



**ČESKÉ  
VYSOKÉ  
UČENÍ  
TECHNICKÉ  
V PRAZE**

## **Ústav konstruování a části strojů**

### **Návrh pohonu posuvného krytu**

Design of sliding cover drive

### **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2018**

**Daniel MAREK**

**Studijní program:** Teoretický základ strojího inženýrství

**Studijní obor:** Studijní program je bez oborový

**Vedoucí práce:** Ing. Zdeněk Češpíro, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Návrh pohonu posuvného krytu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Češpíra, Ph.D. a s použitím literatury uvedených na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze .....

.....

Daniel MAREK

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Zdeňku Češírovi, Ph.D. za odborný dohled, konzultace, vedení a čas, který mi věnoval, a které mi značně pomohly k vypracování této bakalářské práce.

## ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Daniel Marek		
Název BP:	Návrh pohonu posuvného krytu		
Anglický název:	Design of sliding cover drive		
Rok:	2018		
Studijní program:	Teoretický základ strojního inženýrství		
Obor studia:	Program je bez oborový		
Ústav:	Ústav konstruování a části strojů		
Vedoucí BP:	Ing. Zdeněk Češpíro, Ph.D.		
Bibliografické údaje:	Počet stran	56	
	Počet obrázků	30	
	Počet tabulek	8	
	Počet příloh	5	
Klíčová slova:	Posuvný kryt, převodovka, hřeben, pastorek, lineární pohon		
Keywords:	Sliding cover, gearbox, rack pinion, linear drive		
Anotace:	<p>Tato bakalářská práce se zabývá návrhem pohonu posuvného krytu. Cílem práce je návrh vhodné pohonné soustavy, která bude splňovat všechny nároky vyplývající z provozuschopnosti daného zařízení. K řešení pohonu byl použit elektromotor napojený spojkou na dvoustupňovou čelní převodovku se šikmými zuby, dále hřeben a pastorek, který se nachází na výstupní hřídeli převodovky. Vytvořené řešení splňuje všechny požadované nároky na funkčnost, životnost a plynulost chodu.</p>		
Annotation:	<p>This thesis deals with the design of sliding cover drive. The aim of this work is to design suitable drive system that will satisfy all claims arising from the operability of device. There was used electric motor coupled to a two-stage spur gear unit with helical teeth and rack and pinion placed on gearboxes output shaft. The</p>		

solution satisfies demands for required functionality and durability.

## OBSAH

Prohlášení .....	2
Poděkování .....	3
Anotační list .....	4
Obsah.....	6
1. ÚVOD.....	1
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	2
2.1. Průmyslové posuvné kryty .....	2
2.2. Lineární pohon.....	5
2.2.1. Hydraulický.....	5
2.2.2. Pneumatický .....	6
2.2.3. Šroubový pohon pomocí šroubu a matice .....	6
2.2.4. Lanové pohony a navijáky .....	6
2.2.5. Elektromechanické pohony .....	7
2.3. Lineární vedení .....	8
2.3.1. Možnosti lineárního vedení: .....	8
2.3.1. Průmyslová kolečka.....	10
3. PRAKTICKÁ ČÁST .....	14
3.1. Zvolený způsob lineárního vedení a axiálního pojištění koleček.....	14
3.2. Pohon pomocí pastorku a hřebenu:.....	15
3.3. Schéma posuvného krytu .....	16
3.4. Návrh rámu posuvného krytu .....	17
3.5. Návrh pohonu posuvného krytu .....	18
3.5.1. Pohon pastorku posuvného krytu .....	18
3.5.2. Výpočet požadovaných otáček pastorku .....	18
3.5.3. Převodové poměry .....	18
3.5.4. Krouticí momenty v soustavě: .....	19
3.5.5. Otáčky jednotlivých hřídelí .....	20
3.5.6. Chemicko-tepelné zpracování .....	20
3.5.7. Normálový modul .....	20
3.5.8. Předběžné průměry hřídelů .....	22
3.5.9. Geometrie prvního soukolí .....	23
3.5.10. Geometrie druhého soukolí:.....	25
3.5.11. Určení silových účinků na ozubených kolech .....	27
3.5.12. Určení silových účinků na hřídelích .....	28
3.5.13. Radiální síly v ložiskách:.....	32
3.5.14. Volba ložisek:.....	33
3.6. Kontrolní výpočty: .....	38
4. Závěr:.....	40
5. Seznam použitých veličin .....	42
Seznam použité literatury .....	46
Seznam příloh.....	49
Seznam zkratk a symbolů .....	1

## 1. ÚVOD

Posuvné kryty jsou hojně využívány ve většině oblastí průmyslu a setkáváme se s nimi velmi často i v rámci běžného života. Jejich základní funkcí je lineární posun pohyblivé části krytu z počáteční polohy do polohy koncové. Další z funkcí je ochrana různého materiálu a zboží, umístěného v úložném prostoru, před vlivem vnějšího prostředí. Z toho vyplývá, že u některých druhů krytů je třeba při návrhu brát v potaz i potřebný typ izolace. Často také posuvné kryty slouží k přenosu určité zátěže z počáteční polohy do polohy koncové. Existuje mnoho variant provedení krytů a ty se liší podle oblasti použití. Mezi konstrukční aspekty krytů patří: velikost, rozměr a hmotnost. Prioritní kritéria při jejich výběru jsou: celkový posun, požadovaný výkon, nosnost, váha, prostorové rozměry, rozměry místa, kam má být kryt umístěn apod.

Teoretická část této práce je věnována řešerši zabývající se různými konstrukčními typy v praxi používaných posuvných krytů. Dále jsou v této části rozebrány možnosti používaných lineárních pohonů a lineárního vedení.

Praktická část této bakalářské práce je věnována konstrukčnímu provedení posuvného krytu, volbě elektromotoru a základnímu návrhu převodového mechanismu. Dále jsou v této práci provedeny vybrané návrhové a kontrolní výpočty převodovky.

Cílem této bakalářské práce je navržení pohonu a konstrukce posuvného krytu. Kryt bude poháněn elektromechanickým pohonem, za pomoci hřebenu a pastorku, který bude umístěn na výstupní hřídeli převodovky.

Dalším cílem je vytvoření 3D modelu sestavy svařovaného posuvného krytu, jeho pohonu a v neposlední řadě 2D výkres této sestavy a krytu samotného.

## 2. TEORETICKÁ ČÁST

V této části bakalářské práce jsou blíže popsány posuvné kryty, které jsou využívány v širokém spektru průmyslových a lidských činností. Bakalářská práce je zaměřena na kryty, které se svou přibližnou hmotností a rozměry ( 2x16 metrů) podobají zadanému krytu a které se používají jako izolace krytých objektů před vlivy vnějšího prostředí.

### 2.1. Průmyslové posuvné kryty

V průmyslové praxi se můžeme setkat s mnoha variantami posuvných krytů.

Jedna z vybraných oblastí, ve které jsou posuvné kryty hojně využívány, je lodní doprava viz obr. 1 a obr. 2. Kryt, jehož koncepční návrh je zpracován v této bakalářské práci, by se teoreticky dal aplikovat jako posuvný kryt používaný na palubě menšího dopravního plavidla.

Další z možných aplikací průmyslových posuvných krytů, jsou kryty používané jako ochrana nebo bariera mezi operátory a běžící částí stroje, která by mohla zranit operátory pracující v blízkosti stroje. Velikost tohoto typu posuvných krytů je především ovlivněna velikostí stroje, ke kterému je kryt namontován.



### Posuvné kryty používané v lodní dopravě:

Jedna z oblastí použití posuvných krytů dlouhých posuvů a větších hmotností je lodní doprava. Kryty vyskytující se u přepravních plavidel jsou navrženy a vyrobeny tak, aby měly schopnost chránit přepravované zboží a posádku před vniknutím vody do nákladového prostoru.

Na obrázku 1. je posuvný kryt použitý u dopravního plavidla:



*Obr.1.: Posuvný kryt na palubě plavidla [Zdroj: [11]]*

Hlavním kritériem při výběru posuvného krytu na dané plavidlo je především prostor na palubě lodi, pohybující se část krytu proto může být tvořena jednou nebo více částmi.

Na obrázku 2. se nachází kryt použitý na přepravní loď který se skládá ze dvou posuvných částí. Při procesu nakládání nebo vykládání materiálu se posuvné části krytu dají do pohybu a umožní jeřábu aby mohl naložit nebo vyložit zboží.



*Obr.2.: Posuvný kryt se dvěma posouvajícími částmi [Zdroj: [21] a[11]]*

V neposlední řadě aplikací rozměrově větších posuvných krytů jsou posuvné kryty používané v oblasti běžné lidské činnosti, jsou to například střešní kryty, které mají zabránit vniknutí vody nebo nečistot do vnitřní části domu nebo továrny. Použití se dají také k větrání jako usměrňovač průchodu vzduchu z budovy dovnitř a ven.

Další z podobných aplikací jsou například posuvná okna nebo posuvné dveře a vrata.

Na obrázku 3. jsou příklady posuvných krytů použitých jako posuvná střecha na vrchní části budovy.



*Obr.3.: Příklady posuvných krytů používaných jako kryty střech [Zdroj: [18 a 19]]*

Jeden z nejčastějších případů použití posuvného krytu je kryt bazénu nebo jiného objektu obsahující stojatou vodu, v tomto případě zastává posuvný kryt funkci krycí a zabraňuje nečistotám, aby se dostaly do vody.

Na obrázku 4. jsou příklady posuvných krytů použitých pro krytí bazénů



*Obr.4.: Typy posuvných krytů používané u nádrží se stojatou vodou [Zdroj: [25 a 30]]*

## 2.2. Lineární pohon

Lineární pohon je druh pohonu, který umožňuje přenos mechanického výkonu a to tak, že uvádí posouvaný člen pomocí mechanického výkonu do lineárního pohybu.

Uplatní se v mnoha aplikacích, kde je vyžadováno lineární přestavení posouvaného břemene z jedné polohy do druhé.

V průmyslové praxi se lze například setkat s těmito typy lineárních pohonů:

### 2.2.1. Hydraulický.

Hydraulický pohon je založen na principu tlakové energie a fyzikálně nestlačitelné kapaliny. V poměru přenášenému výkonu patří mezi nejpřesnější a nejvýkonnější. Mezi jeho výhody patří generování velkých sil a velmi přesný posuv.

Mezi primární oblasti použití posuvných krytů poháněných hydraulickým pohonem, jsou kryty, které mají vysoké nároky na přesnost a izolaci proti vniku vody. Hydraulický pohon je v praxi nejčastěji použit v místech kde na kryt působí vysoké vnější tlaky. Posuvné kryty poháněné hydraulickým pohonem jsou v praxi nejčastěji mimo jiné použité jako dveře nebo víko u letadel, ponorek nebo u vodou obklopených částí lodí.

Hydraulický pohon nebyl v této bakalářské práci zvolen z toho důvodu, neboť finanční náročnost několikametrového pojezdu krytu by byla vysoká a zároveň použití u krytů delšího posuvu by bylo nepraktické.

Na obr.5 je znázorněn čtvrtinový řez hydraulickým pístem a hydraulicky poháněný kryt použitý v ponorce.



*Obr.5.: Hydraulický typ pohonu posuvného krytu [Zdroj: [22] a [24]]*

### 2.2.2. Pneumatický

Fungují na stejném principu jako hydraulický, ale s jiným médiem, kterým je vzduch, dále mají menší přesnosti a často menší posuv. Ze stejného důvodu jako u hydraulického nebyl tento pohon při návrhu dále uvažován.

### 2.2.3. Šroubový pohon pomocí šroubu a matice

Šroubový pohon je technické zařízení umožňující změnu otáčivého pohybu na přímočarý, nebo obráceně, hlavní komponenty jsou šroub a matice. V daném případě by byl šroub poháněn elektromotorem. Mezi výhody šroubového mechanismu patří jeho vysoká přesnost, přenáší i velké síly. Mezi jeho nevýhody patří velké tření, malá účinnost a vznik vůlí.

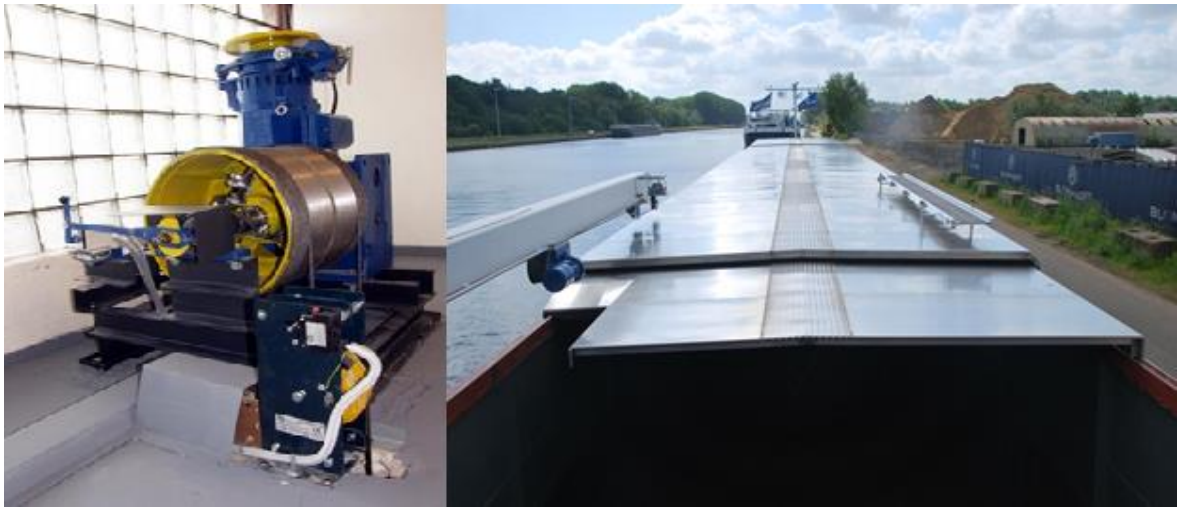


*Obr.6.: Pohon pomocí šroubu a matice [Zdroj: [23]]*

### 2.2.4. Lanové pohony a navijáky

Lanové pohony patří k mechanickým pohonům které fungují na principu přitahování nebo odvíjení břemene pomocí kabelu nebo lana tvořeného ze svazku ocelových drátů, v té nejjednodušší formě se naviják skládá z cívky a připojení ruční kliky u větších provedení jsou lanové pohony umístěné ve středu stroje a jsou poháněny elektromotorem, hydraulickým nebo i spalovacím motorem. Cívka může být také nazývána buben navijáku,

Mezi nejčastější aplikace navijáků patří: výtahy, posuvné kryty a tahače nebo jeřáby.



Obr. 7.: Pohon pomocí lana [Zdroj: [20] a [21]]

### 2.2.5. Elektromechanické pohony

Elektromechanické pohony fungují na podobném principu jako mechanické, ale ovládací kotouč nebo klika je nahrazena elektrickým motorem. Rotační pohyb motoru je převáděn na lineární posuv. Tyto pohony poskytují například vysokou rychlost posuvu, nebo velkou sílu, případně kompromis mezi těmito dvěma možnostmi. Mezi nejdůležitější parametry mechanismu patří: rychlost posuvu, síla, přesnost a životnost mechanismu. V mnoha směrech může být elektromechanický pohon alternativou hojně používaných pneumatických a hydraulických pohonů. VDC elektrické lineární pohony pracují nejčastěji při nízkých napětích od 12 do 36 V. Možnosti elektromechanických pohonů jsou například: krytí, různá elektronická výbava pro snazší řízení (potenciometr, čítač pulsů, hall-sonda, PLC řízení). Svými výkony jsou vhodné pro jednoduchá zařízení s nepřilíš častým pracovním cyklem, kde je ale kladen důraz na výdrž, spolehlivost a životnost.

Mezi běžně používaná patří:

- Zařízení pro zdravotnickou péči (zubařská křesla, nemocniční postele),
- V průmyslových a strojních zařízeních se pohony používají pro usnadnění práce, zdvihání břemen, otvírání a regulaci klapek, k ovládání a nastavování různých mechanických prvků,

- Polohovací sloupky nebo též výškově stavitelné podnože, sloužící např. pro úpravu ergonomie pracovních stolů a pracovního prostředí obecně,
- Polohování postelí, televizorů či kuchyňských stolů,
- Pohon křídel dveří, např. ve veřejných budovách či vozidlech.

### 2.3. Lineární vedení

Lineární vedení je strojní součást nebo část stroje, která umožňuje pohyb části zařízení (vozíku) po přímkové dráze (kolejnici).

Lineární vedení se obecně dělí na uzavřená, která vedou pohyblivou část ve všech směrech. A otevřená, kde pohyblivá část spočívá na vedení svojí vlastní vahou. Lineární vedení se dále liší svou přesností, maximální dovolenou rychlostí pohybu, maximální přenášenou silou apod. Mají-li se dvě části po sobě smýkat, musí mezi nimi být určitá vůle a styčné plochy je třeba mazat.

#### 2.3.1. Možnosti lineárního vedení:

##### Lineární vedení v kola v drážce:

Lineární vedení v drážce viz obr. 8, se v průmyslových aplikacích objevuje v mnoha různých variantách a geometrických provedení.

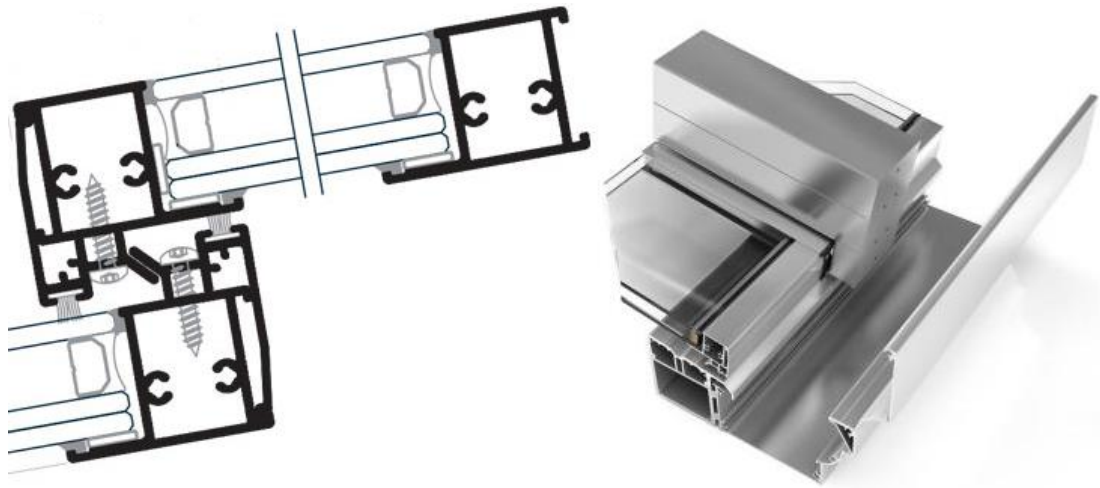


*Obr.8.: Vedení kola v drážce [Zdroj: [28] a [29]]*

**Lineární vedení prvku v drážce:**

Tento způsob lineárního vedení se vyskytuje v praxi v mnoha různých konstrukčních provedeních. Základním principem je posuvný pohyb geometrického prvku po ploše která slouží danému prvku jako jeho dráha.

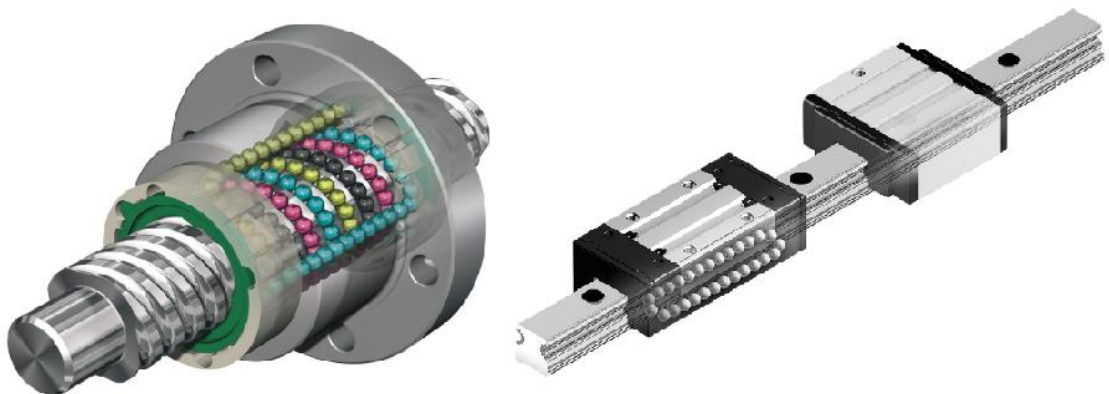
Na obrázku 9. je znázorněno vedení pomocí dvou na sebe dosedajících ploch.



*Obr. 9.: Vedení pomocí třecích ploch [Zdroj: [28]]*

**Vedení pomocí třecích elementů:**

Vedení pomocí třecích elementů viz obr. 10, využívá podobného principu jako kuličkový šroub. Pomocí třecích elementů pohybujících se v matici je docíleno lineárního pohybu. Díky finanční náročnosti a malé nosnosti, není tento typ vedení vhodný pro použití u zadaného typu posuvného krytu.



*Obr. 10.: Vedení pomocí valivých kuliček [Zdroj: [26] a [27]]*

### 2.3.1. Průmyslová kolečka

Průmyslové kolečko viz obr. 11 je kolové zařízení, které je ve většině případů namontováno na větší objekt. Kolečko umožňuje poměrně snadný pohyb tělesa, na kterém je namontované. Materiály koleček zahrnují litinu, plast, pryž, polyuretan, kovaná ocel, nerezová ocel, hliník a další a jejich nosnost se pohybuje až do 45 tisíc kilogramů. Průmyslová kolečka s větší nosností bývají obvykle vyráběna z kované oceli, z nylonu nebo kovu s polyuretanovým běhounem.

Kolečka se dělí do dvou základních kategorií: otočné kolečko, které se otáčí kolem hlavice, tudíž je schopno vykonávat dva rotační pohyby, a proto je schopné se pohybovat do více různých směrů než jen vpřed a vzad. Otočných koleček se vyrábí několik druhů, například: Uzamykací, Talířové, Směrové.

Dalším typem koleček je pevné kolečko. Tento typ umožňuje pohyb pouze dopředu a dozadu. Pevná kolečka mají díky absenci druhé osy rotace tendenci být odolnější než otočná kolečka. Mohou být jednodílné nebo dvoudílné konstrukce, která je svařovaná nebo nýtovaná. Na obrázku 11. se nachází používané typy průmyslových koleček.



Obr.11.: Typy průmyslově používaných koleček [Zdroj: [32]]

#### **Konstrukční aspekty koleček:**

Nejdůležitějšími aspekty koleček, které jsou potřebné vzít v potaz při konstrukci a výběru koleček jsou: Jeho celková výška a poloměr otáčení.

Mezi klíčové součásti koleček patří:

- Příruba nebo jiné zařízení umožňující montáž kolečka k posuvnému zařízení.

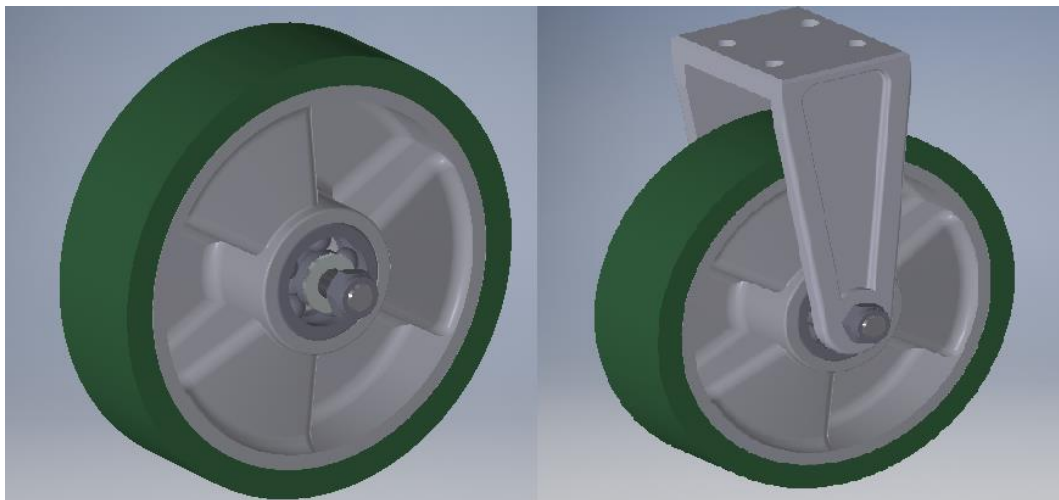
Mezi způsoby montáže patří: horní deska, která umožňuje, aby bylo kolečko



přišroubované k dolní desce posouvajícího objektu. Dále se dřík kolečka může uchopit na objekt, nebo mohou mít kolečka také držák, který dovoluje montáž na svislé panely.

- Otočná hlava - schopnost otáčení kolečka je závislá především na ložiscích a mazání. Šroubení slouží k vnášení mazání do náprav.
- Třmen - část otočného nebo tuhého kolečka, kterou lze považovat za rám. Jízdní třmen slouží k držení kola. Třmen společně s otočnou hlavou umožňuje u otáčivých koleček otáčení o 360 stupňů. Dále je možná přítomnost pružinového mechanismu. Některá kolečka slouží k tlumení nárazu nebo vibrací, proto je u těchto typů koleček nutná přítomnost pružiny.
- Samotné kolečko – materiály používané při návrhu koleček jsou například: elastomery (pryž a polyuretan), fenolitické, nylonové ale i ocelové. Správný výběr materiálu kolečka je ovlivňován především těmito faktory: typ podlahy, zatížení, otáčivost kolečka, rychlost a teplota.
- Ložiska kol - při většině použití koleček, je vyžadováno, aby kolečko obsahovalo ložisko. Existují mnohé varianty ložisek. Mezi nejběžněji používaná patří: válečková, kuželíková, kuličková ložiska a samomazací pouzdro. Matice a šrouby: šroub nápravy upevňuje kolečko na třmen. Matice spojuje nápravu na třmen. U některých aplikací může být šroub pozinkovaný pro odolnost proti korozi.

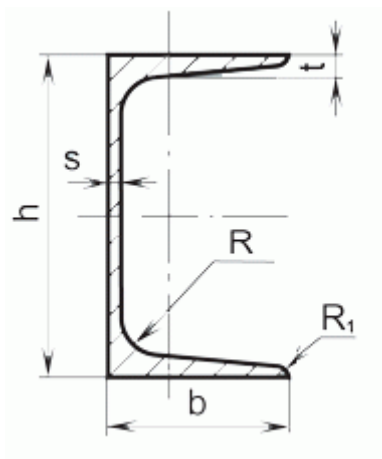
V této bakalářské práci je dále uvažováno s těmito typy průmyslových koleček, které jsou zobrazeny na obr. 12.



*Obr. 12.: Zvolené průmyslové kolečko [Zdroj: autor]*

### **Volba lineárního vedení:**

Pro lineární vedení byl zvolen U profilová tyč viz obr.13 která slouží jako lineární dráha (kolejnice) pro průmyslová kolečka, Důvody volby byly především: jednoduchost, finanční nenáročnost a široká nabídka různých vzorků na trhu. Společně s průmyslovými kolečky byl tento způsob lineárního vedení shledán jako nejvhodnější.



*Obr. 13.: U profilová tyč [Zdroj: [31]]*

*Tab. 1.: Parametry U profilu*

h [mm]	s [mm]	R [mm]	R <sub>1</sub> [mm]	b [mm]	t [mm]
65	5,5	7,7	4	42	7,5

[Zdroj: autor]

Byla zvolena U profilovou tyč válcovaná za tepla.

**Popis materiálu tyče:**

**S355J2** EN 10025-2

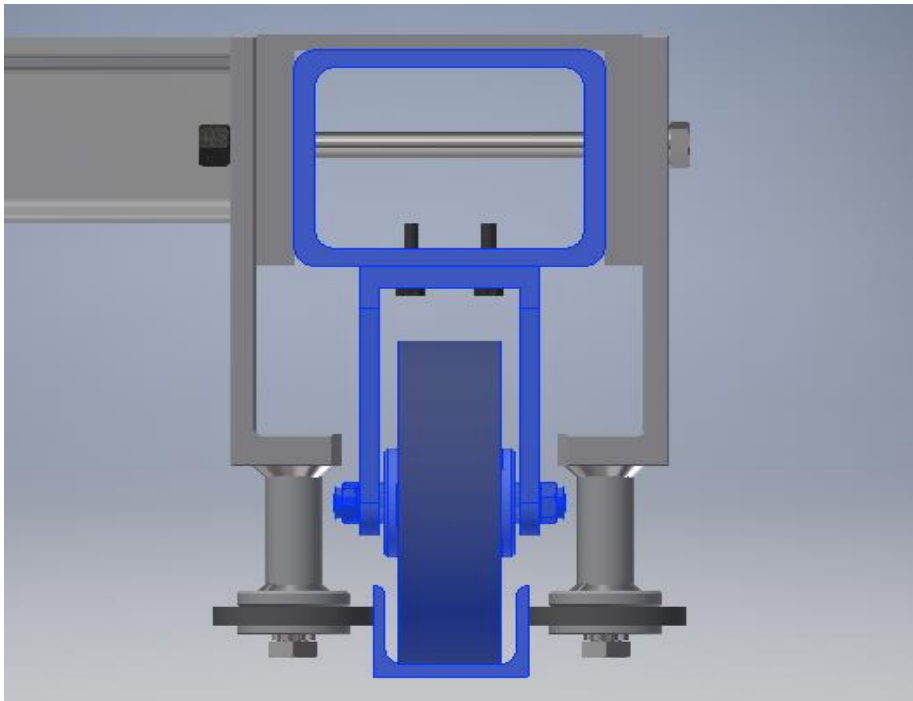
Nelegovaná konstrukční, jakostní ocel, vhodná pro použití ve svařovaných, šroubovaných a nýtovaných konstrukcích. Svařitelnost: ocel je vhodná ke svařování (s rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí pevností se mohou vyskytnout trhliny za studena).

### 3. PRAKTICKÁ ČÁST

V této části bakalářské práce jsou rozebrány konkrétní konstrukční aspekty zvoleného posuvného krytu a dále upřesněný výběr pohonu pomocí hřebenu a pastorku

#### 3.1. Zvolený způsob lineárního vedení a axiálního pojištění koleček

V této kapitole je popsáno zvolené vedení a axiální pojištění posuvného krytu viz obr. 14.



*Obr. 14.: Konstrukce axiálního pojištění [Zdroj: autor]*

Axiální pojištění daného krytu je provedeno a navrženo pomocí kuličkových ložisek SKF, která se valí po stranách zvoleného U profilu.

Kuličková ložiska jsou pomocí pojistné desky ČSN 02 2703 připevněna ke svařované konstrukci která je přišroubovaná k obdélníkovému profilu tvořící základní rám krytu.

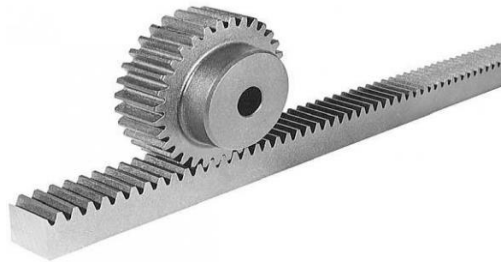
Konstrukce pro vedení kuličkových ložisek je tvořena následujícími prvky:

- Příruba ve tvaru C, která je uložena na obdélníkový dutý profil.
- Obrobek ve tvaru L, který umožňuje nastavit kuličková ložiska na potřebnou vzdálenost od U profilu.
- Malá kruhová hřídel o průměru 22 mm je navařena na obrobek tvaru L.

- Kuličkové ložisko SKF umožňuje valení po U profilu.
- Pojistná deska ČSN 02 2703 a pružná podložka.
- Šestihranný šroub M12x30.

### 3.2. Pohon pomocí pastorku a hřebenu:

V této kapitole je popsán zvolený pastorek a hřeben použitý pro pohon krytu.  
viz obr. 15.

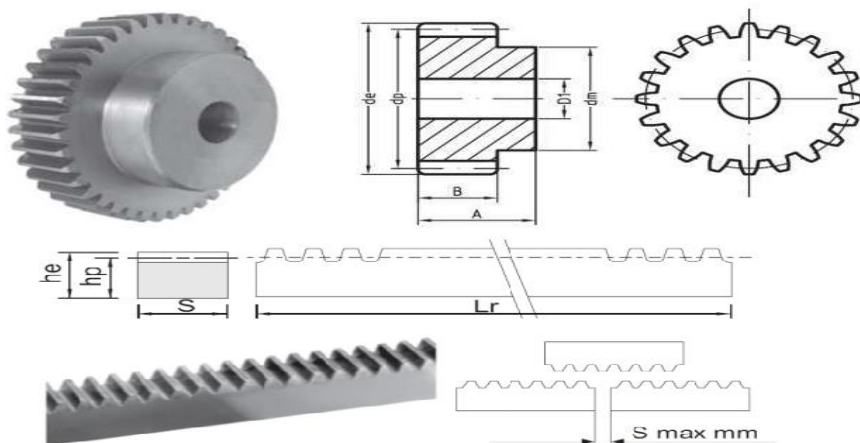


Obr. 15.: Ozubený hřeben a pastorek [Zdroj: [15]]

Ozubený hřeben a pastorek je typ lineárního pohonu, který pomocí dvou převodových těles převádí rotační pohyb na lineární. Kruhové ozubené kolo nazývané pastorek zabírá zuby na lineární ozubenou tyč, která se nazývá hřeben. K vyvolání kroutícího momentu pastorku se nejčastěji využívá ruční pohon nebo pohon motorem, opačná aplikace není vhodná. Na hřeben se zatížení z pastorku většinou přenáší přímo, proto hnací pastorek je většinou malý, takže převodový poměr většinou snižuje požadovaný točivý moment. Přesto může být síla resp. moment mezi pastorkem a hřebemem veliká, a proto se k redukci používá například šneková převodovka nebo převodovka s čelními ozubenými koly.

#### Možné varianty volby pastorku a ozubeného hřebenu

Možné varianty volby pastorku a ozubeného hřebenu jsou vidět na obr. 16.



Obr. 16.: Kupovaný ozubený hřeben a pastorek [Zdroj: [15]]

Zvolené parametry pastorku jsou uvedeny v následující tabulce 2 V tabulce 3 jsou uvedené parametry ozubeného hřebenu.

Tab. 2.: Volené parametry pastorku

$d_e$ [mm]	$d_p$ [mm]	$D_1$ [mm]	$d_m$ [mm]	B [mm]	A [mm]
66	60	15	45	50	30

[Zdroj: autor]

Tab. 3.: Volené parametry ozubeného hřebenu

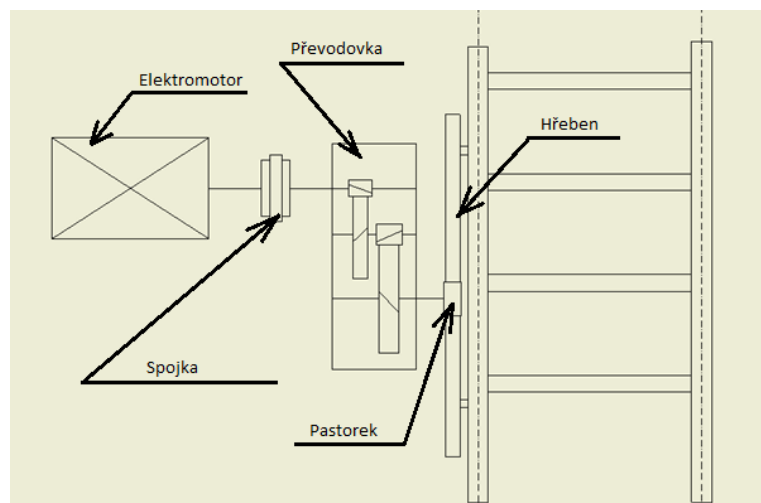
Z [1]	$h_e$ [mm]	$h_p$ [mm]	S [mm]	$L_r$ [mm]	$S_{max}$ [mm]	m [kg]
53	3030	27	30	499,51	0,8	3,1

[Zdroj: autor]

- přímé ozubení, modul 3 (rozteč 9,4248mm)
- úhel záběru 20°, čtvercový průřez 30×30mm
- materiál ocel C45 UNI 7845
- tolerance rozteče zubů +/- 30  $\mu$ m/500mm
- stupeň kvality ozubení: 8–9 dle DIN 3962/63/67
- cena za jeden kus: 510,- Kč bez DPH

### 3.3. Schéma posuvného krytu

Schéma posuvného krytu je zobrazeno na obrázku 17.



Obr.17.: Kupovaný ozubený hřeben a pastorek [Zdroj: [autor]]

Celková sestava posuvného krytu se skládá ze součástí: asynchronní elektromotor, zubová spojka, dvoustupňová převodovka, pastorek a hřeben, který je pomocí dvou plechů našroubovaný na rám posuvného krytu a mnou navrhnutým axiálně pojistným mechanismem, s využitím principu valení kuličkových ložisek po bočních hranách U profilu, zajišťující funkci kolejnič pro kolečka.

### **3.4. Návrh rámu posuvného krytu**

Na návrh rámu byly zvoleny dva základní obdélníkové profily, které jsou na sebe vzájemně rovnoběžné a jsou od sebe vzdálené dva metry. Kolečka jsou na čtyřhranných trubkách přišroubována pomocí vlastních přírub.

#### **Zvolený typ normalizovaného obdélníkové profilu:**

Tyč obdélníková ČSN 42 5720.00 - 90x70x6-4000, 11 353.0

Vrchní plech je na obdélníkových profilech přivařen koutovými svary. Plech má tloušťku 6 mm a má funkci krytu.

#### **Zvolený typ normalizovaného plechu:**

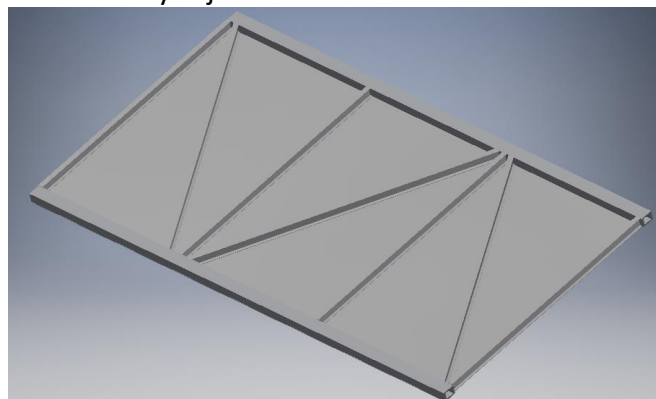
Plech válcovaný za tepla ČSN 42 5301 – P6-2000x1000 , 11 373

Další profil, který byl použit, je profil tvaru I. Jedná se o vyztužení krycího plechu , I profily jsou jednak přivařené kolmo k obdelníkovým profilům a šikmo pod úhlem 35

#### **Zvolený typ normalizovaného I profilu:**

I 80/B ČNS 42 555.0 – 11373.0 -42 0135.21

Schéma rámu posuvného krytu je zobrazeno na obrázku 18.



*Obr. 18.: Rám posuvného krytu [Zdroj: Autor]*

### 3.5. Návrh pohonu posuvného krytu

Na návrh pohonu posuvného krytu byly zvoleny tyto parametry:

Zvolený výkon elektromotoru:	$P_p = 11$ [kW]
Rychlost posuvu:	$v_p = 0,5$ [m/s]
Počet zubů pastorku:	$z = 20$ [1]
Modul pastorku:	$m = 3$ [mm]
Předpokládaný výkon pro posuv krytu:	$P = 9$ [kW]

#### 3.5.1. Pohon pastorku posuvného krytu

Výpočet výkonu motoru a následná volba motoru.

Díky ztrátám v převodovce je potřeba zvýšit požadovaný výkon na pastorku na předběžný výkon motoru podle rovnice:

$$\eta_c = \eta_{12} * \eta_{34} * \eta_{pastorku} * \eta_{koleček} = 0,98 * 0,98 * 0,98 * 0,9 = 0,84$$

$$P'_{elm} = \frac{P_p}{\eta_c} = \frac{9 * 10^3}{0,84} = 10,624 \text{ kW}$$

Typ elektromotoru je volen z katalogu na základě nejbližšího vyššího výkonu v dané kategorii. Zvolil jsem 2-polový motor nakrátko Siemens s vestavbou jehož vybrané parametry jsou:

- Jmenovitý výkon  $P_m = 11000$  W
- Otáčky  $n_m = 2940 \text{ min}^{-1}$
- Jmenovitý moment  $M_{km} = 36$  N.m
- Průměr výstupního hřídele  $d_m = 40$  mm
- Délka výstupního hřídele  $l_m = 110$  mm

#### 3.5.2. Výpočet požadovaných otáček pastorku

$$n_{pastorku} = \frac{60 * v_p}{\pi * D_p} = \frac{60 * 0,5}{\pi * 0,06} = 159,15 \text{ min}^{-1}$$

#### 3.5.3. Převodové poměry

celkový převodový poměr

$$i_{34} = \sqrt{\frac{n_m}{1,4 * n_p}} = \sqrt{\frac{2940}{1,4 * 159,15}} = 3,63 \Rightarrow \text{volím } 4,11$$



Poměr dílčích převodových čísel jsem zvolil na základě doporučení. Číselně jsem rozhodl poměrem  $i_{12}/i_{34} = 1,4$  a podle tohoto vztahu jsem vypočítal dílčí převody.

$$i_{12} = i_{34} * 1,4 = 5,06 \Rightarrow \text{volím } 4,66$$

Dále bylo nutno provést kontrolu celkového skutečného převodového poměru, zda platí maximální přípustná odchylka 4% od jmenovité hodnoty převodového čísla stanoveného dle ČSN 03 1013. Odchylka vyšla v dané normě, tudíž převodový poměr vyhovuje.

$$\text{Kontrola: } |i_p - i_p'| < 0,04 * i_p' \Rightarrow 0,6853 < 0,7389 \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$i_c = i_{34} * i_{12} = 4,11 * 4,66 = 18 \Rightarrow \text{vyhovuje doporučené hodnotě}$$

Tab. 4.: Počty zubů na ozubených kolech

Počet zubů	Soukolí 12	Soukolí 34
Pastorek	21	19
Kolo	98	78

[Zdroj: autor]

**Celkový požadovaný převodový poměr:**

$$i_c = \frac{n_m}{n_p} = \frac{2940}{159,15} = 18,472$$

**Skutečný převodový poměr a otáčky:**

$$i_p = \frac{z_2}{z_1} * \frac{z_4}{z_3} = \frac{98}{21} * \frac{78}{19} = 19,15$$

$$n_3 = \frac{n_m}{i_{skut}} = \frac{n_m}{i_{12} \cdot i_{34}} = \frac{2940}{4,66 \cdot 4,11} = 153,5 \text{ min}^{-1}$$

$$v_{pskut} = \frac{n_3 * \pi * D_p}{60} = \frac{153,5 * 0,06 * \pi}{60} = 0,481 \text{ m.s}^{-1}$$

**Porovnání skutečné a volené posuvné rychlosti krytu:**

Volená rychlost posuvného krytu je  $0,5 \text{ m.s}^{-1}$  a skutečná je  $0,481 \text{ m.s}^{-1}$

Rozdíl mezi volenou a skutečnou rychlostí krytu je 3,8 %

### 3.5.4. Krouticí momenty v soustavě:

$$Mk_{elm} = Mk_1 = 9550 * \frac{P_{elm}}{n_{elm}} = 9550 * \frac{11}{2940} = 35,731 \text{ N} * m$$

$$Mk_2 = Mk_1 * i_{12} * \eta_{12} = 201505,263 * 4,66 * 0,98 = 163,178 N * m$$

$$Mk_3 = Mk_2 * i_{34} * \eta_{34} = 82753,263 * 4,11 * 0,98 = 657,274 N * m$$

### 3.5.5. Otáčky jednotlivých hřídelí

$$n_1 = n_{elm} = 2940 \text{ ot/min}$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{12}} = \frac{2940}{4,66} = 630,9 \text{ ot/min}$$

$$n_3 = \frac{n_2}{i_{34}} = \frac{630,9}{4,11} = 153,5 \text{ ot/min}$$

### 3.5.6. Chemicko-tepelné zpracování

K dalším výpočtům je nutné znát chemicko- tepelné zpracování ozubení. Pro pastorky i kola jsem vybral materiál: ocel 14220 dle ČSN. Následnou úpravou bude chemicko- tepelné zpracování a to konkrétně cementování, kalení a popuštění na tvrdost (45 až 55) HRC. Tím dosáhne požadovaných materiálových vlastností uvedených v tabulce.

Tab. 5.: Parametry CHTZ

Tvrdostv jádře zuby $J_{hv}$	Tvrdost na boku zuby $V_{hv}$	$\sigma_F$ Mez únavy v ohybu [ $N/mm^2$ ]	$\sigma_H$ Mez únavy v dotyku [ $N/mm^2$ ]
250	650	700	1270

[Zdroj: autor]

### 3.5.7. Normálový modul

Pro výpočet normálového modulu  $m_{n1}$  a  $m_{n2}$  je potřeba vztahů a příslušných koeficientů.

Návrh modulu 1. soukolí:

$$m_{n12} = f_p * \sqrt[3]{\frac{K_F * Mk_1}{\left(\frac{bwf}{m_n}\right) * Z * \sigma_{FP}}}$$

Návrh modulu 2. soukolí:

$$m_{n34} = f_p * \sqrt[3]{\frac{K_F * Mk_2}{\left(\frac{bwf}{m_n}\right) * Z * \sigma_{FP}}}$$

$f_p = 18$  platí pro kalená ozubená kola

$K_A$  je součinitel vnějších dynamických sil, který závisí na zatěžení převodovky hnacím a hnaným strojem. Pro posuvný kryt volím  $K_A = 1$

$K_{H\beta}$  je součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce, určen podle grafu vnitřního uspořádání převodovky a CHTZ jako  $K_{H\beta} = 1,35$

$\left(\frac{bwf}{m_n}\right) = 15$  poměrná šířka, zvolena podle příslušné kombinace CHTZ a převodového poměru.

$K_F$  Je provozní součinitel.

$$\sigma_{flimb1} = 700 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{FP} = 0,6 * \sigma_{flimb1} = 0,6 * 700 = 420 \frac{N}{mm^2}$$

$$K_F = K_A * K_{H\beta} = 1 * 1,35 = 1,35$$

$$\left(\frac{bwf}{m_n}\right) = 15$$

Předběžné vypočtené moduly se zaokrouhlují na normalizované dle ČSN 01 4608.

Podle vzorce vyšly následné moduly:

Tab. 6.: Volené parametry pastorku

$m_{n1}'$	$m_{n2}'$	$m_{n3}'$	$m_{n4}'$
1,14	0,68	2,04	1,96

[Zdroj: autor]

Pro soukolí 12 a soukolí 34 jsem zvolil moduly:

$$m_{n12} = 1,25 \text{ mm}$$

$$m_{n34} = 2,25 \text{ mm}$$

### 3.5.8. Předběžné průměry hřídelů

P. Pro předběžný návrh hřídelů se vychází z pevností podmínky v krutu. Volba dovolených napětí ve smyku  $\tau_{di}$ . Výsledné průměry hřídelů však byly zvýšeny z konstrukčních a bezpečnostních důvodů.

$$D_i = \sqrt[3]{\frac{16 * Mk_i}{\pi * \tau_{di}}}$$

$$\tau_{d1} = 25 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{d2} = 35 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{d3} = 50 \text{ N/mm}^2$$

$$d_I' = \sqrt[3]{\frac{16.Mk_I}{\pi.\tau_I}} = \sqrt[3]{\frac{16.35731,29}{\pi.25}} = 19,38 \text{ mm}$$

$$d_{II}' = \sqrt[3]{\frac{16.Mk_{II}}{\pi.\tau_{II}}} = \sqrt[3]{\frac{163177,66}{\pi.35}} = 29,74 \text{ mm}$$

$$d_{III}' = \sqrt[3]{\frac{16.Mk_{III}}{\pi.\tau_{III}}} = \sqrt[3]{\frac{657247}{\pi.45}} = 41,56 \text{ mm}$$

Ze zadaných hodnot dovoleného napětí, dosazených do horního vztahu je vypočten minimální průměr hřídele.

$$D_I = 19,3802 \text{ mm} \Rightarrow 22 \text{ mm}$$

$$D_{II} = 29,581 \text{ mm} \Rightarrow 35 \text{ mm}$$

$$D_{III} = 41,566 \text{ mm} \Rightarrow 80 \text{ mm}$$

### 3.5.9. Geometrie prvního soukolí

**Průměry roztečných kružnic pro první soukolí:**

$$\beta_{12} = 15^\circ = 0,2617 \text{ rad} \Rightarrow \cos(\beta_{12}) = 0,9659$$

$$d_i = \frac{m_{ni} * z_i}{\cos(\beta)}$$

$$d_1 = \frac{m_{12} * z_1}{\cos\beta_{12}} = \frac{1,25 * 21}{\cos(15^\circ)} = 27,176 \text{ mm}$$

$$d_2 = \frac{m_{12} * z_2}{\cos\beta_{12}} = \frac{1,25 * 98}{\cos(15^\circ)} = 126,821 \text{ mm}$$

**Osová vzdálenost pro první soukolí**

$$aw_{12}' = \frac{1}{2} * (d_1 + d_2) = \frac{1}{2} * (27,176 + 126,821) = 76,998 \text{ mm}$$

Volím osovou vzdálenost:  $aw_{12} = 77 \text{ mm}$

$$\alpha = 20^\circ = 0,349 \text{ rad} \Rightarrow \text{tg}(\alpha) = 0,364$$

$$\text{tg}(\alpha t)1 = 0,3768 \Rightarrow at = 0,36 \Rightarrow \text{inv}(\alpha t) = 0,016$$

$$\cos(\alpha t w)1 = 0,9357 \Rightarrow \alpha t w1 = 0,3604 \Rightarrow \text{inv}(\alpha t w)1 = 0,016$$

**Součet jednotkových korekcí:**

$$x_1 + x_2 = \frac{z_1 + z_2}{2 * \text{tg}(\alpha) * (\text{inv}(\alpha t w)1 - \text{inv}(\alpha t))} = \frac{21 + 98}{2 * 0,369 * (0,019 - 0,016)}$$

$$= 0,001067$$

$$x_1 = 0,000188; x_2 = 0,000878$$

**Součinitel snížení výšky hlavy zubu**

$$\Delta y = \frac{aw_{12}' + (x_1 + x_2) * m - aw_{12}}{m} = \frac{76,998 + 0,00106 * 1,25 - 77}{1,25} = 6,5 \cdot 10^{-8}$$

**Průměry hlavových kružnic:**

$$d_{a1} = d_1 + 2 * m * (1 + x_1 - \Delta y) = 29,717 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 * m * (1 + x_2 - \Delta y) = 129,35 \text{ mm}$$

**Průměry valivých kružnic**

$$d_{w1} = d_1 * \frac{\cos(\alpha t)}{\cos(\alpha t w_{12})} = 27,176 * \frac{\cos(0,354)}{\cos(0,378)} = 27,176 \text{ mm}$$

$$d_{w2} = d_2 * \frac{\cos(\alpha t)}{\cos(\alpha t w_{12})} = 126,821 * \frac{\cos(0,354)}{\cos(0,378)} = 126,823 \text{ mm}$$

### Průměry patních kružnic

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot m_{n12} \cdot (h_a^* - x_1 + c^*) = 24,05 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot m_{n12} \cdot (h_a^* - x_2 + c^*) = 123,69 \text{ mm}$$

Při provozu jsou zuby soukolí namáhány především únavovým lomem a vydrolováním povrchu. Aby se těmto projevům zabránilo provádějí se u soukolí kontroly na ohyb a na dotyk.

Na obrázku 19. je souhrn vypočítaných veličin a kontrola na ohyb a dotyk dle ISO 6336

Kontrola ozubení dle ISO 6336			jednotky mm, Nmm, °, kW, Mpa, m.s'				
		Roz	kolo 1	kolo 2		kolo 1	kolo 2
$z_1$	21	d	27,176	126,821	$\sigma_{Flim}$	700	700
$z_2$	98	$d_a$	29,7103	129,357	$\sigma_{Hlim}$	1270	1270
$m_n$	1,25	$d_f$	24,0512	123,698	$Y_{Fa}$	2,70669	2,20269
$x_1$	0,0001	$d_b$	25,4305	118,676	$Y_{Sa}$	1,57562	1,79915
$x_2$	0,0008	$d_W$	27,1824	126,851	$Y_z$	0,68192	0,68192
$\alpha_n$	20	$h_a$	1,26713	1,268	$Y_\beta$	0,875	0,875
$\beta$	15	$h_f$	1,56238	1,5615	$F_\beta$	6	6
$a_w$	77,0168	h	2,8295	2,8295	$Y_{N,x}$	1	1
$b_1$	30	$s_n$	1,96359	1,96422	$Z_{Ht}$	2,42244	2,42244
$b_2$	28	$s_t$	2,03285	2,03351	$Z_E$	189,8	189,8
P	11	$v_n$	1,9634	1,96277	$Z_\epsilon$	0,78237	0,78237
$n_1$	2940	$v_t$	2,03267	2,03201	$Z_\beta$	0,98282	0,98282
$M_{kt}$	35728,7	$\alpha_w$	20,6495		$Z_B$	1	1
v	4,18342				$Z_{R,T}$	1	1
u	4,66667				$K_A$	1,1	1,1
					$K_V$	1,11807	1,11807
					$K_{Fa}$	1	1
					$K_{F\beta}$	1,34759	1,34468
$h_k$	0,95158	0,95236			$K_{H\alpha}$	1	1
$s_k$	1,73389	1,73389	konst. tloušťka		$K_{H\beta}$	1,38972	1,38972
$z'$	3	12					
M/z	9,63135	44,3316	přes zuby				
d	1,84508	1,84508			$S_F$	2,36711	2,38266
M/d	28,7802	128,506	přes kuličky		$S_H$	1,34139	1,34139

Obr.19.: Výpočty čelního ozubení dle ISO 6336 [Zdroj: [6]]

### 3.5.10. Geometrie druhého soukolí:

$$\beta_{34} = 12^\circ = 0,2094 \text{ rad} > \cos(\beta_{34}) = 0,9$$

$$d_3 = \frac{m_{34} \cdot z_3}{\cos \beta_{34}} = \frac{1,25 \cdot 19}{\cos(12^\circ)} = 43,705 \text{ mm}$$

$$d_4 = \frac{m_{34} \cdot z_4}{\cos \beta_{34}} = \frac{1,25 \cdot 78}{\cos(12^\circ)} = 179,421 \text{ mm}$$

$$aw_{34}' = \frac{1}{2} \cdot (d_3 + d_4) = \frac{1}{2} \cdot (43,705 + 179,421) = 111,762 \text{ mm}$$

$$aw_{34} = 112 \text{ mm}$$

$$\alpha = 20^\circ = 0,349 \text{ rad} \Rightarrow \text{tg}(\alpha) = 0,364$$

$$\text{tg}(\alpha t_{34}) = 0,3721 \Rightarrow \alpha t = 0,356 \Rightarrow \text{inv}(\alpha t) = 0,0158$$

$$\cos(\alpha t w_{34}) = 0,9335 \Rightarrow \alpha t w_2 = 0,3665 \Rightarrow \text{inv}(\alpha t w)_2 = 0,017$$

$$(2) x_3 + x_4 = \frac{z_3 + z_4}{2 \cdot \text{tg}(\alpha) \cdot (\text{inv}(\alpha t w_{34})_2 - \text{inv}(\alpha t))} = \frac{19 + 78}{2 \cdot 0,369 \cdot (0,018 - 0,016)}$$

$$x_3 = 0,10967; x_4 = 0,08729$$

$$(2) \Delta y = \frac{1}{m} \cdot (aw_{34}' + (x_3 + x_4) \cdot m - aw_{34}) = \frac{1}{2,25} \cdot (111,76 + (0,1969 \cdot 2,25) - 112) \\ = 0,0027$$

#### Průměry hlavových kružnic:

$$d_{a3} = d_3 + 2 \cdot m \cdot (1 + x_3 - \Delta y) = 48,71 \text{ mm}$$

$$d_{a4} = d_4 + 2 \cdot m \cdot (1 + x_4 - \Delta y) = 184,33 \text{ mm}$$

#### Průměry valivých kružnic:

$$d_{w3} = d_3 \cdot \frac{\cos(\alpha t)}{\cos(\alpha t w_{34})} = 23,735 \cdot \frac{\cos(0,354)}{\cos(0,378)} = 23,954 \text{ mm}$$

$$d_{w4} = d_4 \cdot \frac{\cos(\alpha t)}{\cos(\alpha t w_{34})} = 23,735 \cdot \frac{\cos(0,354)}{\cos(0,378)} = 23,954 \text{ mm}$$

#### Průměry patních kružnic:

$$d_{f3} = d_3 - 2 \cdot m_{n34} \cdot (h_a^* - x_3 + c^*) = 38,57 \text{ mm}$$

$$d_{f4} = d_4 - 2 \cdot m_{n34} \cdot (h_a^* - x_4 + c^*) = 174,18 \text{ mm}$$

Na obrázku 20. je kontrola na ohyb a dotyk dle ISO 6336

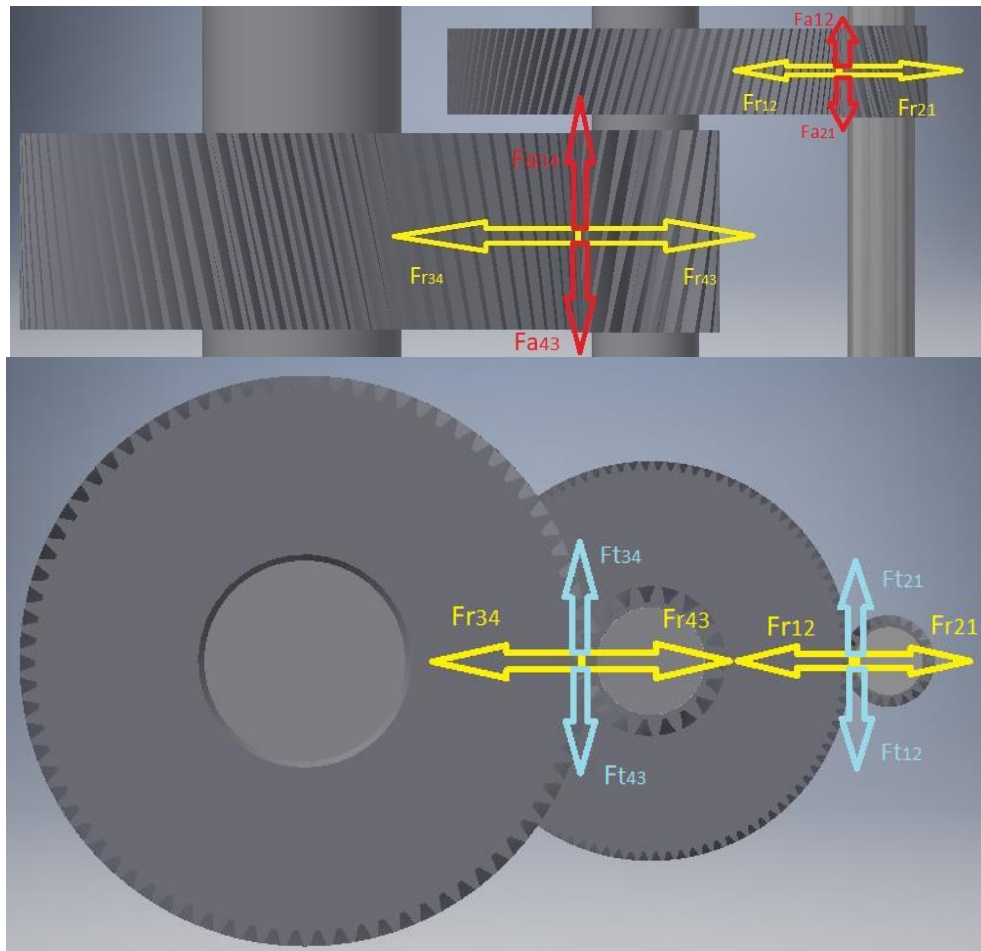
Kontrola ozubení dle ISO 6336			jednotky mm, Nmm, °, kW, Mpa, m.s <sup>-1</sup>					
		Roz.	kolo 1	kolo 2		kolo 1	kolo 2	
Z <sub>1</sub>	19	d	43,7051	179,421	σ <sub>Flim</sub>	700	700	
Z <sub>2</sub>	78	d <sub>a</sub>	48,7195	184,334	σ <sub>Hlim</sub>	1270	1270	
m <sub>n</sub>	2,25	d <sub>f</sub>	38,5733	174,188	Y <sub>Fa</sub>	2,624	2,19776	
x <sub>1</sub>	0,1096	d <sub>b</sub>	40,9612	168,157	Y <sub>sa</sub>	1,60707	1,79754	
x <sub>2</sub>	0,0872	d <sub>w</sub>	43,8827	180,15	Y <sub>ε</sub>	0,70414	0,70414	
α <sub>n</sub>	20	h <sub>a</sub>	2,50724	2,45684	Y <sub>β</sub>	0,9	0,9	
β	12	h <sub>f</sub>	2,5659	2,6163	F <sub>β</sub>	6	6	
a <sub>w</sub>	112,016	h	5,07314	5,07314	Y <sub>NX</sub>	1	1	
b <sub>1</sub>	63	s <sub>n</sub>	3,7138	3,67711	Z <sub>H1</sub>	2,41034	2,41034	
b <sub>2</sub>	60	s <sub>i</sub>	3,79677	3,75926	Z <sub>ε</sub>	189,8	189,8	
P	11	v <sub>n</sub>	3,35478	3,39147	Z <sub>ε</sub>	0,79345	0,79345	
n <sub>1</sub>	630,9	v <sub>t</sub>	3,42973	3,46724	Z <sub>β</sub>	0,98901	0,98901	
M <sub>k1</sub>	166496	α <sub>w</sub>	21,003		Z <sub>B</sub>	1	1	
v	1,44375				Z <sub>R,T</sub>	1	1	
u	4,10526				K <sub>A</sub>	1	1	
					K <sub>V</sub>	1,03023	1,03023	
Kontrolní rozměry					K <sub>Fα</sub>	1	1	
	1	2			K <sub>Fβ</sub>	1,5914	1,58823	
h <sub>k</sub>	1,91044	1,86594			K <sub>Hα</sub>	1	1	
s <sub>k</sub>	3,27937	3,27937	konst. tloušťka		K <sub>Hβ</sub>	1,65705	1,65705	
z'	3	10						
M/z	17,4121	65,854	přes zuby					
d	3,32115	3,32115			S <sub>F</sub>	2,97236	3,02773	
M/d	47,1748	182,946	přes kuličky		S <sub>H</sub>	1,42438	1,42438	

Obr.20.: Výpočty čelního ozubení dle ISO 6336 [Zdroj: [6]]



### 3.5.11. Určení silových účinků na ozubených kolech

Na obrázku 21 jsou zobrazeny reakce vznikající v soukolí.



Obr.21.: Reakce v ozubených soukolích [Zdroj: Autor]

**Tečné síly na ozubených kolech:**

$$F_{t12} = F_{t21} = \frac{2 \cdot M_{kI}}{d_1} = \frac{2 \cdot 35731,29}{0,027} = 2630 \text{ N}$$

$$F_{t34} = F_{t43} = \frac{2 \cdot M_{kII}}{d_3} = \frac{2 \cdot 163177,66}{0,043} = 7467 \text{ N}$$

**Axiální síly na ozubených kolech:**

$$F_{a12} = F_{a21} = F_{t12} \cdot \operatorname{tg}(\beta_{12}) = 2630 \cdot \tan 15^\circ = 705 \text{ [N]}$$

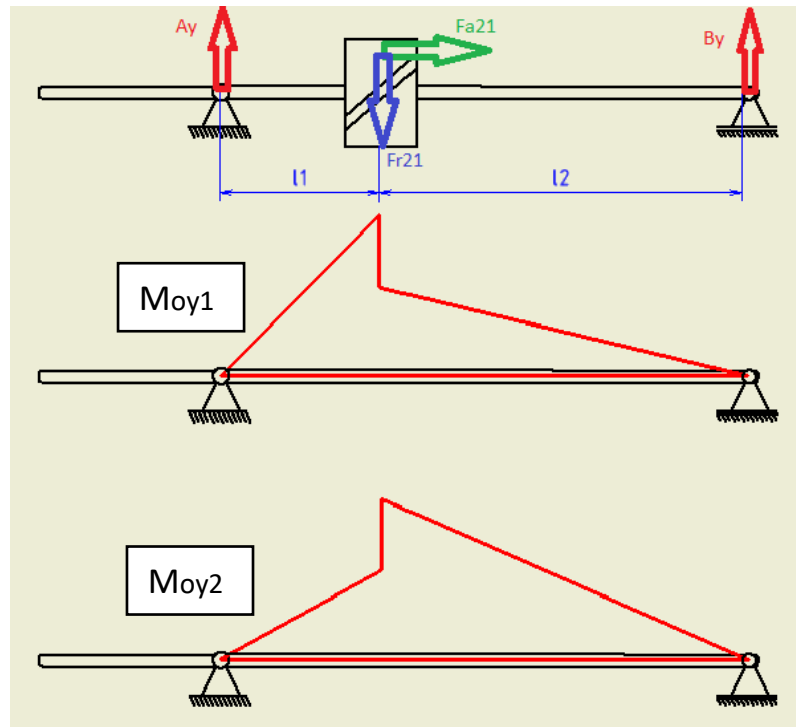
$$F_{a34} = F_{a43} = F_{t34} \cdot \operatorname{tg}(\beta_{34}) = 8140 \cdot \tan 12^\circ = 2001 \text{ N}$$

**Radiální síly na ozubených kolech:**

$$F_{r12} = F_{r21} = F_{t12} \cdot \frac{\tan \alpha}{\cos(\beta_{12})} = 2630 \cdot \frac{\tan 20^\circ}{\cos 15^\circ} = 991 \text{ N}$$

$$F_{r34} = F_{r43} = F_{t34} \cdot \frac{\tan \alpha}{\cos(\beta_{34})} = 8140 \cdot \frac{\tan 20^\circ}{\cos 12^\circ} = 2814 \text{ N}$$

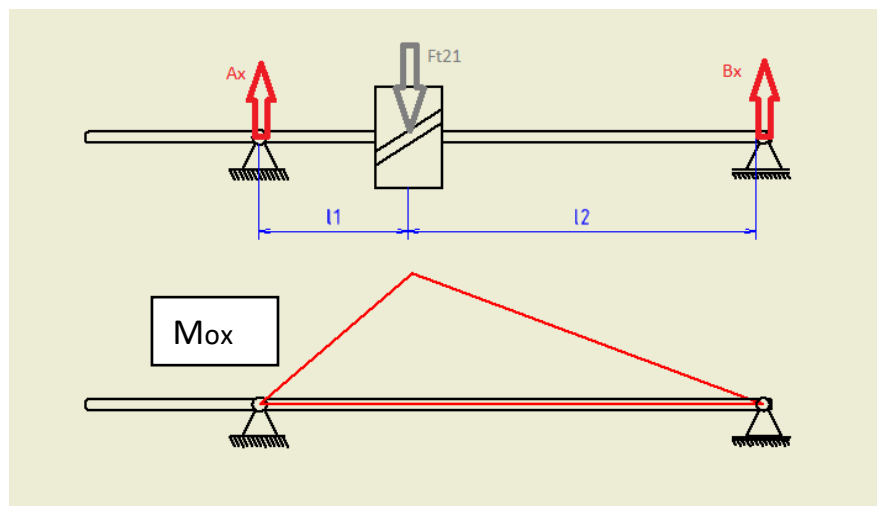
### 3.5.12. Určení silových účinků na hřídelích



Obr.22.: Reakce a Průběhy ohybových momentů pro oba směry otáčení v rovině  $F_r$  a  $F_a$  na první hřídeli [Zdroj: Autor]

$$A_y = \frac{-F_{a12} \cdot \frac{d_1}{2} + F_{r12} \cdot l_1}{l_1 + l_2} = \frac{-705 \cdot \frac{23,736}{2} + 991 \cdot 38,25}{38,25 + 115,25} = 309 \text{ N}$$

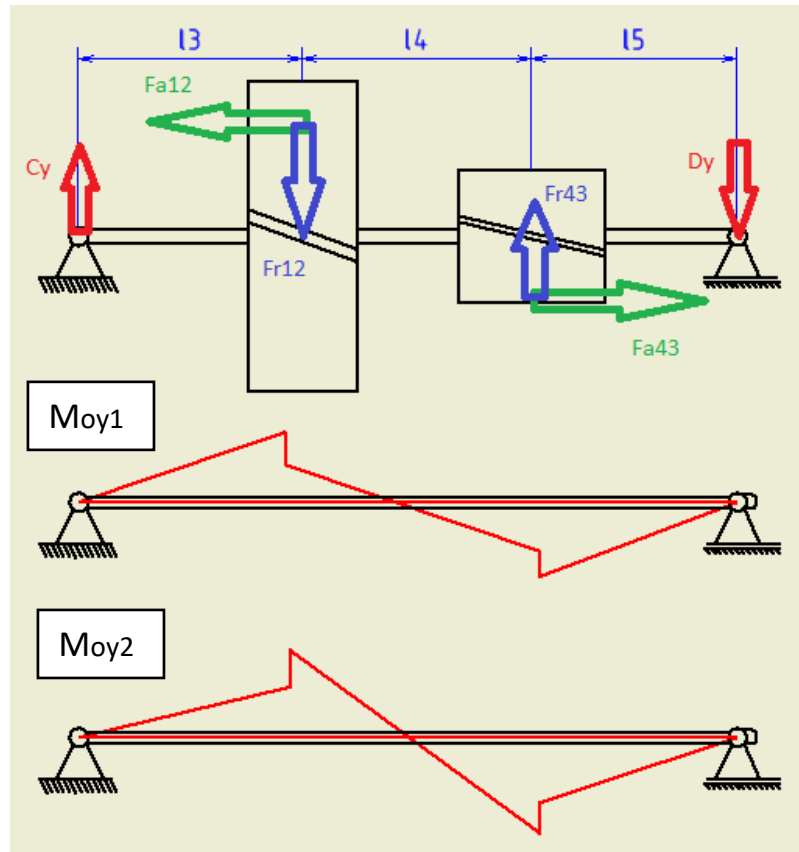
$$B_y = -A_y + F_{r12} = -309 + 991 = 682 \text{ N}$$



Obr. 23.: Reakce a průběh ohybového momentu v rovině  $F_t$  na hřídeli 1 [Zdroj: Autor]

$$B_x = \frac{F_{t12} \cdot l_1}{l_1 + l_2} = \frac{2630 \cdot 38,25}{38,25 + 115,25} = 655 \text{ N}$$

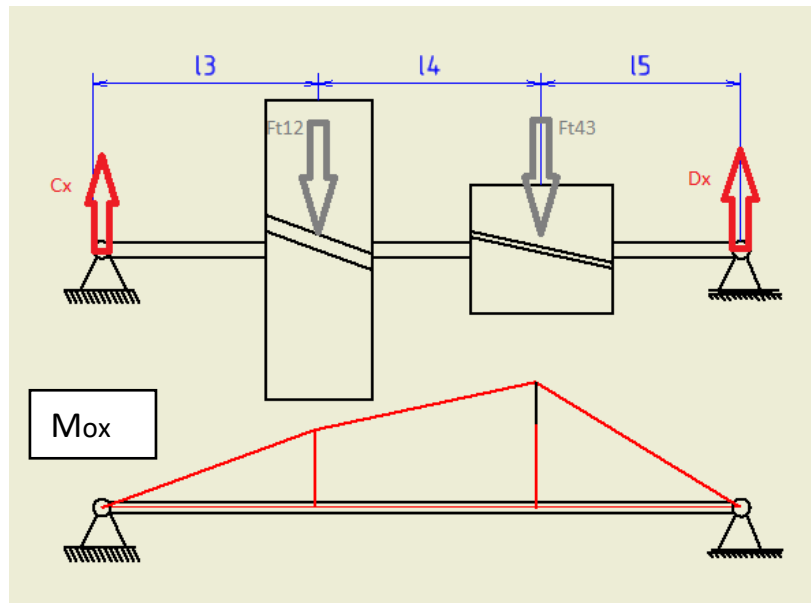
$$A_x = -B_x + F_{t12} = -665 + 2630 = 1974 \text{ N}$$



Obr.24.: Reakce a Průběhy ohybových momentů pro oba směry otáčení v rovině  $F_r$  a  $F_a$  na hřídeli 2 [Zdroj: Autor]

$$\begin{aligned}
 C_y &= \frac{F_{a34} \cdot \frac{d_3}{2} + F_{r34} \cdot (l_4 + l_3) - F_{r12} \cdot l_3 + F_{a12} \cdot \frac{d_2}{2}}{(l_3 + l_4 + l_5)} = \\
 &= \frac{2181 \cdot \frac{43,705}{2} + 3067 \cdot (58 + 37) - 991 \cdot 37 + 705 \cdot \frac{126,821}{2}}{(37 + 58 + 56)} = 942 \text{ N}
 \end{aligned}$$

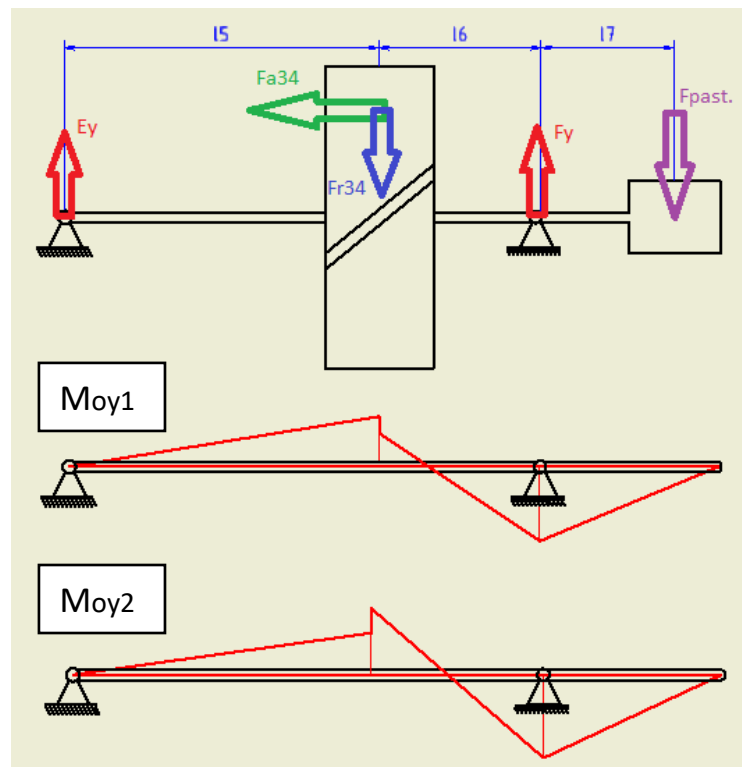
$$D_y = -D_y - F_{r12} + F_{r34} = -1075 - 991 + 3067 = 881 \text{ N}$$



Obr.25.: Reakce a průběh ohybového momentu v rovině  $F_t$  na hřídeli 2 [Zdroj: Autor]

$$D_x = \frac{F_{t12} \cdot l_3 + F_{t43} \cdot (l_4 + l_3)}{(l_3 + l_4 + l_5)} = \frac{2630 \cdot 37 + 7467 \cdot (58 + 37)}{(37 + 58 + 56)} = 5342 \text{ N}$$

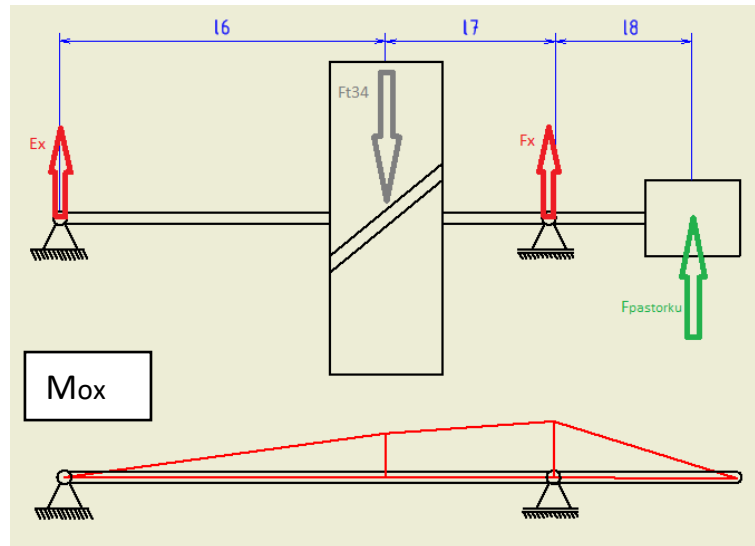
$$C_x = F_{t34} + F_{t12} - D_x = 7467 + 2630 - 5342 = 4755 \text{ N}$$



Obr.26.: Reakce a Průběhy ohybových momentů pro oba směry otáčení v rovině  $F_r$  a  $F_a$  [Zdroj: Autor]

$$E_x = \frac{F_{t34} \cdot l_7 + F_p \cdot l_8}{l_6 + l_7} = \frac{-8140 \cdot 79 + 21908.85}{118 + 79} = 34355 \text{ N}$$

$$F_x = -F_{t34} - E_x = -814 - 1523 = -26888 \text{ N}$$



Obr.27.: Reakce a průběh ohybového momentu v rovině  $F_t$  na hřídeli 3 [Zdroj: Autor]

$$F_y = \frac{-F_{a34} \cdot \frac{d_4}{2} + F_{r34} \cdot l_6 + F_p \cdot (l_6 + l_7 + l_8)}{l_6 + l_7} = \frac{- \cdot \frac{103,573}{2} - 1825 \cdot 65 + 3990 \cdot 50}{25 + 65} = 32135 \text{ N}$$

$$E_y = F_y - F_{r34} - F_p = 32135 - 2814 - 21152 = -7413 \text{ N}$$

Tab.7.: Reakce v ložiskách při 1. smyslu otáčení

$A_x$	$A_y$	$B_x$	$B_y$	$C_x$	$C_y$	$D_x$	$D_y$	$E_x$	$E_y$	$F_x$	$F_y$
1974	682	655	309	4755	881	5342	942	34355	7413	26888	32135

[Zdroj: autor]

Tab.8.: Reakce v ložiskách při 2. smyslu otáčení

$A_x$	$A_y$	$B_x$	$B_y$	$C_x$	$C_y$	$D_x$	$D_y$	$E_x$	$E_y$	$F_x$	$F_y$
1974	806	655	185	4755	-290	5342	2113	34355	10359	26888	29189

[Zdroj: autor]

### 3.5.13. Radiální síly v ložiskách:

$$F_{RB} = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} = \sqrt{665^2 + 309^2} = 2089 \text{ N}$$

$$F_{RA} = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} = \sqrt{1974^2 + 806^2} = 725 \text{ N}$$

$$F_{RC} = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} = \sqrt{4755^2 + 881^2} = 4835 \text{ N}$$

$$F_{RD} = \sqrt{D_x^2 + D_y^2} = \sqrt{5342^2 + 2113^2} = 5425 \text{ N}$$

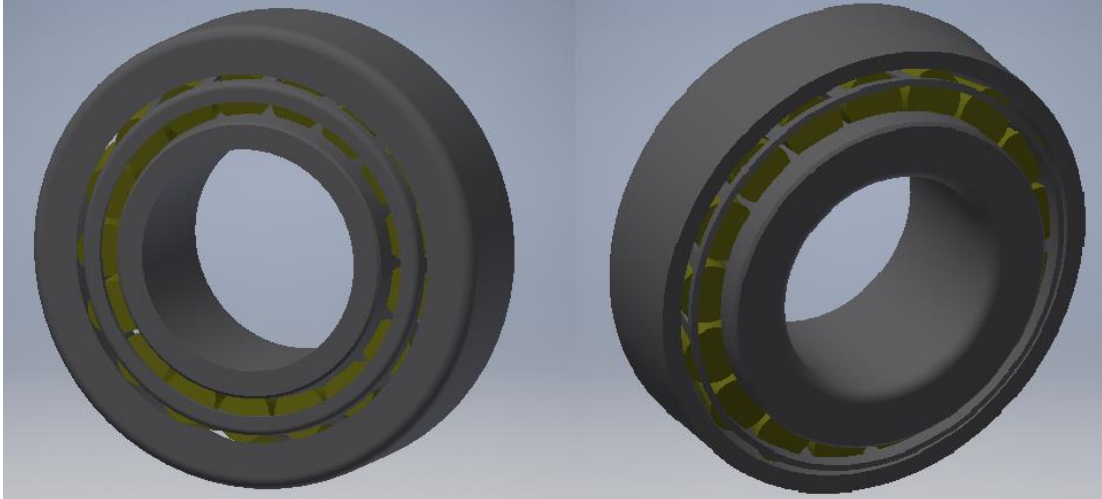
$$F_{RF} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(26888)^2 + (32135)^2} = 41901 \text{ N}$$

$$E_{RE} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \sqrt{34355^2 + 10359^2} = 35146 \text{ N}$$

### 3.5.14. Volba ložisek:

Volím kuželíková ložiska od výrobce kuželíkových ložisek SKF [7]

Hřídele jsou uloženy na kuželíkových ložiskách, ložiska na jedné hřídeli jsou volena stejného typu a velikost.



Obr.28.: 3D model kuželíkového ložiska SKF [Zdroj: Autor a [7]]

#### První hřídel:

#### **Kuželíková ložiska SKF – 12749**

Součinitel  $e = 0,4$

Radiální součinitel  $X = 0,4$

Axiální součinitel  $Y = 1,5$

Dynamická únosnost ložiska  $C = 41000 \text{ kN}$

Statická únosnost ložiska  $C_0 = 44000 \text{ kN}$

Vlastní vnitřní axiální síla ložiska v podpěře **A**:

$$F_{a(A)} = \frac{F_{r(A)}}{2.Y} = \frac{2089}{2.1,5} = 522,25 \text{ N}$$

Vlastní vnitřní axiální síla ložiska v podpěře **B**:

$$F_{a(B)} = \frac{F_{r(B)}}{2.Y} = \frac{725}{2.1,5} = 241,66 \text{ N}$$

**Ložisko A je uvolněné a ložisko B sevřené**

Výsledná síla:

$$F_V = F_{a(A)} + F_{a(B)} + F_a = 522,25 - 241,66 + 705 = 985,59 \text{ N}$$

### Výpočet ložiska v podpěře A:

$$F'_v(A) = F_{a(A)} = 522,25 \text{ N}$$

$$\frac{F'_v(A)}{F_{r(A)}} = \frac{522,25}{2089} = 0,26 < e = 0,4$$

$$X = 1 \quad Y = 0$$

$$F_{vyp} = X \cdot F_{r(A)} + Y \cdot F'_v(A) = 1 \cdot 2089 + 0 \cdot 522,25 = 2089 \text{ N}$$

$$C_{vyp} = F_{vyp} \cdot \sqrt[3]{\frac{n_1 \cdot L_h}{16666}} = C_{vyp} = 2089 \cdot \sqrt[3]{\frac{2940 \cdot 20000}{16666}} = 24221,5 \text{ N}$$

Vypočítané dynamické zatížení  $C_{vyp} = 24221,5 \text{ N} < \text{Dynamická únosnost ložiska } C = 41000 \text{ N}$

### Výpočtová ložiska v podpěře B:

$$F'_v(B) = F_{a(A)} + F_{a12} = 522,25 + 705 = 1227,25 \text{ N}$$

$$\frac{F'_v(B)}{F_{r(B)}} = \frac{1227,25}{725} = 1,72 > e = 0,4$$

$$X = 0,4, \quad Y = 1,5$$

Ekvivalentní dynamické zatížení

$$F_{vyp} = X \cdot F_{r(B)} + Y \cdot F'_v(B) = 0,4 \cdot 725 + 1,5 \cdot 1227,25 = 3346 \text{ N}$$

Vypočítané dynamické zatížení

$$C_{vyp} = F_{vyp} \cdot \sqrt[3]{\frac{n_1 \cdot L_h}{16666}} = C_{vyp} = 3346 \cdot \sqrt[3]{\frac{2940 \cdot 20000}{16666}} = 40187,6 \text{ N}$$

Vypočítané dynamické zatížení  $C_{vyp} = 40187,6 \text{ N} < \text{Dynamická únosnost ložiska } C = 41000 \text{ N}$

### Druhý hřídel:

#### **Kuželíková ložiska SKF – 48548**

Součinitel  $e = 0,4$

Radiální součinitel  $X = 0,4$

Axiální součinitel  $Y = 1,5$

Dynamická únosnost ložiska  $C = 58000 \text{ kN}$



Statická únosnost ložiska  $C_0 = 57000$  kN

Vlastní vnitřní axiální síla ložiska v podpěře **C**:

$$F_{a(C)} = \frac{F_{rC}}{2.Y} = \frac{4835}{2.1,5} = 1611,6 \text{ N}$$

Vlastní vnitřní axiální síla ložiska v podpěře **D**:

$$F_{a(D)} = \frac{F_{rD}}{2.Y} = \frac{5425}{2.1,5} = 1808,3 \text{ N}$$

**Ložisko D je uvolněné a ložisko C sevřené**

Výsledná síla:

$$F_V = F_{a(C)} + F_{a(D)} + F_a = 1808,3 - 1611,6 + 1296 = 1492,7 \text{ N}$$

**Výpočet ložiska v podpěře D:**

$$F'_V(D) = F_{a(D)} = 1808,3 \text{ N}$$

$$\frac{F'_V(D)}{F_{r(D)}} = \frac{1808,3}{5425} = 0,33 < e = 0,4$$

$$X = 1 \quad Y = 0$$

$$F_{vyp} = X \cdot F_{r(D)} + Y \cdot F'_V(D) = 1 \cdot 5425 + 0 \cdot 1808,3 = 5425 \text{ N}$$

$$C_{vyp} = F_{vyp} \cdot \sqrt[m]{\frac{n_2 \cdot L_h}{16666}} = C_{vyp} = 5425 \cdot \sqrt[3]{\frac{630,9 \cdot 20000}{16666}} = 39641 \text{ N}$$

Vypočítané dynamické zatížení  $C_{vyp} = 39641 \text{ N} < \text{Dynamická únosnost ložiska C} = 58000 \text{ N}$

**Výpočtová ložiska v podpěře C:**

$$F'_V(C) = F_{a(D)} + F_a = 1808,3 + 1296 = 3104,3 \text{ N}$$

$$\frac{F'_V(C)}{F_{r(C)}} = \frac{3104,3}{4835} = 0,641 > e = 0,4$$

$$X = 0,4, \quad Y = 1,5$$

Ekvivalentní dynamické zatížení:

$$F_{vyp} = X \cdot F'_V(C) + Y \cdot F_{r(C)} = 0,4 \cdot 4835 + 1,5 \cdot 3104,3 = 6590 \text{ N}$$

Vypočítané dynamické zatížení:

$$C_{vyp} = F_{vyp} \cdot \sqrt[m]{\frac{n_2 \cdot L_h}{16666}} = C_{vyp} = 6590 \cdot \sqrt[\frac{10}{3}]{\frac{630,9 \cdot 20000}{16666}} = 48154$$

Vypočítané dynamické zatížení  $C_{vyp} = 48154 \text{ N} < \text{Dynamická únosnost ložiska } C = 58000$

### Třetí hřídel:

#### **Kuželíková ložiska SKF – 33213**

Součinitel  $e = 0,4$

Radiální součinitel  $X = 0,4$

Axiální součinitel  $Y = 1,5$

Dynamická únosnost ložiska  $C = 239000 \text{ kN}$

Statická únosnost ložiska  $C_0 = 270000 \text{ kN}$

Vlastní vnitřní axiální síla ložiska v podpěře **E**:

$$F_{a(E)} = \frac{F_{rE}}{2 \cdot Y} = \frac{35146}{2 \cdot 1,5} = 11715,3 \text{ N}$$

Vlastní vnitřní axiální síla ložiska v podpěře **F**:

$$F_{a(F)} = \frac{F_{rF}}{2 \cdot Y} = \frac{41901}{2 \cdot 1,5} = 13967 \text{ N}$$

#### **Ložisko F je uvolněné a ložisko E sevřené**

Výsledná síla:

$$F_V = F_{a(E)} + F_{a(F)} + F_a = 13967 - 11715,3 + 2001 = 4252,7 \text{ N}$$

#### **Výpočet ložiska v podpěře F:**

$$F'_v(F) = F_{a(F)} = 11715,3$$

$$\frac{F'_v(F)}{F_{r(F)}} = \frac{11715}{41901} = 0,279 > e = 0,4$$

$$X = 1 \quad Y = 0$$

$$F_{vyp} = X \cdot F_{r(F)} + Y \cdot F'_v(F) = 1 \cdot 41901 + 0 \cdot 11715 = 41901 \text{ N}$$

$$C_{vyp} = F_{vyp} \cdot \sqrt[m]{\frac{n_3 \cdot L_h}{16666}} = C_{vyp} = 41901 \cdot \sqrt[\frac{10}{3}]{\frac{153,5 \cdot 20000}{16666}} = 200362 \text{ N}$$

Vypočítané dynamické zatížení  $C_{\text{vyp}} = 200362 \text{ N} < \text{Dynamická únosnost ložiska } C = 239000 \text{ N}$

### Výpočtová ložiska v podpěře E:

$$F'_v(E) = F_{a(F)} + F_{a34} = 11715,3 + 2001 = 13716,3 \text{ N}$$

$$\frac{F'_v(E)}{F_{r(E)}} = \frac{13716,3}{35146} = 0,39 < e = 0,4$$

$$X=1, Y = 0$$

Ekvivalentní dynamické zatížení

$$F_{\text{vyp}} = X \cdot F_{r(E)} + Y \cdot F'_v(E) = 1 \cdot 35146 + 0 \cdot 13716,3 = 35146 \text{ N}$$

Vypočítané dynamické zatížení

$$C_{\text{vyp}} = F_{\text{vyp}} \cdot \sqrt[m]{\frac{n_3 \cdot L_h}{16666}} = C_{\text{vyp}} = 35146 \cdot \sqrt[\frac{10}{3}]{\frac{153,5 \cdot 20000}{16666}} = 168061 \text{ N}$$

Vypočítané dynamické zatížení  $C_{\text{vyp}} = 168061 \text{ N} < \text{Dynamická únosnost ložiska } C = 239000 \text{ N}$

### 3.6. Kontrolní výpočty:

#### Hřídel 1:

$$M_{ox1} = A_x \cdot l_1 = -1974 \cdot 38,25 = -75519,17 \text{ Nmm}$$

$$M_{oy1} = B_y \cdot l_2 = 309 \cdot 115,25 = 35644,78 \text{ Nmm}$$

$$M_{kl} = 35731,29 \text{ Nmm}$$

$$M_{ored1} = \sqrt{M_{ox}^2 + M_{oy}^2 + M_{kl}^2} = \sqrt{(-75519,17)^2 + 35644,78^2 + 35731,29^2}$$

$$= 79057,5 \text{ N.mm}$$

$$W_{o1} = \frac{\pi \cdot d_1^3}{32} = \frac{\pi \cdot 22^3}{32} = 1045,365 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{ored} = \frac{M_{ored}}{W_o} = \frac{79057,5}{1045,36} = \underline{\underline{75,62 \text{ N/mm}^2}} \leq \sigma_{oD} = 80 - 90 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

#### Hřídel 2:

$$M_{ox2} = D_x \cdot l_3 = 5342 \cdot 37 = 197663,8 \text{ Nmm}$$

$$M_{oy2} = D_y \cdot l_3 = 881 \cdot 37 = 34853,18 \text{ Nmm}$$

$$M_{klI} = 163177,667 \text{ Nmm}$$

$$M_{ored2} = \sqrt{M_{ox}^2 + M_{oy}^2 + M_{klI}^2} = \sqrt{197663,8^2 + 34853,18^2 + 163177^2}$$

$$= 245470,8 \text{ Nmm}$$

$$W_{o2} = \frac{\pi \cdot d_2^3}{32} = \frac{\pi \cdot 35^3}{32} = 4209,23 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{ored} = \frac{M_{ored}}{W_o} = \frac{245470,8}{4209,24} = \underline{\underline{70 \text{ N/mm}^2}} \leq \sigma_{oD} = 80 - 90 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

### Hřídel 3:

$$M_{ox3} = F_x \cdot l_6 = 4876 \cdot 118 = 575353,3 \text{ Nmm}$$

$$M_{oy3} = F_y \cdot l_8 = -33109 \cdot 85 = 1797892 \text{ Nmm}$$

$$M_{kIII} = 657247 \text{ Nmm}$$

$$M_{ored3} = \sqrt{M_{ox}^2 + M_{oy}^2 + 0,75 \cdot M_{kIII}^2} = \sqrt{-575353,3^2 + 1797892^2 + 634550,2^2}$$

$$= 3722705 \text{ Nmm}$$

$$W_{o3} = \frac{\pi \cdot d_3^3}{32} = \frac{\pi \cdot 80^3}{32} = 50265,48 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{ored} = \frac{M_{ored}}{W_o} = \frac{3722705}{26961} = \underline{75,2 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{oD} = 80 - 90 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \text{vyhovuje}}$$

### Návrh per na hřídelích:

#### Hřídel 2 – kolo

$$d_{H2} = 35 \text{ mm}$$

$$b_2 = 10 \text{ mm}$$

$$h_2 = 8 \text{ mm}$$

$$l_{p2} = 20 \text{ mm}$$

$$l_{a2} = l - b = 10 \text{ mm}$$

$$n_2 = 2$$

$$p_2 = \frac{4 \cdot M_{kII}}{n_2 \cdot d_{H2} \cdot l_{a2} \cdot h_2} = \frac{4 \cdot 163177}{2 \cdot 35 \cdot 10 \cdot 8} = \underline{116,55 \text{ N/mm}^2 \leq p_D = 120 \text{ N/mm}^2}$$

#### Hřídel 3 – kolo

$$d_{H4} = 80 \text{ mm}$$

$$b_4 = 22 \text{ mm}$$

$$h_4 = 14 \text{ mm}$$

$$l_{p4} = 56 \text{ mm}$$

$$l_{a4} = l - b = 34 \text{ mm}$$

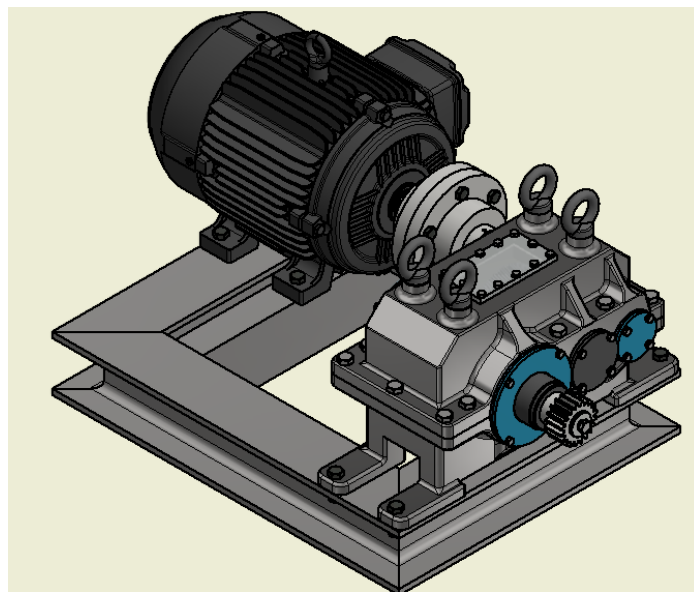
$$n_4 = 1$$

$$p_4 = \frac{4 \cdot M_{kIII}}{n_4 \cdot d_{H4} \cdot l_{a4} \cdot h_4} = \frac{4 \cdot 657247}{1 \cdot 80 \cdot 34 \cdot 14} = \underline{80,5 \text{ N/mm}^2 \leq p_D = 120 \text{ N/mm}^2}$$

#### 4. Závěr:

Z teoretické části bakalářské práce je zřejmé, že posuvné kryty jsou využívány v mnoha oblastech průmyslu a lidského života, také vyplývá, že je mnoho způsobů jak zkonstruovat a navrhnout posuvný kryt, ať už jde o jeho pohon, konstrukci či lineární vedení. Rozmanitost možných řešení je veliká.

Byly splněny všechny cíle práce. Prvním cílem této bakalářské práce bylo navrhnout pohon posuvného krytu, ten je navržen tak aby byl schopen reálného provozu. Při návrhu jsem postupoval určením základních parametrů. Pokračoval jsem návrhem čelního soukolí, kde jsem se zaměřil na dodržení všech kontrolních výpočtů. Dále jsem vypočítal síly vznikající v čelních ozubeních a následně jsem také vypočítal reakce ve všech ložiskách a pak jsem pomocí těchto reakcí vypočítal požadovanou životnost ložisek. Jako poslední krok jsem provedl statické kontroly hřídelí a per. Všechny kontroly byly vyhovující.

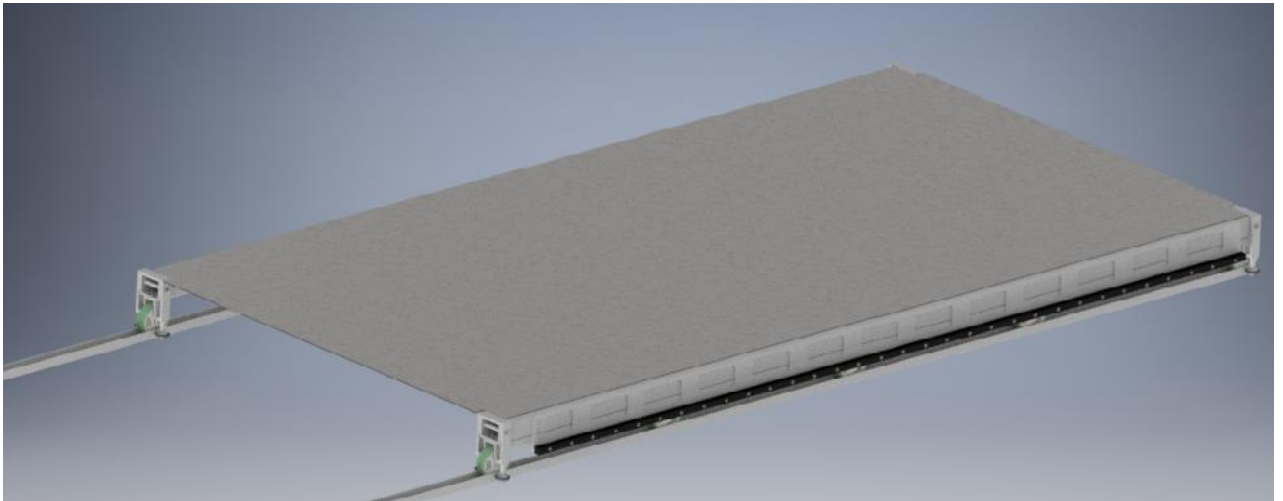


*Obr.29.: 3D model pohonného mechanismu [Zdroj: Autor ]*

Druhým cílem této bakalářské práce bylo vytvořit návrh svařované konstrukce posuvného krytu a převodovky. Vytvořil jsem 3D model konstrukce krytu viz obr. 30 a pohonu viz obr. 29 a dále jsem řešil připojení pohonu ke krytu.

Posledním krokem bylo vytvoření 2D výkresové dokumentace převodovky, posuvného krytu a výkresu sestavy krytu, pohonného mechanismu.

Na obr. 30 je zkonstruovaný posuvný kryt který byl cílem této bakalářské práce.



*Obr...: 3D model posuvného krytu[Zdroj: Autor ]*

## 5. Seznam použitých veličin

$M_{km}$	[N·mm]	jmenovitý moment vyvozený motorem
$M_{k1}$	[N·mm]	kroučící moment na hřídeli I
$M_{k2}$	[N·mm]	kroučící moment na hřídeli II
$M_{k3}$	[N·mm]	kroučící moment na hřídeli III
$P_m'$	[W]	předběžný výkon elektromotoru
$P_m$	[W]	jmenovitý výkon elektromotoru
$n_{III}$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky výstupního hřídele převodovky
$n_{III}$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky výstupního hřídele převodovky
$n_{III}$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky výstupního hřídele převodovky
$i_c$	[1]	celkový převodový poměr
$i_p$	[1]	převodový poměr samotné převodovky
$i_p'$	[1]	reálný převodový poměr samotné převodovky
$i_{12}$	[1]	převodový poměr soukolí 1,2
$i_{34}$	[1]	převodový poměr soukolí 3,4
$\tau_1$	[N/mm <sup>2</sup> ]	dovolené napětí ve smyku hřídele I
$\tau_2$	[N/mm <sup>2</sup> ]	dovolené napětí ve smyku hřídele II
$\tau_3$	[N/mm <sup>2</sup> ]	dovolené napětí ve smyku hřídele III
$d_I'$	[mm]	předběžný minimální průměr hřídele I
$d_{II}'$	[mm]	předběžný minimální průměr hřídele II
$d_{III}'$	[mm]	předběžný minimální průměr hřídele III
$D_I$	[mm]	průměr vstupní hřídele
$D_{II}$	[mm]	průměr prostřední hřídele
$D_{III}$	[mm]	průměr výstupní hřídele
$K_F$	[1]	únavový vrubový součinitel
$K_{H\beta}$	[1]	součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce
$b_{WF/mn}$	[1]	poměrná šířka
$z_1$	[1]	počet zubů 1. pastorku (ozubeného kola 1)



$z_2$	[1]	počet zubů ozubeného kola 2
$z_3$	[1]	počet zubů 2. pastorku (ozubeného kola 3)
$z_4$	[1]	počet zubů ozubeného kola 4
$\beta_{12}$	[°]	úhel sklonu zubů soukolí 1,2
$\beta_{34}$	[°]	úhel sklonu zubů soukolí 3,4
$\alpha$	[°]	úhel záběru nástroje ozubení
$l_m$	[ mm]	délka konce výstupního hřídele elektromotoru
$\eta_{12}$	[1]	účinnost na soukolí 12
$\eta_{34}$	[1]	účinnost na soukolí 34
$d_3$	[ mm]	roztečná kružnice 3 kola (pastorku)
$d_4$	[ mm]	roztečná kružnice 4 kola
$d_{a1}$	[ mm]	hlavová kružnice 1. kola (pastorku)
$d_{a2}$	[ mm]	hlavová kružnice 2 kola
$d_{a3}$	[ mm]	hlavová kružnice 3 kola (pastorku)
$d_{a4}$	[ mm]	hlavová kružnice 4 kola
$d_{w1}$	[ mm]	valivá kružnice 1. kola (pastorku)
$d_{w2}$	[ mm]	valivá kružnice 2. kola
$d_{w3}$	[ mm]	valivá kružnice 3. kola (pastorku)
$d_{w4}$	[ mm]	valivá kružnice 4 kola
$d_{f1}$	[ mm]	patní kružnice 1. kola (pastorku)
$d_{f2}$	[ mm]	patní kružnice 2. kola
$d_{f3}$	[ mm]	patní kružnice 3. kola (pastorku)
$d_{f4}$	[ mm]	patní kružnice 4. kola
$aw_{12}'$	[ mm]	osová vzdálenost pro 1. soukolí
$aw_{34}'$	[ mm]	osová vzdálenost pro 2. soukolí
$F_{t12}$	[ N]	tečná síla působící na soukolí 12
$F_{t34}$	[ N]	tečná síla působící na soukolí 34
$F_{a12}$	[ N]	axiální síla působící na soukolí 12
$F_{a34}$	[ N]	axiální síla působící na soukolí 34
$F_{r12}$	[ N]	radiální síla působící na soukolí 12
$F_{r34}$	[ N]	radiální síla působící na soukolí 34

$F_b$	[N]	radiální síla působící na pastorku
$A_y$	[N]	reakce v podpoře A do osy y
$B_y$	[N]	reakce v podpoře B do osy y
$B_x$	[N]	reakce v podpoře B do osy x
$A_x$	[N]	reakce v podpoře A do osy x
$D_y$	[N]	reakce v podpoře D do osy y
$C_y$	[N]	reakce v podpoře C do osy y
$D_x$	[N]	reakce v podpoře D do osy x
$C_x$	[N]	reakce v podpoře C do osy x
$F_x$	[N]	reakce v podpoře F do osy x
$E_x$	[N]	reakce v podpoře E do osy x
$F_y$	[N]	reakce v podpoře F do osy y
$E_y$	[N]	reakce v podpoře E do osy y
$l_1$	[ mm]	vzdálenost středu ložiska A od poloviny šířky pastorku 1
$l_2$	[ mm]	vzdálenost středu ložiska B od poloviny šířky pastorku 1
$l_3$	[ mm]	vzdálenost středu ložiska D od poloviny šířky kola 2
$l_4$	[ mm]	vzdálenost mezi polovinami šířek kola 2 a pastorku 3
$l_5$	[ mm]	vzdálenost středu ložiska C od poloviny šířky kola 2
$l_6$	[ mm]	vzdálenost středu ložiska E od poloviny šířky kola 4
$l_7$	[ mm]	vzdálenost středu ložiska F od poloviny šířky kola 4
$l_8$	[ mm]	vzdálenost středu ložiska F od výslednice působení na pastorku
$F_{RB}$	[N]	radiální výsledná reakce v podpoře B
$F_{RA}$	[N]	radiální výsledná reakce v podpoře A
$F_{RC}$	[N]	radiální výsledná reakce v podpoře C
$F_{RD}$	[N]	radiální výsledná reakce v podpoře D
$F_{RF}$	[N]	radiální výsledná reakce v podpoře F
$F_{RE}$	[N]	radiální výsledná reakce v podpoře E
$M_{ox1}$	[N·mm]	maximální ohybový moment v rovině xz na hřídeli I
$M_{oy1}$	[N·mm]	maximální ohybový moment v rovině yz na hřídeli I

$M_{ox2}$	[N·mm]	maximální ohybový moment v rovině xz na hřídeli II
$M_{oy2}$	[N·mm]	maximální ohybový moment v rovině yz na hřídeli II
$M_{ox3}$	[N·mm]	maximální ohybový moment v rovině xz na hřídeli III
$M_{oy3}$	[N·mm]	maximální ohybový moment v rovině yz na hřídeli III
$M_{ored1}$	[N·mm]	maximální redukovaný moment na hřídeli I
$M_{ored2}$	[N·mm]	maximální redukovaný moment na hřídeli II
$M_{ored3}$	[N·mm]	maximální redukovaný moment na hřídeli III
$W_{o1}$	[mm <sup>3</sup> ]	modul průřezu v místě redukovaného momentu na hřídeli I
$W_{o2}$	[mm <sup>3</sup> ]	modul průřezu v místě redukovaného momentu na hřídeli II
$W_{o3}$	[mm <sup>3</sup> ]	modul průřezu v místě redukovaného momentu na hřídeli III
$d_{H2}$	[mm]	Průměr hřídele pod kolem 2
$b_2$	[mm]	šířka pera pod kolem 2
$h_2$	[mm]	výška pera pod kolem 2
$l_{p2}$	[mm]	délka pera pod kolem 2
$l_{a2}$	[mm]	Účinná délka pera pod kolem 2
$n_2$	[1]	počet per pod kolem 2
$p_2$	[N/mm <sup>2</sup> ]	tlak na pero pod kolem 2
$d_{H4}$	[mm]	Průměr hřídele pod kolem 4
$b_4$	[mm]	šířka pera pod kolem 4
$h_4$	[mm]	výška pera pod kolem 4
$l_{p4}$	[mm]	Délka pera pod kolem 4
$l_{a4}$	[mm]	Účinná délka pera pod kolem 4
$n_4$	[1]	počet per pod kolem 4
$p_4$	[N/mm <sup>2</sup> ]	tlak na pero pod kolem 4

## Seznam použité literatury

- [1] SKF. SE-415 15, Göteborg, Švédsko. SKF , [online], [cit. 2015-05-20]  
<http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deepgroove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/singlerow/index.html>
- [2] ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů, spoje a části spojovací, Praha, ČVUT, 2008, ISBN 978-80-01-04138-3
- [3] ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů, mechanické převody, Praha, ČVUT, 2003, ISBN 80-01-01934-9
- [4] KUGL, O.; HOUKAL, J.; TOMEK, P.; ZÝMA, J.: Projekt - III. ročník, ČVUT, Praha, 2005, ISBN 80-01-03205-1
- [5] BUREŠ, Miroslav. Návrh a pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol [online]. Liberec, 2006 [cit. 2015-05-20]
- [6] Výpočet čelního ozubení dle ČSN ISO 6336. Celní ozubeni.xls [online]. [cit. 2015-05-20]. <https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12113/www/Skripta/soubstah.htm>
- [7] Výrobky SKF pro přenos výkonu, [online], [cit. 2015-05-20]  
[http://www.skf.com/binary/tcm:54-139508/11015\\_2\\_CS\\_tcm\\_54-139508.pdf](http://www.skf.com/binary/tcm:54-139508/11015_2_CS_tcm_54-139508.pdf)
- [8] DRASTÍK, František. Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu. 2. dopl. vyd. Ostrava: Montanex, 1999, 722 s. ISBN 80-857-8095-X.
- [9] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, xiv, 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [10] SKF. SE-415 15, Göteborg, Švédsko. SKF , [online], [cit. 2015-05-20]  
<http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deepgroove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/singlerow/index.html>

### Internetové zdroje

- [11] <https://www.blommaertalu.com> [online]. 2018 [cit. 2018-01-04].  
Dostupné z WWW: <https://www.blommaertalu.com/en/products-for-the-shipping-industry/slide-hatches>
- [12] <http://www.ttsgroup.com> [online]. 2018 [cit. 2018-01-04]. Spol. s r. o.  
Dostupné z WWW: <http://www.ttsgroup.com/print.aspx?pageID=766>
- [13] [www.nauticexpo.com](http://www.nauticexpo.com) [online]. 2018 [cit. 2018-01-04]. Spol. s r. o.  
Dostupné z WWW: <http://www.nauticexpo.com/boat-manufacturer/sliding-hatch-cover-28702.html>
- [14] [www.brakelatmos.com](http://www.brakelatmos.com) 2018 [cit. 2018-01-04]. Spol. s r. o.  
Dostupné z WWW: [https://www.brakelatmos.com/downloads/22\\_productphotos](https://www.brakelatmos.com/downloads/22_productphotos)
- [15] <http://www.cncshop.cz/> [online]. 2018 [cit. 2018-01-04]. Spol. s r. o. dostupné na  
WWW [http://www.cncshop.cz/ozubene-hrebeny-kola\\_](http://www.cncshop.cz/ozubene-hrebeny-kola_)
- [16] [B.cz](http://www.b.cz) [online]. 2018 [cit. 2018-01-04]. Spol. s r. o.  
Dostupné z WWW: <https://www.msv-vytahy.cz/galerie>
- [17] [B.cz](http://www.b.cz) [online]. 2018 [cit. 2018-01-04]. Spol. s r. o.  
Dostupné z WWW: <http://dlmarine.com/6-1-hydraulic-sliding-watertight-door/>
- [18] [www.brakelatmos.com](http://www.brakelatmos.com) 2018 [cit. 2018-01-04].  
Dostupné z WWW: [https://www.brakelatmos.com/downloads/22\\_productphotos](https://www.brakelatmos.com/downloads/22_productphotos)
- [19] [www.northeastautomation.co.uk](http://www.northeastautomation.co.uk) [cit. 2018-01-04].  
Dostupné z WWW: <http://www.northeastautomation.co.uk/sliding-roofs.php>
- [20] [www.msv-vytahy.cz/](http://www.msv-vytahy.cz/): 2018 [cit. 2018-01-04]. Spol. s r. o.  
Dostupné z WWW: <https://www.msv-vytahy.cz/galerie>
- [21] [www.macgregor.com](http://www.macgregor.com) 2018 [cit. 2018-01-04].  
Dostupné z WWW: <https://www.macgregor.com/Products-solutions/products/hatch-covers/side-rolling-hatch-covers/>
- [22] [www.dlmarine.com](http://www.dlmarine.com) 2018 [cit. 2018-01-04].  
Dostupné z WWW: <http://dlmarine.com/6-1-hydraulic-sliding-watertight-door/>
- [23] [www.blog.misumiusa.com](http://www.blog.misumiusa.com) [cit. 2018-01-04].

- Dostupné z WWW: <http://blog.misumiusa.com/strengths-limitations-belt-drive-vs-ball-screw-actuators/>
- [24] [www.yatesind.com](http://www.yatesind.com) [cit. 2018-01-04].  
Dostupné z WWW: <https://yatesind.com/newcylinders/nfpatierod/h4-medium-duty-hydraulic-cylinders>
- [25] [www.jacksongolfclub.com](http://www.jacksongolfclub.com) [cit. 2018-01-04].  
Dostupné z WWW: <https://www.jacksongolfclub.com/rN5m-7493/to-build-deck-7499/>
- [26] [www.pksevis.com](http://www.pksevis.com) [cit. 2018-01-04].  
Dostupné z WWW: <http://www.pksevis.com/cz/linearni-vedeni/kompletni-sortiment-linearniho-vedeni>
- [27] [www.linearni-vedeni.com](http://www.linearni-vedeni.com) [cit. 2018-01-04]. s.r.o  
Dostupné z WWW: <http://www.linearni-vedeni.com/cz/linearni-vedeni-alulineartechnik-ag-linearni-vedeni-alulineartechnik-ag>
- [28] [www.betz.cz](http://www.betz.cz) [cit. 2018-01-04].  
Dostupné z WWW: <http://www.betz.cz/linearni-prvky/23-franke/franke-clanky>
- [29] [www.linearni-technika.cz](http://www.linearni-technika.cz) [cit. 2018-01-04]. s.r.o  
Dostupné z WWW: <http://www.linearni-technika.cz/products>
- [30] [www.excelite-enclosure.com](http://www.excelite-enclosure.com) [cit. 2018-01-04].  
Dostupné z WWW: <https://www.excelite-enclosure.com/swimming-pool-covers/sliding-deck-pool-covers-5/>
- [31] [www.kari-site-roxory.cz](http://www.kari-site-roxory.cz) [cit. 2018-01-04]. s.r.o  
Dostupné z WWW: <https://www.kari-site-roxory.cz/hutni-material/eshop/5-1-U-profilu>
- [32] <https://www.dum-kolecek.cz> [cit. 2018-01-04]. s.r.o  
Dostupné z WWW: <https://www.dum-kolecek.cz/tezkotonazni-kola/c233>

## Seznam příloh

Příloha 1 : Výkres sestavy převodovky

Příloha 2 : Výkres sestavy svařované konstrukce krytu

Příloha 3: Výkres sestavy pohonu posuvného krytu

Příloha 4: Výkres axiálního vedení krytu.

Příloha 5: Výkres Sestavy posuvného krytu

## SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>ISO 9001</i>	<i>Certifikát prokazující, že společnost má zavedený systém řízení ve shodě s požadavky této normy</i>
<i>ISO 14001</i>	<i>Certifikát prokazující, že systém řízení společnosti v oblasti životního prostředí je ve shodě s požadavky této normy</i>
<i>OHSAS 18001</i>	<i>Certifikát potvrzující, že systém řízení společnosti v oblasti bezpečnosti práce je ve shodě s požadavky této normy</i>