

# Pohon pro střešní krytování

Lukáš Klapil

---

Bakalářská práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2018/2019

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš Klapil**  
Osobní číslo: **T15117**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Pohon pro střešní krytování**

Zásady pro vypracování:

- 1. Provedte literární studii včetně analýzy současného stavu**
- 2. Navrhněte konstrukční řešení**
- 3. Vypracujte technickou dokumentaci**

Rozsah bakalářské práce: **cca 60 stran**  
Rozsah příloh:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Kemka, V, Barták, J, Milčák P, Žitek, P. : Stavba a provoz strojů, stroje a zařízení, Informatorium, Praha, 2009, ISBN 978-80-7333-075-0**
2. **Lukovics, I, Sýkorová, L, Volek, F : Části a mechanismy strojů, Skripta, ES VUT Brno, 2000, ISBN 80 - 214 - 1566 - 5,**
3. **Volek, F, : Základy konstruování a části strojů - mechanismy strojů, Skripta, UTB ve Zlíně, 2003, ISBN 80-7318 - 111 - 8,**
4. **Bolek, A, Kochman, J. a kol. : Části strojů, 2. svazek. SNTL Praha, 1990**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. František Volek, CSc.**  
Ústav výrobního inženýrství  
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 19. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je navrhnout konstrukční řešení pohonu, který má odsunout odsuvnou střechu obráběcího centra. Práce se dělí na dvě části. Teoretická část práce se zabývá popisem stroje, elektromotorů, hřídelí a nakonec ozubenými převody. V praktické části jsou výpočty a návrhy komponentů a jejich technická dokumentace.

Klíčová slova: pohon, obráběcí centrum

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor thesis is to design a design solution for the drive, which is to move the sliding roof of the machining center. The work is divided into two parts. The theoretical part deals with the description of the machine, the electric motors, the shafts and finally the gears. In the practical part are calculations and design of components and their technical documentation.

Keywords: drive, machining center

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Františku Volkovi CSc. za odbornou pomoc a cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat panu Vladimíru Dopítovi za to, že mi umožnil studovat a zároveň být zaměstnaný. Také bych rád poděkoval za podporu své rodině a přítelkyni.

## OBSAH

<b>PROHLÁŠENÍ</b> .....	<b>4</b>
<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 POPIS OBRÁBĚCÍHO CENTRA TRIMILL</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 HLAVNÍ SOUČÁSTI STROJE TRIMILL A JEJICH MONTÁŽ</b> .....	<b>12</b>
1.1.1 SLOUPY .....	13
1.1.2 VAZNÍKY .....	14
1.1.3 LINEÁRNÍ VEDENÍ .....	14
1.1.4 PŘÍČNÍK .....	16
1.1.5 KOSTKA .....	17
1.1.6 SMYKADLO .....	17
1.1.7 OBRÁBĚCÍ HLAVA .....	18
<b>1.2 KRYTOVÁNÍ STROJE TRIMILL</b> .....	<b>19</b>
1.2.1 PEVNÉ KRYTY.....	19
1.2.2 POHYBLIVÉ KRYTY .....	19
<b>2 HŘÍDELE A OSY</b> .....	<b>22</b>
<b>2.1 OSY</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2 HŘÍDELE</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3 KRITICKÉ OTÁČKY HŘÍDELŮ</b> .....	<b>24</b>
<b>3 LOŽISKA</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1 KLUZNÁ LOŽISKA</b> .....	<b>25</b>
3.1.1 MATERIÁLY KLUZNÝCH LOŽISEK .....	25
<b>3.2 VALIVÁ LOŽISKA</b> .....	<b>25</b>
<b>4 MECHANICKÉ PŘEVODY</b> .....	<b>27</b>
<b>4.1 PŘEVODY OZUBENÝMI KOLY</b> .....	<b>28</b>
4.1.1 VÝPOČET OZUBENÉHO KOLA S PŘÍMÝMI ZUBY .....	28
<b>5 ELEKTROMOTORY</b> .....	<b>30</b>
<b>5.1 STEJNOSMĚRNÉ</b> .....	<b>30</b>
<b>5.2 STŘÍDAVÉ</b> .....	<b>30</b>
5.2.1 ASYNCHRONNÍ MOTORY .....	30
5.2.2 SYNCHRONNÍ MOTORY .....	31
<b>5.3 KROKOVÉ MOTORY</b> .....	<b>31</b>
<b>PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>32</b>
<b>6 VÝPOČET A NÁVRH POHONU STŘEŠNÍHO KRYTOVÁNÍ</b> .....	<b>33</b>
<b>6.1 ZADANÉ HODNOTY</b> .....	<b>33</b>
<b>6.2 MOTORU A PŘEVODOVKA</b> .....	<b>34</b>
<b>6.3 ŘETĚZOVÝ PŘEVOD</b> .....	<b>35</b>
6.3.1 ROZMĚRY ŘETĚZOVÝCH KOL.....	39
<b>6.4 HNANÁ HŘÍDEL POHONU</b> .....	<b>42</b>



6.4.1	TYČOVÁ ČÁST .....	42
6.4.2	TRUBKOVÁ ČÁST .....	46
	OHYBOVÝ MOMENT .....	47
	DEFORMACE TRUBKY .....	49
<b>6.5</b>	<b>KORÝTKOVÁ SPOJKA.....</b>	<b>50</b>
6.5.1	HLINÍK X OCEL .....	50
6.5.2	OCEL X OCEL .....	51
<b>6.6</b>	<b>VÝPOČET OZUBENÉHO KOLA A OZUBENÉHO HŘEBENU .....</b>	<b>52</b>
6.6.1	OZUBENÝ HŘEBEN.....	52
6.6.2	PASTOREK .....	54
<b>6.7</b>	<b>KRYTOVÁNÍ.....</b>	<b>55</b>
6.7.1	DEFORMACE KRYTOVÁNÍ .....	59
<b>6.8</b>	<b>VÝPOČET NOSNÉ OSY .....</b>	<b>60</b>
	ZÁVĚR .....	64
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	65
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	70
	SEZNAM PŘÍLOH.....	72

## ÚVOD

Tato bakalářská práce má za úkol navrhnout pohon pro střešní krytování v ose X obráběcího stroje. Pohon se musí pohybovat po profilu, jehož rozměry jsou zadány. Daný profil je montován k vnitřnímu krytování stroje. Střešní krytování osy X se muselo dříve odsunovat ručně, což bylo velmi nepraktické a hlavně i dost zdlouhavé. V teoretické části jsou popsány hlavní části stroje a krytování stroje Trimill. Dále jsou zde popsány části pohonu a to hřídele, ložiska, ozubené převody a elektromotory. V praktické části jsou návrhy a výpočty pohonu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

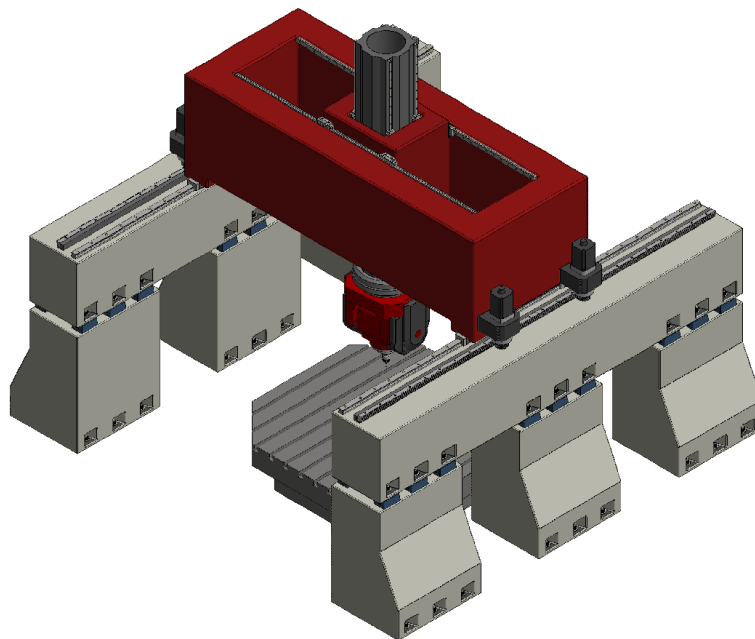
# 1 POPIS OBRÁBĚCÍHO CENTRA TRIMILL

## 1.1 Hlavní součásti stroje Trimill a jejich montáž

Hlavní součásti stroje (Obr. 1) zajišťují tuhost stroje a možnost pohybu. Většina těchto součástí má několik provedení. Tyto provedení se liší hlavně velikostmi. Například sloupy mohou být vyšší, nebo vazníky delší. Díky těmto provedením stroj může mít různé rozměry pracovní plochy. V ose Y to může být od 2,1 m až po 4,5 m, v ose X od 3 m až po zatím nejdelší stroje které mají 13 m a mohou mít i víc. Je možnost mít na jednom lineárním vedení i více příčníků.

Mezi hlavní součásti patří

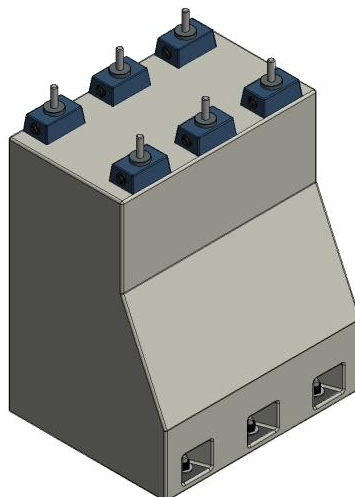
- Sloupy
- Vazníky
- Lineární vedení
- Příčnick
- Kostka
- Smykadlo
- Obráběcí hlava



Obr. 1 - Model hlavních částí stroje

### 1.1.1 Sloupy

Sloupy (Obr. 2) jsou betonové odlitky, ve kterých jsou zalité ocelové plotny. Tyto plotny jsou využívány jako dosedací plochy a zároveň jsou v nich závitové díry pro závitové tyče, díky kterým se přitahují vazníky (Obr. 4) ke sloupům. Beton, ze kterého jsou sloupy odlity, je vysoko pevnostní a jsou v něm přimíchány ocelové jehličky. Po odlití se dosedací plochy dále neupravují, nepřesnosti vyrovnají fixátory, které jsou naskládány na sloupech. Sloupy se upravují pouze vizuálně a to tmelením a nátěrem barvy. Při montáži jsou sloupy nejprve vyrovnány. Výškově pomocí optického nivelačního měřidla (Obr. 3). Dále musí být sloupy vyrovnány na předem předepsané rozteče a to kvůli tomu aby závitové tyče umístěné ve sloupech prošly otvory ve vaznících, které se pokládají na fixátory umístěné na sloupech. Poté, co jsou sloupy zabetonovány, se přitahují pomocí kotvícího zařízení.



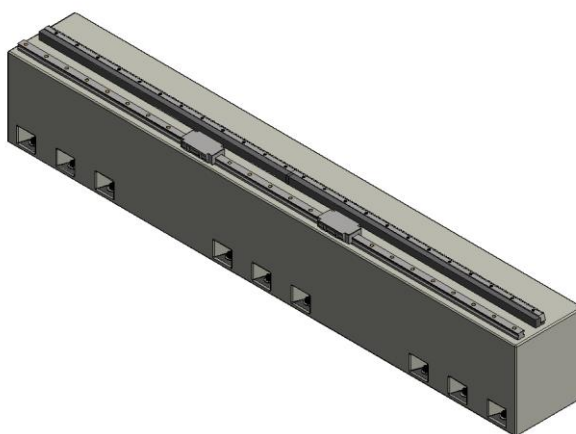
Obr. 2 - Model sloupů s fixátory



Obr. 3 - Optické nivelační měřidlo

### 1.1.2 Vazníky

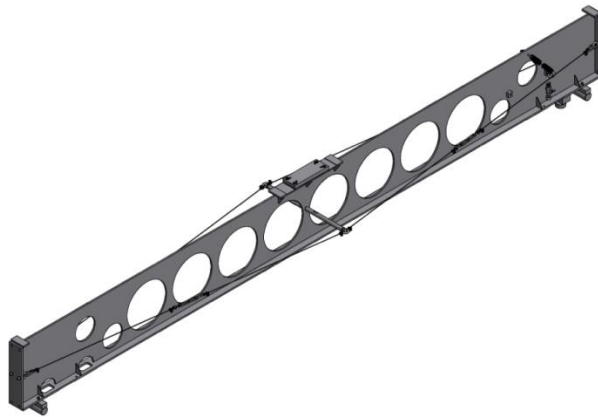
Vazníky (Obr. 4) jsou také betonové odlitky se zalitými ocelovými plotnami. Plochy, na které se montuje lineární vedení, ozubené hřebeny a odměřovací pravítka jsou dále frézovány a broušeny. Vazníky jsou také tmeleny a natřeny barvou. Vazníky se pokládají na fixátory, které jsou naskládány na předem vyrovnaných sloupech (Obr. 2). Vazníky se srovnají na předepsanou rozteč a dále se srovnají do rovnoběžnosti.



Obr. 4 - Model vazníků

### 1.1.3 Lineární vedení

Lineární vedení v podélném směru je montováno k vazníkům na obroušenou plochu. Nejprve se srovná lineární vedení na prvním vazníku. Ve vertikálním směru pomocí fixátorů, které jsou umístěny na sloupech (Obr. 2) a v horizontálním směru pomocí klíků (Obr. 9). Pomocí laseru měříme křivost ve vertikálním i horizontálním směru. Počítač, který je připojen k laseru vytvoří graf, na kterém je vidět křivost lineárního vedení v měřeném směru. Tento graf slouží jako podklad při vyrovnávání. Při vyrovnávání je třeba vědět o kolik posunout lineární vedení. K tomu je třeba stojánek (Obr. 7) a úchylkoměr (Obr. 8). Na druhém vazníku se lineární vedení srovnává k již srovnanému lineárnímu vedení na první straně stroje. Obě lineární vedení by měli být srovnány tak aby jejich průběh rozdílů výšek byl v dané toleranci a aby byly rovnoběžné v dané toleranci. K měření průběhu rozdílů výšek je třeba ráhno (Obr. 5) a digitální váha (Obr. 6), která se pokládá na broušenou plochu na ráhnu. K měření souběhu je třeba ráhno (Obr. 5), stojánek (Obr. 7) a úchylkoměr (Obr. 8)



Obr. 5 - Model ráhna



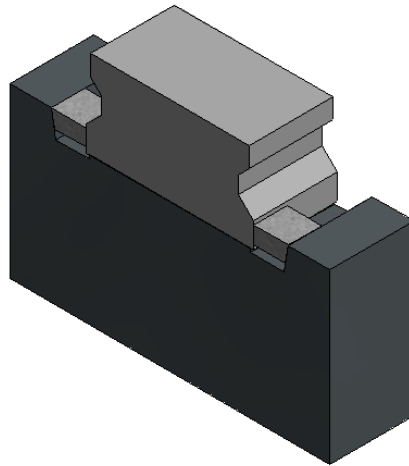
Obr. 6 - Digitální váha



Obr. 7 - Hydraulický stojánek



Obr. 8 - Páčkový úchylkoměr

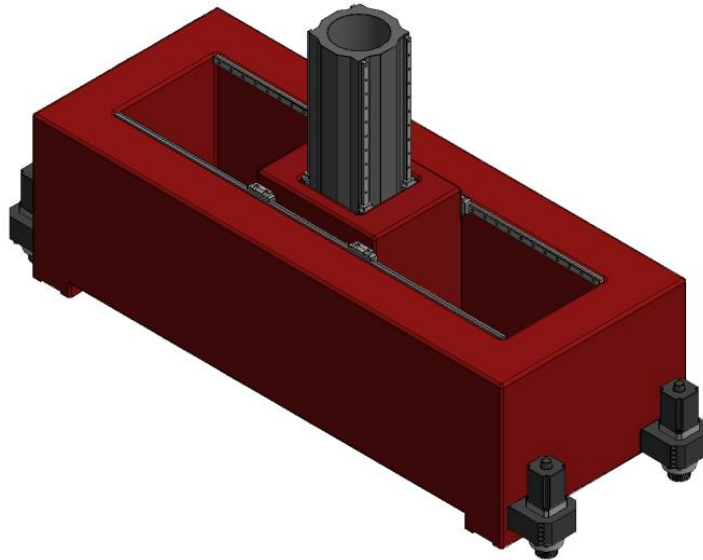


Obr. 9 - Model uložení lineáru

#### 1.1.4 Příčník

Příčník je litinový odlitek. Plochy, na které se montují lineární vedení Y jsou broušeny. V tomto případě se lineární vedení nedá srovnat, může se pouze změřit laserem a v případě překročení tolerance se příčník vrací na zpátky brusku. Plochy pro vozíky na lineárním vedení X jsou zaškrabány. Na příčník se montují čtyři lineární vedení Y. K těmto vedením se montuje kostka. Všechny lineární vedení Y jsou měřeny laserem v horizontálním i vertikálním směru, dále se měří souběhy mezi jednotlivými lineárními vedeními Y. Do příčníku se dále montuje odměřovací pravítko a kuličkový šroub s motorem nebo ozubený hřeb, který s motorem a převodovkou pohybuje kostkou. Do kostky se montuje smykadlo a kuličkový šroub s motorem nebo ozubený hřeb s převodovkou a motorem. Celá tato sestava (Obr. 10) se montuje k lineárnímu vedení X, které je vyrovnáno a přitaženo na předepsaný moment k vazníkům.





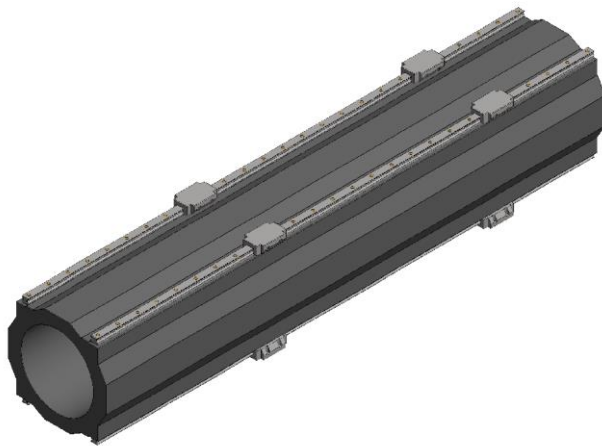
Obr. 10 - Model příčníku

### 1.1.5 Kostka

Kostka je dvoudílný ocelový odlitek, který je spojen do jednoho kusu. Ten je dále ofrézován a zaškrabán. Kostka je nejvíce zaškrabávaná součást stroje. Kostka se montuje na lineární vedení Y, které je srovnáno a přitaženo na předepsaný moment v příčníku (Obr 10). Kostku pohání šroub s motorem nebo motor s převodovkou a s ozubeným hřebenem. Tyto strojní součásti se srovnávají k lineárnímu vedení pomocí stojánku (Obr. 7) a úchylkoměru (Obr. 9). Kostka slouží k pohybu v příčném směru.

### 1.1.6 Smykadlo

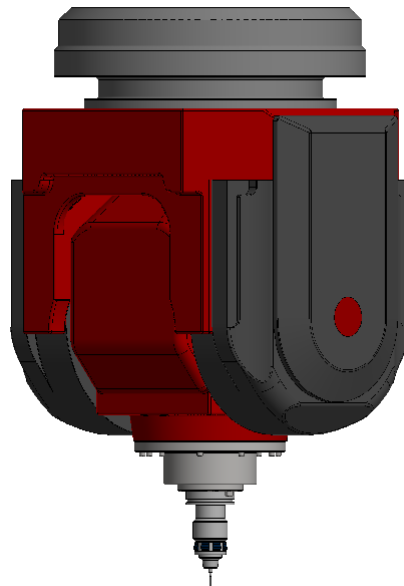
Smykadlo je ocelová součást, která zajišťuje pohyb osy Z pomocí kuličkových šroubů s motorem nebo ozubených hřebenů s převodovkou a motorem. Plochy pod lineáry jsou broušeny a čelo smykadla pro montáž hlavy nebo pouze vřetena je zaškrabáno. U lineárního vedení se opět měří průběhy v horizontálním a vertikálním směru a jejich souběhy. Měřidlo je opět laser.



Obr. 11 - Model smykadla

### 1.1.7 Obráběcí hlava

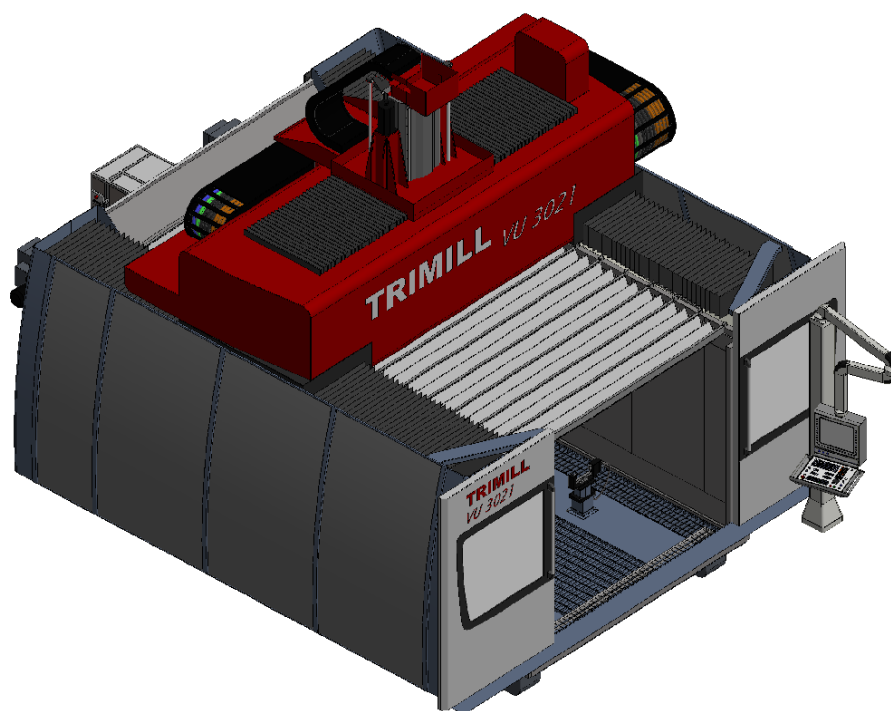
Obráběcí hlava je sestava z mnoha součástí. Nejdůležitější součástí je vřeteno, které umožňuje nástroji otáčivý pohyb. Hlava dále umožňuje pohyb výklopný a otáčivý kolem své osy. Tyto pohyby umožňují obrábět v pěti směrech. Obráběcí hlavy mohou být ke smykadlu (Obr. 11) přimontovány na pevně nebo mohou být výměnné. Stroj dokáže vyměnit obráběcí hlavu do tří minut.



Obr. 12 - Model obráběcí hlavy

## 1.2 Krytování stroje Trimill

Krytování dává stroji konečný vzhled a zvyšujete odolnost stroje oproti vnějším vlivům a mechanickému poškození. Kryty by měli být snadno demontovatelné kvůli servisu a údržbě. Kryty se dělí na pevné a pohyblivé.



Obr. 13 - Model zakrytovaného stroje

### 1.2.1 Pevné kryty

Pevné kryty tvoří konstrukce, ke které jsou z vnitřní strany stroje uchyceny nerezové plechy a z vnější strany sendvičové desky. Uvnitř stroje jsou nerezové plechy, které zvyšují odolnost proti oděru od špon a korozi. Sendvičové desky jsou složeny z hliníkové desky a laminátu. Krytování příčnicku tvoří hliníkové plechy.

### 1.2.2 Pohyblivé kryty

Pohyblivé kryty zakrývají prostor, ve kterém se pohybuje některá součást stroje. Lineární vedení podélné osy a vnitřní prostor příčnicku z vrchní strany kryjí skládané měchy. Prostor v příčnicku je ze spodní části chráněn roletovými kryty. Obráběcí prostor je z vrchní části zakrytován odsuvnou střechou.

### 1.2.2.1 Skládané měchy

Skládané měchy jsou používány především pro svou lehkost, která jim umožňuje rychlý pohyb v daném směru. Skládané měchy svojí konstrukcí připomínají tahací harmoniku. Vyrábí se z více vrstevných umělých tkanin nebo pryže v případě kdy je potřeba velká tepelná odolnost se volí kevlarová vlákna. Další částí skládaných měchů jsou rámečky, které se vkládají mezi švy ke každému spoji. Tyto rámečky jsou vyrobeny z oceli nebo PVC. Rámečky se pohybují po vedení, které je umístěno na stroji. Poslední část měchů tvoří koncové příruby na obou koncích. Tyto koncové příruby slouží k uchycení ke stroji a ve většině případů jsou ocelové.

[4]



Obr. 14 - Skládací měch

### 1.2.2.2 Roletové kryty

Výhodou roletových krytů je opět jejich nízká hmotnost. Díky nízké hmotnosti zvládají roletové kryty vysoké rychlosti. Nevýhodou je jejich malá odolnost proti zatížení. Navíjený pás může být vyroben z tkaniny, pryže a nebo z tenkého plechu. Součástí roletových krytů je buben, na který je navíjen pás z daného materiálu. Volný konec pásu je upevněn na pohyblivé části stroje. Zpětnému navinutí pomáhá pružina umístěna v bubnu.

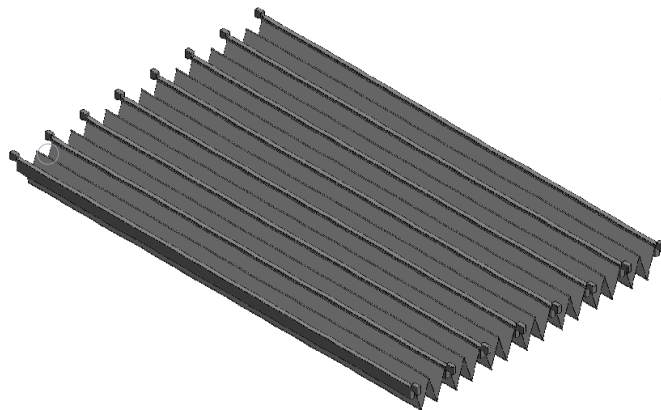
[4]



Obr. 15 - Roletový kryt

### 1.2.2.3 Odsuvná střecha

Odsuvná střecha je umístěna před i za příčnickem (Obr. 14). V případě dvou příčníků musí být odsuvné střechy čtyři. Díky odsuvné střeše se mohou do pracovního prostoru vkládat a vykládat velké kusy materiálu pomocí jeřábu. Odsuvná střecha se skládá z hliníkových profilů na jejichž koncích jsou namontovány koncovky, které jezdí po hliníkovém profilu. Tyto tyče spojuje pás tkaniny. Na jedné straně je střecha napevno připevněna k příčnicku a na druhé straně je zajištěna vzduchovými písty.



Obr. 16 - Odsuvná střecha

## 2 HŘÍDELE A OSY

Hřídele a osy jsou rotační nejčastěji válcové strojní součásti, které přenáší rotační pohyb. Na hřídeli i ose mohou být uloženy ozubená kola, řetězová kola, řemenice, kladky, pojezdová kola, spojky, brzdy zdrže a jiné rotační i nerotační části, např. vačky.

[1],[2]

### 2.1 Osy

Osy jsou namáhány pouze na ohyb a v místě uložení se kontrolují na otláčení. Osy se dále dělí na nepohyblivé a otočné. Nepohyblivé umožňují otáčení jiným součástem na nich uložených. Například kladky, pojezdová kola nebo napínací kotouče. Otočné se pohybují zároveň se součástkami, které jsou na nich uloženy. Průřez u větších os je největší v místě s největším ohybovým zatížením a směrem k uložení se průřez zmenšuje.

[1],[2]

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{oD}$$

$$W_o = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32M_o}{\pi\sigma_{oD}}}$$

kde

d je průměr osy (mm)

M<sub>o</sub> je ohybový moment (N \* mm)

W<sub>o</sub> je modul pružnosti v ohybu (mm<sup>3</sup>)

σ<sub>oD</sub> je dovolené napětí (MPa)

## 2.2 Hřídele

Hybné hřídele přenáší točivý moment. Ve většině případů jsou namáhány kombinací krutu a ohybu. Materiál u osy hřídele je minimálně namáhán, takže se mohou používat hřídele duté a to z důvodu funkčního nebo hmotnostního. Část hřídele sloužící k uložení se nazývá čep. Hybné hřídele jsou namáhány hlavně na krut, proto se nejprve používá rovnice pevnosti v krutu se sníženým napětím  $\tau_{kD}$ :

$$M_k = \frac{P}{2\pi n}$$

$$W_k = \frac{\pi d^3}{16}$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{kD}$$

Po dosazení a úpravě

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16M_k}{\pi\tau_{kD}}}$$

kde

$d$  je průměr hřídele (mm)

$M_k$  je kroutící moment (N \* m) pro výpočet se převádí na (N \* mm)

$W_k$  je průřezový modul v krutu (mm<sup>3</sup>)

$\tau_{kD}$  je dovolené napětí v krutu (MPa)

Vypočítaný průměr se zaokrouhlí na nejbližší vyšší normalizovaný rozměr. Dále se provede kontrola na kombinované namáhání.

$$M_{red} = \sqrt{M_{o\ Max}^2 + 0,75(\alpha_\beta M_k)^2}$$

$$\sigma_{red} = \frac{M_{red}}{W_o} \leq \sigma_D$$

kde

$M_{o\ Max}$  je největší ohybový moment (N \* mm)

$M_{red}$  je redukovaný moment (N \* mm)

$W_o$	je modul průřezu v ohybu ( $\text{mm}^3$ )
$\alpha_\beta$	je opravný součinitel
$\sigma_{red}$	je redukované napětí (MPa)

[1],[2]

### 2.3 Kritické otáčky hřídelů

Hřídele s vysokými otáčkami např. hřídele turbín apod. se musí kontrolovat na ohybové kmitání. Při určitých otáčkách se může stát, že vlastní kmity hřídele se budou shodovat s vynucenými kmity. V tomto případě nastane rezonance. Vlastní kmity hřídele jsou ty kmity, na které se hřídele rozkmitávají svou pružností. Vynucené kmity hřídele jsou vyvolány kroužením nevyvážených hmotností hřídele. Když nastane rezonance tak se i správně, pevnostně navržený hřídel může porušit. Kritické otáčky jsou otáčky, při kterých dochází k rezonanci. Kritické otáčky musí být o 20% jiné než otáčky provozní. V případě kdy jsou provozní otáčky vyšší než otáčky kritické, musí hřídel při rozběhu přes tyto otáčky rychle přejít, než se hřídel stačí rozkmitat.

Nejjednodušší případ výpočtu kritických otáček je hřídel s uloženým kotoučem dvěma mezi ložisky.

$$n_k = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{y}} = \frac{\sqrt{9,81 \cdot 10^3}}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{y}} \doteq 15,76 \sqrt{\frac{1}{y}}$$

kde

$g$  je tíhové zrychlení v  $\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}$

$n_k$  jsou kritické otáčky  $\text{s}^{-1}$

$y$  průhyb hřídele způsobený vlastní tíhou hřídele a kotouče

[1]



### 3 LOŽISKA

Ložiska jsou strojní součásti, které slouží k uložení rotačních součástí do nehybného rámu. Jejich další účel je zmenšení tření na styčných plochách při otáčivém nebo posuvném pohybu. Ložisko může být zatíženo radiálně to je kolmo na osu ložiska nebo axiálně to je ve směru osy. Podle zatěžující síly rozeznáváme ložiska radiální a axiální. Dále se ložiska rozdělují podle konstrukce a druhu tření na valivá a kluzná.

[1],[2]

#### 3.1 Kluzná ložiska

Kluzná ložiska se používají pro větší zatížení s rázy a navíc snesou přetížení. Jejich konstrukce je jednoduchá tudíž se dají snadno montovat a demontovat. Jejich další výhody jsou jednoduchá výroba a prostorová nenáročnost. Mezi jejich nevýhody patří ztráty mazáním, velká hmotnost, velká spotřeba maziva, nutnost chlazení kvůli zahřívání oleje. Vrstva mazací kapaliny musí být u těchto, ložisek dostatečně velká. To proto, aby nedocházelo k vzájemnému kontaktu materiálů čepu a ložiska. Kluzná ložiska se používají k uložení hladce obrobeného hřídele, který se otáčí v ložiskové pánvi.

[1]

##### 3.1.1 Materiály kluzných ložisek

Mezi základní požadavky na materiály kluzných ložisek patří malý součinitel tření, odolnost proti opotřebení, malá tepelná roztažnost. Nejpoužívanější materiály tedy jsou mosaz, bronz, slitiny hliníku, šedá litina. Nekomové pak PTFE, PA, a termoplasty vyztužené skelnými vlákny.

[1]

#### 3.2 Valivá ložiska

Valivá ložiska (Obr. 20) se používají kvůli jejich malému odporu proti pohybu a pro velkou provozní spolehlivost. Valivá ložiska jsou tvořena ze dvou kroužků, valivých těles a klece. Většina valivých ložisek může přenášet radiální i axiální zatížení.



Obr. 17 - Valivé ložisko

Klec rovnoměrně rozděluje valivá tělesa po obvodu ložiska, proto nedochází k dotyku valivých těles mezi sebou. Klece můžou být lisované z ocelového nebo mosazného plechu, obráběny z ocelí, slitin hliníku případně plastů. Mezi klecí a valivými tělesy existuje tření, které je ovšem menší, než které by nastalo v případě valivého ložiska bez klece.

Valivá tělíska mohou být kuličky, válečky, jehličky, soudečky. Rozdíl v průměrech těchto tělísek nesmí přesáhnout 0,001 mm. Materiál tělísek musí mít vysokou tvrdost a pevnost v tlaku.

[1],[2]

## 4 MECHANICKÉ PŘEVODY

Mechanické převody se používají k přenosu rotačního pohybu a točivého momentu, ke změně rychlosti rotačního pohybu a točivého momentu, dají se také použít ke změně směru rotačního pohybu. Každý mechanický převod je tvořen dvěma koly. Kola se nazývají hnací a hnané. Hnací kolo přenáší rotační pohyb a točivý moment na kolo hnané. Charakteristickou veličinou je převodový poměr.

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

kde

$n_1$  je hnací kolo

$n_2$  je hnané kolo

Pokud je  $i > 1$ , jde o převod do pomala. To znamená, že otáčky hnaného kola jsou menší. Pokud je  $i < 1$ , jde o převod do rychla. To znamená, že otáčky hnaného kola jsou větší.

Mechanické převody dělíme na

- Třecí převody
- Řemenové převody
- Řetězové převody
- Převody ozubenými koly

U těchto převodů je stálý převodový poměr a nedá se měnit během provozu. Pokud je potřeba měnit otáčky v provozu používají se variátory.

U třecích a řemenových převodů dochází ke skluzu, který se zvyšuje s točivým momentem. Mezi řemenové převody patří i ozubené řemeny, u kterých nedochází ke skluzu.

U převodů řetězových a ozubenými koly nedochází ke skluzu. To znamená, že hnané kolo je závislé pouze na hnacím kole.

## 4.1 Převody ozubenými koly

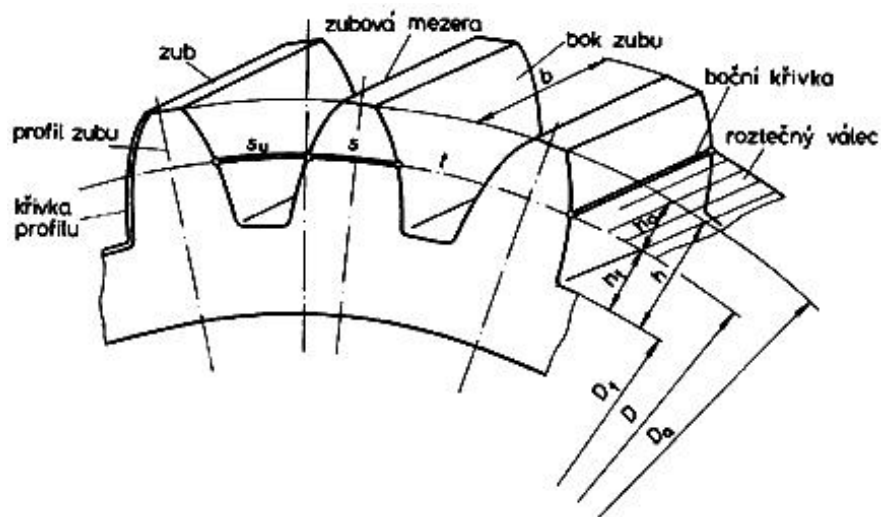
Převody ozubenými koly jsou nejčastěji používané mechanické převody. Rotační pohyb a točivý moment se přenáší tvarovým stykem mezi boky zubů hnaného a hnacího kola. Převody ozubenými koly přenášet velké zatížení při malých ztrátách a s velkou účinností a velkou životností. Jejich nevýhody jsou hluk, netlumení rázů, složitá výroba. Nejjednodušší ozubený převod je tvořen pouze dvěma ozubenými koly. Menší se nazývá pastorek a větší kolo.

Převody ozubenými koly se dělí podle vzájemné polohy

- Převody s rovnoběžnými osami ozubených kol
- Převody s různoběžnými osami
- Převody s mimoběžnými osami

### 4.1.1 Výpočet ozubeného kola s přímými zuby

Ze zadaného převodového poměru se vypočítají počty zubů  $z_1$ . Minimální počet zubů jednoho ozubeného kola je  $z = 17$ .



Obr. 18 - Rozměry ozubeného kola

Modul se počítá ze vztahu

$$m = 0,8602 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_k}{c \cdot z_1 \cdot \psi}}$$

kde

$m$  je modul

$M_{k_1}$  je kroutící moment

$z_1$  je počet zubů

Hlavní geometrické rozměry

Výška hlavy zubu  $h_a = m$

Hlavová vůle  $c_a = 0,25 \cdot m$

Výška paty zubu  $h_f = 1,25 \cdot m$

Výška zubu  $h = 2,25 \cdot m$

Průměr roztečné kružnice  $d = z \cdot m$

Průměr hlavové kružnice  $d_a = (z + 2) \cdot m$

Průměr patní kružnice  $d_f = (z - 2,5) \cdot m$

Šířka zubu  $s = \frac{\pi \cdot m}{2}$

Šířka zubní mezery  $e = s = \frac{\pi \cdot m}{2}$

Vzdálenost os  $a = \frac{d_1 + d_2}{2}$

## 5 ELEKTROMOTORY

Elektromotory mění elektrickou energii na mechanickou práci. Základním principem elektromotorů je vzájemné silové působení elektromagnetických polí vytvářených elektrickými obvody, kterými protéká elektrický proud. Elektromotory jsou jedny z nejrozšířenějších typů pohonů, které se nejčastěji využívají u pohonů průmyslových a trakčních. Tyto elektromotory jsou vyráběny v rozmezí od desítek W až po desítky MW a také pro otáčky v rozmezí desítek za minutu až po desítky tisíc za minutu. Podle druhu pracovního proudu se elektromotory rozdělují na stejnosměrné a střídavé neboli indukční.

### 5.1 Stejnosměrné

Stejnosměrné jsou z hlediska konstrukčního o poznání složitější, a co se hmotnosti týče těžší než střídavé. Společným znakem těchto dvou elektromotorů je stator a póly na kterých je budicí vinutí a drážkový rotor s vinutím. Výhody stejnosměrných motorů jsou jednoduché řízení rychlosti, snadná změna smyslu otáčení, velký rozsah výkonů a otáček a malý spouštěcí proud. Jejich nevýhody jsou zvýšené nároky na údržbu a jejich větší rozměry. Použití stejnosměrných motorů je velmi rozmanité. Stejnosměrné elektromotory se dále dělí podle zapojení budicích magnetů na sériové, s cizím buzením, v neposlední řadě s paralelním buzením a nakonec na kompaundní neboli smíšené.

### 5.2 Střídavé

Střídavé motory jsou známy také jako indukční, ke kterým patří synchronní a asynchronní motory. Z hlediska cenového jsou v porovnání s těmi stejnosměrnými levnější. Asynchronní motory vynikají vysokou spolehlivostí a životností. Jejich využití je u neregulačních a také u regulačních pohonů, a to zejména díky rozvoji výkonové elektroniky, při výkonech do 100 kW.

#### 5.2.1 Asynchronní motory

Asynchronní motory jsou nejrozšířenější elektromotory vůbec. Řízení otáček je možné změnou počtu pólů, změnou frekvence napájecího proudu a změnou skluzu. Řízení otáček změnou frekvence napájecího proudu je nejperspektivnějším způsobem.



Obr. 19 - Asynchronní motor

### 5.2.2 Synchronní motory

Hlavní využití těchto motorů je pro pohony velkých až největších výkonů (MW), kde není potřeba přesné řízení otáček a kde se předpokládá dlouhodobý chod bez častého spouštění a zastavování.

[3]

### 5.3 Krokové motory

Základní princip krokového motoru je založen na pohybu rotoru o definovaný počet poloh neboli kroků motoru. Na statoru jsou umístěny vyniklé póly a na nich jsou cívky, které při průchodu proudu vytvářejí magnetické pole. Krok motoru je tedy jako úhel, který se rovná změně polohy rotoru po zpracování jednoho impulsu.

[5]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



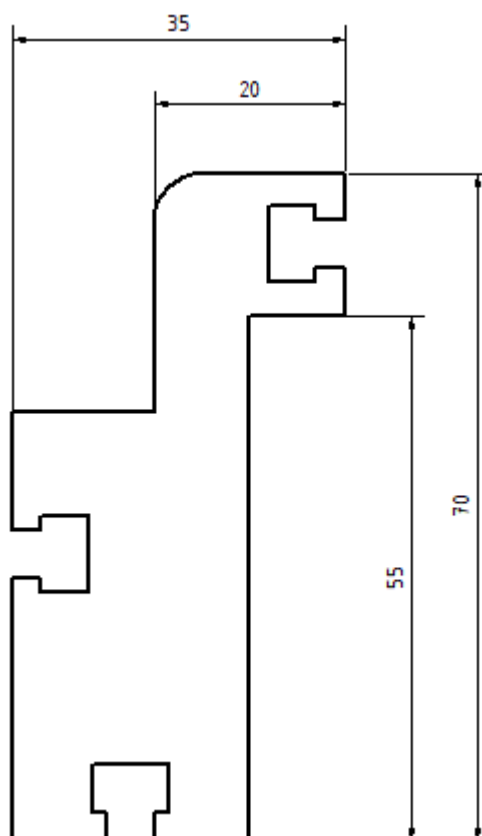
## 6 VÝPOČET A NÁVRH POHONU STŘEŠNÍHO KRYTOVÁNÍ

Na dvou zadaných profilech vzdálených od sebe 6,2 metrů se bude pohybovat pohon pomocí ozubeného hřebene a pastorku. Aby nedošlo zpříčení střešního krytování musí se pastorky na obou stranách pohybovat současně. Z toho důvodu musí být pastorky spojeny hřídelí v tomto případě trubkou. Na krytování pohonu bude motor s převodovkou. Kroucí moment bude z převodovky na hnanou hřídel přenášen řetězovým převodem

### 6.1 Zadané hodnoty

Tvar profilu

Vzdálenost profilů - 6,2m



Obr. 20 - Profil

## 6.2 Motoru a převodovka

Volím motor Siemens 1LA 7080 – 8 s parametry:

$$P = 0,18\text{kW}$$

$$n = 675 \text{ min}^{-1}$$

$$m = 7,5\text{kg}$$

$$\eta = 85\%$$

$$P_s = 0,153\text{kW}$$

$$M_{km} = \frac{P_s}{2\pi n}$$

$$M_{km} = \frac{153}{2\pi \cdot 11,25}$$

$$M_{km} = 2,16\text{Nm}$$

Volím převodovku TRC 01 s parametry:

$$i = 9,81$$

$$m = 5\text{kg}$$

$$M_{kp} = M_{km} \cdot i$$

$$M_{kp} = 2,16 \cdot 9,81$$

$$M_{kp} = 21,23 \text{ Nm}$$

Kde

P je výkon

$P_s$  je skutečný výkon

n jsou otáčky

m je hmotnost

$M_{km}$  je kroutící moment motoru

$M_{kp}$  je kroutící moment převodovky

### 6.3 Řetězový převod

Volím válečkový řetěz jednořadý 08 B

Volím počet zubů

$$Z_1 = 17$$

$$Z_2 = 18$$

#### Roztečné kružnice ozubených kol

$$d_{r1} = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z_1}}$$

$$d_{r1} = \frac{12,7}{\sin \frac{180}{17}}$$

$$d_{r1} = 69,12 \text{ mm}$$

$$d_{r2} = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z_2}}$$

$$d_{r2} = \frac{12,7}{\sin \frac{180}{18}}$$

$$d_{r2} = 73,14 \text{ mm}$$

Kde

$p$  je rozteč zubů

#### Převodový poměr

$$i = \frac{z_1}{z_2}$$

$$i = \frac{17}{18}$$

$$i = 0,945$$

**Obvodová rychlost**

$$v_1 = \pi \cdot d_{r1} \cdot n_1$$

$$v_1 = \pi \cdot 69,12 \cdot 1,146$$

$$v_1 = 2,5 \text{ ms}^{-1}$$

**Obvodová síla**

$$F_o = \frac{P}{v_1}$$

$$F_o = \frac{153}{2,5}$$

$$F_o = 61,2 \text{ N}$$

**Tah od hmotnosti volné části řetězu**

$$F_m = \frac{m \cdot a^2 \cdot q}{8h}$$

$$F_m = \frac{0,75 \cdot 0,142^2 \cdot 9,81}{8 \cdot 2}$$

$$F_m = 9,3 \text{ N}$$

Kde

m je hmotnost řetězu na metr

q je tíhové zrychlení

**Výsledná síla v řetězu**

$$F_v = F_o + F_m$$

$$F_v = 61,2 + 9,3$$

$$F_v = 70,5 \text{ N}$$

**Měrný tlak v kloubu řetězu**

$$p_p = \frac{F_v}{S}$$

$$p_p = \frac{F_v}{d_2 \cdot b_2}$$

$$p_p = \frac{70,5}{4,45 \cdot 11,45}$$

$$p_p = 1,38 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

**Kontrola statické bezpečnosti**

$$k_s = \frac{F_{pt}}{F}$$

$$k_s = \frac{17800}{70,5}$$

$$k_s = 252,5$$

$$252,5 \geq 7$$

Vyhovuje

Kde

$F_{pt}$  je síla potřebná k přetržení řetězu

**Kontrola dynamické bezpečnosti**

$$k_D = \frac{F_{Pt}}{F \cdot Y}$$

$$k_D = \frac{17800}{70,5 \cdot 2}$$

$$k_D = 126$$

$$126 \geq 5$$

Vyhovuje

Kde

$Y$  je činitel rázů

**Počet článků**

$$y = 2 \cdot \frac{a}{p} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \left( \frac{Z_1 - Z_2}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{p}{a}$$

$$y = 2 \cdot \frac{142}{12,7} + \frac{17 + 18}{2} + \left( \frac{1}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{12,7}{142}$$

$$x = 39,86$$

Volím  $x = 40$

**Přepočet osové vzdálenosti**

$$a = \frac{p}{8} \cdot \left[ 2y - z_1 - z_2 + \sqrt{(2y - z_1 - z_2)^2 - H \cdot (z_2 - z_1)^2} \right]$$

$$a = 1,5875 \cdot \left[ 45 + \sqrt{45^2 - 0,8104} \right]$$

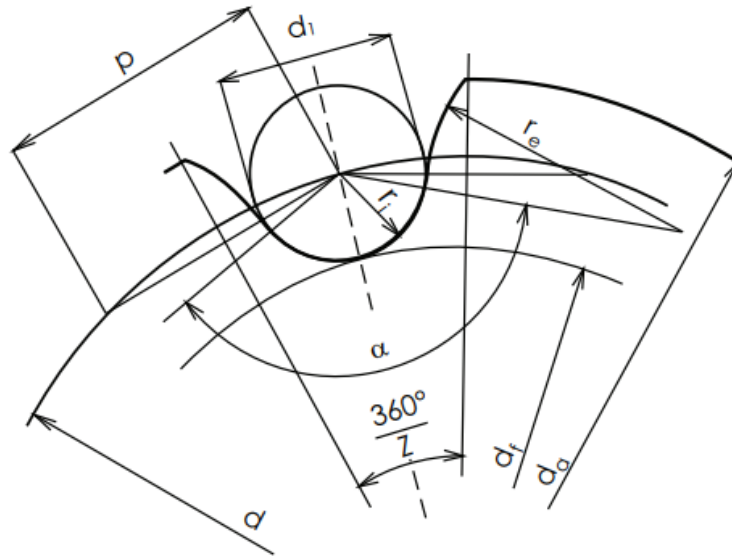
$$a = 142,86 \text{ mm}$$

Kde

$y$  je počet článků

$a$  je osová vzdálenost

### 6.3.1 Rozměry řetězových kol



Obr. 21 - Rozměry řetězového kola

Z tabulek

- $p = 12,7 \text{ mm}$
- $d_1 = 8,51 \text{ mm}$

**Poloměr dna zubové mezery**

$$r_i = 0,505 \cdot d_1$$

$$r_i = 0,505 \cdot 8,51$$

$$r_i = 4,3 \text{ mm}$$

**Poloměr boku zubů**

$$r_{e1} = 0,12 \cdot d_1 \cdot (z_1 + 2)$$

$$r_{e1} = 0,12 \cdot 8,51 \cdot (17 + 2)$$

$$r_{e1} = 19,4 \text{ mm}$$

$$r_{e2} = 0,12 \cdot d_1 \cdot (z_2 + 2)$$

$$r_{e2} = 0,12 \cdot 8,51 \cdot (18 + 2)$$

$$r_{e2} = 20,424 \text{ mm}$$

### Úhel otevření

$$\alpha_{max1} = 140^\circ - \frac{90^\circ}{z_1}$$

$$\alpha_{max1} = 140^\circ - \frac{90^\circ}{17}$$

$$\alpha_{max1} = 134,7^\circ$$

$$\alpha_{max2} = 140^\circ - \frac{90^\circ}{z_2}$$

$$\alpha_{max2} = 140^\circ - \frac{90^\circ}{18}$$

$$\alpha_{max2} = 135^\circ$$

### Průměr patní kružnice

$$d_{f1} = d_{r1} - 2r_i$$

$$d_{f1} = 69,12 - 2 \cdot 4,3$$

$$d_{f1} = 60,52 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_{r2} - 2r_i$$

$$d_{f2} = 73,14 - 2 \cdot 4,3$$

$$d_{f2} = 64,54 \text{ mm}$$



**Průměr hlavové kružnice**

$$d_{a1} = d_{r1} + 0,5d_1$$

$$d_{a1} = 69,12 + 0,5 \cdot 4,3$$

$$d_{a1} = 71,27 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = d_{r2} + 0,5d_1$$

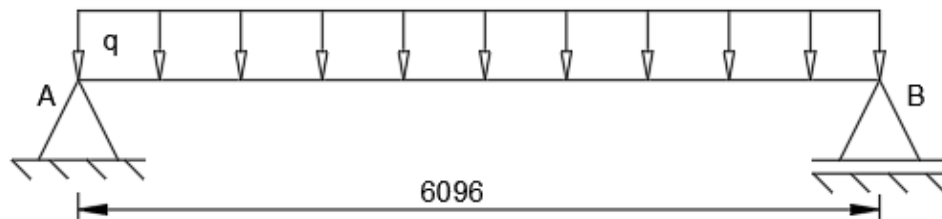
$$d_{a2} = 73,14 + 0,5 \cdot 4,3$$

$$d_{a2} = 75,29 \text{ mm}$$

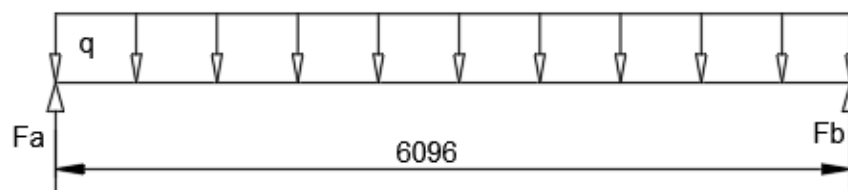
## 6.4 Hnaná hřídel pohonu

### 6.4.1 Tyčová část

Volím materiál 11 500



Obr. 22 - Zatížení hnané hřídele



Obr. 23 - Uvolnění hřídele

$$q = 26,2 \text{ N/m}$$

### Reakce

$$Q = q \cdot 6,096$$

$$Q = 26,2 \cdot 6,096$$

$$Q = 160 \text{ N}$$

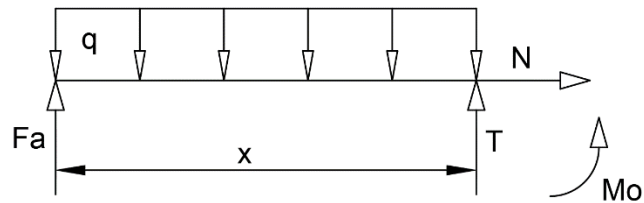
$$F_{iy} = 0 \dots F_a - Q + F_b = 0$$

$$M_{iA} = 0 \dots -Q \cdot 3048 + F_b \cdot 6096 = 0$$

$$F_a = 80 \text{ N}$$

$$F_b = 80 \text{ N}$$

## Ohybový moment



Obr. 24 - Řez 1

$$M_o - F_A \cdot x + q \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 0$$

$$M_o = F_A \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{x}{2}$$

$$M_{o\max} = 80 \cdot 3,048 - 26,2 \cdot 3,048 \cdot 1,524$$

$$M_{o\max} = 122 \text{ Nm}$$

$$M_{o\text{Red}} = \sqrt{M_o^2 + 0,75M_{kp}^2}$$

$$M_{o\text{Red}} = \sqrt{122^2 + 0,75 \cdot 21,23^2}$$

$$M_{o\text{Red}} = 123 \text{ Nm}$$

## Průměr hřídele

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M_{o\text{Red}}}{\pi\sigma_{dov}}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 123000}{\pi \cdot 320}}$$

$$d = 15,8 \text{ mm}$$

Volím 25 mm

**Pero**

$$b = 6 \text{ mm}$$

$$h = 6 \text{ mm}$$

$$t_1 = 2,5 \text{ mm}$$

$$t = 3,5 \text{ mm}$$

**Střížná síla pera**

$$F_s = \frac{M_k}{\frac{d}{2}}$$

$$F_s = \frac{21230}{12,5}$$

$$F_s = 1698 \text{ N}$$

**Délka pera**

$$\tau_s = \frac{F_s}{S} \leq \tau_{SDov}$$

$$\tau_s = \frac{F_s}{b \cdot l}$$

$$l = \frac{F_s}{b \cdot \tau_{SDov}}$$

$$l = \frac{1698}{6 \cdot 100}$$

$$l = 2,83 \text{ mm}$$

Dle ČSN volím  $l = 16 \text{ mm}$

**Kontrola na otláčení**

$$p_o = \frac{F_s}{S}$$

$$p_o = \frac{F_s}{l \cdot t_1}$$

$$p_o = \frac{1698}{16 \cdot 2,5}$$

$$p_o = 42,45 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

**Ložisko**

Volím ložisko 6006

$$d = 30\text{mm}$$

$$D = 55\text{mm}$$

$$B = 13\text{mm}$$

$$L = \left(\frac{C}{P_l}\right)^3$$

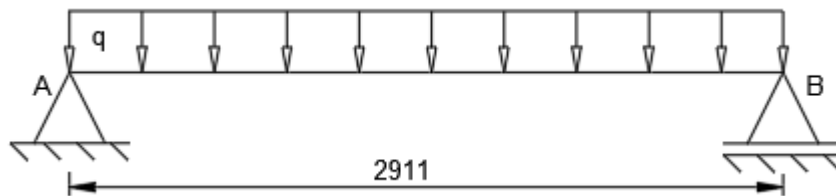
$$L = \left(\frac{10200}{80}\right)^3$$

$$L = 2\,072\,671 \text{ h}$$

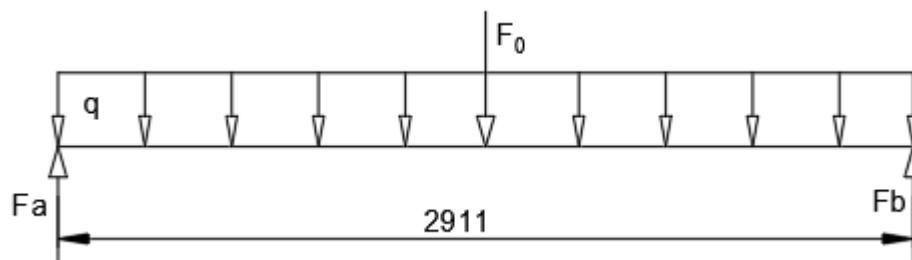
### 6.4.2 Trubková část

Pro spojení hřídelí volím trubku 34x6 materiál 424203.

Trubka bude uprostřed podepřena.



Obr. 25 - Zatížení trubky



Obr. 26 - Uvolnění trubky

$$q = 14,2 \text{ N/m}$$

$$l = 2911 \text{ mm}$$

$$F_0 = 0 \text{ N}$$

**Reakce**

$$F_{iy} = 0 \dots F_a - q \cdot l - F_0 + F_b = 0$$

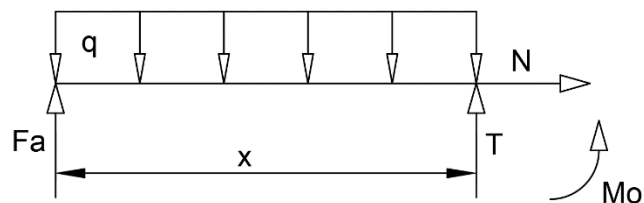
$$M_{iA} = 0 \dots -q \cdot l \cdot \frac{l}{2} + F_b \cdot l - F_0 \cdot \frac{l}{2} = 0$$

$$F_b = \frac{q \cdot l \cdot \frac{l}{2} + F_0 \cdot \frac{l}{2}}{l}$$

$$F_a = +q \cdot l + F_0 - F_b$$

$$F_a = 27,3 \text{ N}$$

$$F_b = 27,3 \text{ N}$$

**Ohybový moment**

Obr. 27 - Řez 2

$$M_o - F_a \cdot x + q \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 0$$

$$M_o = F_a \cdot x - q \cdot x \cdot \frac{x}{2}$$

$$M_{omax} = 27,3 \cdot 2,911 - 14,2 \cdot 2,911 \cdot 1,4555$$

$$M_{omax} = 19,3 \text{ Nm}$$

**Moment redukovaný**

$$M_{oRed} = \sqrt{M_{o\max}^2 + 0,75M_{kp}^2}$$

$$M_{oRed} = \sqrt{19,3^2 + 0,75 \cdot 21,230^2}$$

$$M_{oRed} = 27Nm$$

**Modul průřezu**

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D}$$

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{34^4 - 22^4}{34}$$

$$W_o = 3182,2 \text{ mm}^3$$

**Napětí**

$$\sigma = \frac{M_{oRed}}{W_o}$$

$$\sigma = \frac{27\,000}{3182,2}$$

$$\sigma = 8,5 \text{ MPa}$$

Vyhovuje



## Deformace trubky

$$\delta_y = \frac{\partial}{F_0} \cdot \frac{1}{2EJ} \cdot \int_0^{1455,5} M^2 dx$$

$$\delta_y = \frac{\partial}{F_0} \cdot \frac{1}{2EJ} \cdot \int_0^{1455,5} \left( \frac{qlx}{2} + \frac{F_0x}{2} - \frac{qx^2}{2} \right)^2 dx$$

$$\delta_y = \frac{1}{2EJ} \cdot \int_0^{1455,5} x \cdot \left( \frac{qlx}{2} + \frac{F_0x}{2} - \frac{qx^2}{2} \right) dx$$

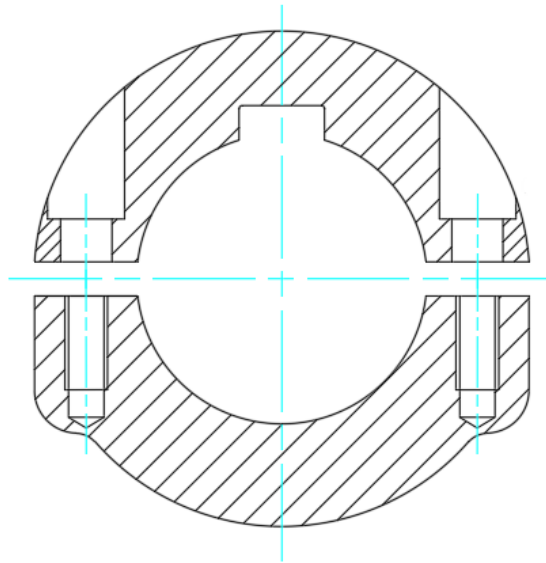
$$\delta_y = \frac{1}{2EJ} \cdot \int_0^{1455,5} \left( \frac{qlx^2}{2} + \frac{F_0x^2}{2} - \frac{qx^3}{2} \right) dx$$

$$\delta_y = \frac{1}{2EJ} \cdot \left[ \frac{qlx^3}{6} - \frac{qx^4}{8} \right]_0^{1455,5}$$

$$\delta_y = \frac{1}{2 \cdot 72 \cdot 10^3 \cdot 54098} \cdot \left( \frac{0,0142 \cdot 2911 \cdot 1455,5^3}{6} - \frac{0,0142 \cdot 1455,5^4}{8} \right)$$

$$\delta_y = 1,7 \text{ mm}$$

## 6.5 Korýtková spojka



Obr. 28 - Spojka

### 6.5.1 Hliník x ocel

#### Síla na šroub

$$F_s = \frac{2 \cdot k \cdot M_k}{i \cdot \pi \cdot v \cdot d}$$

$$F_s = \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 21230}{4 \cdot \pi \cdot 0,06 \cdot 34}$$

$$F_s = 2153 \text{ N}$$

#### Výpočtový průměr šroubu

$$A_s = \frac{F_s}{\sigma_{Dov}}$$

$$A_s = \frac{2153}{600}$$

$$A_s = 3,59 \text{ mm}$$

Volím šroub 4 x M5

### 6.5.2 Ocel x ocel

#### Síla na šroub

$$F_s = \frac{2 \cdot k \cdot M_k}{i \cdot \pi \cdot v \cdot d}$$

$$F_s = \frac{2 \cdot 1,3 \cdot 21230}{4 \cdot \pi \cdot 0,2 \cdot 34}$$

$$F_s = 646 \text{ N}$$

#### Výpočtový průměr šroubu

$$A_s = \frac{F_s}{\sigma_{Dov}}$$

$$A_s = \frac{646}{600}$$

$$A_s = 1,1 \text{ mm}$$

Volím šroub 4 x M5

## 6.6 Výpočet ozubeného kola a ozubeného hřebenu

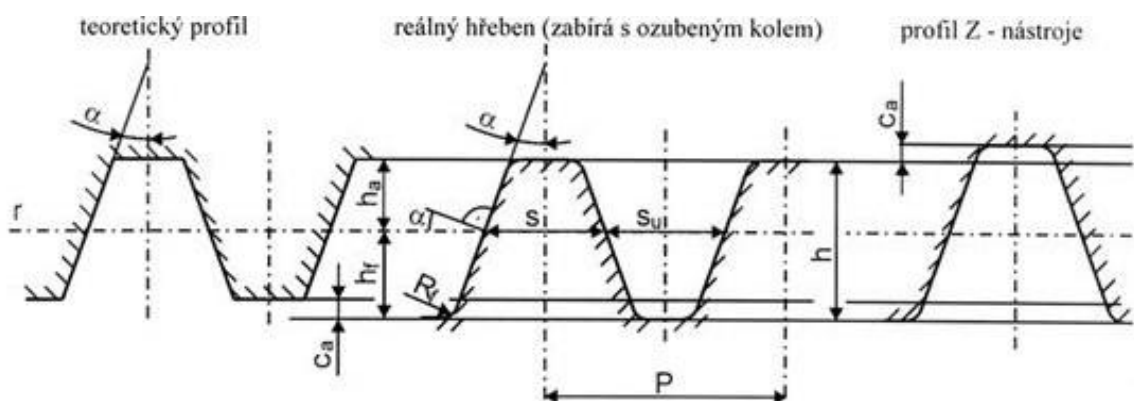
$$m = 0,8602 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_k}{c \cdot z_1 \cdot \psi}}$$

$$m = 0,8602 \cdot \sqrt[3]{\frac{21230}{15 \cdot 25 \cdot 17}}$$

$$m = 1,28$$

Z rozměrových důvodů volím  $m = 2$

### 6.6.1 Ozubený hřeben



Obr. 29 - Rozměry hřebenu

#### Úhel záběru

$$\alpha = 20^\circ$$

#### Výška hlavy zubu

$$h_a = m$$

$$h_a = 2\text{mm}$$

**Výška paty zubu**

$$h_f = 1,25 \cdot m$$

$$h_f = 1,25 \cdot 2$$

$$h_f = 2,5 \text{ mm}$$

**Výška zubu**

$$h = h_a + h_f$$

$$h = 2,5 + 2$$

$$h = 4,5 \text{ mm}$$

**Zubová rozteč**

$$P_z = \pi \cdot m$$

$$P_z = \pi \cdot 2$$

$$P_z = 6,283 \text{ mm}$$

**Tloušťka zubu**

$$s = \frac{P}{2}$$

$$s = \frac{6,283}{2}$$

$$s = 3,142 \text{ mm}$$

**Patní rádius**

$$R_f = 0,4 \cdot m$$

$$R_f = 0,4 \cdot 2$$

$$R_f = 0,8 \text{ mm}$$

### 6.6.2 Pastorek

Šířku volím  $b = 15 \text{ mm}$

#### Roztečná kružnice

$$d = m \cdot z$$

$$d = 2 \cdot 25$$

$$d = 50 \text{ mm}$$

#### Hlavová kružnice

$$d_a = d + 2h_a$$

$$d_a = 50 + 4$$

$$d_a = 54 \text{ mm}$$

#### Patní kružnice

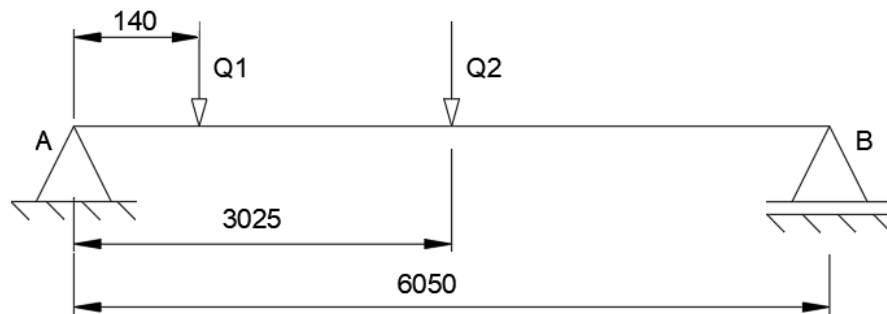
$$d_f = d - 2h_f$$

$$d_f = 50 - 5$$

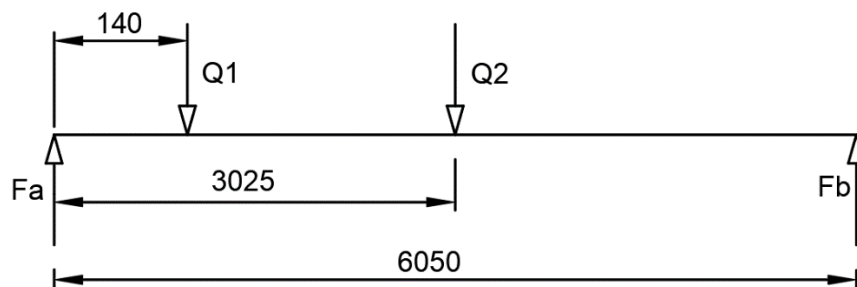
$$d_f = 45 \text{ mm}$$

## 6.7 Krytování

Navrhuji tyč plochou 100x5 mm a plech 120x1 mm



Obr. 30 - Zatížení krytování



Obr. 31 - Uvolnění krytování

$$Q_1 = 125 \text{ N}$$

$$Q_2 = 600 \text{ N}$$

**Reakce**

$$F_{iy} = 0 \dots F_a - Q_1 - Q_2 + F_b = 0$$

$$M_{iA} = 0 \dots -Q_1 \cdot 140 - Q_2 \cdot 3025 + F_b \cdot 6050 = 0$$

$$F_b = \frac{Q_1 \cdot 140 + Q_2 \cdot 3025}{6050}$$

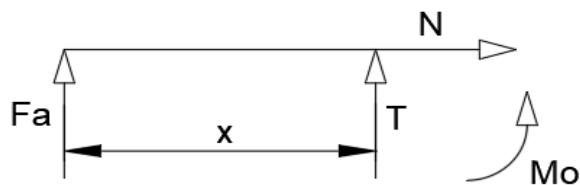
$$F_b = \frac{125 \cdot 140 + 600 \cdot 3025}{6050}$$

$$F_b = 303 \text{ N}$$

$$F_a = Q_1 + Q_2 - F_b$$

$$F_a = 125 + 600 - 303$$

$$F_a = 422 \text{ N}$$

**Ohybový moment**

Obr. 32 - Řez 3

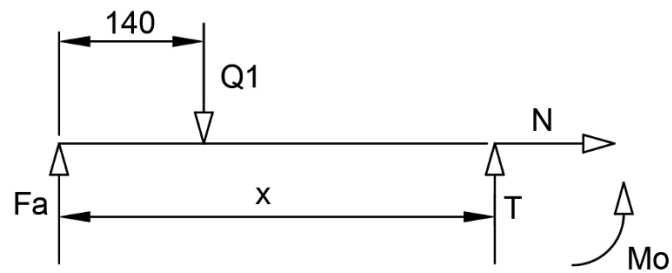
$$M_o - F_a \cdot x = 0$$

$$M_o = F_a \cdot x$$

$$M_o = 422 \cdot 140$$

$$M_o = 59080 \text{ Nmm}$$





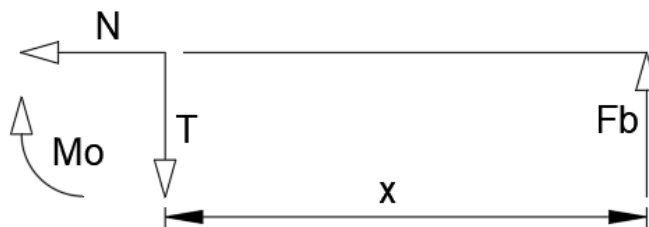
Obr. 33 - Řez 4

$$M_o + Q_1 \cdot (x - 140) - F_A \cdot x = 0$$

$$M_o = -Q_1 \cdot (x - 140) + F_A \cdot x$$

$$M_o = -125 \cdot (3025 - 140) + 422 \cdot 3025$$

$$M_o = 915\,925 \text{ Nmm}$$



Obr. 34 - Řez 5

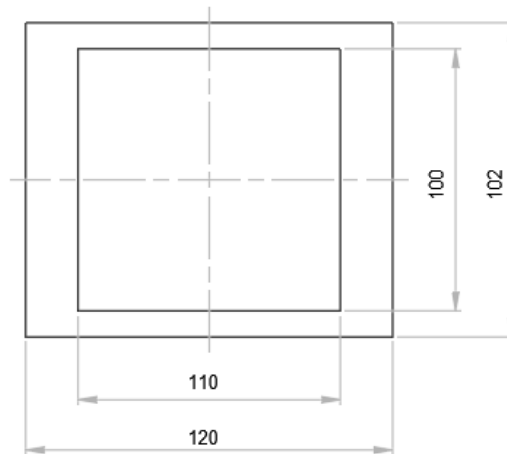
$$-M_o + F_B \cdot x = 0$$

$$M_o = F_B \cdot x$$

$$M_o = 303 \cdot 3025$$

$$M_o = 916\,575 \text{ Nmm}$$

$$M_{o\max} = 916\,575 \text{ Nmm}$$

**Kvadratický moment**

Obr. 35 - Krytování

$$J = \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} - \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12}$$

$$J = \frac{120 \cdot 102^3}{12} - \frac{110 \cdot 100^3}{12}$$

$$J = 1\,445\,413 \text{ mm}^4$$

**Modul průřezu**

$$W_o = \frac{J}{e}$$

$$W_o = \frac{1\,445\,413}{51}$$

$$W_o = 28341 \text{ mm}^3$$

**Napětí**

$$\sigma_o = \frac{M_{o\max}}{W_o}$$

$$\sigma_o = \frac{916\,575}{28341}$$

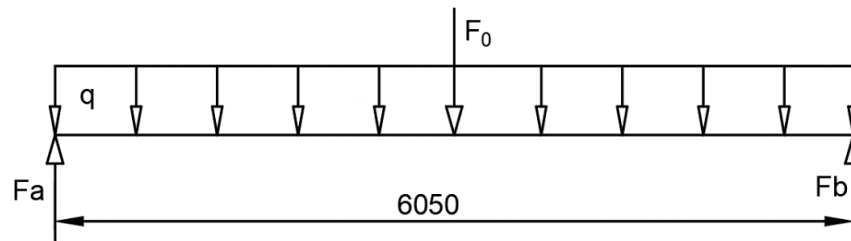
$$\sigma_o = 32,34 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

### 6.7.1 Deformace krytování

Pro usnadnění výpočtu zanedbáme umístění motoru a převodovky.

Váha motoru a převodovky je připočítaná ke spojitému zatížení  $q$ .



Obr. 36 - Krytování

$$\delta_y = \frac{\partial}{\partial F_0} \cdot \frac{1}{2EJ} \cdot \int_0^{3020} M^2 dx$$

$$\delta_y = \frac{\partial}{\partial F_0} \cdot \frac{1}{2EJ} \cdot \int_0^{3020} \left( \frac{qlx}{2} + \frac{F_0x}{2} - \frac{qx^2}{2} \right)^2 dx$$

$$\delta_y = \frac{1}{2EJ} \cdot \int_0^{3020} x \cdot \left( \frac{qlx}{2} + \frac{F_0x}{2} - \frac{qx^2}{2} \right) dx$$

$$\delta_y = \frac{1}{2EJ} \cdot \int_0^{3020} \left( \frac{qlx^2}{2} + \frac{F_0x^2}{2} - \frac{qx^3}{2} \right) dx$$

$$\delta_y = \frac{1}{2EJ} \cdot \left[ \frac{qlx^3}{6} - \frac{qx^4}{8} \right]_0^{3020}$$

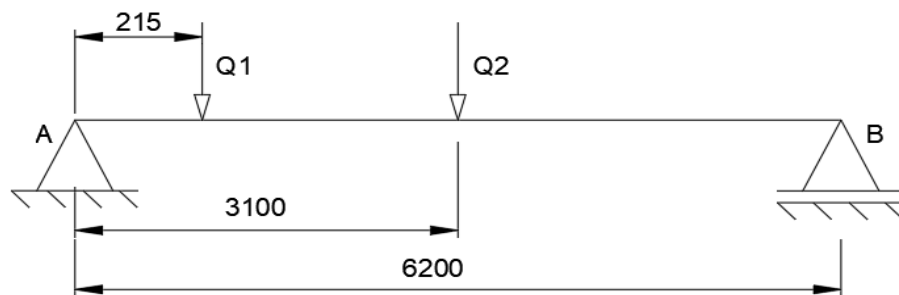
$$\delta_y = \frac{1}{2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 1445413} \cdot \left( \frac{0,115 \cdot 6050 \cdot 3025^3}{6} - \frac{0,115 \cdot 3025^4}{8} \right)$$

$$\delta_y = 3,3 \text{ mm}$$

## 6.8 Výpočet nosné osy

### 6.8.1 Síla působící na osu

Síla, která působí na osy je síla  $F_a$



Obr. 37 - Celkové zatížení

$$Q_1 = 125 \text{ N}$$

$$Q_2 = 1000 \text{ N}$$

### Reakce

$$F_{iy} = 0 \dots F_a - Q_1 - Q_2 + F_b = 0$$

$$M_{iA} = 0 \dots -Q_1 \cdot 215 - Q_2 \cdot 3100 + F_b \cdot 6200 = 0$$

$$F_b = \frac{Q_1 \cdot 215 + Q_2 \cdot 3100}{6200}$$

$$F_b = \frac{125 \cdot 215 + 1000 \cdot 3100}{6200}$$

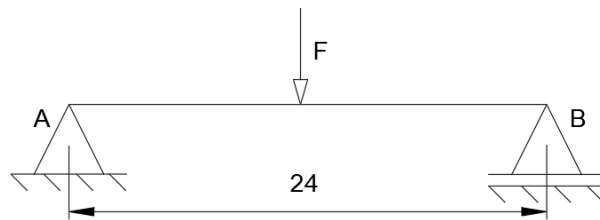
$$F_b = 504 \text{ N}$$

$$F_a = Q_1 + Q_2 - F_b$$

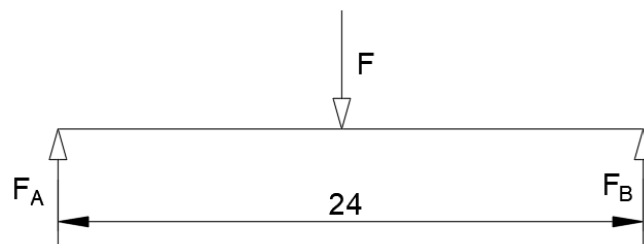
$$F_a = 125 + 1000 - 504$$

$$F_a = 621 \text{ N}$$

## 6.8.2 Osa



Obr. 38 - Zatížení osy



Obr. 39 Uvolnění osy

Na obou stranách pohonu budou dvě osy tudíž síla, která působí na osu je poloviční.

$$F = 310,5 \text{ N}$$

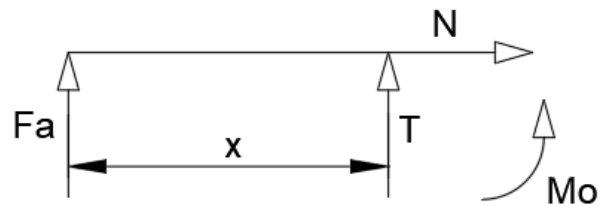
**Reakce**

Reakce jsou poloviční jako síla F

$$F_a = 155,25 \text{ N}$$

$$F_b = 155,25 \text{ N}$$

## Ohybový moment



Obr. 40 - Řez 6

$$M_o - F_a \cdot x = 0$$

$$M_o = F_a \cdot x$$

$$M_o = 155,25 \cdot 12$$

$$M_o = 1863 \text{ Nmm}$$

$$M_{Omax} = 1863 \text{ Nmm}$$

## Napětí

Z důvodu úspory místa volím průměr osy 10 mm

$$d = 10 \text{ mm}$$

$$\sigma_o = \frac{M_{Omax}}{W_o}$$

$$\sigma_o = \frac{M_{Omax}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}}$$

$$\sigma_o = \frac{1863}{\frac{\pi \cdot 10^3}{32}}$$

$$\sigma_o = 19 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

**Ložisko**

Na každé ose budou dvě ložiska.

Volím ložisko 6000

$$d = 10\text{mm}$$

$$D = 26\text{mm}$$

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

$$L = \left(\frac{C}{P_l}\right)^3$$

$$L = \left(\frac{3350}{155,25}\right)^3$$

$$L = 10\,047\,h$$

Vyhovuje

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl návrh pohonu pro střešní krytování obráběcího stroje.

V první části bakalářské práce jsou popsány části obráběcího stroje a součásti navrhovaného pohonu. V druhé části jsou návrhy a výpočty dílců pohonu. Výkresy byly vytvořeny pomocí programu Auto CAD Mechanical 2019. Pro návrhy dílců bylo snahou používat co nejvíce normalizovaných součástí pro celkovou jednoduchost daného pohonu.

Pro pohon byl zvolen motor Siemens 1LA 7080 – 8 a převodovka TRC 01 s převodovým poměrem 9,81. K přenášení kroutícího momentu mezi hnanou a hnací hřídelí byl navrhnut řetězový převod, typ řetězu 08B. Hnaná hřídel se skládá z trubky 34x6 o délce 5822 mm a menší hřídele, která je spojena s trubkou pomocí korýtkové spojky. Na koncích hřídele jsou ozubená kola, která přenáší kroutící moment přes ozubený hřeben. Ozubený hřeben je uchycen v profilu pomocí čtvercových matic a šroubů. Celý pohon se pohybuje po zadaném profilu pomocí koleček s polyamidem. Kolečka jsou uchycena v pohonu pomocí osy a ta je pojištěna proti vysunutí červíkem.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ŘEŘÁBEK, A., 2009. Stavba a provoz strojů 2: pro školu a praxi. Praha: Scietia.  
ISBN 978-80-86960-21-0.
- [2] MIČKAL, K., 1995. Strojnictví, části strojů: pro učební a studijní obory SOU a SOŠ.  
Praha: Sobotáles. ISBN 80-85920-01-8
- [3] KOPÁČEK, J., Pohony a převody. 2. vyd. [i.e 3. vyd.]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012. 211 s. ISBN 9788024827803.
- [4] SVOBODA, J., 2011. OCHRANNÁ ZAŘÍZENÍ POUŽÍVANÁ VE STAVBĚ OBRÁBĚCÍCH STROJŮ [online]. Brno [cit. 2018-03-23]. Dostupné z:  
[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=58213](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=58213).  
Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
- [5] KŮS, V., 2016. Elektrické pohony a výkonová elektronika. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. ISBN 978-80-261-0639-5
- [6] PÁČKOVÝ ÚCHYLKOMĚR 40/0,2 MM , 0,002MM MITUTOYO , 513-405E,  
2019.In: Kovonástroje [online]. Zlín - Malenovice: Kovonástroje [cit. 2019-05-22].  
Dostupné z: [https://www.kovonastroje.cz/Meridla-Mitutoyo/Uchylkomery-indikatory/Analogove/Packove/Packovy-uchylkomer-40-0-2-mm-0-002mm-Mitutoyo-513-405E.html?fbclid=IwAR3kpSZoqZj\\_jEe3q8CeP3g1T1uiIzQRomn1IeKzuTRQ939CSQgVkpVhmeM](https://www.kovonastroje.cz/Meridla-Mitutoyo/Uchylkomery-indikatory/Analogove/Packove/Packovy-uchylkomer-40-0-2-mm-0-002mm-Mitutoyo-513-405E.html?fbclid=IwAR3kpSZoqZj_jEe3q8CeP3g1T1uiIzQRomn1IeKzuTRQ939CSQgVkpVhmeM)
- [7] MAGNETICKÝ STOJÁK S HYDRAULICKYM UPÍNÁNÍM, velký, ©2007-2013. In:  
VERKO, s.r.o. [online]. Zlín: VERKO [cit. 2019-05-22]. Dostupné z:  
<https://www.verko.cz/magneticky-stojanek-s-hydraulickym-upinanim-velky-10576/?fbclid=IwAR3b0ZDgEP8PnIpNWixTCnaa6JZ-9qOyOxmVOQ4MDLR1qXiQv-hBC4yTv8>
- [8] KULIČKOVÁ LOŽISKA, 2019. In: EXVALOS s.r.o. [online]. Lanškroun: EXVALOS  
[cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.exvalos.cz/valiva-loziska/kulickova-loziska/?fbclid=IwAR3f84j4FxpJPm-iY1nk-a4biBjOyN8iOt6nLSpvxB1EktMoThTGUf3vJZE>

- [9] OMT2 / OMT4: KOSTRA HLINÍKOVÁ, ©2016-2019. In: Sigmet spol s.r.o. [online].  
Olomouc: Sigmet spol [cit. 2019-05-22]. Dostupné z:  
<https://www.sigmet.cz/sortiment/rozdeleni-sortimentu-dle-oboru/elektromotory/asynchronni-elektromotory>
- [10] VÝPOČET ŘETĚZOVÝCH PŘEVODŮ [online]. Strakonice [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.czretezy.cz/docs/prum\\_vypocet\\_retezoveho\\_prevodu.pdf](https://www.czretezy.cz/docs/prum_vypocet_retezoveho_prevodu.pdf)
- [11] HOFEN MĚCH [online]. Shanghai [cit. 2019-05-22]. Dostupné z:  
<https://www.shhofen.com/cs/bellow-covers-2.html>
- [12] OPTICKÝ NIVELAČNÍ PŘÍSTROJ BOSCH GOL 32G PROFESIONAL [online].  
Humpolec [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.naradibosch.com/bosch-gol-32-g-professional?gclid=CjwKCAjw5pPnBRBJEiwAULZKviZ-QvqybhTld00HSQ0AekSg0-Y88REk3TyaP-mw82vYc7yDWOKQqBoCy5cQAvD\\_BwE](https://www.naradibosch.com/bosch-gol-32-g-professional?gclid=CjwKCAjw5pPnBRBJEiwAULZKviZ-QvqybhTld00HSQ0AekSg0-Y88REk3TyaP-mw82vYc7yDWOKQqBoCy5cQAvD_BwE)
- [13] JELÍNEK, M., 2019. Učíme v prostoru. Zlín [cit. 2019-05-22]. Dostupné z:  
<https://slideplayer.cz/slide/2670695/>
- [14] MICROBEVEL 1 INCLINOMETERS In: HEXAGON [online]. Telford: Hexagon  
[cit. 2019-05-22] Dostupné z: [https://tesatechnology.com/en-gb/products/roughness,-inclination,-angle-and-straightness/inclinometers-and-levels/microbevel-1-inclinometers\\_p41126.htm](https://tesatechnology.com/en-gb/products/roughness,-inclination,-angle-and-straightness/inclinometers-and-levels/microbevel-1-inclinometers_p41126.htm)
- [15] ROLETOVÉ KRYTY In: HENNLICH s.r.o. [online]. Litoměřice [cit. 2019-05-22].  
Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/krytovani-stroju-a-triskove-hospodarstvi-roletove-kryty-217/upevneni-roletovych-krytu.html>
- [16] OZUBENÁ KOLA In: JP-AXLES-Prokservis s.r.o. [online]. Nové Strašecí [cit. 2019-05-22]. Dostupné z : <http://www.jp-axles.cz/kontakt.html>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$A_s$	Výpočtový průměr šroubu
$a$	Osová vzdálenost
$B$	Šířka ložiska
$b$	Šířka
$b_2$	Funkční šířka řetězu
$C$	Únosnost ložiska
$D$	Průměr
$d$	Průměr
$d_a$	Hlavová kružnice
$d_f$	Patní kružnice
$d_r$	Průměr roztečné kružnice
$d_2$	Funkční průměr kloubu řetězu
$d_1$	Průměr článku řetězu
$F_a$	Reakce v bodě A
$F_b$	Reakce v bodě B
$F_{iy}$	Síly působící ve svislém směru
$F_m$	Tah od hmotnosti volné části řetězu
$F_o$	Obvodová síla
$F_{Pt}$	Síla potřebná k přetržení řetězu
$F_s$	Střížná síla
$F_{\xi}$	Síla na šroub
$F_v$	Výsledná síla
$F_0$	Nulová síla
$h$	Hloubka

---

$h_a$	Výška hlavy zubu
$h_f$	Výška paty zubu
$i$	Převodový poměr
$J$	Kvadratický moment
$k_D$	Koeficient dynamické bezpečnosti řetězu
$k_s$	Koeficient statické bezpečnosti řetězu
$L$	Životnost ložiska
$l$	Délka
$M_{km}$	Kroutící moment motoru
$M_{kp}$	Kroutící moment převodovky
$M_o$	Ohybový moment
$M_{omax}$	Maximální ohybový moment
$M_{oRed}$	Moment redukovaný
$m$	Hmotnost
$n$	Otáčky
$P$	výkon
$P_l$	Síla působící na ložisko
$P_z$	Zubová rozteč
$p$	Rozteč řetězu
$p_o$	Tlak ve styčných plochách
$p_p$	Měrný tlak v kloubu řetězu
$q$	Spojité zatížení
$Q$	Síla
$R_f$	Patní rádius
$r_i$	Poloměr dna zubové mezery
$r_e$	Poloměr boku zubu

---

S	Obsah
s	Tloušťka zubu
$t_1$	Hloubka drážky náboje
t	Hloubka drážky hřídele
v	Obvodová rychlost
$W_0$	Modul průřezu v ohybu
Y	Činitel rázů
x	Proměnná délka
y	Počet článků řetězu
z	Počet zubů
$\alpha$	Úhel záběru
$\alpha_{max}$	Úhel otevření zubu řetěz kola
$\delta_y$	Deformace ve svislém směru
$\eta$	Účinnost
$\sigma$	Napětí normálové
$\sigma_{dov}$	Napětí dovolené
$\tau_s$	Napětí ve stříhu
$\tau_{SDov}$	Dovolené napětí ve stříhu

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 - Model hlavních částí stroje</i> .....	12
<i>Obr. 2 - Model sloupů s fixátory</i> .....	13
<i>Obr. 3 - Optické nivelační měřidlo [12]</i> .....	13
<i>Obr. 4 - Model vazníků</i> .....	14
<i>Obr. 5 - Model ráhna</i> .....	15
<i>Obr. 6 - Digitální váha [14]</i> .....	15
<i>Obr. 7 - Hydraulický stojánek [7]</i> .....	15
<i>Obr. 8 - Páčkový úchylkoměr [6]</i> .....	16
<i>Obr. 9 - Model uložení lineáru</i> .....	16
<i>Obr. 10 - Model příčnicku</i> .....	17
<i>Obr. 11 - Model smykadla</i> .....	18
<i>Obr. 12 - Model obráběcí hlavy</i> .....	18
<i>Obr. 13 - Model zakrytovaného stroje</i> .....	19
<i>Obr. 14 - Skládací měch [11]</i> .....	20
<i>Obr. 15 - Roletový kryt [15]</i> .....	21
<i>Obr. 16 - Odsuvná střecha</i> .....	21
<i>Obr. 17 - Valivé ložisko [8]</i> .....	26
<i>Obr. 18 - Rozměry ozubeného kola [16]</i> .....	28
<i>Obr. 19 - Asynchronní motor [9]</i> .....	31
<i>Obr. 20 - Profil</i> .....	33
<i>Obr. 21 - Rozměry řetězového kola [10]</i> .....	39
<i>Obr. 22 - Zatížení hnané hřídele</i> .....	42
<i>Obr. 23 - Uvolnění hřídele</i> .....	42
<i>Obr. 24 – Řez 1</i> .....	43
<i>Obr. 25 - Zatížení trubky</i> .....	46

---

<i>Obr. 26 - Uvolnění trubky</i> .....	46
<i>Obr. 27 – Řez 2</i> .....	47
<i>Obr. 28 – Spojka</i> .....	50
<i>Obr. 29 - Rozměry hřebenu [13]</i> .....	52
<i>Obr. 30 - Zatížení krytování</i> .....	55
<i>Obr. 31 - Uvolnění krytování</i> .....	55
<i>Obr. 32 – Řez 3</i> .....	56
<i>Obr. 33 – Řez 4</i> .....	57
<i>Obr. 34 – Řez 5</i> .....	57
<i>Obr. 35 – Krytování</i> .....	58
<i>Obr. 36 – Krytování</i> .....	59
<i>Obr. 37 - Celkové zatížení</i> .....	60
<i>Obr. 38 - Zatížení osy</i> .....	61
<i>Obr. 39 Uvolnění osy</i> .....	61
<i>Obr. 40 – Řez 6</i> .....	62

**SEZNAM PŘÍLOH**

BP-TZ-A4-01	HŘÍDEL
BP-TZ-A4-02	PASTOREK
BP-TZ-A4-03	OZUBENÝ HŘEBEN
BP-TZ-A4-04	ŘETĚZOVÉ KOLO HNACÍ
BP-TZ-A4-05	ŘETĚZOVÉ KOLO HANANÉ
BP-TZ-A3-06	BOK
BP-TZ-A4-07	PODPĚRA VRCH
BP-TZ-A4-08	PODPĚRA SPODEK
BP-TZ-A4-09	PODPĚRA SESTAVENÁ
BP-TZ-A4-10	SPOJKA SPODEK
BP-TZ-A4-11	SPOJKA VRCH
BP-TZ-A4-12	POHON SESTAVENÝ
BP-TZ-A4-13	POHON SESTAVENÝ ROZPISKA
BP-TZ-A4-14	BOK SESTAVENÝ
BP-TZ-A4-15	POHON S MOTOREM
BP-TZ-A4-16	BOČNÍ KRYT PRAVÝ/LEVÝ
BP-TZ-A4-17	L PROFIL