



## **Středoškolská technika 2023**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **KLADKOSTROJ**

**Jiří Chmelík**

VOŠ a SPŠ Žďár nad Sázavou  
Studentská 1, Žďár nad Sázavou



## Studentský projekt:

### ANOTACE

Tato práce se zabývá výpočtem a konstrukčním návrhem šroubového kladkostroje s radiálním rychlostním regulátorem s nosností 2000 kg. Po stručném rozdělení kladkostrojů dle různých kritérií a jejich popisu následuje podrobnější popis zvolené konstrukce šroubového kladkostroje. Dále práce obsahuje výpočet řetězových kol dle příslušné normy, volbu řetězů, výpočet hřídelů, volbu ložisek, výpočet šnekového převodu a výpočet radiálního rychlostního regulátoru. K práci je přiložena výkresová dokumentace dle zadání.

**Klíčová slova:** šroubový kladkostroj; kladnice; kladky; převod; regulátor

# OBSAH

ÚVOD .....	8
1 Rozdělení kladkostrojů.....	9
1.1 Rozdělení dle konstrukce.....	9
1.1.1 Násobný kladkostroj.....	9
1.1.2 Šroubový kladkostroj .....	9
1.1.3 Diferenciální kladkostroj.....	10
1.2 Rozdělení dle pohonu .....	10
1.3 Rozdělení dle hnacího prvku .....	10
2 Konstrukce šroubového kladkostroje .....	10
2.1 Hnací řetěz.....	11
2.2 Řetězové kladky .....	11
2.2.1 Volná kladka .....	11
2.2.2 Pevná kladka .....	12
2.2.3 Hnací kladka.....	12
2.3 Závěsný čep v kladnici .....	12
2.4 Příčnick v kladnici.....	13
2.5 Ložiska.....	13
2.5.1 Kluzné ložisko v kladnici .....	13
2.5.2 Axiální ložisko .....	13
2.5.3 Kuličková ložiska jednořadá s kosoúhlým stykem .....	13
2.6 Šnekový převod .....	13
2.6.1 Šnek.....	13
2.6.2 Šnekové kolo .....	14
2.6.3 Rozeta kola.....	14
2.7 Rám kladkostroje .....	14
2.7.1 Nosný plech.....	14
2.7.2 Nosný pravý plech.....	15
2.7.3 Nosný levý plech.....	15
2.7.4 Krycí plechy .....	15
2.8 Háky jednoduché .....	15
3 Vstupní parametry .....	16
4 Výpočet kladnice.....	16
4.1 Výpočet průměru závěsného čepu .....	16
4.2 Výpočet minimální délky náboje kladky.....	16

4.3	Kontrola závěsného čepu na ohyb .....	16
4.4	Kontrola závěsného čepu na střih .....	17
4.5	Návrh rozměrů příčnicku.....	17
4.6	Kontrola příčnicku na ohyb .....	18
4.7	Kontrola příčnicku na střih.....	18
4.8	Kontrola tlaku mezi příčnickem a bočnicí .....	18
4.9	Kontrola napětí v tahu v bočnici.....	19
4.10	Kontrola mezi závěsným čepem a bočnicí.....	19
5	Výpočet háku kladnice .....	20
5.1	Návrh rozměrů háku .....	20
5.2	Výpočet háku na tah .....	20
5.3	Výpočet háku na střih .....	21
5.4	Výpočet háku na tah a ohyb .....	21
5.5	Výpočet háku na tah, ohyb a střih .....	21
5.6	Výpočet závitů háku .....	22
5.6.1	Mechanické vlastnosti .....	22
5.6.2	Dovolené napětí.....	22
5.6.3	Stanovení výpočtového průřezu .....	22
5.6.4	Výpočet dovoleného napětí tlaku v závitech matice .....	22
5.6.5	Určení minimálního počtu závitů .....	22
5.6.6	Určení minimální výšky matice .....	22
5.6.7	Kontrola nebezpečného průřezu na tah .....	23
6	Určení axiálního ložiska.....	23
7	Určení nosného řetězu .....	23
7.1	Výpočet síly působící na nosný řetěz .....	23
7.2	Určení typu nosného řetězu .....	24
8	Výpočet volné kladky.....	24
8.1	Výpočet roztečné kružnice .....	24
8.2	Výpočet hlavové kružnice .....	24
8.3	Výpočet patního průměru drážky .....	24
8.4	Výpočet vzdálenosti lůžka od středu kladky .....	24
8.5	Výpočet vzdálenosti středů oblouků lůžka.....	24
8.6	Výpočet vůle v lůžku.....	24
8.7	Výpočet drážky.....	24
8.8	Výpočet šířky věnce .....	24
8.9	Výpočet poloměru oblouků lůžka.....	25
8.10	Výpočet patního poloměru zubu .....	25

8.11	Výpočet hlavového poloměru zubu .....	25
9	Výpočet rozměrů pevné kladky.....	25
9.1	Určení počtu zubů pevné kladky .....	25
9.2	Výpočet roztečné kružnice .....	26
9.3	Výpočet průměru hlavové kružnice.....	26
9.4	Výpočet patního průměru drážky .....	26
9.5	Výpočet vzdálenosti lůžka od středu kladky .....	26
9.6	Výpočet vzdálenosti středů oblouků lůžka.....	26
9.7	Výpočet vůle v lůžku.....	26
9.8	Výpočet drážky.....	26
9.9	Výpočet šířky věnce .....	26
9.10	Výpočet poloměru oblouků lůžka.....	26
9.11	Výpočet patního poloměru zubu.....	27
9.12	Výpočet hlavového poloměru zubu .....	27
10	Výpočet krouticího momentu na hnané hřídeli .....	27
11	Určení síly potřebné ke zvedání břemene .....	27
11.1	Výpočet krouticího momentu na hnací hřídeli.....	27
11.2	Určení typu hnacího řetězu .....	27
11.3	Výpočet průměru roztečné kružnice hnací kladky.....	27
11.4	Výpočet síly potřebné ke zvedání břemene .....	27
12	Výpočet rozměrů hnací kladky .....	27
12.1	Výpočet průměru hlavové kružnice .....	27
12.2	Výpočet patního průměru drážky.....	28
12.3	Výpočet vzdálenosti lůžka od středu kladky.....	28
12.4	Výpočet vzdálenosti středů oblouků lůžka .....	28
12.5	Výpočet vůle v lůžku .....	28
12.6	Výpočet drážky .....	28
12.7	Výpočet šířky věnce.....	28
12.8	Výpočet poloměru oblouků lůžka.....	28
12.9	Výpočet patního poloměru zubu.....	28
12.10	Výpočet hlavového poloměru zubu .....	28
13	Návrh šnekového převodu.....	28
13.1	Výpočet modulu.....	28
13.2	Výpočet úhlu stoupání šroubovice.....	29
13.3	Výpočet osového modulu .....	29
13.4	Výpočet úhlu záběru v osově rovině.....	29
13.5	Výpočet osově rozteče .....	29

13.6	Výpočet normálové rozteče .....	29
13.7	Výpočet stoupání šroubovice .....	29
13.8	Výpočet vzdálenosti os .....	29
13.9	Výpočet průměru roztečné kružnice šneku .....	29
13.10	Výpočet výšky hlavy zubu šneku.....	29
13.11	Výpočet výšky paty zubu šneku.....	29
13.12	Výpočet výšky zubu šneku .....	30
13.13	Výpočet průměru hlavové kružnice šneku.....	30
13.14	Výpočet průměru patní kružnice šneku .....	30
13.15	Výpočet průměru roztečné kružnice šnekového kola .....	30
13.16	Výpočet výšky hlavy zubu šnekového kola.....	30
13.17	Výpočet výšky paty zubu šneku.....	30
13.18	Výpočet výšky zubu šnekového kola.....	30
13.19	Výpočet posunutí os.....	30
13.20	Výpočet průměru hlavové kružnice šnekového kola .....	30
13.21	Výpočet průměru valivé kružnice šnekového kola .....	30
13.22	Výpočet průměru patní kružnice šnekového kola.....	30
13.23	Výpočet tloušťky zubu v normálové rovině šneku .....	31
13.24	Výpočet tloušťky zubu v normálové rovině šnekového kola .....	31
13.25	Výpočet délky šneku.....	31
13.26	Výpočet vnějšího průměru věnce kola.....	31
13.27	Výpočet zaoblení u hlavy zubu.....	31
13.28	Výpočet zaoblení u paty zubu.....	31
13.29	Výpočet šířky věnce.....	31
13.30	Výpočet úhlu zkosení věnce .....	31
14	Určení sil ve šnekovém převodu .....	32
14.1	Obvodová síla šneku .....	32
14.2	Axiální síla kola .....	32
14.3	Obvodová síla kola .....	32
14.4	Axiální síla šneku.....	32
14.5	Radiální síla šneku .....	33
14.6	Radiální síla kola.....	33
14.7	Výsledná síla šneku zatěžující ložiska .....	33
14.8	Výsledná síla kola zatěžující ložiska .....	33
15	Výpočet hřídele pevné kladky.....	33
15.1	Návrh vzdáleností ložisek a sil .....	33
15.2	Výpočet reakčních sil.....	34

15.3	Výpočet maximálního ohybového momentu .....	34
15.4	Výpočet redukovaného momentu .....	35
15.5	Výpočet průměru $d_1$ hřídele pevné kladky.....	35
15.6	Určení průměru $d_2$ hřídele pevné kladky .....	35
15.7	Určení průměru $d_3$ hřídele pevné kladky .....	35
15.8	Určení průměru $d_4$ hřídele pevné kladky .....	35
15.9	Určení průměru $d_5$ hřídele pevné kladky .....	35
15.10	Určení ložisek hřídele pevné kladky .....	36
15.11	Kontrola ložisek .....	36
15.11.1	Stanovení zatížení ložisek radiální silou $F_r$ a axiální silou $F_a$ .....	36
15.11.2	Stanovení dynamického ekvivalentního zatížení .....	36
15.11.3	Stanovení statického ekvivalentního zatížení.....	36
15.11.4	Stanovení bezpečnosti ložisek při statickém zatížení.....	36
15.12	Určení velikosti těsného pera na $d_5$ .....	37
16	Výpočet hřídele šneku .....	38
16.1	Návrh vzdáleností ložisek a sil .....	38
16.2	Výpočet reakčních sil.....	38
16.3	Výpočet maximálního ohybového momentu .....	39
16.4	Výpočet redukovaného momentu .....	39
16.5	Výpočet průměru $d_1$ hřídele šneku.....	39
16.6	Určení průměru $d_2$ hřídele šneku .....	39
16.7	Určení ložisek hřídele šneku .....	39
16.8	Kontrola ložisek .....	40
16.8.1	Stanovení zatížení ložisek radiální silou $F_r$ a axiální silou $F_a$ .....	40
16.8.2	Stanovení dynamického ekvivalentního zatížení .....	40
16.8.3	Stanovení statického ekvivalentního zatížení .....	40
16.8.4	Stanovení bezpečnosti ložisek při statickém zatížení .....	40
16.9	Určení velikosti těsného pera na $d_1$ .....	40
17	Výpočet rychlostního regulátoru .....	41
17.1	Určení minimálního průměru čepu regulátoru.....	41
17.2	Výpočet pružiny .....	41
17.2.1	Výpočet maximálního zatížení pružiny.....	41
17.2.2	Určení středního průměru pružiny $D_{pr}$ .....	42
17.2.3	Předběžný výpočet pružiny .....	42
17.2.4	Poměr vinutí .....	42
17.2.5	Korekční součinitel .....	42
17.2.6	Korekce průměru drátu.....	42

17.2.7	Tuhost pružiny.....	42
17.2.8	Určení počet činných závitů.....	42
17.2.9	Vůle v závitech.....	43
17.2.10	Celkový počet závitů .....	43
17.2.11	Délka pružiny při úplném stlačení.....	43
17.2.12	Délka plně zatížené pružiny .....	43
17.2.13	Délka pružiny v předpruženém stavu .....	43
17.2.14	Délka volné pružiny.....	43
17.2.15	Délka rozvinutého drátu .....	43
18	Vizualizace kladkostroje .....	44
ZÁVĚR.....		45
SOUPIS POUŽITÉ LITERATURY .....		46
SEZNAM PŘÍLOH .....		47



## ÚVOD

Cílem této práce je dle zadání navrhnout šroubový kladkostroj s radiálním rychlostním regulátorem, navrhnout nosnou konstrukci a provést důležité pevnostní výpočty s přihlédnutím k ruční obsluze kladkostroje.

Kladkostroj je soustava pevných a volných kladek spojených lanem nebo řetězem. Jedná se o jednoduchý stroj určený k přepravě těžkých břemen nebo montážním pracím za použití ručního nebo elektrického pohonu. Je vybaven příslušenstvím k uchycení břemene např. hákem, okem atd. Má malé rozměry a poměrně malou hmotnost. Kladky s bočnicemi a hákem spolu spojeny v jeden celek se nazývají kladnice.

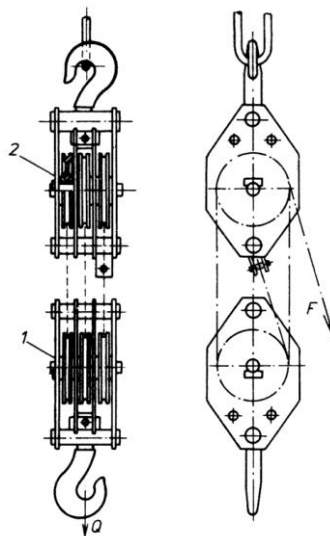
# 1 Rozdělení kladkostrojů

## 1.1 Rozdělení dle konstrukce

- násobný
- šroubový – se šnekovým převodem a čelním převodem
- diferenciální

### 1.1.1 Násobný kladkostroj

Dělí se na dvě skupiny. Na kladkostroje pro konopná lana a kladkostroje pro ocelová lana. Kladkostroj může mít jednu nebo dvě nebo tři kladky. Tyto kladkostroje nemohou dosáhnout velkého převodu. Pro jejich poměrně značné pasivní odpory nejsou příliš vhodné pro ruční pohon. Se vzrůstajícím počtem kladek klesá účinnost. Nevýhodou je jejich nesamosvornost a značná síla v laně při zvedání břemene. Přesto jsou konstruovány až do nosnosti 8 000 kg.

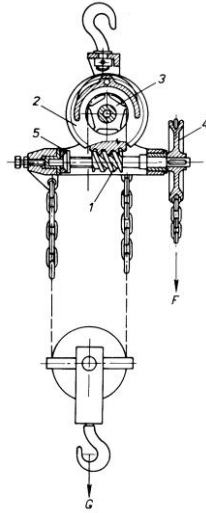


### 1.1.2 Šroubový kladkostroj

Velký převod při relativně malých rozměrech i malé hmotnosti.

#### **Šroubový kladkostroj se šnekovým převodem**

Jeho velký převodový poměr lze zdvojnásobit použitím volné kladky. Kladkostroj má malou účinnost z důvodu značného tření ve šnekovém soukolí. Výhodou je jeho samosvornost. Zvedacím prvkem je řetěz, a to článkový nebo kloubový (Gallův). Tyto kladkostroje jsou používány pro nosnosti 0,5 až 25 tun a zdvihy do 10 metrů.



### Šroubový kladkostroj s čelním převodem

Převod bývá uskutečněn přes dva nebo tři páry čelních ozubených kol. Oproti kladkostroji se šnekovým převodem má tento kladkostroj při stejném převodu větší hmotnost a větší účinnost, takže je třeba menší poháněcí síly. Kladkostroj používá pro nosnosti 0,25 až 10 tun a zdvihy do 10 metrů. Při menší únosnosti (kolem 2,5 tuny) mívá kladkostroj volnou kladku. Zvedací prvkem je článkový řetěz.

#### 1.1.3 Diferenciální kladkostroj

Diferenciální (Westonův) kladkostroj se skládá z pohyblivé kladnice o jedné kladce bez ozubení na níž je zavěšeno břemeno a z pevné kladnice o dvou spolu v jediný celek spojených ozubených kladkách různého poloměru  $R$  a  $r$ . Kolem těchto tří kladek je ovinut nekonečný řetěz tak, že tvoří dvě smyčky. Jedna je obtočená kolem spodní kladky, druhá volná, za jejíž jednu větev se tahá, když se břemeno zdvihá, za druhou, když se spouští. Řetěz je zároveň nosným i poháněcím prvkem. Výhody diferenciálního (Westonova) kladkostroje jsou jeho značný převod, samosvornost a velká jednoduchost konstrukce. Nevýhoda je poměrně rychlé opotřebování řetězu.

## 1.2 Rozdělení dle pohonu

- ruční
- elektrický

## 1.3 Rozdělení dle hnacího prvku

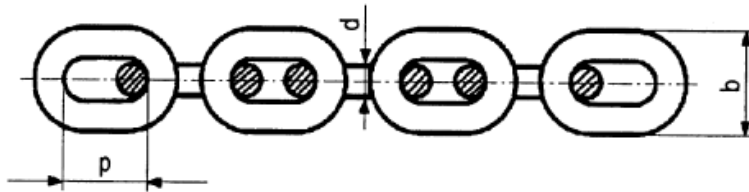
- lanové
- řetězové

## 2 Konstrukce šroubového kladkostroje

Při návrhu konstrukce byl kladen důraz na jednoduchou výrobu a montáž jednotlivých dílů. Z důvodu bezpečnosti je ke konstrukci přidělán radiální rychlostní regulátor. Nosná konstrukce kladkostroje je kontrolována na míjivé zatížení. Nosný řetěz pro zadanou nosnost kladkostroje byl dle lit. 1/str. 618 zvolen krátkočlánkový kalibrovaný řetěz. Parametry řetězu jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1

d (mm)	p (mm)	b (mm)	jakost 24		jakost 30	m (kg/m)
			nosnost (kg)	zkušební zatížení (kN)		
13	36	44	1600	32	40	3,80



## 2.1 Hnací řetěz

Pro obsluhu byl zvolen dle lit. 1/str. 618 krátkočlánekový kalibrovaný řetěz. Parametry řetězu jsou uvedeny v Tab. 2.

Tab. 2

d (mm)	p (mm)	b (mm)	jakost 24		jakost 30	m (kg/m)
			nosnost (kg)	zkušební zatížení (kN)		
10	28	34	1000	20	25	2,25

## 2.2 Řetězové kladky

### 2.2.1 Volná kladka

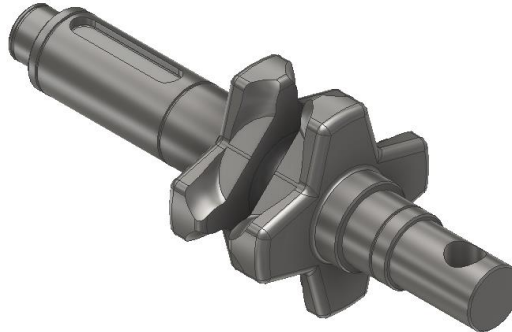
Volná kladka je vyrobena jako odlitek z tvárné litiny. Její rozměry jsou vypočteny dle normy ČSN 01 4805 pomocí vstupních parametrů zvoleného řetězu a zvolené ho počtu zubů. Obrobena jsou pouze náboj kladky a boční stykové plochy. Materiál kladky je 42 2303. Počet zubů kladky byl zvolen 8.



Volná kladka

### 2.2.2 Pevná kladka

Hnací kladka je vyrobena jako obrobek z konstrukční oceli. Její rozměry jsou vypočteny dle normy ČSN 01 4805. Hnací kladka je součástí hřídele z důvodu velikosti průměru patní drážky. Materiál součásti je 11 700. Počet zubů kladky byl zvolen 4 z důvodu velikosti krouticího momentu.



Pevná kladka

### 2.2.3 Hnací kladka

Hnací kladka je vyrobena jako odlitek z tvárné litiny. Její rozměry jsou vypočteny dle normy ČSN 01 4805 pomocí vstupních parametrů zvoleného řetězu a zvolené ho počtu zubů. Obrobena jsou pouze náboj kladky. Materiál kladky je 42 2303. Počet zubů kladky byl zvolen 10.



Hnací kladka

### 2.3 Závěsný

Závěsný čep je nosný prvek spojující bočnice v kladnici. Čep je vyroben obráběním z materiálu 11 500. V čepu jsou zhotoveny drážky pro zajištění čepu pro aretaci čepu pomocí normalizované přídržky dle ČSN 02 2702. V čepu je zhotoven rozvod pro mazivo pro kluzné ložisko.

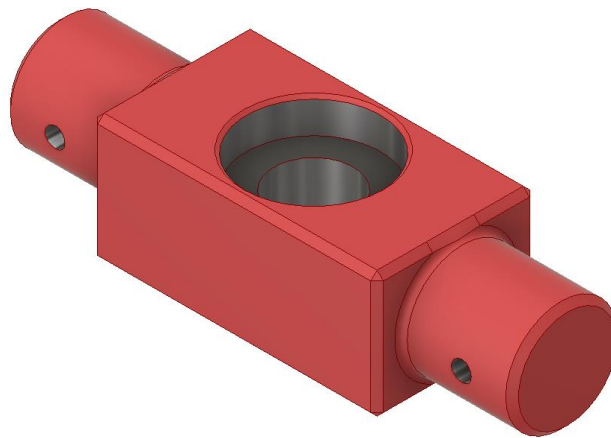
### čep v kladnici



Závěsný čep

## 2.4 Příčnick v kladnici

Příčnick má zhotoveny ve svých čepch otvory pro závlačky. Samotným příčnickem prochází otvor pro hák. V příčnicku je také vybrání pro axiální ložisko.



Příčnick

## 2.5 Ložiska

### 2.5.1 Kluzné ložisko v kladnici

Kluzné ložisko v kladnici Pouzdro B 60/70x80 ČSN 02 3499 bylo zvoleno z důvodu velikosti dovoleného tlaku kluzného ložiska.

### 2.5.2 Axiální ložisko

Axiální ložisko v příčnicku Ložisko 51105 ČSN 02 4730 bylo zvoleno z důvodu velikosti nosnosti kladkostroje. Ložisko umožňuje otáčení háku kolem své osy.

### 2.5.3 Kuličková ložiska jednořadá s kosoúhlým stykem

Kuličková ložiska jednořadá s kosoúhlým stykem byly zvoleny z důvodu zachytávání axiálních sil ze šnekového převodu.

## 2.6 Šnekový převod

### 2.6.1 Šnek

Šnek je vyroben s geometrií ZI. Šnek je součástí hřídele. Materiál šneku je 12 050.

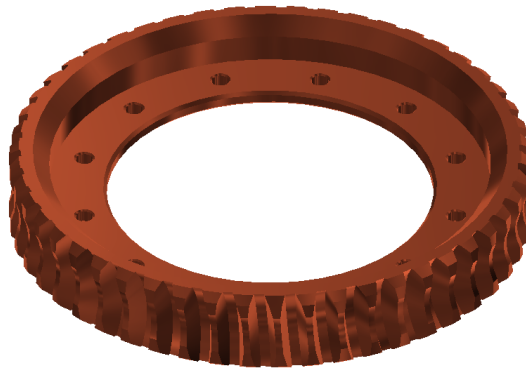
Na hřídeli jsou zhotoveny drážky pro pojistné kroužky a drážka pro pero, které brání protočení hnací kladky.



Šnek

## 2.6.2 Šnekové kolo

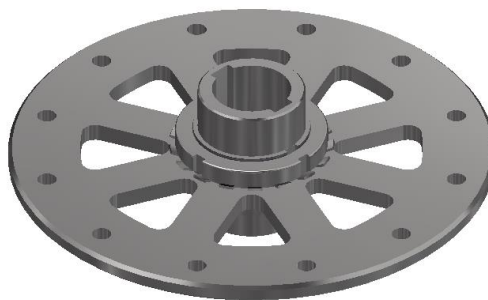
Šnekové kolo je vyrobeno jako odlitek z šedé litiny. Materiál kola je 42 2430. Kolo je vyrobeno jako věnec z důvodu velikosti průměru kola.



Šnekové kolo

## 2.6.3 Rozeta kola

Rozeta je vyrobena z desky a náboje. V desce rozety jsou zhotoveny průchozí otvory pro šrouby a náboji dvě drážky pro pera z důvodu velikosti krouticího momentu.

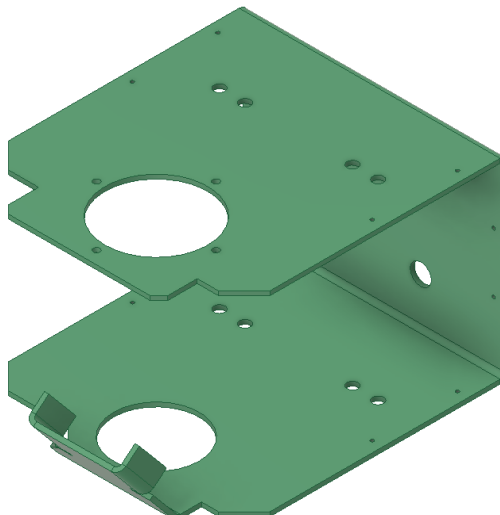


Rozeta kola

## 2.7 Rám kladkostroje

### 2.7.1 Nosný plech

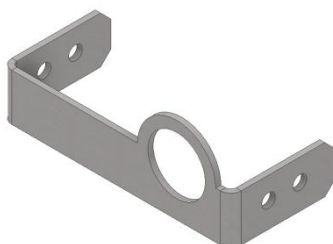
Nosný prostřední plech přenáší nejen nosnost kladkostroje, ale i část hmotnosti kladkostroje, proto je plech dodatečně vyztužen. Celý díl je vyroben ohýbáním. Materiál plechu je 11 373. Obráběny jsou pouze otvory pro šrouby, náboje a hák. Na plechu je zhotoven „blatník“, který odvádí řetěz mezi kladnicí a šnekovým kolem.



Nosný plech

### 2.7.2 Nosný pravý plech

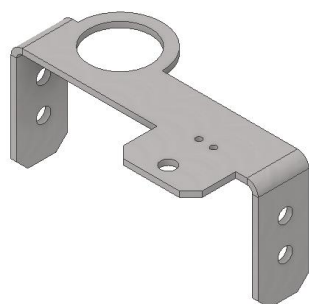
V nosném pravém plechu je uložen náboj s ložiskem s kosoúhlým stykem. V plechu jsou zhotoveny otvory pro šrouby a náboj. Materiál plechu je 11 373.0.



Nosný pravý plech

### 2.7.3 Nosný levý plech

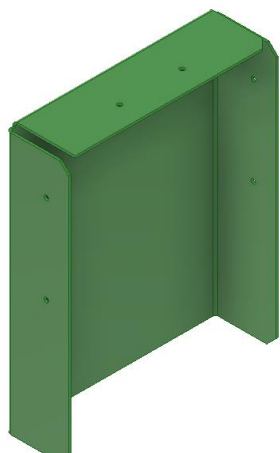
V nosném levém plechu je uložen náboj s ložiskem s kosoúhlým stykem. V plechu jsou zhotoveny otvory pro šrouby a náboj. Na součásti je zhotoven výstupek s otvory pro šrouby, které pomocí dalšího plechu drží nosný řetěz. Materiál plechu je 11 373.0.



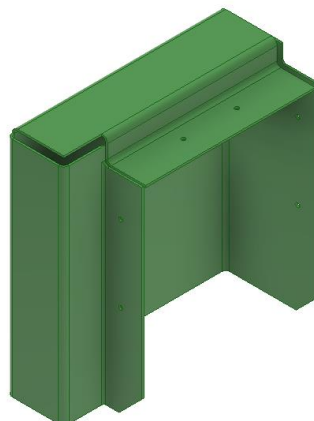
Nosný levý plech

### 2.7.4 Krycí plechy

Krycí plechy slouží jako ochrana před nečistotami. Krycí plechy jsou vyrobené ohýbáním. Jedinými obráběnými plochami jsou otvory pro šrouby. Materiál plechů je hliník 42 4002.



Krycí plechy



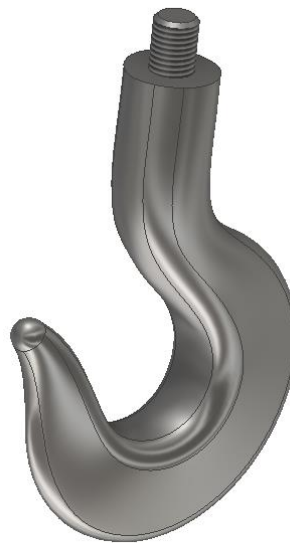
## 2.8 Háky jednoduché

Háky v kladnici i na rámu kladkostroje jsou podobné až na délku obrobení dřívku. Délka obrobení dřívku háku v kladnici je větší než u háku v rámu, který je přišroubován na pevno k rámu. Háček v kladnici je uložen otočně. Háky jsou vyrobeny jako výkovky z materiálu 11 700.





Hák v kladnici



Hák v rámu

### 3 Vstupní parametry

nosnost kladkostroje:  $m = 2000 \text{ kg}$

zdvih:  $l = 4,5 \text{ m}$

účinnost šnekového převodu:  $\eta = 0,7$

převodový poměr šnekového převodu:  $i_{1,2} = 50$

### 4 Výpočet kladnice

#### 4.1 Výpočet průměru závěsného čepu

$$F = m \cdot g = 2000 \cdot 10 = 20000 \text{ N}$$

$$p = \frac{F}{S_1} \leq p_d = \frac{F}{d_1 \cdot b} = \frac{F}{\lambda \cdot d_1^2} \Rightarrow d_1 = \sqrt{\frac{F}{\lambda \cdot p_d}} = \sqrt{\frac{20000}{1,5 \cdot 8}} = 40,82 \text{ mm} \Rightarrow 60 \text{ mm}$$

Průměr závěsného čepu volím 60 mm z důvodu zvolené šířky volné kladky viz. výpočet volné kladky.

Dovolený tlak mezi ložiskem a čepem je 8 MPa.

#### 4.2 Výpočet minimální délky náboje kladky

$$\lambda = \frac{b}{d_1} \Rightarrow b = \lambda \cdot d_1 = 1,5 \cdot 60 = 90 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1,5$$

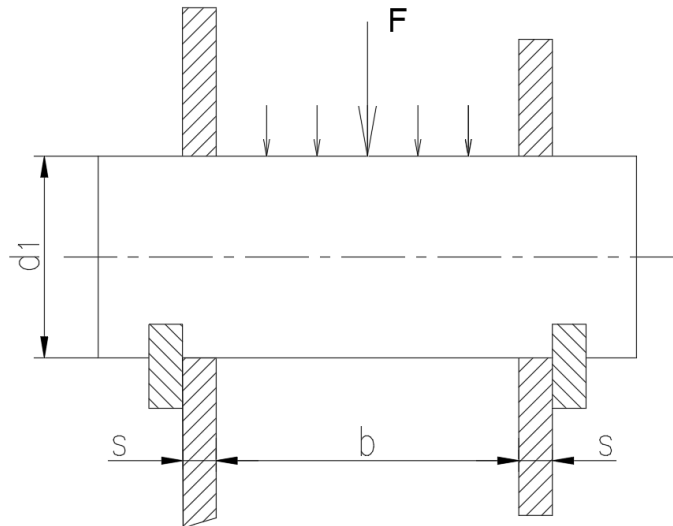
#### 4.3 Kontrola závěsného čepu na ohyb

$$\sigma_{o1} = \frac{M_{o1}}{W_{o1}} \leq \sigma_{DoII} = \frac{250000}{21205,75} = 11,79 \text{ MPa}$$

$$M_{o1} = \frac{F \cdot l_1}{8} = \frac{F \cdot (b + s)}{8} = \frac{20000 \cdot (90 + 10)}{8} = 250000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$W_{o1} = \frac{\pi \cdot d_1^3}{32} = \frac{\pi \cdot 60^3}{32} = 21205,75 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{o1} \leq \sigma_{DoII} \Leftrightarrow (11,79 < 125) \text{ MPa}$$



Materiál čepu volím 11 500 dle lit. 1/str. 57  $\sigma_{DoII} = (100 \div 150) \text{ MPa} \Rightarrow 125 \text{ MPa}$   
 $s$  – volím 10 mm z důvodu velikosti tlaku mezi příčným čepem a bočnicí  
 Volím čep 60 x 140 A ČSN 02 2101 dle lit. 3/str. 448

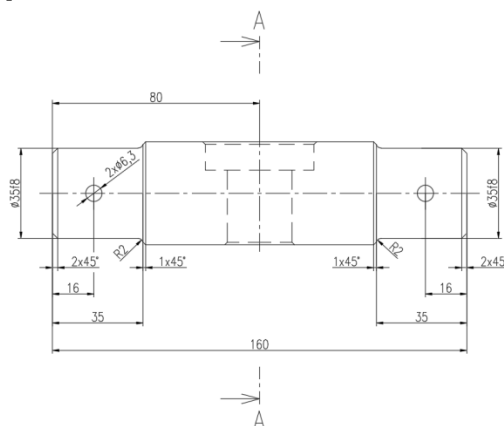
#### 4.4 Kontrola závěsného čepu na stříh

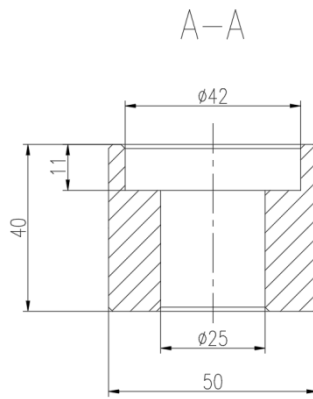
$$\tau_{s1} = \frac{F}{S_2} \leq \tau_{DsII} = \frac{F}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d_1^2} = \frac{2 \cdot 20000}{\pi \cdot 60^2} = 3,54 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s1} \leq \tau_{DsII} \Leftrightarrow (3,54 < 70) \text{ MPa}$$

$$\tau_{DsII} = (55 \div 85) \text{ MPa} - \text{pro } 11\ 500 \Rightarrow 70 \text{ MPa}$$

#### 4.5 Návrh rozměrů příčnicku





Materiál příčnicku volím 11 500 dle lit. 1/str. 57  $\sigma_{DoII} = (100 \div 150) \text{ MPa} \Rightarrow 125 \text{ MPa}$

#### 4.6 Kontrola příčnicku na ohyb

$$\sigma_{o2} = \frac{M_{o2}}{W_{o2}} \leq \sigma_{DoII} = \frac{500000}{8561,67} = 58,40 \text{ MPa}$$

$$M_{o2} = \frac{F \cdot l_1}{4} = \frac{F \cdot (b + s)}{4} = \frac{20000 \cdot (90 + 10)}{4} = 500000 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$W_{o2} = \frac{b_1 \cdot h_1^2}{6} - \frac{b_2 \cdot h_2^2}{6} - \frac{b_3 \cdot h_3^2}{6} = \frac{b_1 \cdot h_1^2}{6} - \frac{b_2 \cdot (h_1 - h_3)^2}{6} - \frac{b_3 \cdot h_3^2}{6} =$$

$$= \frac{50 \cdot 40^2}{6} - \frac{28 \cdot (40 - 11)^2}{6} - \frac{42 \cdot 11^2}{6} = 8561,67 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{o2} \leq \sigma_{DoII} \Leftrightarrow (58,40 < 125) \text{ MPa}$$

#### 4.7 Kontrola příčnicku na stříh

$$\tau_{s2} = \frac{F}{S_3} \leq \tau_{DsII} = \frac{F}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d_2^2} = \frac{2 \cdot 20000}{\pi \cdot 35^2} = 10,39 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s2} \leq \tau_{DsII} \Leftrightarrow (10,39 < 70) \text{ MPa} \quad \tau_{DsII} = (55 \div 85) \text{ MPa} - \text{pro 11 500} \Rightarrow 70 \text{ MPa}$$

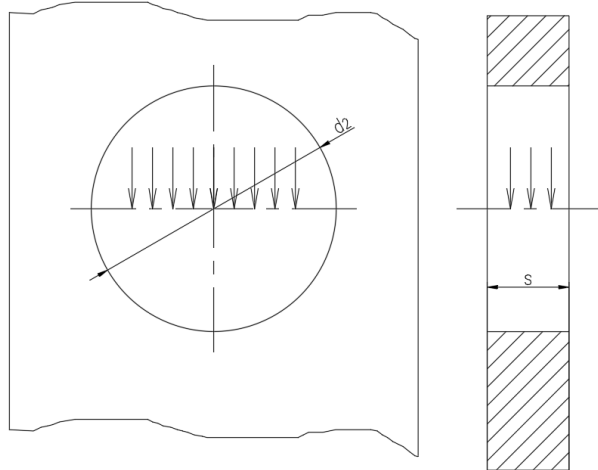
#### 4.8 Kontrola tlaku mezi příčnickem a bočnicí

$$p_1 = \frac{F}{2 \cdot s \cdot d_2} \leq p_{d1} = \frac{20000}{2 \cdot 10 \cdot 35} = 28,57 \text{ MPa}$$

$$p_{d1} = 0,65 \cdot \frac{R_e}{4} = 0,65 \cdot \frac{290}{4} = 47,13 \text{ MPa}$$

$$p_1 \leq p_{d1} \Leftrightarrow (28,57 < 47,13) \text{ MPa} - \text{příčnick vyhovuje}$$

$R_e$  – volím dle lit. 1/str. 57 pro materiál 11 500  $R_e = (245 \div 290) \text{ MPa} \Rightarrow 290 \text{ MPa}$



#### 4.9 Kontrola napětí v tahu v bočnici

$$\sigma_t = \frac{F}{S_4} \leq \sigma_{DtII} = \frac{F}{2 \cdot s \cdot (b_4 - d_1)} = \frac{20000}{2 \cdot 10 \cdot (100 - 60)} = 25 \text{ MPa}$$

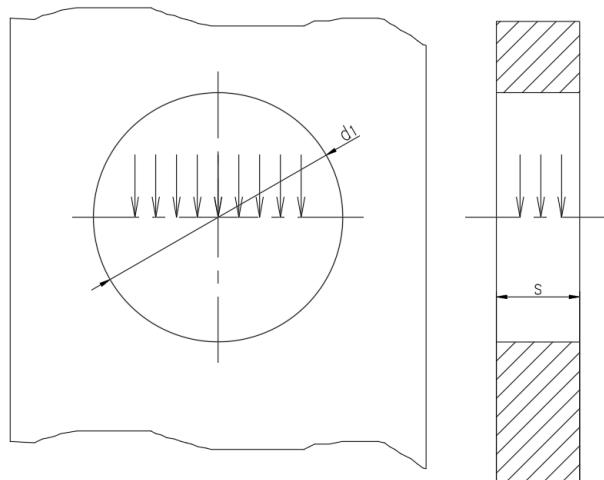
$\sigma_t \leq \sigma_{DtII} \Leftrightarrow (25 < 80) \text{ MPa}$  – bočnice vyhovuje

Materiál bočnic volím 11 373 dle lit. 1 /str. 57  $\sigma_{DtII} = (65 \div 95) \text{ MPa} \Rightarrow 80 \text{ MPa}$   
 $b_1$  – volím 100 mm z důvodu šířky plechu dle ČSN 02 2702 z lit. 1/str. 211

#### 4.10 Kontrola tlaku mezi závěsným čepem a bočnicí

$$p_2 = \frac{F}{S_5} \leq p_{d2} = \frac{F}{2 \cdot s \cdot d_1} = \frac{20000}{2 \cdot 10 \cdot 60} = 16,67 \text{ MPa}$$

$p_2 \leq p_{d2} \Leftrightarrow (16,67 < 47,13) \text{ MPa}$  – čep vyhovuje

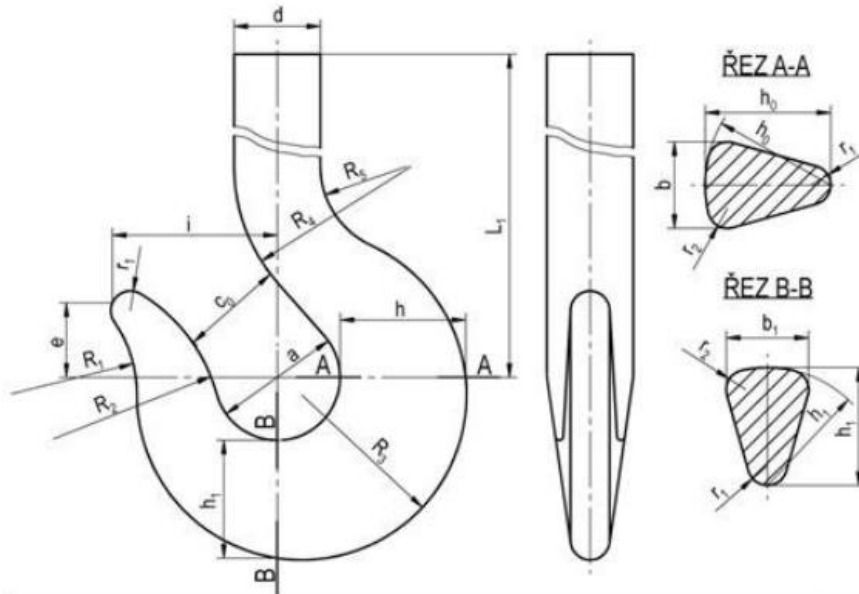


## 5 Výpočet háku kladnice

### 5.1 Návrh rozměrů háku

Rozměry háku volím dle ČSN 27 1902 pro nosnost 2000 kg.

Háky s dříkem jednoduché, tvar a rozměry výkovků dle ČSN 271902



NOSNOST		d	a	b	b <sub>1</sub>	c <sub>0</sub>	e	i	h <sub>0</sub>	h <sub>1</sub>	L <sub>1</sub>	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	hm.	
Ruční zdvih	I.-II.-III.-IV.																			Kg
250		22	32	22	21	26	19	42	32	30	125	5	5	32	43	42	45	22	0,6	
320		24	34	24	23	27	20	44	34	32	135	5	6	34	46	44	48	24	0,8	
500		26	38	27	25	30	23	49	38	36	150	6	6	38	51	49	53	27	1,2	
1000		32	45	32	30	36	27	59	45	43	170	7	7	45	61	59	63	32	2	
2000		42	56	39	37	45	34	73	56	53	210	8	9	56	76	73	78	39	4,6	
3200	2000	48	66	46	44	53	40	86	66	63	260	10	11	66	89	86	92	46	7	
5000	3200	55	78	55	52	62	47	101	78	74	285	12	13	78	105	101	109	55	11	
8000	5000	63	80	62	59	62	53	106	88	84	345	13	15	88	119	110	123	62	16	
10000	8000	74	98	76	72	76	65	130	108	103	420	16	18	108	146	135	151	76	26	
12500	10000	83	108	84	80	84	72	144	120	114	460	18	20	120	162	150	168	84	37	
16000	12500	95	120	95	90	95	81	162	135	128	480	20	22	135	182	169	189	95	53	
20000	16000	100	135	105	100	105	90	180	150	143	535	23	25	150	203	186	210	105	70	
	20000	110	153	119	119	119	102	204	170	162	590	26	28	170	230	213	238	119	93	
	25000	115	170	133	126	133	114	228	190	181	635	29	31	190	257	238	266	133	118	
	32000	130	190	148	141	148	127	255	312	201	680	32	35	212	286	265	297	148	170	
	50000	155	240	188	178	188	161	322	268	255	850	40	44	268	362	335	375	188	300	

### 5.2 Výpočet háku na tah

$$\sigma_{t1} = \frac{F}{S_6} \leq \sigma_{DtII} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_3^2} = \frac{4 \cdot 20000}{\pi \cdot 25^2} = 40,74 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t1} \leq \sigma_{DtII} \Leftrightarrow (40,74 < 168)$$

Materiál háku volím 11 700 dle lit. 1/str. 57  $\sigma_{DtII} = (135 \div 200) \text{ MPa} \Rightarrow 168 \text{ MPa}$

### 5.3 Výpočet háku na stříh

$$\tau_{s3} = \frac{F}{S_7} \leq \tau_{DsII} = \frac{F}{\frac{a_1 + b_5}{2} \cdot h_4} = \frac{20000}{\frac{37 + 15}{2} \cdot 53} = 14,51 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s3} \leq \tau_{DsII} \Leftrightarrow (14,51 < 105) \quad \tau_{DsII} = (80 \div 125) \text{ MPa} \Rightarrow 105 \text{ MPa}$$

### 5.4 Výpočet háku na tah a ohyb

$$\begin{aligned} \sigma_{t,01} &= \frac{F}{S_8} + \frac{M_{03}}{W_{03}} \leq \sigma_{DtII} = \frac{F}{\frac{a_2 + b_6}{2} \cdot h_5} + \frac{F \cdot l_2}{\frac{6 \cdot b_6^2 + 6 \cdot b_6 \cdot b_{6_1} + b_{6_1}^2}{12 \cdot (3 \cdot b_6 + 2 \cdot b_{6_1})} \cdot h_5^2} = \\ &= \frac{20000}{\frac{39 + 15}{2} \cdot 56} + \frac{20000 \cdot 51,85}{\frac{6 \cdot 15^2 + 6 \cdot 15 \cdot 24 + 24^2}{12 \cdot (3 \cdot 15 + 2 \cdot 24)} \cdot 56^2} = 103,54 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$l_2 = R + \frac{h_5}{3} \cdot \frac{a_2 + 2 \cdot b_6}{a_2 + b_6} = 28 + \frac{56}{3} \cdot \frac{39 + 2 \cdot 15}{39 + 15} = 51,85 \text{ mm}$$

$$b_{6_1} = a_2 - b_6 = 39 - 15 = 24 \text{ mm}$$

$$\sigma_{t,01} \leq \sigma_{DtII} \Leftrightarrow (103,54 < 168) \text{ MPa} \quad \sigma_{DtII} = (135 \div 200) \text{ MPa} \Rightarrow 168 \text{ MPa}$$

### 5.5 Výpočet háku na tah, ohyb a stříh

$a_3 = 15,4 \text{ mm}$ ,  $b_7 = 38,5 \text{ mm}$ ,  $h_6 = 59,5 \text{ mm}$  – rozměry jsou určeny z programu Inventor 2017

$$\cos 45^\circ = \frac{l_3}{R + x} \Rightarrow l_3 = (R + x) \cdot \cos 45^\circ = (28 + 25,5) \cdot \cos 45^\circ = 37,83 \text{ mm}$$

$$x = \frac{h_6}{3} \cdot \frac{b_7 + 2 \cdot a_3}{b_7 + a_3} = \frac{59,5}{3} \cdot \frac{38,5 + 2 \cdot 15,4}{38,5 + 15,4} = 25,5 \text{ mm}$$

$$F_s = F_t = 20000 \cdot \cos 45^\circ = 14\,142,1 \text{ N}$$

$$\sigma_{t2} = \frac{F_t}{S_9} = \frac{F_t}{\frac{a_3 + 2 \cdot b_7}{2} \cdot h_6} = \frac{14142,1}{\frac{15,4 + 38,5}{2} \cdot 59,5} = 8,82 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s4} = \frac{F_s}{S_9} = \frac{F_s}{\frac{a_3 + 2 \cdot b_7}{2} \cdot h_6} = \frac{14142,1}{\frac{15,4 + 38,5}{2} \cdot 59,5} = 8,82 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{o3} = \frac{M_{o3}}{W_{o3}} = \frac{F \cdot l_3}{\frac{6 \cdot b_7^2 + 6 \cdot b_7 \cdot b_{71} + b_{71}^2}{12 \cdot (3 \cdot b_7 + 2 \cdot b_{71})} \cdot h_6^2} = \frac{20000 \cdot 37,83}{\frac{6 \cdot 38,5^2 + 6 \cdot 38,5 \cdot 23,1 + 23,1^2}{12 \cdot (3 \cdot 38,5 + 2 \cdot 23,1)} \cdot 59,5^2} =$$

$$= 28,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{(\sigma_{o3} + \sigma_{t2})^2 + 3 \cdot \tau_{s4}^2} = \sqrt{(28,1 + 8,82)^2 + 3 \cdot 8,82^2} = 40 \text{ MPa}$$

## 5.6 Výpočet závitů háku

### 5.6.1 Mechanické vlastnosti

$$R_e = 368 \text{ MPa}$$

$$R_e - \text{volím dle lit. 1/str. 57 } R_e = (345 \div 390) \text{ MPa}$$

### 5.6.2 Dovolené napětí

$$\sigma'_D = \frac{R_e}{k} = \frac{368}{1,6} = 230 \text{ MPa}$$

$$k = (1,6 \div 1,7)$$

dovolené napětí snižujeme o 1/3:

$$\sigma_D = \frac{2}{3} \cdot \sigma'_D = \frac{2}{3} \cdot 230 = 153,33 \text{ MPa}$$

### 5.6.3 Stanovení výpočtového průřezu

$$A_s \geq \frac{F}{\sigma_D} = \frac{20000}{153,33} = 130,43 \text{ mm}^2$$

Velikost závitů volím M20 dle lit. 2/str. 151 z důvodu bezpečnosti

### 5.6.4 Výpočet dovoleného napětí tlaku v závitech matice

$$p_{d3} = 0,25 \cdot R_e = 0,25 \cdot 368 = 92 \text{ MPa}$$

### 5.6.5 Určení minimálního počtu závitů

$$z = \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_{d2}} = \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot (D - D_1) \cdot p_{d2}} = \frac{20000}{\pi \cdot 18,376 \cdot (20 - 17,294) \cdot 92} = 1,39$$

### 5.6.6 Určení minimální výšky matice

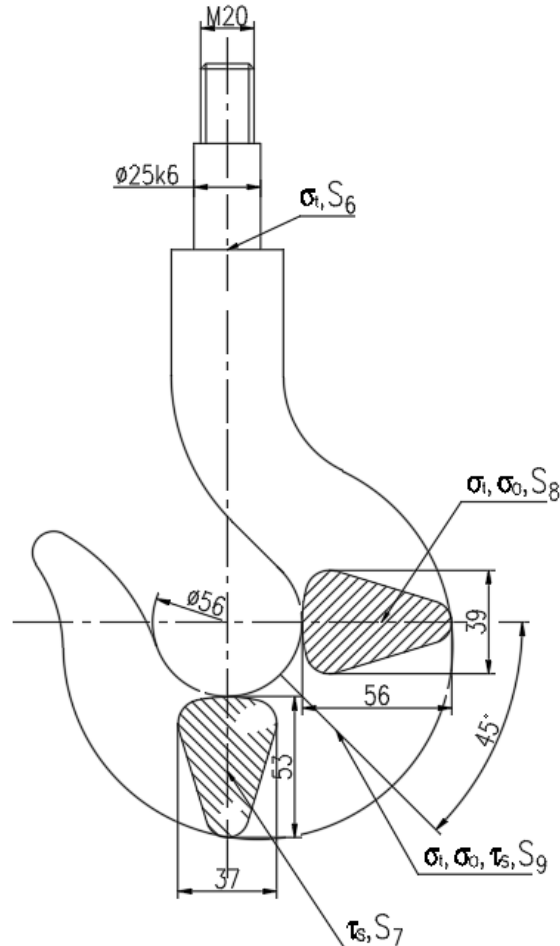
$$m = z \cdot s = 1,39 \cdot 2,5 = 3,48 \text{ mm}$$

### 5.6.7 Kontrola nebezpečného průřezu na tah

$$p_3 = \frac{F}{S_{10}} \leq p_{d3} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{4 \cdot 20000}{\pi \cdot 16,933^2} = 88,81 \text{ MPa}$$

$$p_{d3} = (0,7 \div 0,9) \cdot \sigma_{DtII} = 0,9 \cdot 168 = 151,2 \text{ MPa}$$

Pro materiál 11 700  $\sigma_{DtII} = (135 \div 200) \text{ MPa} \Rightarrow 168 \text{ MPa}$



## 6 Určení axiálního ložiska

Dle lit. 2/str. 281 volím jednosměrné axiální kuličkové ložisko 51105 ČSN 02 4730 se statickou únosností 28000 N.

## 7 Určení nosného řetězu

### 7.1 Výpočet síly působící na nosný řetěz

$$F_1 = \frac{(m_k + m_z) \cdot g}{2} = \frac{(20 + 2000) \cdot 10}{2} = 10100 \text{ N}$$



## 7.2 Určení typu nosného řetězu

Dle lit. 1/str. 618 volím krátkočlankový řetěz 13x36 ČSN 02 3221

## 8 Výpočet volné kladky

Počet zubů volné kladky volím 8 dle lit. 1/str. 628  $\Rightarrow z_3 = 8$  zubů

### 8.1 Výpočet roztečné kružnice

$$D_3 = \sqrt{\left(\frac{p_1}{\sin \frac{90^\circ}{z_3}}\right)^2 + \left(\frac{d_1}{\cos \frac{90^\circ}{z_3}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{36}{\sin \frac{90^\circ}{8}}\right)^2 + \left(\frac{13}{\cos \frac{90^\circ}{8}}\right)^2} = 185 \text{ mm}$$

### 8.2 Výpočet hlavové kružnice

$$D_{a3} \approx D_3 + 1,5 \cdot d_1 = 185 + 1,5 \cdot 13 = 204,5 \text{ mm}$$

### 8.3 Výpočet patního průměru drážky

$$D_{f3} \approx 2 \cdot k_3 - b_1 = 2 \cdot 82,7 - 44 = 121,4 \text{ mm}$$

### 8.4 Výpočet vzdálenosti lůžka od středu kladky

$$\begin{aligned} k_3 &= 0,5 \cdot \left( p_1 \cdot \cot \frac{90^\circ}{z_3} - d_1 \cdot \tan \frac{90^\circ}{z_3} \right) - 0,5 \cdot d_1 = \\ &= 0,5 \cdot \left( 36 \cdot \cot \frac{90^\circ}{8} - 13 \cdot \tan \frac{90^\circ}{8} \right) - 0,5 \cdot 13 = 82,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

### 8.5 Výpočet vzdálenosti středů oblouků lůžka

$$h_3 = p_1 + 2 \cdot d_1 - b_1 = 36 + 2 \cdot 13 - 44 = 18 \text{ mm}$$

### 8.6 Výpočet vůle v lůžku

$$v_3 = 0,1 \cdot d_1 = 0,1 \cdot 13 = 1,3 \text{ mm}$$

### 8.7 Výpočet drážky

$$c_3 = 1,25 \cdot d_1 = 1,25 \cdot 13 = 16,25 \text{ mm}$$

### 8.8 Výpočet šířky věnce

$$s_{3\min} = b_1 + (1,2 \div 2) \cdot d_1 = 44 + 1,6 \cdot 13 = 64,8 \text{ mm}$$

## 8.9 Výpočet poloměru oblouků lůžka

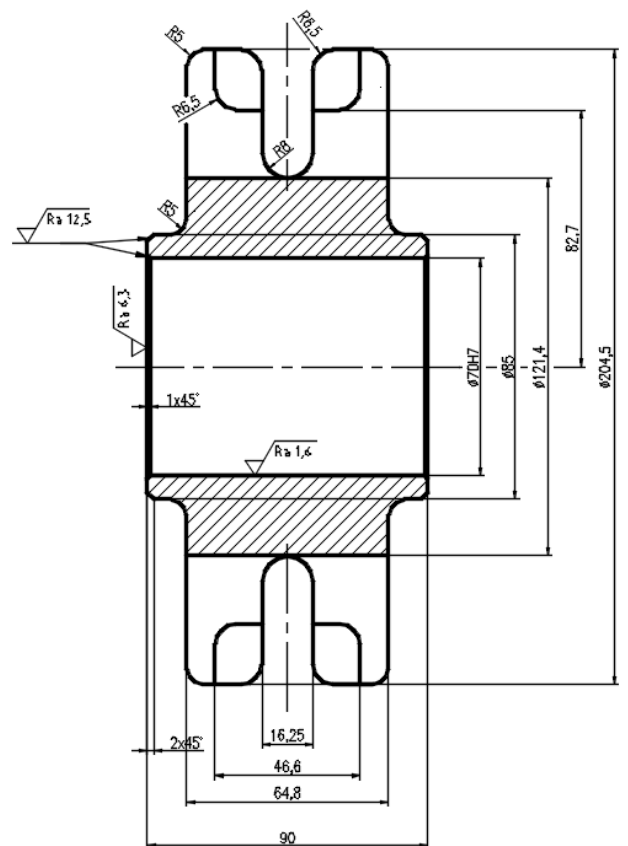
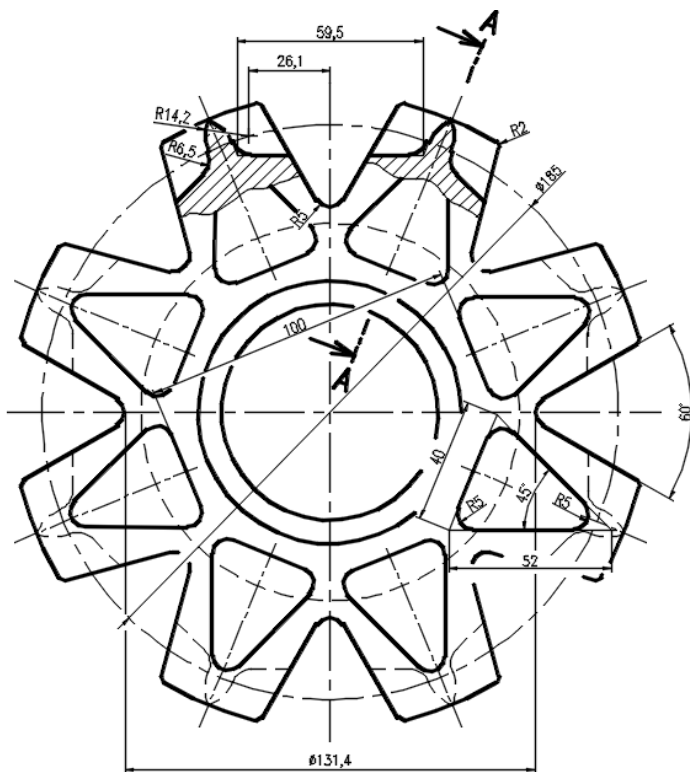
$$R_{1_3} = 0,5 \cdot (b_1 - d_1) + v_3 = 0,5 \cdot (44 - 13) + 1,3 = 16,8 \text{ mm}$$

## 8.10 Výpočet patního poloměru zuby

$$R_{2_3} = 0,5 \cdot d_1 = 0,5 \cdot 13 = 6,5 \text{ mm}$$

## 8.11 Výpočet hlavového poloměru zuby

$$R_{3_3} = \frac{\pi \cdot D_3}{2 \cdot z_3} - (1,5 \cdot d_1 + 2 \cdot v_3) = \frac{\pi \cdot 185}{2 \cdot 8} - (1,5 \cdot 13 + 2 \cdot 1,3) = 14,22 \text{ mm}$$



## 9 Výpočet rozměrů pevné kladky

### 9.1 Určení počtu zubů pevné kladky

$$i_3 = \frac{z_3}{z_2} \Rightarrow z_2 = \frac{z_3}{i_3} = \frac{8}{2} = 4 \text{ zubů}$$

## 9.2 Výpočet roztečné kružnice

$$D_2 = \sqrt{\left(\frac{p_1}{\sin \frac{90^\circ}{z_2}}\right)^2 + \left(\frac{d_1}{\cos \frac{90^\circ}{z_2}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{36}{\sin \frac{90^\circ}{4}}\right)^2 + \left(\frac{13}{\cos \frac{90^\circ}{4}}\right)^2} = 95,12 \text{ mm}$$

## 9.3 Výpočet průměru hlavové kružnice

$$D_{a2} \approx D_2 + 1,5 \cdot d_1 = 95,12 + 1,5 \cdot 13 = 114,62 \text{ mm}$$

## 9.4 Výpočet patního průměru drážky

$$D_{f2} \approx 2 \cdot k_2 - b_1 = 2 \cdot 34,26 - 44 = 24,52 \text{ mm} \Rightarrow 35 \text{ mm}$$

Průměr 35 mm volím z důvodu velikosti napětí na hřídéli.

## 9.5 Výpočet vzdálenosti lůžka od středu kladky

$$\begin{aligned} k_2 &= 0,5 \cdot \left( p_1 \cdot \cot \frac{90^\circ}{z_2} - d_1 \cdot \tan \frac{90^\circ}{z_2} \right) - 0,5 \cdot d_1 = \\ &= 0,5 \cdot \left( 36 \cdot \cot \frac{90^\circ}{4} - 13 \cdot \tan \frac{90^\circ}{4} \right) - 0,5 \cdot 13 = 34,26 \text{ mm} \end{aligned}$$

## 9.6 Výpočet vzdálenosti středů oblouků lůžka

$$h_2 = p_1 + 2 \cdot d_1 - b_1 = 36 + 2 \cdot 13 - 44 = 18 \text{ mm}$$

## 9.7 Výpočet vůle v lůžku

$$v_2 = 0,1 \cdot d_1 = 0,1 \cdot 13 = 1,3 \text{ mm}$$

## 9.8 Výpočet drážky

$$c_2 = 1,25 \cdot d_1 = 1,25 \cdot 13 = 16,25 \text{ mm}$$

## 9.9 Výpočet šířky věnce

$$s_{2\min} = b_1 + (1,2 \div 2) \cdot d_1 = 44 + 1,6 \cdot 13 = 64,8 \text{ mm}$$

## 9.10 Výpočet poloměru oblouků lůžka

$$R_{12} = 0,5 \cdot (b_1 - d_1) + v_2 = 0,5 \cdot (44 - 13) + 1,3 = 16,8 \text{ mm}$$

### 9.11 Výpočet patního poloměru zubu

$$R_{2_2} = 0,5 \cdot d_1 = 0,5 \cdot 13 = 6,5 \text{ mm}$$

### 9.12 Výpočet hlavového poloměru zubu

$$R_{3_2} = \frac{\pi \cdot D_2}{2 \cdot z_2} - (1,5 \cdot d_1 + 2 \cdot v_2) = \frac{\pi \cdot 95,12}{2 \cdot 4} - (1,5 \cdot 13 + 2 \cdot 1,3) = 15,25 \text{ mm}$$

## 10 Výpočet krouticího momentu na hnané hřídeli

$$M_{k2} = \frac{D_2}{2} \cdot F_1 = \frac{95,12}{2} \cdot 10100 = 480356 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

## 11 Určení síly potřebné ke zvedání břemene

### 11.1 Výpočet krouticího momentu na hnací hřídeli

$$i_{1,2} = \frac{M_{k2}}{M_{k1}} \cdot \eta \Rightarrow M_{k1} = \frac{M_{k2} \cdot \eta}{i_{1,2}} = \frac{480356 \cdot 0,7}{50} = 6724,984 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\eta = 0,7 - \text{volím dle lit. 1/str. 685} \quad \eta = (0,57 \div 0,83)$$

### 11.2 Určení typu hnacího řetězu

Dle lit. 1/str. 618 volím krátkočlankový řetěz 10x28 ČSN 02 3221.

### 11.3 Výpočet průměru roztečné kružnice hnací kladky

Počet zubů hnací kladky volím 10 dle lit. 1/str. 628  $z_1 = 10$  zubů

$$D_1 = \sqrt{\left(\frac{p_2}{\sin \frac{90^\circ}{z_1}}\right)^2 + \left(\frac{d_2}{\cos \frac{90^\circ}{z_1}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{28}{\sin \frac{90^\circ}{10}}\right)^2 + \left(\frac{10}{\cos \frac{90^\circ}{10}}\right)^2} = 179,3 \text{ mm}$$

### 11.4 Výpočet síly potřebné ke zvedání břemene

$$M_{k1} = F_2 \cdot \frac{D_1}{2} \Rightarrow F_2 \geq \frac{2 \cdot M_{k1}}{D_1} = \frac{2 \cdot 6742,984}{179,3} = 75,01 \text{ N}$$

## 12 Výpočet rozměrů hnací kladky

### 12.1 Výpočet průměru hlavové kružnice

$$D_{a1} \approx D_1 + 1,5 \cdot d_2 = 179,3 + 1,5 \cdot 10 = 194,3 \text{ mm}$$

## 12.2 Výpočet patního průměru drážky

$$D_{f1} \approx 2 \cdot k_1 - b_2 = 2 \cdot 82,6 - 34 = 131,2 \text{ mm}$$

## 12.3 Výpočet vzdálenosti lůžka od středu kladky

$$\begin{aligned} k_1 &= 0,5 \cdot \left( p_2 \cdot \cot \frac{90^\circ}{z_1} - d_2 \cdot \tan \frac{90^\circ}{z_1} \right) - 0,5 \cdot d_2 = \\ &= 0,5 \cdot \left( 28 \cdot \cot \frac{90^\circ}{10} - 10 \cdot \tan \frac{90^\circ}{10} \right) - 0,5 \cdot 10 = 82,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

## 12.4 Výpočet vzdálenosti středů oblouků lůžka

$$h_1 = p_2 + 2 \cdot d_2 - b_2 = 28 + 2 \cdot 10 - 34 = 14 \text{ mm}$$

## 12.5 Výpočet vůle v lůžku

$$v_1 = 0,1 \cdot d_2 = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ mm}$$

## 12.6 Výpočet drážky

$$c_1 = 1,25 \cdot d_2 = 1,25 \cdot 10 = 12,5 \text{ mm}$$

## 12.7 Výpočet šířky věnce

$$s_{1\min} = b_2 + (1,2 \div 2) \cdot d_2 = 34 + 1,6 \cdot 10 = 50 \text{ mm}$$

## 12.8 Výpočet poloměru oblouků lůžka

$$R_{1_1} = 0,5 \cdot (b_2 - d_2) + v_1 = 0,5 \cdot (34 - 10) + 1 = 13 \text{ mm}$$

## 12.9 Výpočet patního poloměru zubu

$$R_{2_1} = 0,5 \cdot d_2 = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ mm}$$

## 12.10 Výpočet hlavového poloměru zubu

$$R_{3_1} = \frac{\pi \cdot D_1}{2 \cdot z_1} - (1,5 \cdot d_2 + 2 \cdot v_1) = \frac{\pi \cdot 179,3}{2 \cdot 10} - (1,5 \cdot 10 + 2 \cdot 1) = 11,16 \text{ mm}$$

# 13 Návrh šnekového převodu

## 13.1 Výpočet modulu

$$m_n = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot M_{k1} \cdot \eta_{1_1} \cdot \eta}{\pi \cdot z_1 \cdot c_1 \cdot \psi_m}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 6724,984 \cdot 0,95 \cdot 0,6}{\pi \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot 8}} = 4,95 \text{ mm} \Rightarrow 6 \text{ mm}$$

$m_n = 6 \text{ mm}$  – volím z důvodu bezpečnosti

$\eta_{11} = 0,95$  – účinnost valivých ložisek

$c_1 = (2 \div 2,5) \text{ MPa}$  – materiálová konstanta

$\psi_m = (6 \div 8)$

} voleno dle lit. 4/str. 136

### 13.2 Výpočet úhlu stoupání šroubovice

$$\tan \gamma = \frac{z_1}{q} = \frac{1}{12,5} = 4^\circ 34'$$

### 13.3 Výpočet osového modulu

$$m_x = \frac{m_n}{\cos \gamma} = \frac{6}{\cos 4^\circ 34'} = 6,019 \text{ mm}$$

### 13.4 Výpočet úhlu záběru v osově rovině

$$\tan \alpha_x = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \gamma} = \frac{\tan 20^\circ}{\cos 4^\circ 34'} = 0^\circ 21'$$

### 13.5 Výpočet osově rozteče

$$t_x = \pi \cdot m_x = \pi \cdot 6,019 = 18,91 \text{ mm}$$

### 13.6 Výpočet normálově rozteče

$$t_n = t_x \cdot \cos \gamma = 18,91 \cdot \cos 4^\circ 34' = 18,85 \text{ mm}$$

### 13.7 Výpočet stoupání šroubovice

$$L = z_1 \cdot t_x = 1 \cdot 18,91 = 18,91 \text{ mm}$$

### 13.8 Výpočet vzdálenosti os

$$a = 0,5 \cdot m_x \cdot (q + z_2) = 0,5 \cdot 6,019 \cdot (12,5 + 50) = 188,09375 \text{ mm} \Rightarrow \\ \Rightarrow 188 \text{ mm} - \text{posunutí os hřídelů}$$

### 13.9 Výpočet průměru roztečné kružnice šneku

$$D_1 = q \cdot m_x = 12,5 \cdot 6,019 = 75,237 \text{ mm}$$

### 13.10 Výpočet výšky hlavy zubu šneku

$$h_{a1} = m_n = 6 \text{ mm}$$

### 13.11 Výpočet výšky paty zubu šneku

$$h_{f1} = 1,167 \cdot m_n = 1,167 \cdot 6 = 7,002 \text{ mm}$$

### 13.12 Výpočet výšky zubu šneku

$$h_1 = h_{a1} + h_{f1} = 6 + 7,002 = 13,002 \text{ mm}$$

### 13.13 Výpočet průměru hlavové kružnice šneku

$$D_{a1} = D'_1 + 2 \cdot h_{a1} = 75,237 + 2 \cdot 6 = 87,237 \text{ mm}$$

### 13.14 Výpočet průměru patní kružnice šneku

$$D_{f1} = D'_1 - 2 \cdot h_{f1} = 75,237 - 2 \cdot 7,002 = 61,233 \text{ mm}$$

### 13.15 Výpočet průměru roztečné kružnice šnekového kola

$$D_2 = z_2 \cdot m_x = 50 \cdot 6,019 = 300,95 \text{ mm}$$

### 13.16 Výpočet výšky hlavy zubu šnekového kola

$$h_{a2} = m_n = 6 \text{ mm}$$

### 13.17 Výpočet výšky paty zubu šneku

$$h_{f2} = 1,167 \cdot m_n = 1,167 \cdot 6 = 7,002 \text{ mm}$$

### 13.18 Výpočet výšky zubu šnekového kola

$$h_2 = h_{a2} + h_{f2} = 6 + 7,002 = 13,002 \text{ mm}$$

### 13.19 Výpočet posunutí os

$$a = \frac{d_1 + d_{w2}}{2} = \frac{d_1 + d_2 + 2 \cdot x \cdot m_x}{2} \Rightarrow x = \frac{2 \cdot a - d_1 - d_2}{2 \cdot m_x} = \frac{2 \cdot 188 - 75,237 - 300,95}{2 \cdot 6,019} = -0,015534 \text{ mm}$$

### 13.20 Výpočet průměru hlavové kružnice šnekového kola

$$D_{a2} = D'_2 + 2 \cdot m_x \cdot (1 + x) = 300,95 + 2 \cdot 6,019 \cdot (1 + (-0,0155)) = 312,8 \text{ mm}$$

### 13.21 Výpočet průměru valivé kružnice šnekového kola

$$D_{w2} = D_2 + 2 \cdot x \cdot m_x = 300,95 + 2 \cdot (-0,0155) \cdot 6,019 = 300,76 \text{ mm}$$

### 13.22 Výpočet průměru patní kružnice šnekového kola

$$D_{f2} = D_{w2} - 2 \cdot m_x \cdot (1 + c) = 300,76 - 2 \cdot 6,019 \cdot (1 + 0,2) = 286,314 \text{ mm}$$

### 13.23 Výpočet tloušťky zubu v normálové rovině šneku

$$\hat{s}_{n1} = \frac{t_n}{2} = \frac{18,85}{2} = 9,425 \text{ mm}$$

### 13.24 Výpočet tloušťky zubu v normálové rovině šnekového kola

$$\hat{s}_{u2} = 0,5 \cdot t_n = 0,5 \cdot 18,85 = 9,425 \text{ mm}$$

$$\text{arc } \tau = \frac{\hat{s}_{u2} \cdot \cos^2 \gamma}{D_2} = \frac{9,425 \cdot \cos^2 4^\circ 34'}{300,95} = 1^\circ 46'$$

$$\hat{s}_{n2} = \frac{D_2}{\cos^2 \gamma} \cdot \sin \tau = \frac{300,95}{\cos^2 4^\circ 34'} \cdot \sin 1^\circ 46' = 9,425 \text{ mm}$$

### 13.25 Výpočet délky šneku

$$l_{\min} = 2 \cdot m_x \cdot (1 + \sqrt{z_2}) = 2 \cdot 6,019 \cdot (1 + \sqrt{50}) = 97,16 \text{ mm} \Rightarrow 100 \text{ mm}$$

### 13.26 Výpočet vnějšího průměru věnce kola

$$h_{ae} = \frac{3,5 \cdot m_n}{2} = \frac{3,5 \cdot 6}{2} = 10,5 \text{ mm}$$

$$D_{ae} = D_2 + 2 \cdot h_{ae} = 300,95 + 2 \cdot 10,5 = 321,95 \text{ mm}$$

### 13.27 Výpočet zaoblení u hlavy zubu

$$R_a = 0,1 \cdot m_n = 0,1 \cdot 6 = 0,6 \text{ mm}$$

### 13.28 Výpočet zaoblení u paty zubu

$$R_f = 0,15 \cdot m_n = 0,15 \cdot 6 = 0,9 \text{ mm}$$

### 13.29 Výpočet šířky věnce

$$\Delta b_c = 1,6 \cdot m_n = 1,6 \cdot 6 = 9,6 \text{ mm}$$

$$b_c = 2 \cdot \sqrt{(D_1 + m_n) \cdot m_n} + \Delta b_c = 2 \cdot \sqrt{(75,237 + 6) \cdot 6} + 9,6 = 52,09 \text{ mm} \Rightarrow 54 \text{ mm}$$

### 13.30 Výpočet úhlu zkosení věnce

$$\sin \varphi = \frac{b_c}{D_{a1}} = \frac{54}{87,237} = 38^\circ 14'$$



## 14 Určení sil ve šnekovém převodu

### 14.1 Obvodová síla šneku

$$F_1 = \frac{2 \cdot M_{k1}}{D_1} \cdot \eta_{11} = \frac{2 \cdot 6724,984}{75,237} \cdot 0,95 = 169,83 \text{ N}$$

### 14.2 Axiální síla kola

$$F_{a2} = F_1 = 169,83 \text{ N}$$

### 14.3 Obvodová síla kola

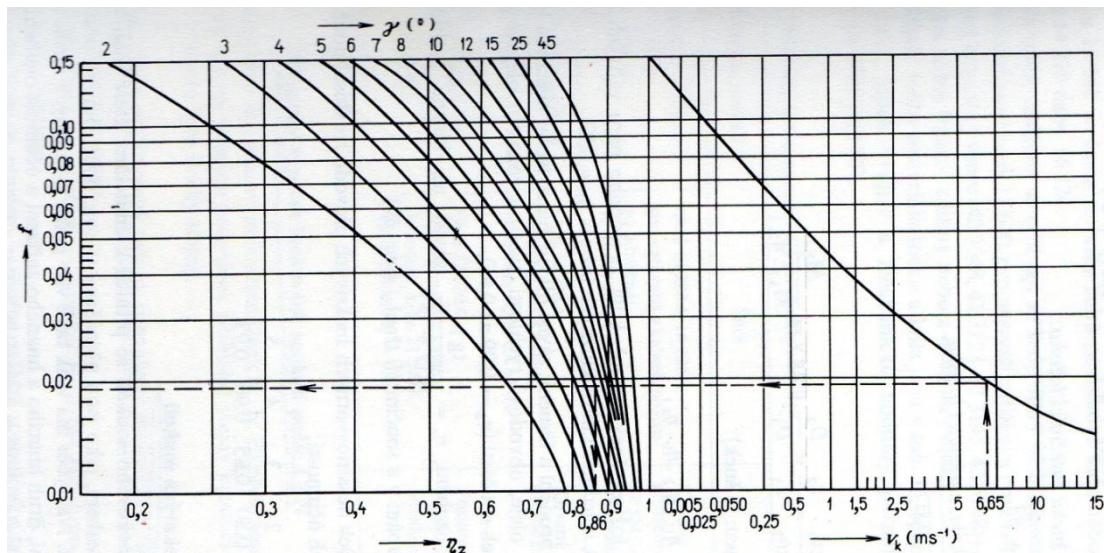
$$F_2 = \frac{F_1}{\tan(\gamma + \varphi')} = \frac{169,83}{\tan(4^\circ 34' + 3^\circ 2')} = 1272,8 \text{ N}$$

$$v_k = \frac{v_1}{\cos \gamma} = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{\cos \gamma} = \frac{\pi \cdot 75,237 \cdot 2,66}{\cos 4^\circ 34'} = 631,43 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1} = 0,63143 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$n_1 = \frac{1500}{\pi \cdot D_1} = \frac{1500}{\pi \cdot 179,3} = 2,66 \text{ s}^{-1}$$

$$\tan \varphi' = \frac{f}{\cos \alpha_n} = \frac{0,05}{\cos 20^\circ} = 3^\circ 2'$$

f – volím 0,05 dle Tab. 3 z lit. 4/str. 133



Tab. 3

### 14.4 Axiální síla šneku

$$F_{a1} = F_2 = 1272,8 \text{ N}$$

### 14.5 Radiální síla šneku

$$F_{r1} = F_1 \cdot \frac{\tan \alpha_n \cdot \cos \varphi'}{\sin(\gamma + \varphi')} = 169,83 \cdot \frac{\tan 20^\circ \cdot \cos 3^\circ 2'}{\sin(4^\circ 34' + 3^\circ 2')} = 466,72 \text{ N}$$

### 14.6 Radiální síla kola

$$F_{r2} = F_2 \cdot \frac{\tan \alpha_n \cdot \cos \varphi'}{\cos(\gamma + \varphi')} = 1272,8 \cdot \frac{\tan 20^\circ \cdot \cos 3^\circ 2'}{\cos(4^\circ 34' + 3^\circ 2')} = 466,71 \text{ N}$$

### 14.7 Výsledná síla šneku zatěžující ložiska

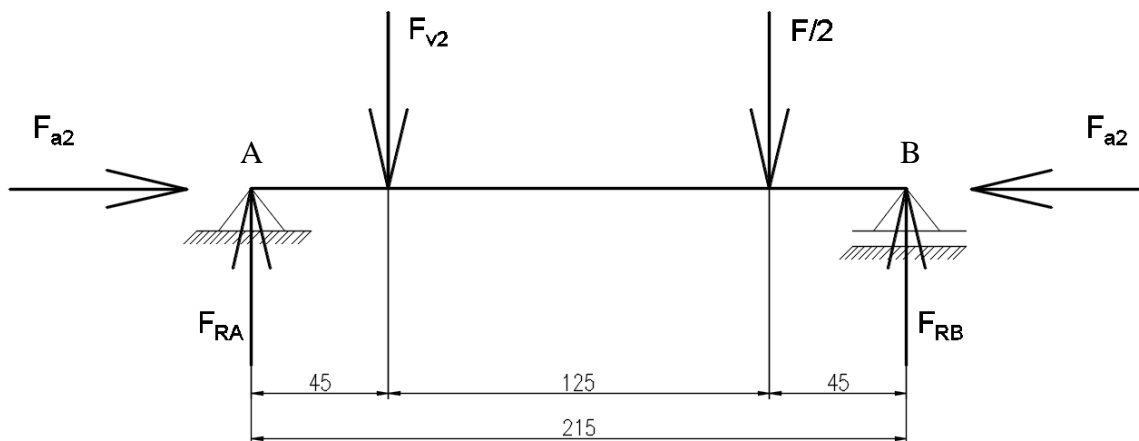
$$F_{v1} = \sqrt{F_1^2 + F_{r1}^2} = \sqrt{169,83^2 + 466,72^2} = 496,66 \text{ N}$$

### 14.8 Výsledná síla kola zatěžující ložiska

$$F_{v2} = \sqrt{F_2^2 + F_{r2}^2} = \sqrt{1272,8^2 + 466,72^2} = 1355,67 \text{ N}$$

## 15 Výpočet hřídele pevné kladky

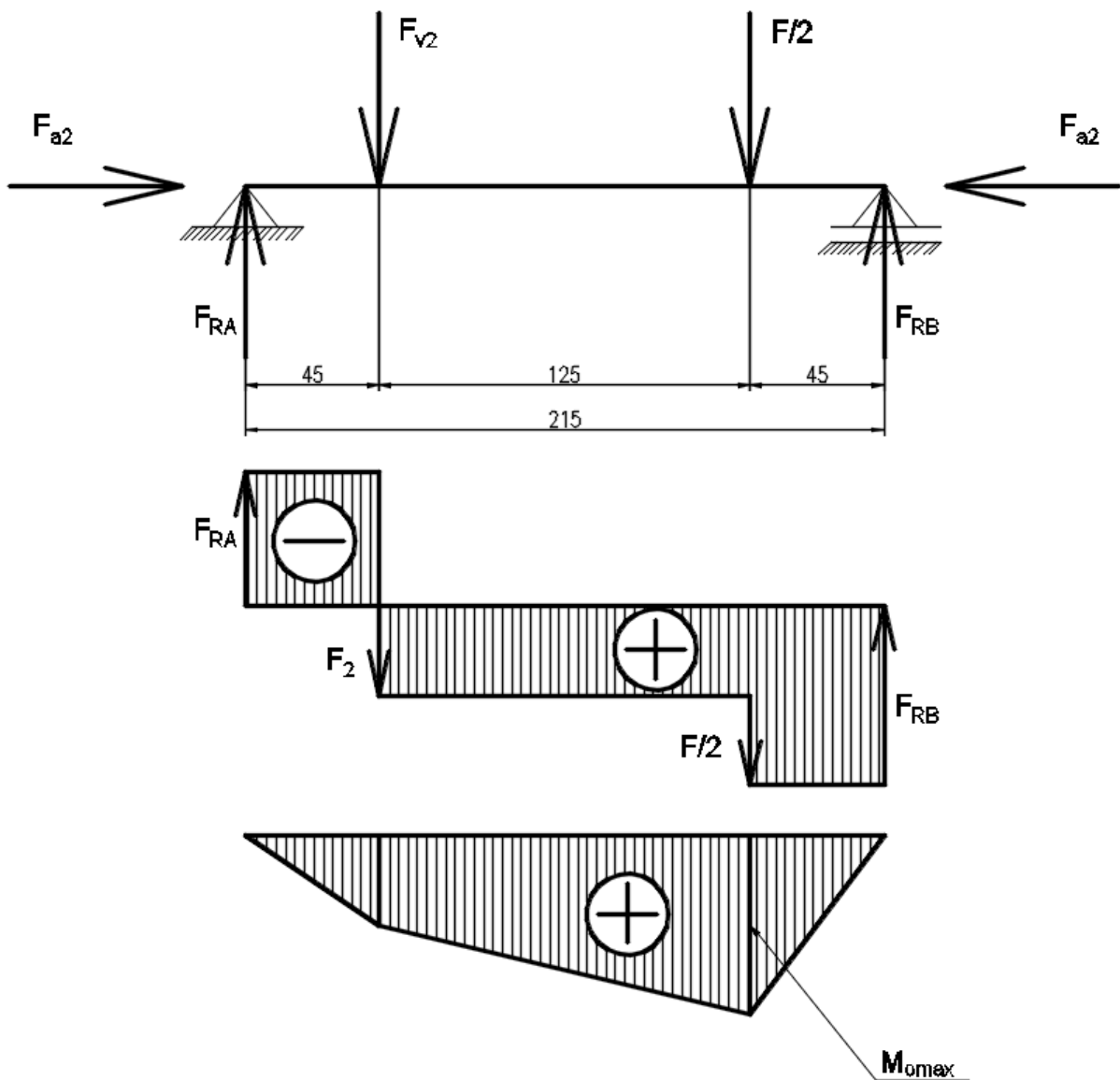
### 15.1 Návrh vzdáleností ložisek a sil



## 15.2 Výpočet reakčních sil

$$\begin{aligned} \sum F_y = 0: F_{RA} - F_{V2} - \frac{F}{2} + F_{RB} &= 0 \Rightarrow F_{RA} = F_{V2} + \frac{F}{2} - F_{RB} = \\ &= 1355,67 + \frac{20200}{2} - 8269,8 = 3185,87\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_A = 0: F_{V2} \cdot 45 + \frac{F}{2} \cdot 170 - F_{RB} \cdot 215 &= 0 \Rightarrow F_{RB} = \frac{F_{V2} \cdot 45 + \frac{F}{2} \cdot 170}{215} = \\ &= \frac{1355,67 \cdot 45 + \frac{20200}{2} \cdot 170}{215} = 8269,8\text{N} \end{aligned}$$



## 15.3 Výpočet maximálního ohybového momentu

$$M_{\text{omax}1} = F_{RB} \cdot 45 = 8269,8 \cdot 45 = 372141\text{N}\cdot\text{mm}$$

## 15.4 Výpočet redukovaného momentu

$$M_{ored1} = \sqrt{M_{omax1}^2 + 0,75 \cdot (\alpha_B \cdot M_{k2})^2} = \sqrt{372141^2 + 0,75 \cdot (0,765 \cdot 480356)^2} = 489658,9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

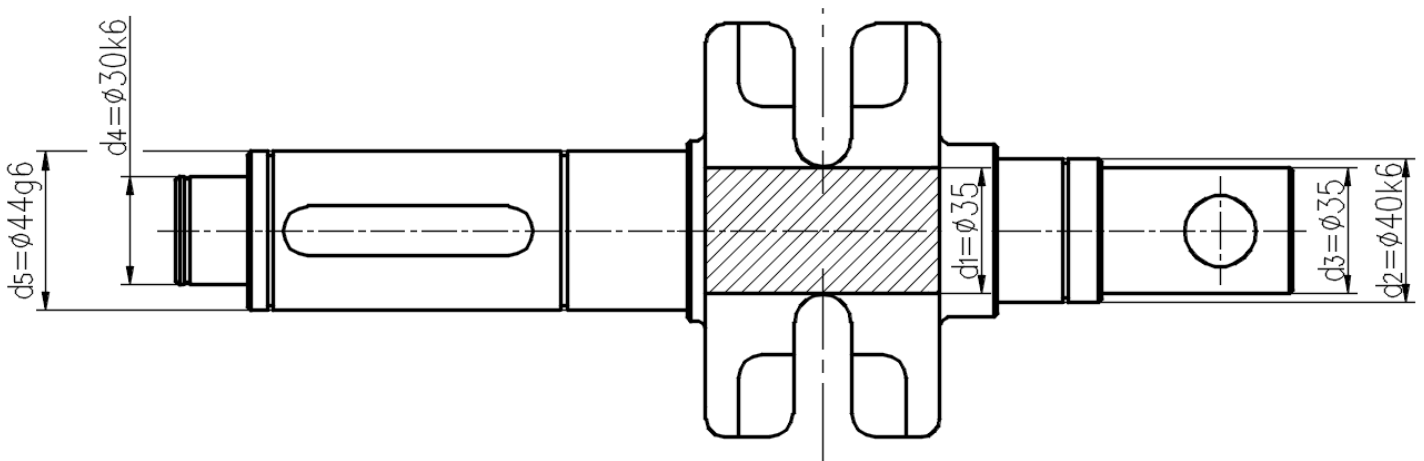
Bachův opravný součinitel:

$$\alpha_B = \frac{c_{III} \cdot \sigma_{D,I}}{\varphi \cdot \frac{\sigma_{D,I} \cdot c_{II}}{\varphi}} = \frac{c_{III}}{c_{II}} = \frac{0,65}{0,85} = 0,765$$

## 15.5 Výpočet průměru $d_1$ hřídele pevné kladky

$$\sigma_{DoIII} \geq \frac{M_{ored1}}{W_{o1}} \Rightarrow d_1 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{ored1}}{\pi \cdot \sigma_{DoIII}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 489658,9}{\pi \cdot 125}} = 34,17 \text{ mm} \Rightarrow 35 \text{ mm}$$

$\sigma_{DoIII} = (105 \div 125) \text{ MPa}$  – materiál hřídele volím 11 700 – volím dle lit. 1/str. 57  $\Rightarrow 125 \text{ MPa}$



## 15.6 Určení průměru $d_2$ hřídele pevné kladky

Průměr  $d_2$  volím 40 mm z důvodu velikosti průměru  $d_3$  – viz. 14.7

## 15.7 Určení průměru $d_3$ hřídele pevné kladky

Průměr  $d_3$  volím 35 mm z důvodu velikosti průměru čepu regulátoru viz. 16.1

## 15.8 Určení průměru $d_4$ hřídele pevné kladky

Průměr  $d_4$  volím 30 mm z důvodu velikosti průměru ložiska.

## 15.9 Určení průměru $d_5$ hřídele pevné kladky

Průměr  $d_5$  volím 44 mm z důvodu velikosti tlaku a otlacení na pera.

## 15.10 Určení ložisek hřídele pevné kladky

S ohledem na pracovní a konstrukční podmínky i v závislosti na velikosti průměru hřídele volím valivá kuličková ložiska:

v místě A: ložisko s kosoúhlým stykem ČSN 02 4645 typ 7206 BE  
dynamická účinnost:  $C_A = 23800 \text{ N}$   
statická účinnost:  $C_{oA} = 15600 \text{ N}$

v místě B: ložisko s kosoúhlým stykem ČSN 02 4645 typ 7208 BE  
dynamická účinnost:  $C_B = 36400 \text{ N}$   
statická účinnost:  $C_{oB} = 26000 \text{ N}$

volím dle lit.1 /str. 528

## 15.11 Kontrola ložisek

### 15.11.1 Stanovení zatížení ložisek radiální silou $F_r$ a axiální silou $F_a$

radiální zatížení v místě A:


$$F_{rA} = f_K \cdot f_d \cdot F_{RA} = 1,2 \cdot 1,3 \cdot 3185,87 = 4969,95 \text{ N}$$

radiální zatížení v místě B:

$$F_{rB} = f_K \cdot f_d \cdot F_{RB} = 1,2 \cdot 1,3 \cdot 8269,8 = 12900,89 \text{ N}$$

$f_K$  – přesnost ozubení  $f_K = (1,1 \div 1,3) \Rightarrow 1,2$  – běžné ozubení

$f_d$  – druh stroje (jeřáby)  $f_d = (1,2 \div 1,4) \Rightarrow 1,3$

 voleno dle lit. 1/str. 507

### 15.11.2 Stanovení dynamického ekvivalentního zatížení

Stanovení dynamického zatížení v místě A:

$$P_A = F_{rA} + 0,55 \cdot F_{a2} = 4969,95 + 0,55 \cdot 169,83 = 5063,36 \text{ N}$$

Stanovení dynamického zatížení v místě B:

$$P_B = F_{rB} + 0,55 \cdot F_{a2} = 12900,89 + 0,55 \cdot 169,83 = 12994,3 \text{ N}$$

### 15.11.3 Stanovení statického ekvivalentního zatížení

Stanovení statického zatížení v místě A:

$$P_{oA} = F_{rA} + 0,52 \cdot F_{a2} = 4969,95 + 0,52 \cdot 169,83 = 5058,26 \text{ N}$$

Stanovení statického zatížení v místě B:

$$P_{oB} = F_{rB} + 0,52 \cdot F_{a2} = 12900,89 + 0,52 \cdot 169,83 = 12989,2 \text{ N}$$

### 15.11.4 Stanovení bezpečnosti ložisek při statickém zatížení

v místě A:

$$C_{orA} = S_0 \cdot P_{oA} = 1 \cdot 5058,26 = 5058,26 \text{ N}$$

$$C_{oA} \geq C_{orA} \Leftrightarrow (15600 > 5058,26) - \text{ložisko v místě A vyhovuje}$$

v místě B:

$$C_{orB} = S_0 \cdot P_{oB} = 1 \cdot 12989,2 = 12989,2 \text{ N}$$

$$C_{oB} \geq C_{orB} \Leftrightarrow (26000 > 12989,2) - \text{ložisko v místě B vyhovuje}$$

$S_0$  – součinitel statické bezpečnosti – požadavek na tichý chod – normální – bodový – 1  
volím dle lit. 1/str. 516

## 15.12 Určení velikosti těsného pera na $d_5$

Volba per dle průměru hřídele:

Dle ČSN 02 2562 viz. lit. 1/str. 403 volím pero 14 e7x9x70

Kontrola per na otláčení v náboji:

$$p_1 = \frac{F_{o1}}{S_1 \cdot n} = \frac{2 \cdot M_{k2}}{d_5 \cdot t_1 \cdot L_1 \cdot n} \leq p_{D1} = \frac{2 \cdot 480356}{44 \cdot 3,5 \cdot 70 \cdot 2} = 44,56 \text{ MPa}$$

$$p_{D1} = \frac{R_e}{4} = \frac{340}{4} = 85 \text{ MPa}$$

$$p_1 \leq p_{D1} \Leftrightarrow (44,56 < 85) \text{ MPa}$$

materiál per volím 11 600 dle lit. 1/str. 57  $R_e = (295 \div 340) \text{ MPa} \Rightarrow 340 \text{ MPa}$

$n$  – počet per -  $n = 2$

Kontrola per na stříh:

$$\tau_{s1} = \frac{F_{o1}}{S_2 \cdot n} = \frac{2 \cdot M_{k2}}{d_5 \cdot b \cdot L_1 \cdot n} \leq \tau_{Ds1} = \frac{2 \cdot 480356}{44 \cdot 14 \cdot 70 \cdot 2} = 11,14 \text{ MPa}$$

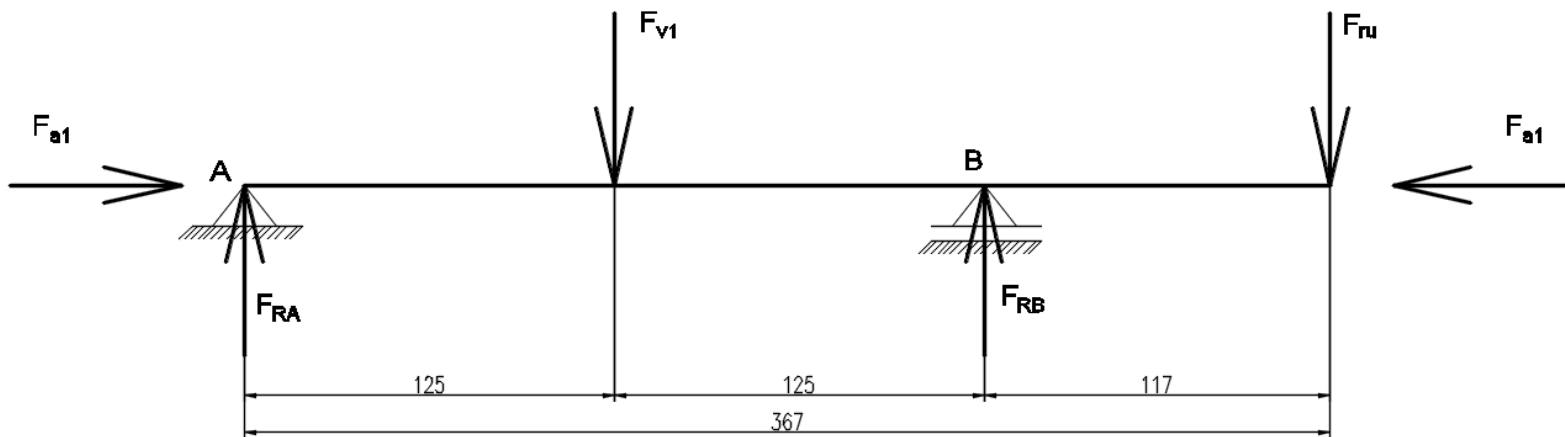
$$\tau_{Ds1} = 0,6 \cdot \sigma_{Dt} = 0,6 \cdot 138 = 82,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{DtII} = (110 \div 165) \text{ MPa} \Rightarrow 138 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s1} \leq \tau_{Ds1} \Leftrightarrow (11,14 < 82,8) \text{ MPa} - \text{pera vyhovují}$$

## 16 Výpočet hřídele šneku

### 16.1 Návrh vzdáleností ložisek a sil



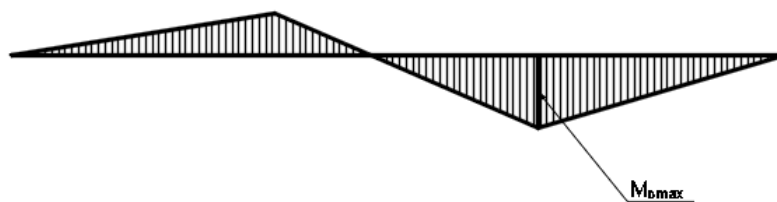
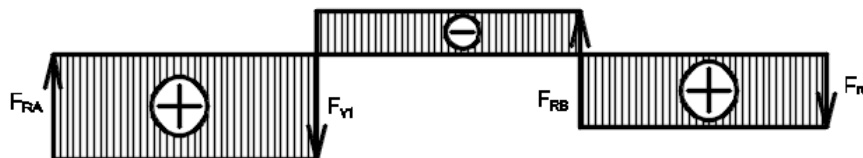
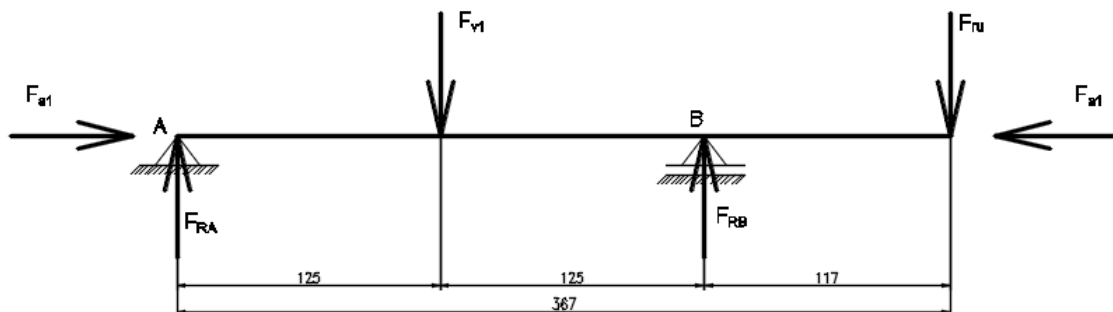
### 16.2 Výpočet reakčních sil

$$\sum F_y = 0: F_{RA} - F_{v1} + F_{RB} - F_{ru} = 0 \Rightarrow F_{RA} = F_{v1} - F_{RB} + F_{ru}$$

$$= 496,66 - 453,85 + 140 = 182,81\text{N}$$

$$\sum M_A = 0: F_{ru} \cdot 367 - F_{RB} \cdot (125 + 125) + F_{v1} \cdot 125 = 0 \Rightarrow F_{RB} = \frac{F_{ru} \cdot 367 + F_{v1} \cdot 125}{(125 + 125)}$$

$$= \frac{140 \cdot 367 + 496,66 \cdot 125}{(125 + 125)} = 453,85\text{N}$$



### 16.3 Výpočet maximálního ohybového momentu

$$M_{\text{omax2}} = F_{\text{ru}} \cdot 117 = 140 \cdot 117 = 16380 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

### 16.4 Výpočet redukovaného momentu

$$M_{\text{ored2}} = \sqrt{M_{\text{omax2}}^2 + 0,75 \cdot (\alpha_B \cdot M_{k1})^2} = \sqrt{16380^2 + 0,75 \cdot (0,765 \cdot 6724,984)^2} = 16975,12 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Bachův opravný součinitel:

$$\alpha_B = \frac{c_{\text{III}} \cdot \sigma_{\text{D,I}}}{\varphi \cdot \sigma_{\text{D,I}} \cdot c_{\text{II}}} = \frac{c_{\text{III}}}{c_{\text{II}}} = \frac{0,65}{0,85} = 0,765$$

### 16.5 Výpočet průměru $d_1$ hřídele šneku

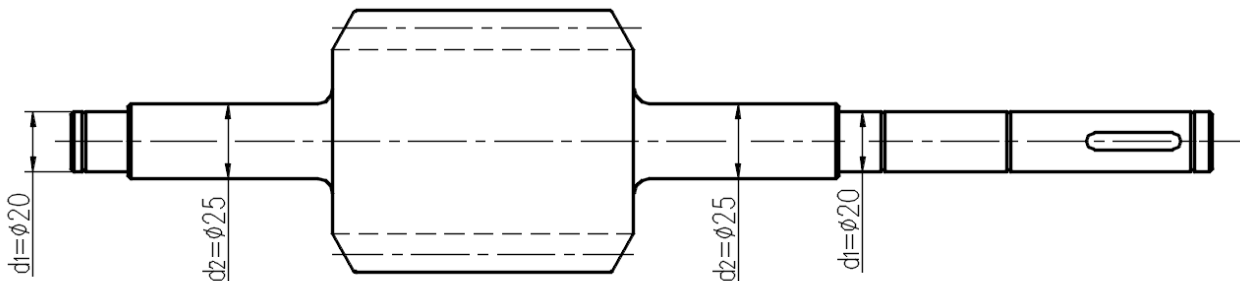
$$\sigma_{\text{DoIII}} \geq \frac{M_{\text{ored2}}}{W_{01}} \Rightarrow d_1 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{ored2}}}{\pi \cdot \sigma_{\text{DoIII}}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 16975,12}{\pi \cdot 90,75}} = 12,39 \text{ mm} \Rightarrow 20 \text{ mm}$$

Materiál hřídele šneku volím 12050 dle lit 1/str. 686  $R_e = (275 \div 590) \text{ MPa} \Rightarrow 275 \text{ MPa}$

$$\sigma_{\text{DoIII}} = \frac{R_e}{1,5} \cdot 1,1 \cdot 0,45 = \frac{275}{1,5} \cdot 1,1 \cdot 0,45 = 90,75 \text{ MPa}$$

### 16.6 Určení průměru $d_2$ hřídele šneku

Z konstrukčních důvodů platí  $d_2 > d_1 \Rightarrow$  volím  $d_2 = 25 \text{ mm}$



### 16.7 Určení ložisek hřídele šneku

S ohledem na pracovní a konstrukční podmínky i v závislosti na velikosti průměru hřídele volím valivá kuličková ložiska:

v místě A: ložisko s kosoúhlým stykem ČSN 02 4645 typ 7204 BE  
dynamická účinnost:  $C_A = 14000 \text{ N}$   
statická účinnost:  $C_{0A} = 8300 \text{ N}$

v místě B: ložisko s kosoúhlým stykem ČSN 02 4645 typ 7204 BE  
dynamická účinnost:  $C_B = 14000 \text{ N}$   
statická účinnost:  $C_{0B} = 8300 \text{ N}$

volím dle lit.1 /str. 528



## 16.8 Kontrola ložisek

### 16.8.1 Stanovení zatížení ložisek radiální silou $F_r$ a axiální silou $F_a$

radiální zatížení v místě A:

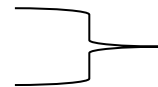
$$F_{rA} = f_K \cdot f_d \cdot F_{RA} = 1,2 \cdot 1,3 \cdot 182,81 = 285,18 \text{ N}$$

radiální zatížení v místě B:

$$F_{rB} = f_K \cdot f_d \cdot F_{RB} = 1,2 \cdot 1,3 \cdot 453,85 = 708 \text{ N}$$

$f_K$  – přesnost ozubení  $f_K = (1,1 \div 1,3) \Rightarrow 1,2$  – běžné ozubení

$f_d$  – druh stroje (jeřáby)  $f_d = (1,2 \div 1,4) \Rightarrow 1,3$



voleno dle lit. 1/str. 507

### 16.8.2 Stanovení dynamického ekvivalentního zatížení

Stanovení dynamického zatížení v místě A:

$$P_A = F_{rA} + 0,55 \cdot F_{a1} = 285,18 + 0,55 \cdot 1272,8 = 985,22 \text{ N}$$

Stanovení dynamického zatížení v místě B:

$$P_B = F_{rB} + 0,55 \cdot F_{a1} = 708 + 0,55 \cdot 1272,8 = 1408,04 \text{ N}$$

### 16.8.3 Stanovení statického ekvivalentního zatížení

Stanovení statického zatížení v místě A:

$$P_{oA} = F_{rA} + 0,52 \cdot F_{a1} = 285,18 + 0,52 \cdot 1272,8 = 947,04 \text{ N}$$

Stanovení statického zatížení v místě B:

$$P_{oB} = F_{rB} + 0,52 \cdot F_{a1} = 708 + 0,52 \cdot 1272,8 = 1369,9 \text{ N}$$

### 16.8.4 Stanovení bezpečnosti ložisek při statickém zatížení

v místě A:

$$C_{orA} = S_0 \cdot P_{oA} = 1 \cdot 947,04 = 947,04 \text{ N}$$

$$C_{oA} \geq C_{orA} \Leftrightarrow (8300 > 947,04) - \text{ložisko v místě A vyhovuje}$$

v místě B:

$$C_{orB} = S_0 \cdot P_{oB} = 1 \cdot 12989,2 = 12989,2 \text{ N}$$

$$C_{oB} \geq C_{orB} \Leftrightarrow (8300 > 1369,9) - \text{ložisko v místě B vyhovuje}$$

$S_0$  – součinitel statické bezpečnosti – požadavek na tichý chod – normální – bodový – 1  
volím dle lit. 1/str. 516

## 16.9 Určení velikosti těsného pera na $d_1$

Volba per dle průměru hřídele:

Dle ČSN 02 2562 viz. lit. 1/str. 403 volím pero 6 e7x6x32

Kontrola per na otláčení v náboji:

$$p_2 = \frac{F_{o2}}{S_2} = \frac{2 \cdot M_{k1}}{d_1 \cdot t_1 \cdot L_2} \leq p_{D2} = \frac{2 \cdot 6724,984}{20 \cdot 2,5 \cdot 32} = 8,4 \text{ MPa}$$

$$p_{D2} = \frac{R_e}{4} = \frac{268}{4} = 67 \text{ MPa}$$

$$p_2 \leq p_{D2} \Leftrightarrow (50,3 < 67) \text{ MPa}$$

materiál per volím 11 500 dle lit. 1/str. 57  $R_e = (245 \div 290) \text{ MPa} \Rightarrow 268 \text{ MPa}$

Kontrola per na stříh:

$$\tau_{s2} = \frac{F_{o2}}{S_2 \cdot n} = \frac{2 \cdot M_{k1}}{d_1 \cdot b \cdot L_2} \leq \tau_{Ds1} = \frac{2 \cdot 6724,984}{20 \cdot 6 \cdot 32} = 11,14 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ds2} = 0,6 \cdot \sigma_{Dt} = 0,6 \cdot 138 = 82,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{DII} = (110 \div 165) \text{ MPa} \Rightarrow 138 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s2} \leq \tau_{Ds2} \Leftrightarrow (11,14 < 82,8) \text{ MPa} - \text{pera vyhovují}$$

## 17 Výpočet rychlostního regulátoru

### 17.1 Určení minimálního průměru čepu regulátoru

$$M_{k2} = \frac{F_{o3} \cdot D_4}{2} \Rightarrow F_{o3} = \frac{2 \cdot M_{k2}}{D_4} = \frac{2 \cdot 480356}{100} = 9607,12 \text{ N}$$

$$M_{o3} = F_{o3} \cdot l_3 = 9607,12 \cdot 32,5 = 312231,4 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{o3} = \frac{M_{o3}}{W_{o3}} \leq \sigma_{Do3} \Rightarrow W_{o3} = \frac{M_{o3}}{\sigma_{Do3}} \Rightarrow d_3 = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{o3}}{\pi \cdot \sigma_{Do3}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 312231,4}{\pi \cdot 536,25}} = 18,10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow 20 \text{ mm}$$

Materiál čepu brzdy volím 12 090 dle lit. 5/str. 35 z důvodu velikosti ohybového momentu.

$$R_m = (785 \div 1569) \text{ MPa}, R_e = (0,6 \div 0,75 \cdot R_m) \Rightarrow 1500 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Do3} = \frac{0,75 \cdot R_m}{1,5} \cdot 1,1 \cdot 0,65 = \frac{0,75 \cdot 1500}{1,5} \cdot 1,1 \cdot 0,65 = 536,25 \text{ MPa}$$

### 17.2 Výpočet pružiny

#### 17.2.1 Výpočet maximálního zatížení pružiny

$$i_{1,2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_2 = \frac{n_1}{i_{1,2}} = \frac{2,66}{50} = 0,0532 \text{ s}^{-1}$$

$$i_{2,3} = \frac{z_3}{z_2} = \frac{4}{50} = 0,08$$

$$i_{2,3} = \frac{n_2}{n_3} \Rightarrow n_3 = \frac{n_2}{i_{2,3}} = \frac{0,0532}{0,08} = 0,665 \text{ s}^{-1}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n_3 = 2 \cdot \pi \cdot 0,665 = 4,17 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$F_8 = m \cdot e \cdot \omega^2 = 0,23 \cdot 37,869 \cdot 4,17^2 = 152 \text{ N}$$

$e$  – vzdálenost osy hřídele od těžiště závaží –  $e = 37,869 \text{ mm}$  – určeno z Inventoru 2017

$m$  – hmotnost závaží –  $m = 0,23 \text{ kg}$  – určeno z Inventoru 2017

### 17.2.2 Určení středního průměru pružiny $D_{pr}$

$$D_{pr} = D_{2pr} + d = 20,5 + 2,5 = 23 \text{ mm}$$

### 17.2.3 Předběžný výpočet pružiny

$$\tau_{Dm} = 0,5 \cdot R_m = 0,5 \cdot 1675 = 837,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_8 = 0,9 \cdot \tau_{Dm} = 0,9 \cdot 837,5 = 753,75 \text{ MPa}$$

$$d_{teor} = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot F_8 \cdot D_{pr}}{\pi \cdot \tau_8}} = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot 152 \cdot 23}{\pi \cdot 753,75}} = 2,27 \text{ mm}$$

### 17.2.4 Poměr vinutí

$$i_{pr} = \frac{D_{pr}}{d_{teor}} = \frac{23}{2,27} = 10,1$$

### 17.2.5 Korekční součinitel

$$K = \frac{i_{pr} + 0,2}{i_{pr} - 1} = \frac{10,1 + 0,2}{10,1 - 1} = 1,13$$

### 17.2.6 Korekce průměru drátu

$$d_{pr} = d_{teor} \cdot \sqrt[3]{K} = 2,27 \cdot \sqrt[3]{1,13} = 2,36 \text{ mm}$$

Dle lit. 2/str. 222 volím dle ČSN 02 6003 průměr drátu 2,5 mm.

### 17.2.7 Tuhost pružiny

$$c = \frac{F_8}{H} = \frac{152}{8} = 19 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

### 17.2.8 Určení počet činných závitů

Dle lit. 1/str.430 volím modul pružnosti ve smyku  $G = 8,05 \cdot 10^4 \text{ MPa}$

$$n_{pr} = \frac{1}{c} \cdot \frac{d_{pr}^4 \cdot G}{8 \cdot D_{pr}^3} = \frac{1}{19} \cdot \frac{2,5^4 \cdot 8,05 \cdot 10^4}{8 \cdot 23^3} = 1,7 \Rightarrow \text{volím 2 závitů}$$

### 17.2.9 Vůle v závitech

$$v = (0,2 \div 0,5) \cdot d_{pr} = 0,5 \cdot 2,5 = 1,25 \text{ mm}$$

### 17.2.10 Celkový počet závitů

$$n_c = n_{pr} + n_z = 2 + 1 = 3 \text{ závity}$$

### 17.2.11 Délka pružiny při úplném stlačení

$$l_9 = n_c \cdot d_{pr} = 3 \cdot 2,5 = 7,6 \text{ mm}$$

### 17.2.12 Délka plně zatížené pružiny

$$l_8 = l_9 + (n_c - 1) \cdot v = 7,6 + (3 - 1) \cdot 1,25 = 10,1 \text{ mm}$$

### 17.2.13 Délka pružiny v předpruženém stavu

$$l_1 = l_8 + H = 10,1 + 8 = 18,1 \text{ mm}$$

### 17.2.14 Délka volné pružiny

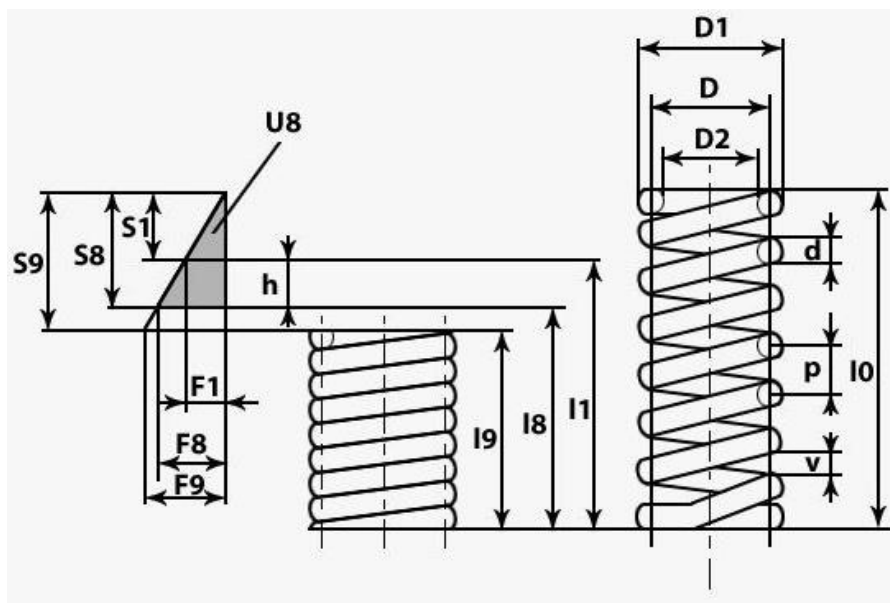
$$l_0 = l_1 + y_1 = 18,1 + 1,41 = 19,51 \text{ mm}$$

$$y_8 = \frac{8 \cdot n \cdot F_8 \cdot D_{pr}^3}{G \cdot d_{pr}^4} = \frac{8 \cdot 2 \cdot 152 \cdot 23^3}{8,05 \cdot 10^4 \cdot 2,5^4} = 9,41 \text{ mm}$$

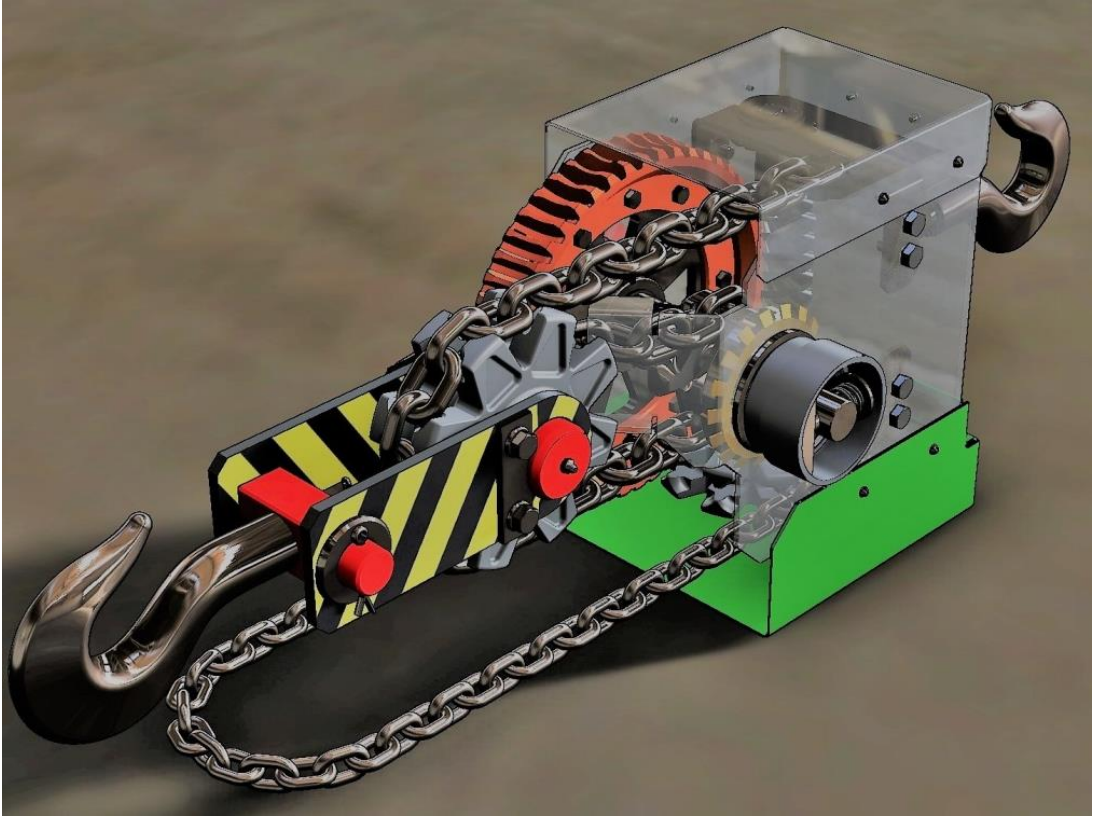
$$y_1 = y_8 - H = 9,41 - 8 = 1,41 \text{ mm}$$

### 17.2.15 Délka rozvinutého drátu

$$L_d = \pi \cdot D_{pr} \cdot n_c = \pi \cdot 23 \cdot 3 = 216,77 \text{ mm}$$



18 Vizualizace kladkostroje



## ZÁVĚR

Na základě stanovených požadavků byl navržen šroubový kladkostroj a zvolena jeho nosná konstrukce. První kapitola se věnuje obecně problematice kladkostrojů. Bylo provedeno jejich základní rozdělení podle způsobu konstrukce, pohonu a hnacího prvku. U konstrukcí je rozepsáno, na jakém principu pracují, výhody, nevýhody a možné použití. V další kapitole je zmiňována konstrukce, kde jsou popsány jednotlivé díly, jejich podrobný popis a doplněny obrázky. Následující kapitoly jsou věnovány výpočtům kladek, šnekového převodu, háku, kladnice a rychlostního regulátoru. V poslední kapitole jsou uvedeny obrázky navrženého kladkostroje.

## SOUPIS POUŽITÉ LITERATURY

1. Řasa, J., Švercl, J.: Strojnické tabulky 1 pro školu a praxi, První vydání, Praha, Scientia, 2004, ISBN 80-7183-312-6

2. Vávra, P. a kol.: Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické, Druhé vydání, Praha, SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984

3. Leinveber, J., Vávra, P.: Strojnické tabulky, Druhé doplněné vydání, Úvaly, ALBRA, 2005, ISBN 80-7361-011-6

4. Kříž, R., a kol.: Stavba a provoz strojů II převody, Třinácté vydání, Praha, SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1978

5. Řasa, J., Švercl, J.: Strojnické tabulky 2 pro školu a praxi, První vydání, Praha, Scientia, 2004, ISBN 978-80-86960-20-3

# SEZNAM PŘÍLOH

## 1. Výkresová dokumentace

A1-4.A-29.01	Kladkostroj
A4-4.A-29.02	Bočnice
A4-4.A-29.03	Čep brzdy
A3-4.A-29.04	Deska rozety
A2-4.A-29.05	Hák 1
A2-4.A-29.06	Hák 2
A2-4.A-29.07	Hnací kladka
A2-4.A-29.08	Kryt 1
A1-4.A-29.09	Kryt 2
A4-4.A-29.10	Náboj 1
A4-4.A-29.11	Náboj 2
A4-4.A-29.12	Náboj 3
A3-4.A-29.13	Náboj 4
A3-4.A-29.14	Náboj rozety
A2-4.A-29.15	Nosný levý plech
A1-4.A-29.16	Nosný plech svařenec
A2-4.A-29.17	Nosný pravý plech
A2-4.A-29.18	Pevná kladka
A3-4.A-29.19	Příčnick
A4-4.A-29.20	Přídržka
A4-4.A-29.21	Rozpěrný kroužek
A2-4.A-29.22	Šnek
A2-4.A-29.23	Šnekové kolo
A2-4.A-29.24	Volná kladka
A3-4.A-29.25	Závěsný čep
A4-4.A-29.26	Brzdná dráha
A4-4.A-29.27	Závaží brzdy
A4-4.A-29.28	Přítlačný plech
A4-4.A-29.29	Pružina
A1-4.A-03.02	Nosný plech
A4-4.A-03.03	Výztuha
K-A1-4.A-29.01	Kladkostroj (kusovník)