1} = 0,5 \cdot \left(15 \cdot \cot g \frac{90^\circ}{15} - 5 \cdot \tan \frac{90^\circ}{15}\right) - 0,5 \cdot 5$$

$$k_{ř1} = 68,59 \text{ mm}$$

Kde:

$k_{ř1}$  = vzdálenost lůžka od středu většího kola dvojité řetězové kldky [mm]

**Dolní průměr drážky  $D_{f\check{r}1}$** 

$$D_{f\check{r}1} = 2 \cdot k_{\check{r}1} - w_2 \quad (5.5)$$

$$D_{f\check{r}1} = 2 \cdot 68,59 - 17$$

$$D_{f\check{r}1} = 120,18 \text{ mm}$$

Kde:

$D_{f\check{r}1}$  = dolní průměr drážky většího kola dvojité řetězové kladky [mm]

$w_2$  = maximální šířka článku řetězu [mm]

**Vzdálenost středů oblouků lůžka  $h_{\check{r}1}$** 

$$h_{\check{r}1} = t + 2 \cdot d - w_2 = 15 + 2 \cdot 5 - 17 \quad (5.6)$$

$$h_{\check{r}1} = 8 \text{ mm}$$

Kde:

$h_{\check{r}1}$  = vzdálenost středů oblouků lůžka většího kola dvojité řetězové kladky [mm]

**Vůle v lůžku  $v_{\check{r}1}$** 

$$v_{\check{r}1} = 3 \cdot \Delta t = 3 \cdot 0,2 \quad (5.7)$$

$$v_{\check{r}1} = 0,6 \text{ mm}$$

Kde:

$v_{\check{r}1}$  = vůle v lůžku většího kola dvojité řetězové kladky [mm]

$\Delta t$  = horní úchylka rozteče řetězu [mm]

**Šířka drážky  $c_{\check{r}1}$** 

$$c_{\check{r}1} = 1,25 \cdot d = 1,25 \cdot 5 \quad (5.8)$$

$$c_{\check{r}1} = 6,25 \text{ mm}$$

Kde:

$c_{\check{r}1}$  = šířka drážky většího kola dvojité řetězové kladky [mm]

**Šířka věnce  $s_{ř1}$**

$$s_{ř1} = w_2 + (1,2 \div 2) \cdot d = 17 + 1,6 \cdot 5 \quad (5.9)$$

$$s_{ř1} = 25 \text{ mm}$$

Kde:

$s_{ř1}$  = šířka věnce většího kola dvojité řetězové kladky [mm]

**Poloměr oblouků lůžka  $R_{lř1}$**

$$R_{lř1} = 0,5(w_2 - d) + v_{ř1} = 0,5(17 - 5) + 0,6 \quad (5.10)$$

$$R_{lř1} = 6,6 \text{ mm}$$

Kde:

$R_{lř1}$  = poloměr oblouků lůžka většího kola dvojité řetězové kladky [mm]

**Patní poloměr zubu  $R_{př1}$**

$$R_{př1} = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 5 \quad (5.11)$$

$$R_{př1} = 2,5 \text{ mm}$$

Kde:

$R_{př1}$  = patní poloměr zubu většího kola dvojité řetězové kladky [mm]

**Hlavový poloměr zubu  $R_{hř1}$**

$$R_{hř1} = \frac{\pi \cdot D_{ř1}}{2 \cdot z_1} - (1,5 \cdot d + 2 \cdot v_{ř1}) \quad (5.12.)$$

$$R_{hř1} = \frac{\pi \cdot 143,59}{2 \cdot 15} - (1,5 \cdot 5 + 2 \cdot 0,6)$$

$$R_{hř1} = 6,34 \text{ mm}$$

Kde:

$R_{hř1}$  = hlavový poloměr zubu většího kola dvojité řetězové kladky [mm]

**5.1.2 MENŠÍ KOLO DVOJITÉ ŘETĚZOVÉ KLADKY****Průměr roztečné kružnice  $D_{ř2}$** 

$$D_{ř2} = \sqrt{\left(\frac{t}{\sin \frac{90^\circ}{z_2}}\right)^2 + \left(\frac{d}{\cos \frac{90^\circ}{z_2}}\right)^2} \quad (5.13)$$

$$D_{ř2} = \sqrt{\left(\frac{15}{\sin \frac{90^\circ}{14}}\right)^2 + \left(\frac{5}{\cos \frac{90^\circ}{14}}\right)^2}$$

$$D_{ř2} = 134,07 \text{ mm}$$

Kde:

 $t$  = rozteč řetězu [mm] $d$  = průměr jednoho článku řetězu [mm] $z_2$  = počet zubů menšího kola dvojité řetězové kladky [-] $D_{ř2}$  = průměr roztečné kružnice menšího kola dvojité řetězové kladky [mm]**Průměr hlavové kružnice  $D_{ař2}$** 

$$D_{ař2} = D_{ř2} + 1,5 \cdot d \quad (5.14)$$

$$D_{ař2} = 134,07 + 1,5 \cdot 5$$

$$D_{ař2} = 141,57 \text{ mm}$$

Kde:

 $D_{ař2}$  = průměr hlavové kružnice menšího kola dvojité řetězové kladky [mm]**Vzdálenost lůžka od středu kola  $k_{ř2}$** 

$$k_{ř2} = 0,5 \cdot \left(t \cdot \cotg \frac{90^\circ}{z_2} - d \cdot \tan \frac{90^\circ}{z_2}\right) - 0,5 \cdot d \quad (5.15)$$

$$k_{ř2} = 0,5 \cdot \left(15 \cdot \cotg \frac{90^\circ}{14} - 5 \cdot \tan \frac{90^\circ}{14}\right) - 0,5 \cdot 5$$

$$k_{ř2} = 63,78 \text{ mm}$$

Kde:

 $k_{ř2}$  = vzdálenost lůžka od středu menšího kola dvojité řetězové kladky [mm]

**Dolní průměr drážky  $D_{f\check{r}2}$** 

$$D_{f\check{r}2} = 2 \cdot k_{\check{r}2} - w_2 \quad (5.16)$$

$$D_{f\check{r}2} = 2 \cdot 63,78 - 17$$

$$D_{f\check{r}2} = 110,56 \text{ mm}$$

Kde:

$D_{f\check{r}2}$  = dolní průměr drážky menšího kola dvojité řetězové kladky [mm]

$w_2$  = maximální šířka článku řetězu [mm]

**Vzdálenost středů oblouků lůžka  $h_{\check{r}2}$** 

$$h_{\check{r}2} = t + 2 \cdot d - w_2 = 15 + 2 \cdot 5 - 17 \quad (5.17)$$

$$h_{\check{r}2} = 8 \text{ mm}$$

Kde:

$h_{\check{r}2}$  = vzdálenost středů oblouků lůžka menšího kola dvojité řetězové kladky [mm]

**Vůle v lůžku  $v_{\check{r}2}$** 

$$v_{\check{r}2} = 3 \cdot \Delta t = 3 \cdot 0,2 \quad (5.18)$$

$$v_{\check{r}2} = 0,6 \text{ mm}$$

Kde:

$v_{\check{r}2}$  = vůle v lůžku menšího kola dvojité řetězové kladky [mm]

$\Delta t$  = horní úchylka rozteče řetězu [mm]

**Šířka drážky  $c_{\check{r}2}$** 

$$c_{\check{r}2} = 1,25 \cdot d = 1,25 \cdot 5 \quad (5.19)$$

$$c_{\check{r}2} = 6,25 \text{ mm}$$

Kde:

$c_{\check{r}2}$  = šířka drážky menšího kola dvojité řetězové kladky [mm]

**Šířka věnce  $s_{ř2}$**

$$s_{ř2} = w_2 + (1,2 \div 2) \cdot d = 17 + 1,6 \cdot 5 \quad (5.20)$$

$$s_{ř2} = 25 \text{ mm}$$

Kde:

$s_{ř2}$  = šířka věnce menšího kola dvojité řetězové kladky [mm]

**Poloměr oblouků lůžka  $R_{lř2}$**

$$R_{lř2} = 0,5(w_2 - d) + v_{ř2} = 0,5(17 - 5) + 0,6 \quad (5.21)$$

$$R_{lř2} = 6,6 \text{ mm}$$

Kde:

$R_{lř2}$  = poloměr oblouků lůžka menšího kola dvojité řetězové kladky [mm]

**Patní poloměr zubu  $R_{př2}$**

$$R_{př2} = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 5 \quad (5.22)$$

$$R_{př2} = 2,5 \text{ mm}$$

Kde:

$R_{př2}$  = patní poloměr zubu menšího kola dvojité řetězové kladky [mm]

**Hlavový poloměr zubu  $R_{hř2}$**

$$R_{hř2} = \frac{\pi \cdot D_{ř2}}{2 \cdot z_2} - (1,5 \cdot d + 2 \cdot v_{ř2}) \quad (5.23)$$

$$R_{hř2} = \frac{\pi \cdot 134,07}{2 \cdot 14} - (1,5 \cdot 5 + 2 \cdot 0,6)$$

$$R_{hř2} = 6,34 \text{ mm}$$

Kde:

$R_{hř2}$  = hlavový poloměr zubu menšího kola dvojité řetězové kladky [mm]

### 5.1.3 KLADKA DOLNÍ KLADNICE

Kladka dolní kladnice není řetězová. Její funkcí je vést řetěz a zároveň slouží k uchycení břemene. Průměr kladky byl zvolen podobný průměru dvojité řetězové kladky, aby při navíjení kladek k sobě řetěz nevytáhl.

**Průměr roztečné kružnice  $D_{k3}$** 

Volím  $D_{k3} = 135$  mm

**Průměr hlavové kružnice  $D_{ak3}$** 

$$D_{ak3} = D_{k3} + 1,5 \cdot d = 135 + 1,5 \cdot 5 \quad (5.24)$$

$$D_{ak3} = 142,5 \text{ mm}$$

Kde:

$D_{ak3}$  = průměr hlavové kružnice kladky dolní kladnice [mm]

$D_{k3}$  = průměr roztečné kružnice kladky dolní kladnice [mm]

$d$  = průměr jednoho článku řetězu [mm]

**Vzdálenost lůžka od středu kola  $k_{k3}$** 

$$k_{k3} = \frac{D_{k3} - d}{2} = \frac{135 - 5}{2} \quad (5.25)$$

$$k_{k3} = 65 \text{ mm}$$

Kde:

$k_{k3}$  = vzdálenost lůžka od středu kola kladky dolní kladnice [mm]

**Dolní průměr drážky  $D_{fk3}$** 

$$D_{fk3} = 2 \cdot k_{k3} - w_2 = 2 \cdot 65 - 17 \quad (5.26)$$

$$D_{fk3} = 113 \text{ mm}$$

Kde:

$D_{fk3}$  = dolní průměr drážky kladky dolní kladnice [mm]

$w_2$  = maximální šířka článku řetězu [mm]

**Vůle v lůžku  $v_{k3}$** 

$$v_{k3} = 3 \cdot \Delta t = 3 \cdot 0,2 \quad (5.27)$$

$$v_{k3} = 0,6 \text{ mm}$$

Kde:

$v_{k3}$  = vůle v lůžku kladky dolní kladnice [mm]

$\Delta t$  = horní úchylka rozteče řetězu [mm]

**Šířka drážky  $c_{k3}$**

$$c_{k3} = 1,25 \cdot d = 1,25 \cdot 5 \quad (5.28)$$

$$c_{k3} = 6,25 \text{ mm}$$

Kde:

$c_{k3}$  = šířka drážky kladky dolní kladnice [mm]

**Šířka věnce  $s_{k3}$**

$$s_{k3} = w_2 + (1,2 \div 2) \cdot d = 17 + 1,6 \cdot 5 \quad (5.29)$$

$$s_{k3} = 25 \text{ mm}$$

Kde:

$s_{k3}$  = šířka věnce kladky dolní kladnice [mm]

## 5.2 KONTROLA SAMOSVORNOSTI

### 5.2.1 ÚČINNOST KLADEK

Celková účinnost dvojitě řetězové kladky je dána součinem účinností menšího a většího kola kladky. Celková účinnost by měla být nižší než podíl počtu zubů menšího kola ku většímu kolu dvojitě řetězové kladky. Pokud by tato podmínka nebyla splněna, je nutné změnit konstrukci, aby nedošlo k případnému pádu břemene. Vzorce pro výpočet dle [2] str. 98.

**Účinnost většího kola dvojitě řetězové kladky  $\eta_{\check{r}1}$**

$$\eta_{\check{r}1} = \frac{R_{\check{r}1}}{R_{\check{r}1} + f_k \cdot d + 2 \cdot f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}1}} \quad (5.30)$$

$$\eta_{\check{r}1} = \frac{71,8}{71,8 + 0,2 \cdot 5 + 2 \cdot 0,1 \cdot 12,5}$$

$$\eta_{\check{r}1} = 0,954$$

Kde:

$\eta_{\check{r}1}$  = účinnost většího kola dvojitě řetězové kladky [-]

$R_{\check{r}1}$  = roztečný poloměr většího kola dvojitě řetězové kladky [mm]

$f_k$  = součinitel kluzného tření [-], volím  $f_k = 0,2$  [4]

$d$  = průměr jednoho článku řetězu [mm]

$f_{\check{c}}$  = součinitel čepového tření [-], volím  $f_{\check{c}} = 0,1$  [14]

$r_{\check{c}1}$  = poloměr čepu dvojité řetězové kladky, volím  $r_{\check{c}1} = 12,5$  mm

### Účinnost menšího kola dvojité řetězové kladky $\eta_{\check{r}2}$

$$\eta_{\check{r}2} = \frac{R_{\check{r}2}}{R_{\check{r}2} + f_k \cdot d + 2 \cdot f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}1}} \quad (5.31)$$

$$\eta_{\check{r}2} = \frac{67,04}{67,04 + 0,2 \cdot 5 + 2 \cdot 0,1 \cdot 12,5}$$

$$\eta_{\check{r}2} = 0,95$$

Kde:

$\eta_{\check{r}2}$  = účinnost menšího kola dvojité řetězové kladky [-]

$R_{\check{r}2}$  = roztečný poloměr menšího kola dvojité řetězové kladky [mm]

### Celková účinnost dvojité řetězové kladky $\eta_{\check{r}}$

$$\eta_{\check{r}} = \eta_{\check{r}1} \cdot \eta_{\check{r}2} = 0,954 \cdot 0,95 \quad (5.32)$$

$$\eta_{\check{r}} = 0,905$$

Kde:

$\eta_{\check{r}}$  = celková účinnost dvojité řetězové kladky [-]

### Účinnost kladky spodní kladnice $\eta_{k3}$

$$\eta_{k3} = \frac{R_{k3}}{R_{k3} + f_k \cdot d + 2 \cdot f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}2}} \quad (5.33)$$

$$\eta_{k3} = \frac{67,5}{67,5 + 0,2 \cdot 5 + 2 \cdot 0,1 \cdot 12,5}$$

$$\eta_{k3} = 0,951$$

Kde:

$\eta_{k3}$  = účinnost kladky spodní kladnice [-]

$R_{k3}$  = roztečný poloměr kladky dolní kladnice [mm]

$r_{\check{c}2}$  = poloměr čepu kladky dolní kladnice, volím  $r_{\check{c}2} = 12,5$  mm

**5.2.2 PODMÍNKA SAMOSVORNOSTI**

Dle [1]

$$\eta_{\dot{\gamma}}^2 \leq \frac{z_2}{z_1} \quad (5.34)$$

$$0,905^2 \leq \frac{14}{15}$$

$$0,819 \leq 0,933$$

Kde:

 $z_1$  = počet zubů většího kola dvojitě řetězové kladky [-] $z_2$  = počet zubů menšího kola dvojitě řetězové kladky [-]

Podmínka samosvornosti je splněna. Druhá mocnina celkové účinnosti dvojitě řetězové kladky je menší než podíl počtu zubů menšího kola ku většímu.

**5.2.3 BEZPEČNOST SAMOSVORNOSTI**

$$k_{sm} = \frac{\frac{z_2}{z_1}}{\eta_{\dot{\gamma}}} \quad (5.35)$$

$$k_{sm} = \frac{\frac{14}{15}}{0,905}$$

$$k_{sm} = 1,031$$

Kde:

 $k_{sm}$  = součinitel bezpečnosti samosvornosti [-]**5.3 SÍLY OVLIVŇUJÍCÍ KLADKOSTROJ****5.3.1 HMOTNOSTI DÍLŮ KLADKOSTROJE**Hmotnost dolní kladnice  $m_{dk} = 6,465$  kgHmotnost kladky dolní kladnice  $m_{kdk} = 1,652$  kgHmotnost příčnicku v dolní kladnici  $m_{pdk} = 0,549$  kgHmotnost háku  $m_h = 2,31$  kg

Hmotnost matice pro hák  $m_{mh} = 0,136$  kg

Hmotnost horní kladnice  $m_{hk} = 5,167$  kg

Hmotnost dvojité řetězové kladky  $m_{řk} = 3,119$  kg

Hmotnost řetězu  $m_{ř} = 21,6$  kg

Hmotnost celého kladkostroje bez řetězu  $m_c = 11,63$  kg

Hmotnost celého kladkostroje s řetězem  $m_{cř} = 33,23$  kg

### 5.3.2 SÍLA, KTERÁ ZATĚŽUJE ŘETĚZ

$$G_{ř} = (m_{bř} + m_{ř} + m_{dk}) \cdot g \quad (5.36)$$

$$G_{ř} = (450 + 21,6 + 6,465) \cdot 9,81$$

$$G_{ř} = 4689,8 \text{ N}$$

Kde:

$m_{bř}$  = hmotnost břemene [kg]

$m_{ř}$  = hmotnost řetězu [kg]

$m_{dk}$  = hmotnost dolní kladnice [kg]

### 5.3.3 OVLÁDACÍ SÍLY

Síly, které jsou důležité pro pohyb břemene.

Dle [2] str. 103

**Síla potřebná pro spouštění břemene  $F_s$**

$$F_s = \frac{\eta_{\dot{r}} \cdot G_{\dot{r}}}{1 + \eta_{\dot{r}}} \cdot \left( \frac{\eta_{\dot{r}}}{\eta_{\dot{r}}^2} - \frac{R_{\dot{r}1}}{R_{\dot{r}2}} \right) \quad (5.37)$$

$$F_s = \frac{0,905 \cdot 4689,8}{1 + 0,905} \cdot \left( \frac{0,905}{0,905^2} - \frac{71,8}{67,04} \right)$$

$$F_s = 75,68 \text{ N}$$

Kde:

$F_s$  = síla potřebná pro spouštění břemene [N]

$\eta_{\dot{r}}$  = celková účinnost dvojitě řetězové kladky [-]

$R_{\dot{r}1}$  = roztečný poloměr většího kola dvojitě řetězové kladky [mm]

$R_{\dot{r}2}$  = roztečný poloměr menšího kola dvojitě řetězové kladky [mm]

$G_{\dot{r}}$  = síla, která zatěžuje řetěz [N]

**Teoretická síla potřebná pro zvedání břemene  $F_{zt}$**

$$F_{zt} = \frac{G_{\dot{r}}}{2} \cdot \left( 1 - \frac{R_{\dot{r}2}}{R_{\dot{r}1}} \right) \quad (5.38)$$

$$F_{zt} = \frac{4689,8}{2} \cdot \left( 1 - \frac{67,04}{71,8} \right)$$

$$F_{zt} = 155,46 \text{ N}$$

Kde:

$F_{zt}$  = teoretická síla potřebná pro zvedání břemene [N]

**Skutečná síla potřebná pro zvedání břemene  $F_z$**

$$F_z = \frac{\eta_{\dot{r}} \cdot G_{\dot{r}}}{1 + \eta_{\dot{r}}} \cdot \left( \frac{\eta_{\dot{r}}}{\eta_{\dot{r}}^2} - \frac{R_{\dot{r}2}}{R_{\dot{r}1}} \right) \quad (5.39)$$

$$F_z = \frac{0,905 \cdot 4689,8}{1 + 0,905} \cdot \left( \frac{0,905}{0,905^2} - \frac{67,04}{71,8} \right)$$

$$F_z = 381,58 \text{ N}$$

Kde:

$F_z$  = skutečná síla potřebná pro zvedání břemene [N]

### 5.3.4 PŘEVODOVÝ POMĚR

Dle [1]

$$i_{kl} = \frac{G_{\check{r}}}{F_{zt}} = \frac{4689,8}{155,46} \quad (5.40)$$

$$i_{kl} = 30,17$$

### 5.3.5 ÚČINNOST KLADKOSTROJE

$$\eta_{kl} = \frac{F_{zt}}{F_z} = \frac{155,46}{381,58} \quad (5.41)$$

$$\eta_{kl} = 0,41$$

### 5.3.6 ROVNOVÁHA SIL

Dle [2] str. 103

**Síla v navíjené části řetězu  $F_{n1}$**

$$F_{n1} = \frac{G_{\check{r}}}{1 + \eta_{\check{r}}} \quad (5.42)$$

$$F_{n1} = \frac{4689,8}{1 + 0,905}$$

$$F_{n1} = 2461,84 \text{ N}$$

**Síla v odvíjené části řetězu  $F_{o2}$**

$$F_{o2} = \frac{G_{\check{r}} \cdot \eta_{\check{r}}}{1 + \eta_{\check{r}}} \quad (5.43)$$

$$F_{o2} = \frac{4689,8 \cdot 0,905}{1 + 0,905}$$

$$F_{o2} = 2227,96 \text{ N}$$

## 6 PEVNOSTNÍ KONTROLA

### 6.1 KONTROLA ČEPŮ

Je provedena kontrola čepů na ohyb, smyk a otláčení. Čep nosné konstrukce kontrolován není, jelikož má větší průměr než čep dvojitě řetězové kladky a zatěžující síla je jen nepatrně vyšší. Výpočet je proveden zjednodušením na nosník o dvou podporách, který je zatížen silou uprostřed. Materiál čepu dvojitě řetězové kladky i dolní kladnice je 1.0070 (ČSN 11 700) podle normy ČSN EN 10025. Vzorce pro výpočet dle [4].

Mez pevnosti:  $R_m = 670$  MPa

Mez kluzu:  $R_e = 355$  MPa

Součinitel pro mýjivé zatížení dle [7] str.55:  $c_{II} = 0,75$

**Dovolené napětí čepu v ohybu  $\sigma_{D\check{c}}$**

$$\sigma_{D\check{c}} = 0,7 \cdot R_e \cdot c_{II} = 0,7 \cdot 355 \cdot 0,75 \quad (6.1)$$

$$\sigma_{D\check{c}} = 186,4 \text{ MPa}$$

**Dovolené napětí čepu ve stříhu  $\tau_{D\check{c}}$**

$$\tau_{D\check{c}} = 0,4 \cdot R_e \cdot c_{II} = 0,4 \cdot 355 \cdot 0,75 \quad (6.2)$$

$$\tau_{D\check{c}} = 106,5 \text{ MPa}$$

**Dovolené napětí čepu na otláčení  $p_{D\check{c}}$**

$$p_{D\check{c}} = 0,9 \cdot R_e \cdot c_{II} = 0,9 \cdot 355 \cdot 0,75 \quad (6.3)$$

$$p_{D\check{c}} = 239,63 \text{ MPa}$$

#### 6.1.1 ČEP DVOJITĚ ŘETĚZOVÉ Kladky

**Vstupní hodnoty**

průměr čepu:  $d_{\check{c}l} = 25$  mm

zatížená délka čepu:  $l_{\check{c}zl} = 61$  mm

tloušťka bočnice:  $t_{bl} = 5$  mm

**Síla zatěžující čep  $F_{\check{c}1}$** 

$$F_{\check{c}1} = (m_{dk} + m_{\check{r}} + m_{b\check{r}} + m_{\check{r}k}) \cdot g \quad (6.4)$$

$$F_{\check{c}1} = (6,47 + 21,6 + 450 + 3,12) \cdot 9,81$$

$$F_{\check{c}1} = 4720,5 \text{ N}$$

**Maximální ohybový moment čepu  $M_{o\check{c}1}$** 

$$M_{o\check{c}1} = \frac{F_{\check{c}1} \cdot l_{\check{c}z1}}{4} \quad (6.5)$$

$$M_{o\check{c}1} = \frac{4720,5 \cdot 0,061}{4}$$

$$M_{o\check{c}1} = 71,99 \text{ N.m}$$

**Napětí v ohybu čepu  $\sigma_{o\check{c}1}$** 

$$\sigma_{o\check{c}1} = \frac{M_{o\check{c}1}}{W_{o\check{c}}} = \frac{M_{o\check{c}1} \cdot 32}{\pi \cdot d_{\check{c}1}^3} \quad (6.6)$$

$$\sigma_{o\check{c}1} = \frac{71,99 \cdot 32}{\pi \cdot 0,025^3}$$

$$\sigma_{o\check{c}1} = 46,93 \text{ MPa}$$

**Podmínka v ohybu**

$$\sigma_{o\check{c}1} \leq \sigma_{D\check{c}}$$

$$46,93 < 186,4 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka splněna}$$

**Napětí ve smyku čepu  $\tau_{s\check{c}}$** 

$$\tau_{s\check{c}} = \frac{2 \cdot F_{\check{c}1}}{\pi \cdot d_{\check{c}1}^2} \quad (6.7)$$

$$\tau_{s\check{c}} = \frac{2 \cdot 4720,5}{\pi \cdot 0,025^2}$$

$$\tau_{s\check{c}} = 4,81 \text{ MPa}$$

**Podmínka ve smyku**

$$\tau_{s\check{c}} \leq \tau_{D\check{c}}$$

$$4,81 < 106,5 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka splněna}$$

**Kontrola na otláčení čepu  $p_{\check{c}}$** 

$$p_{\check{c}} = \frac{F_{\check{c}1}}{2 \cdot d_{\check{c}1} \cdot t_{b1}} \quad (6.8)$$

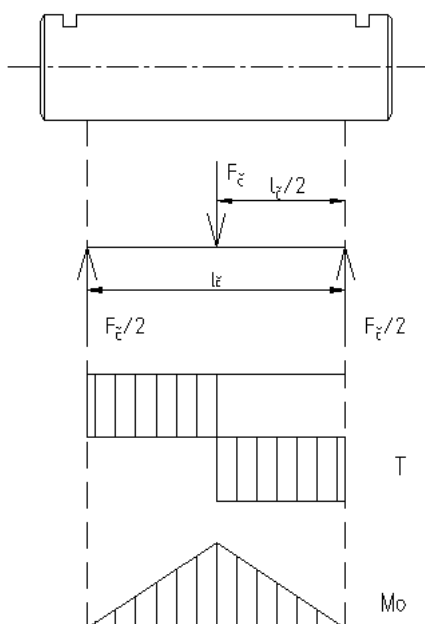
$$p_{\check{c}} = \frac{4720,5}{2 \cdot 0,025 \cdot 0,005}$$

$$p_{\check{c}} = 18,88 \text{ MPa}$$

**Podmínka na otláčení**

$$p_{\check{c}} \leq p_{D\check{c}}$$

18,88 < 239,63 MPa Podmínka splněna



Obr. 21 VVÚ čepu

**6.1.2 ČEP DOLNÍ KLDNICE**

Čep dolní kladnice kontrolován pouze na ohyb, protože čep je podobný čepu dvojité řetězové kladky, kde jsou hodnoty na stříh a otláčení nízké.

**Vstupní hodnoty**

průměr čepu:  $d_{\check{c}2} = 25 \text{ mm}$

zatížená délka čepu:  $l_{\check{c}2} = 58 \text{ mm}$

tloušťka bočnice:  $t_{b2} = 5 \text{ mm}$

**Síla zatěžující čep  $F_{\check{c}2}$** 

$$F_{\check{c}2} = (m_{bř} + m_{dk} - m_{kdk}) \cdot g \quad (6.9)$$

$$F_{\check{c}2} = (450 + 6,47 - 1,65) \cdot 9,81$$

$$F_{\check{c}2} = 4461,78 \text{ N}$$

**Maximální ohybový moment čepu  $M_{o\check{c}2}$** 

$$M_{o\check{c}2} = \frac{F_{\check{c}2} \cdot l_{\check{c}z2}}{4} \quad (6.10)$$

$$M_{o\check{c}2} = \frac{4461,78 \cdot 0,058}{4}$$

$$M_{o\check{c}2} = 64,7 \text{ N.m}$$

**Napětí v ohybu čepu  $\sigma_{o\check{c}2}$** 

$$\sigma_{o\check{c}2} = \frac{M_{o\check{c}2}}{W_{o\check{c}}} = \frac{M_{o\check{c}2} \cdot 32}{\pi \cdot d_{\check{c}2}^3} \quad (6.11)$$

$$\sigma_{o\check{c}2} = \frac{64,7 \cdot 32}{\pi \cdot 0,025^3}$$

$$\sigma_{o\check{c}2} = 42,18 \text{ MPa}$$

**Podmínka v ohybu**

$$\sigma_{o\check{c}2} \leq \sigma_{D\check{c}}$$

$$42,18 < 186,4 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka splněna}$$

**6.2 KONTROLA RÁMŮ**

Provedena kontrola rámu dvojitě řetězové kladky. Zde je kontrolována horní pásnice na ohyb. Pásnice je pro výpočet zjednodušena na nosník o dvou podporách zatížený silou uprostřed. Bočnice rámu dvojitě řetězové kladky jsou kontrolovány na tah. Otvor pro čep v bočnici bereme jako vrub. Na otláčení není bočnice kontrolována, protože je použit materiál se shodnou mezí kluzu jako u čepů. Otláčení je kontrolováno u čepů. Vzorce pro výpočet dle [4].

U rámu dolní kladnice je provedena kontrola bočnic na tah.

Materiál bočnic i horní pásnice je 1.0553 (dle ČSN 11 523) podle normy ČSN EN 10025.

Mez pevnosti:  $R_m = 490 \text{ MPa}$

Mez kluzu:  $R_e = 355 \text{ MPa}$

Součinitel pro mĳivé zatĳžení dle [7] str.55:  $c_{II} = 0,85$

**Dovolené napĳtĳ hornĳ pásnice v ohybu  $\sigma_{Dp}$**

$$\sigma_{Dp} = 0,7 \cdot Re \cdot c_{II} = 0,7 \cdot 355 \cdot 0,85 \quad (6.12)$$

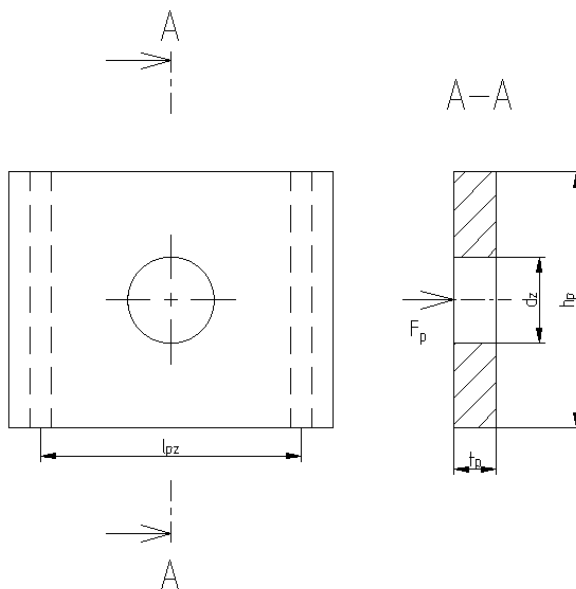
$$\sigma_{Dp} = 211,23 \text{ MPa}$$

**Dovolené napĳtĳ boĳnic v tahu  $\sigma_{Db}$**

$$\sigma_{Db} = 0,5 \cdot Re \cdot c_{II} = 0,5 \cdot 355 \cdot 0,85 \quad (6.13)$$

$$\sigma_{Db} = 150,88 \text{ MPa}$$

### 6.2.1 RÁM DVOJITĳ ŘETĳZOVĳ KLDKY



Obr. 22 Hornĳ pásnice rámu

#### Vstupní hodnoty

tloušťka boĳnice:  $t_{b1} = 5 \text{ mm}$

zatĳžená délka hornĳ pásnice:  $l_{pz} = 61 \text{ mm}$

tloušťka pásnice:  $t_p = 10 \text{ mm}$

šířka pásnice:  $h_p = 60 \text{ mm}$

průmĳr ĳepu:  $d_{c1} = 25 \text{ mm}$

průmĳr otvoru pro zĳvěsné oko:  $d_z = 21 \text{ mm}$

**Síla zatěžující horní pásnici  $F_p$**

$$F_p = (m_{ak} + m_{hk} + m_{\dot{x}} + m_{b\dot{r}}) \cdot g \quad (6.14)$$

$$F_p = (6,47 + 5,2 + 21,6 + 450) \cdot 9,81$$

$$F_p = 4740,88 \text{ N}$$

**Maximální ohybový moment pásnice  $M_{op}$**

$$M_{op} = \frac{F_p \cdot l_{pz}}{4} \quad (6.15)$$

$$M_{op} = \frac{4740,88 \cdot 0,061}{4}$$

$$M_{op} = 72,3 \text{ N.m}$$

**Průřezový modul v ohybu pásnice  $W_{op}$**

$$W_{op} = \frac{t_p^2 \cdot h_p}{6} - \frac{t_p^2 \cdot d_z}{6} \quad (6.16)$$

$$W_{op} = \frac{0,01^2 \cdot 0,06}{6} - \frac{0,01^2 \cdot 0,021}{6}$$

$$W_{op} = 650 \text{ mm}^3$$

**Napětí v ohybu pásnice  $\sigma_{o3}$**

$$\sigma_{o3} = \frac{M_{op}}{W_{op}} \quad (6.17)$$

$$\sigma_{o3} = \frac{72,3 \cdot 10^3}{650}$$

$$\sigma_{o3} = 111,2 \text{ MPa}$$

**Podmínka v ohybu**

$$\sigma_{o3} \leq \sigma_{Dp}$$

111,2 < 211,23 MPa Podmínka splněna

**Síla zatěžující bočnici dvojité řetězové kladky  $F_{b1}$**

$$F_{b1} = F_p = 4740,88 \text{ N}$$

**Napětí v tahu bočnice řetězové kladky nominální  $\sigma_{tb1}$**

$$\sigma_{tb1} = \frac{F_{b1}}{2 \cdot (h_p - d_{\check{c}1}) \cdot t_{b1}} \quad (6.18)$$

$$\sigma_{tb1} = \frac{4740,88}{2 \cdot (0,06 - 0,025) \cdot 0,005}$$

$$\sigma_{tb1} = 13,55 \text{ MPa}$$

**Vrubový součinitel bočnice  $\alpha_b$**

$$\frac{d_{\check{c}1}}{h_b} = \frac{25}{60} = 0,416 \quad (6.19)$$

$$\alpha_b = 2,24 \text{ dle [6] str. 1113}$$

**Napětí v tahu bočnice řetězové kladky maximální  $\sigma_{tb1 \max}$**

$$\sigma_{tb1 \max} = \sigma_{tb1} \cdot \alpha_b = 13,55 \cdot 2,24 \quad (6.20)$$

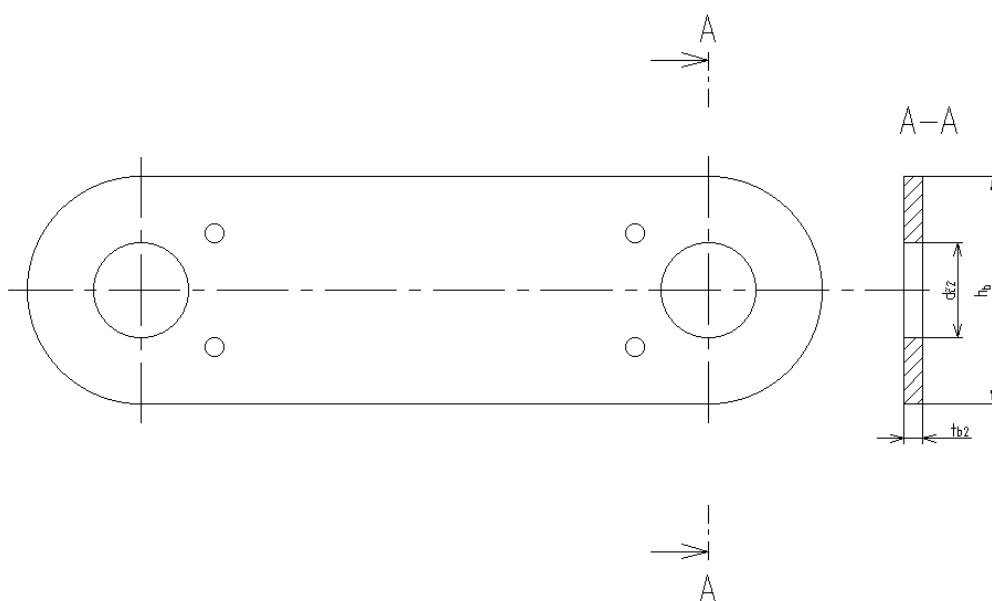
$$\sigma_{tb1 \max} = 30,33 \text{ MPa}$$

**Podmínka na tah**

$$\sigma_{tb1 \max} \leq \sigma_{Db}$$

$$30,33 < 150,88 \text{ MPa} \text{ Podmínka splněna}$$

### 6.2.2 RÁM DOLNÍ KLADNICE



Obr. 23 Bočnice dolní kladnice

**Vstupní hodnoty**

tloušťka bočnice:  $t_{b2} = 5 \text{ mm}$

průměr čepu:  $d_{\xi 2} = 25 \text{ mm}$

šířka bočnice:  $h_b = 60 \text{ mm}$

**Síla zatěžující bočnici dolní kladnice  $F_{b2}$** 

$$F_{b2} = (m_h + m_{mh} + m_{pdk} + m_{bř}) \cdot g \quad (6.21)$$

$$F_{b2} = (2,31 + 0,14 + 0,55 + 450) \cdot 9,81$$

$$F_{b2} = 4443,93 \text{ N}$$

**Napětí v tahu bočnice dolní kladnice nominální  $\sigma_{tb2}$** 

$$\sigma_{tb2} = \frac{F_{b2}}{2 \cdot (h_b - d_{\xi 2}) \cdot t_{b2}} \quad (6.22)$$

$$\sigma_{tb2} = \frac{4443,93}{2 \cdot (0,06 - 0,025) \cdot 0,005}$$

$$\sigma_{tb2} = 12,7 \text{ MPa}$$

**Vrubový součinitel bočnice  $\alpha_b$** 

$$\frac{d_{\xi 2}}{h_b} = \frac{25}{60} = 0,416 \quad (6.23)$$

$$\alpha_b = 2,24 \text{ dle [6] str. 1113}$$

**Napětí v tahu bočnice dolní kladnice maximální  $\sigma_{tb2 \max}$** 

$$\sigma_{tb2 \max} = \sigma_{tb2} \cdot \alpha_b = 12,7 \cdot 2,24 \quad (6.24)$$

$$\sigma_{tb2 \max} = 28,45 \text{ MPa}$$

**Podmínka na tah**

$$\sigma_{tb2 \max} \leq \sigma_{Db}$$

28,45 < 150,88 MPa Podmínka splněna

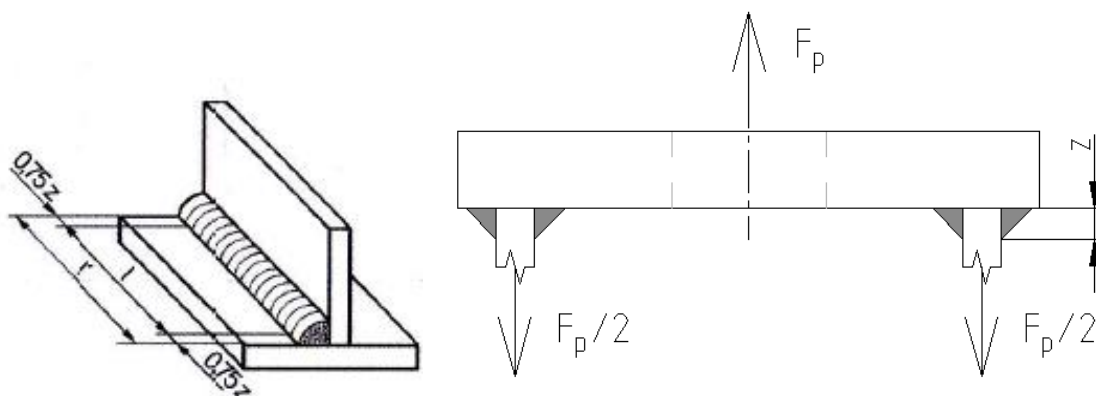
### 6.3 KONTROLA SVARŮ

Je provedena kontrola svarů mezi horní pásnicí a bočnicemi. Kontrola je provedena vzhledem ke způsobu namáhání na smyk. Bočnice jsou k horní pásnici přivařeny oboustranným koutovým svarem o výšce svaru 4 mm. Svar nosné konstrukce kontrolován není, jelikož svar nosné konstrukce je delší než svar bočnic s horní pásnicí. Výpočty jsou provedeny podle [5].

Materiál bočnic i horní pásnice je 1.0553 (dle ČSN 11 523) podle normy ČSN EN 10025.

Mez pevnosti:  $R_m = 490$  MPa

Mez kluzu:  $R_e = 355$  MPa



Obr. 24 Čelní koutový svar namáhaný na smyk [5]

#### Vstupní hodnoty

převodní součinitel:  $\alpha_p = 0,75$  (čelní svar)

součinitel bezpečnosti svarových spojů:  $k_{sv} = 1,5$

síla zatěžující horní pásnici:  $F_p = 4740,88$  N

výška svaru:  $z = 4$  mm

délka svaru:  $l_{sv}' = 60$  mm

#### Dovolené napětí svaru $\tau_{Dsv}$

$$\tau_{Dsv} = \alpha_p \cdot \frac{Re}{k_{sv}} = 0,75 \cdot \frac{355}{1,5} \quad (6.25)$$

$$\tau_{Dsv} = 177,5 \text{ MPa}$$

#### Výpočtová délka svaru $l_{sv}$

$$l_{sv} = l_{sv}' - 1,5 \cdot z = 60 - 1,5 \cdot 4 \quad (6.26)$$

$$l_{sv} = 54 \text{ mm}$$

Napětí ve smyku svaru  $\tau_{sv}$

$$\tau_{sv} = \frac{\frac{F_p}{2}}{2 \cdot 0,7 \cdot z \cdot l_{sv}} \quad (6.27)$$

$$\tau_{sv} = \frac{4740,88}{2 \cdot 0,7 \cdot 4 \cdot 54}$$

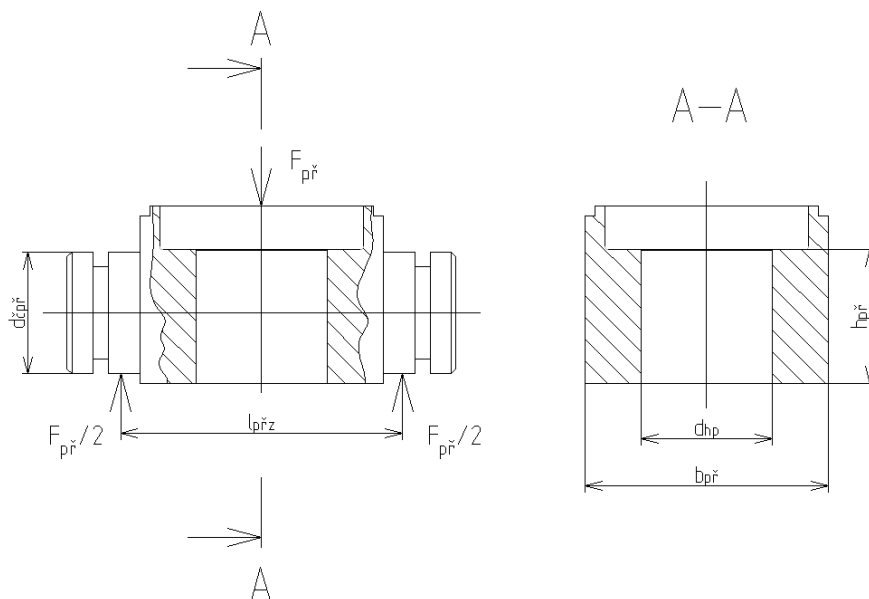
$$\tau_{sv} = 7,84 \text{ MPa}$$

Podmínka ve smyku

$$\tau_{sv} \leq \tau_{Dsv}$$

$$7,84 < 177,5 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka splněna}$$

## 6.4 KONTROLA PŘÍČNÍKU



Obr. 25 Příčnick dolní kladnice

Příčnick dolní kladnice je kontrolován na ohyb. Kontrola na ohyb provedena v kritickém místě, konkrétně uprostřed příčnicku. Příčnick je pro výpočet zjednodušen na nosník o dvou podporách, který je zatížený silou uprostřed. Dále je příčnick kontrolován na smyk a otláčení. Materiál příčnicku je 1.0070 (dle ČSN 11 700) dle normy ČSN EN 10025. Vzorce pro výpočet dle [4].

Mez pevnosti:  $R_m = 670 \text{ MPa}$

Mez kluzu:  $R_e = 355 \text{ MPa}$

Součinitel pro mýjivé zatížení dle [7] str.55:  $c_{II} = 0,75$

**Dovolené napětí příčnicku v ohybu  $\sigma_{Dpř}$**

$$\sigma_{Dpř} = 0,7 \cdot Re \cdot c_{II} = 0,7 \cdot 355 \cdot 0,75 \quad (6.28)$$

$$\sigma_{Dpř} = 186,4 \text{ MPa}$$

**Dovolené napětí příčnicku ve střihu  $\tau_{Dpř}$**

$$\tau_{Dpř} = 0,4 \cdot Re \cdot c_{II} = 0,4 \cdot 355 \cdot 0,75 \quad (6.29)$$

$$\tau_{Dpř} = 106,5 \text{ MPa}$$

**Dovolené napětí příčnicku na otlačení  $p_{Dpř}$**

$$p_{Dpř} = 0,9 \cdot Re \cdot c_{II} = 0,9 \cdot 355 \cdot 0,75 \quad (6.30)$$

$$p_{Dpř} = 239,63 \text{ MPa}$$

**Síla zatěžující příčnick  $F_{př}$**

$$F_{př} = F_{b2} = 4443,93 \text{ N}$$

#### 6.4.1 KONTROLA NA OHYB UPROSTŘED PŘÍČNÍKU

**Vstupní hodnoty**

zatížená délka příčnicku:  $l_{přz} = 58 \text{ mm}$

šířka příčnicku:  $b_{př} = 50 \text{ mm}$

průměr otvoru pro hák:  $d_{hp} = 27 \text{ mm}$

zatížená výška příčnicku:  $h_{př} = 28 \text{ mm}$

**Maximální ohybový moment příčnicku  $M_{opř}$**

$$M_{opř} = \frac{F_{př} \cdot l_{přz}}{4} \quad (6.31)$$

$$M_{opř} = \frac{4443,93 \cdot 0,058}{4}$$

$$M_{opř} = 64,44 \text{ N.m}$$

**Průřezový modul v ohybu příčnicku  $W_{opř}$** 

Je zjednodušený, není počítáno se zahloubením pro ložisko.

$$W_{opř} = \frac{h_{př}^2 \cdot b_{př}}{6} - \frac{h_{př}^2 \cdot d_{hp}}{6} \quad (6.32)$$

$$W_{opř} = \frac{0,028^2 \cdot 0,05}{6} - \frac{0,028^2 \cdot 0,027}{6}$$

$$W_{opř} = 3005 \text{ mm}^3$$

**Napětí v ohybu příčnicku  $\sigma_{o4}$** 

$$\sigma_{o4} = \frac{M_{opř}}{W_{opř}} \quad (6.33)$$

$$\sigma_{o4} = \frac{64,44 \cdot 10^3}{3005}$$

$$\sigma_{o4} = 21,44 \text{ MPa}$$

**Podmínka v ohybu**

$$\sigma_{o4} \leq \sigma_{Dpř}$$

$$21,44 < 186,4 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka splněna}$$

**6.4.2 KONTROLA NA SMYK A OTLAČENÍ****Vstupní hodnoty**

průměr čepu příčnicku:  $d_{čpř} = 25 \text{ mm}$

tloušťka bočnice:  $t_{b2} = 5 \text{ mm}$

**Napětí ve smyku příčnicku  $\tau_{spř}$** 

$$\tau_{spř} = \frac{2 \cdot F_{př}}{\pi \cdot d_{čpř}^2} \quad (6.34)$$

$$\tau_{spř} = \frac{2 \cdot 4443,93}{\pi \cdot 0,025^2}$$

$$\tau_{spř} = 4,53 \text{ MPa}$$

**Podmínka ve smyku**

$$\tau_{spř} \leq \tau_{Dpř}$$

$$4,53 < 106,5 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka splněna}$$

**Kontrola na otláčení příčnicku  $p_{př}$** 

$$p_{př} = \frac{F_{př}}{2 \cdot d_{čpř} \cdot t_{b2}} \quad (6.35)$$

$$p_{př} = \frac{4443,93}{2 \cdot 0,025 \cdot 0,005}$$

$$p_{př} = 17,78 \text{ MPa}$$

**Podmínka na otláčení**

$$p_{př} \leq p_{Dpř}$$

$$17,78 < 239,63 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka splněna}$$

**6.5 KONTROLA HÁKU**

Provedena kontrola háku na tah, konkrétně v místě výběhu závitu dříku háku. Háček je vyroben z materiálu 1.0493 (dle DIN StE 285).

Mez pevnosti:  $R_m = 370 \text{ MPa}$

Mez kluzu:  $R_e = 265 \text{ MPa}$

Součinitel pro míjivé zatížení dle [7] str.55:  $c_{II} = 0,85$

**Dovolené napětí v tahu háku  $\sigma_{Dh}$** 

$$\sigma_{Dh} = 0,5 \cdot R_e \cdot c_{II} = 0,5 \cdot 265 \cdot 0,85 \quad (6.36)$$

$$\sigma_{Dh} = 112,63 \text{ MPa}$$

**Síla zatěžující hák  $F_h$** 

$$F_h = (m_h + m_{bř}) \cdot g \quad (6.37)$$

$$F_h = (2,31 + 450) \cdot 9,81$$

$$F_h = 4437,16 \text{ N}$$

**Vstupní hodnoty**

průměr háku ve výběhu závitu:  $d_h = 20,5$  mm

zaoblení ve výběhu závitu háku:  $r_h = 2$  mm

**Napětí v tahu háku nominální  $\sigma_{th}$** 

$$\sigma_{th} = \frac{4 \cdot F_h}{\pi \cdot d_h^2} \quad (6.38)$$

$$\sigma_{th} = \frac{4 \cdot 4437,16}{\pi \cdot 0,0205^2}$$

$$\sigma_{th} = 13,44 \text{ MPa}$$

**Vrubový součinitel háku  $\alpha_h$** 

$$\frac{r_h}{d_h} = \frac{2}{20,5} = 0,098; \quad \frac{M24}{d_h} = \frac{24}{20,5} = 1,17 \quad (6.39)$$

$$\alpha_h = 2,15 \text{ dle [6] str. 1117}$$

**Napětí v tahu háku maximální  $\sigma_{th max}$** 

$$\sigma_{th max} = \sigma_{th} \cdot \alpha_h = 13,44 \cdot 2,15 \quad (6.40)$$

$$\sigma_{th max} = 28,9 \text{ MPa}$$

**Podmínka na tah**

$$\sigma_{th max} \leq \sigma_{Dh}$$

$$28,9 < 112,63 \text{ MPa} \quad \text{Podmínka splněna}$$

**6.6 KONTROLA NA OTLAČENÍ V ZÁVITECH**

Provedena kontrola na otláčení závitu, konkrétně závitu závěsného šroubu a závitu háku. Rozměry závitů dle [4].

**6.6.1 ZÁVIT ZÁVĚSNÉHO ŠROUBU**

Zvolena pevnostní třída 8.8 dle ČSN EN ISO 898-1 závěsného šroubu M20. Dle [4] str. 305 je dovolený tlak v závitech závěsného šroubu 150 MPa.

**Vstupní hodnoty**

střední průměr závitu závěsného šroubu:  $d_{2s} = 18,376$  mm

malý průměr závitu matice:  $D_{1s} = 17,294$  mm

velký průměr závitu závěsného šroubu:  $d_s = 20$  mm

počet závitů matice závěsného šroubu:  $n_s = 5$

dovolený tlak v závitech závěsného šroubu:  $p_{Ds} = 150$  MPa

síla zatěžující horní pásnici:  $F_p = 4740,88$  N

**Nosná výška závitu závěsného šroubu  $H_s$**

$$H_s = \frac{d_s - D_{1s}}{2} = \frac{20 - 17,294}{2} \quad (6.41)$$

$$H_s = 1,353 \text{ mm}$$

**Otlačení závitu závěsného šroubu  $p_s$**

$$p_s = \frac{F_p}{\pi \cdot n_s \cdot d_{2s} \cdot H_s} \quad (6.42)$$

$$p_s = \frac{4740,88}{\pi \cdot 5 \cdot 18,376 \cdot 1,353}$$

$$p_s = 12,14 \text{ MPa}$$

**Podmínka na otlačení**

$$p_s \leq p_{Ds}$$

12,14 < 150 MPa Podmínka splněna

**6.6.2 ZÁVIT HÁKU**

Materiál háku má minimální mez kluzu 265 MPa, to odpovídá pevnostní třídě 5.6 dle ČSN EN ISO 898-1 šroubu M24. Dle [4] str. 305 je dovolený tlak v závitech háku 70 MPa.

**Vstupní hodnoty**

střední průměr závitu háku:  $d_{2h} = 22,051$  mm

malý průměr závitu matice:  $D_{1h} = 20,752$  mm

velký průměr závitu háku:  $d_h = 24$  mm

počet závitů matice háku:  $n_h = 6$

dovolený tlak v závitech háku:  $p_{Dh} = 70$  MPa

**Nosná výška závitu háku  $H_h$**

$$H_h = \frac{d_h - D_{1h}}{2} = \frac{24 - 20,752}{2} \quad (6.43)$$

$$H_h = 1,624 \text{ mm}$$

**Otlačení závitu háku  $p_h$**

$$p_h = \frac{F_h}{\pi \cdot n_h \cdot d_{2h} \cdot H_h} \quad (6.44)$$

$$p_h = \frac{4437,16}{\pi \cdot 6 \cdot 22,051 \cdot 1,624}$$

$$p_h = 6,57 \text{ MPa}$$

**Podmínka na otlačení**

$$p_h \leq p_{Dh}$$

6,57 < 70 MPa Podmínka splněna

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout samosvorný diferenciální kladkostroj podle zadaných parametrů a uvedené rešerše. Dalším úkolem bylo provést pevnostní kontrolu navrženého kladkostroje. Po provedení rešerše byl vybrán Westonův diferenciální kladkostroj. Nejprve byl zvolen řetěz podle zadané nosnosti. Na základě rozměru řetězu byly následně vypočítány rozměry dvojitě řetězové kladky a kladky dolní kladnice podle normy ČSN 01 4805. Počet zubů řetězové kladky byl určen tak, aby byla splněna podmínka samosvornosti. Dále byly navrženy ostatní části kladkostroje a vypracován 3D model kladkostroje. Po sestavení modelu byly provedeny kontrolní výpočty v nebezpečných průřezech. Jedná se o čepy, rámovou konstrukci, příčník a hák. Nakonec byl vypracován výkres sestavy a výrobní výkresy některých částí kladkostroje.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MALÁŠEK, J. Dopravní a manipulační zařízení. Skripta. [elektronické vydání]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013.
- [2] REMTA, František, Ladislav KUPKA a František DRAŽAN. Jeřáby: 1. díl. 2. přeprac. a dopl. vyd. Praha: SNTL, 1974.
- [3] REMTA, František, Ladislav KUPKA a František DRAŽAN. Jeřáby. 2. díl. 2. přeprac. a dopl. vyd. Praha: SNTL, 1975.
- [4] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. Strojnické tabulky pro školu a praxi: 1. díl. Praha: Scientia, 2004. ISBN 80-7183-312-6.
- [5] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. Strojnické tabulky: pro školu a praxi: 2. díl. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-20-3.
- [6] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [7] VÁVRA, Pavel. Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické: učební text. Praha: SNTL, 1983.
- [8] ČSN ISO 01 4805. Řetězová kola pro svařované řetězy: Kalibrované krátkočlánkové a dlouhočlánkové – Výpočet a konstrukce profilů zubů. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1969. 9s.
- [9] Differential Pulley Apparatus [patent]. W. H. Thompson, US 225953. Uděleno Mar. 30, 1880. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US225953A/en?q=US+225953>
- [10] Differential Pulley Block [patent]. E. Y. Moore, US467513. Uděleno Jan. 26, 1892. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/US467513A/en?q=US467513>
- [11] Řetězárna a.s. [online]. 2020 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://www.retezarna.cz/cz/katalog-produktu/k1554-retezy-pro-kladkostroje/>
- [12] Řetěz.cz. Závěsný šroub. [online]. 2020 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.retezon.cz/vazaci-body/vazaci-body-sroubovaci/vazaci-bod-pevny-s-okem-oko-1047.htm>
- [13] SKF. Axiální kuličková ložiska. [online]. 2020 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/thrust-ball-bearings/productid-51105>
- [14] SKF. Kluzná ložiska. [online]. 2020 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/plain-bearings/bushings-thrust-washers-strips/bushings#cid-465404>
- [15] VINGU. Kované háky. [online]. 2020 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <http://www.vingu.cz/katalog/kovane-haky-dle-din-15401-15402>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$b_{př}$	[mm]	šířka příčnicku
$c_{II}$	[-]	součinitel pro míjivé zatížení
$c_{ř1}, c_{ř2}, c_{k3}$	[mm]	šířky drážek kladek
$d$	[mm]	průměr jednoho článku řetězu
$D_{1h}, D_{1š}$	[mm]	malé průměry závitů matice
$d_{2h}, d_{2š}$	[mm]	střední průměry závitů
$D_{ař1}, D_{ař2}, D_{ak3}$	[mm]	průměry hlavových kružnic kladek
$d_{č1}$	[mm]	průměr čepu dvojitě řetězové kladky
$d_{č2}$	[mm]	průměr čepu dolní kladnice
$d_{čpř}$	[mm]	průměr čepu příčnicku
$D_{řř1}, D_{řř2}, D_{řk3}$	[mm]	dolní průměry drážek kladek
$d_h$	[mm]	průměr háku ve výběhu závitů
$d_h, d_š$	[mm]	velké průměry závitů
$d_{hp}$	[mm]	průměr otvoru pro hák
$D_{ř1}, D_{ř2}, D_{k3}$	[mm]	roztečné průměry kladek
$d_z$	[mm]	průměr otvoru pro závěsné oko
$F_{b1}$	[N]	síla zatěžující bočnici dvojitě řetězové kladky
$F_{b2}$	[N]	síla zatěžující bočnici dolní kladnice
$f_č$	[-]	součinitel čepového tření
$F_{č1}$	[N]	síla zatěžující čep dvojitě řetězové kladky
$F_{č2}$	[N]	síla zatěžující čep dolní kladnice
$F_h$	[N]	síla zatěžující hák
$f_k$	[-]	součinitel kluzného tření
$F_{n1}$	[N]	síla v navíjené části řetězu
$F_{o2}$	[N]	síla v odvíjené části řetězu
$F_p$	[N]	síla zatěžující horní pásnici
$F_{př}$	[N]	síla zatěžující příčnick
$F_s$	[N]	síla potřebná pro spouštění břemene
$F_z$	[N]	skutečná síla potřebná pro zvedání břemene
$F_{zt}$	[N]	teoretická síla potřebná pro zvedání břemene
$g$	[m·s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení
$G_{ř}$	[N]	síla, která zatěžuje řetěz

$h_b$	[mm]	šířka bočnice
$H_h, H_s$	[mm]	nosné výšky závitů
$h_p$	[mm]	šířka pásnice
$h_{př}$	[mm]	zatížená výška příčnicku
$h_{ř1}, h_{ř2}$	[-]	vzdálenosti středů oblouků lůžka
$h_z$	[m]	výška zdvihu kladkostroje
$i$	[-]	počet nosných průřezů
$i_{kl}$	[-]	převodový poměr
$k$	[-]	součinitel bezpečnosti kladkostroje
$k_{ř1}, k_{ř2}, k_{k3}$	[mm]	vzdálenosti lůžek od středů kladek
$k_{sm}$	[-]	součinitel bezpečnosti samosvornosti
$k_{sv}$	[-]	součinitel bezpečnosti svarových spojů
$l_{č1}$	[mm]	délka čepu dvojité řetězové kladky
$l_{č2}$	[mm]	délka čepu dolní kladnice
$l_{čz1}, l_{čz2}$	[mm]	zatížené délky čepu
$l_{přz}$	[mm]	zatížená délka příčnicku
$l_{pz}$	[mm]	zatížená délka horní pásnice
$l_{ř min}$	[mm]	maximální délka řetězu
$l_{ř}$	[m]	délka řetězu
$l_{sv}$	[mm]	výpočtová délka svaru
$m_{bř}$	[kg]	hmotnost břemene
$m_c$	[kg]	hmotnost celého kladkostroje bez řetězu
$m_{cř}$	[kg]	hmotnost celého kladkostroje s řetězem
$m_{dk}$	[kg]	hmotnost dolní kladnice
$m_h$	[kg]	hmotnost háku
$m_{hk}$	[kg]	hmotnost horní kladnice
$m_{kdk}$	[kg]	hmotnost kladky dolní kladnice
$m_{mh}$	[kg]	hmotnost matice pro hák
$M_{oč1}$	[N.m]	maximální ohybový moment čepu dvojité řetězové kladky
$M_{oč2}$	[N.m]	maximální ohybový moment čepu dolní kladnice
$M_{op}$	[N.m]	maximální ohybový moment pásnice
$M_{opř}$	[N.m]	maximální ohybový moment příčnicku
$m_{pdk}$	[kg]	hmotnost příčnicku v dolní kladnici

$m_{\bar{r}}$	[kg]	hmotnost řetězu
$m_{\bar{r}k}$	[kg]	hmotnost dvojité řetězové kladky
$m_{\bar{r}m}$	[kg·m <sup>-1</sup> ]	měrná hmotnost řetězu
$n_h, n_{\bar{s}}$	[-]	počet závitů matice
$p_{\bar{c}}$	[MPa]	kontrola na otláčení čepu dvojité řetězové kladky
$p_{D\bar{c}}$	[MPa]	dovolené napětí čepu na otláčení
$p_{Dh}, p_{D\bar{s}}$	[MPa]	dovolené tlaky v závitech
$p_{Dp\bar{r}}$	[MPa]	dovolené napětí příčnicku na otláčení
$p_h$	[MPa]	otlačení závitu háku
$p_{p\bar{r}}$	[MPa]	kontrola na otláčení příčnicku
$p_{\bar{s}}$	[MPa]	otlačení závitu závěsného šroubu
$Q_{b\bar{r}}$	[N]	zatížení působením břemene
$Q_{\bar{r}}$	[N]	zatížení od řetězu
$r_{\bar{c}1}$	[mm]	poloměr čepu dvojité řetězové kladky
$r_{\bar{c}2}$	[mm]	poloměr čepu kladky dolní kladnice
$Re$	[MPa]	mez kluzu
$r_h$	[mm]	zaoblení ve výběhu závitu háku
$R_{h\bar{r}1}, R_{h\bar{r}2}$	[mm]	hlavové poměr zubů řetězových kladek
$R_{k3}$	[mm]	roztečný poloměr kladky dolní kladnice
$R_{l\bar{r}1}, R_{l\bar{r}2}$	[mm]	poloměry oblouků lůžka řetězových kladek
$R_m$	[MPa]	mez pevnosti
$R_{p\bar{r}1}, R_{p\bar{r}2}$	[mm]	patní poloměry zubů řetězových kladek
$R_{\bar{r}1}$	[mm]	roztečný poloměr většího kola dvojité řetězové kladky
$R_{\bar{r}2}$	[mm]	roztečný poloměr menšího kola dvojité řetězové kladky
$s_{\bar{r}1}, s_{\bar{r}2}, s_{k3}$	[mm]	šířka věnců kladek
$t$	[mm]	rozteč řetězu
$t_{b1}, t_{b2}$	[mm]	tloušťka bočnic
$t_p$	[mm]	tloušťka pásnice
$v_{\bar{r}1}, v_{\bar{r}2}, v_{k3}$	[mm]	vůle v lůžkách kladek
$w_2$	[mm]	maximální šířka článku řetězu
$W_{o\bar{c}}$	[mm <sup>3</sup> ]	průřezový modul v ohybu čepu
$W_{op}$	[mm <sup>3</sup> ]	průřezový modul v ohybu pásnice
$W_{op\bar{r}}$	[mm]	průřezový modul v ohybu příčnicku

$z$	[mm]	výška svaru
$z_1$	[-]	počet zubů většího kola dvojité řetězové kladky
$z_2$	[-]	počet zubů menšího kola dvojité řetězové kladky
$\alpha_b, \alpha_h$	[-]	vrubový součinitel
$\alpha_p$	[-]	převodní součinitel
$\Delta t$	[mm]	horní úchylka rozteče řetězu
$\eta_{id}$	[-]	ideální účinnost řetězové kladky
$\eta_{k3}$	[-]	účinnost kladky spodní kladnice
$\eta_{kl}$	[-]	účinnost kladkostroje
$\eta_{\bar{r}}$	[-]	celková účinnost dvojité řetězové kladky
$\eta_{\bar{r}1}$	[-]	účinnost většího kola dvojité řetězové kladky
$\eta_{\bar{r}2}$	[-]	účinnost menšího kola dvojité řetězové kladky
$\sigma_{Db}$	[MPa]	dovolené napětí bočnic v tahu
$\sigma_{D\check{c}}$	[MPa]	dovolené napětí čepu v ohybu
$\sigma_{Dp}$	[MPa]	dovolené napětí horní pásnice v ohybu
$\sigma_{Dp\check{r}}$	[MPa]	dovolené napětí příčnicku v ohybu
$\sigma_{Dt}$	[MPa]	dovolené napětí v tahu háku
$\sigma_{o3}$	[MPa]	napětí v ohybu pásnice
$\sigma_{o4}$	[MPa]	napětí v ohybu příčnicku
$\sigma_{o\check{c}1}$	[MPa]	napětí v ohybu čepu dvojité řetězové kladky
$\sigma_{o\check{c}2}$	[MPa]	napětí v ohybu čepu dolní kladnice
$\sigma_{ib1\ max}$	[MPa]	napětí v tahu bočnice řetězové kladky maximální
$\sigma_{ib1}$	[MPa]	napětí v tahu bočnice řetězové kladky nominální
$\sigma_{ib2\ max}$	[MPa]	napětí v tahu bočnice dolní kladnice maximální
$\sigma_{ib2}$	[MPa]	napětí v tahu bočnice dolní kladnice nominální
$\sigma_{ih\ max}$	[MPa]	napětí v tahu háku maximální
$\sigma_{ih}$	[MPa]	napětí v tahu háku nominální
$\tau_{D\check{c}}$	[MPa]	dovolené napětí čepu ve stříhu
$\tau_{Dp\check{r}}$	[MPa]	dovolené napětí příčnicku ve stříhu
$\tau_{Dsv}$	[MPa]	dovolené napětí svaru
$\tau_{S\check{c}}$	[MPa]	napětí ve smyku čepu dvojité řetězové kladky
$\tau_{Sp\check{r}}$	[MPa]	napětí ve smyku příčnicku
$\tau_{sv}$	[MPa]	napětí ve smyku svaru

## SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace:

Kladkostroj	sestava	DK-A1-01	I
Rám řetězové kladky	výkres svarku	DK-A2-02	II
Kladka dolní kladnice	výrobní výkres	DK-A4-03	III
Příčník	výrobní výkres	DK-A4-04	IV