

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Oldřich KRIGL**
Osobní číslo: **S09B0068K**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **Konstrukce průmyslové techniky**
Název tématu: **Hlavní pohon pro soustruhy**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Vypracování řešerše v dané oblasti. Zpracování tematiky z hlediska principů, srovnání jednotlivých koncepcí, konstrukčních provedení, užitných vlastností a aplikací.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování konstrukčního návrhu včetně systémové specifikace požadavků a variant koncepčních návrhů, výběr optimálního řešení.
2. Zajištění klíčových vlastností konstrukčního návrhu s potřebnými technickými výpočty a hodnocením.
3. Vypracování potřebné technické dokumentace a technologického postupu.
4. Komplexní hodnocení navrženého řešení.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

LEINVEBE, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky. PRAHA: Albra, 2006*

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra: obecné strojní části 1. PRAHA: Computer Press, 2000*

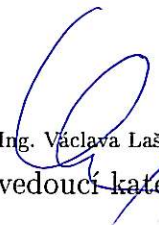
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Jaroslav Krátký, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Jaroslav Krátký, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2011

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení KRIGL	Jméno Oldřich		
STUDIJNÍ OBOR	Konstrukce průmyslové techniky			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Krátký PhD.	Jméno Jaroslav		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Hlavní pohon soustruhu			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	79	TEXTOVÁ ČÁST	47	GRAFICKÁ ČÁST	32
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce se zabývá návrhem hlavního pohonu pro soustruh. Od výběru motoru přes návržení jednotlivých převodových stupňů, ozubených soukolí až k návržení příslušného hřídele. Řešení bylo navrženo do kinetického schématu a veškeré výpočty byly překontrolovány pomocí softwaru PREV. Zpracováním bakalářské práce mi pomohlo si rozšířit znalosti o funkčnosti převodovky.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">soustruh, převodovka, motor, otáčky, namáhání, převody, točivý moment, CAD, PREV</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Krigl	Name Oldřich	
FIELD OF STUDY	Design of manufacturing machines and equipment		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Krátký PhD.	Name Jaroslav	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Main propulsion system for lathes		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2012
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	79	TEXT PART	47	GRAPHICAL PART	32
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The subject of the bachelor's thesis is proposal for main propulsion system for lathes. It describes the engine selection followed by proposal of individual gears and train of gears, leading to particular shaft proposal. Solution was designed into kinetic chart and all calculations were checked by PREV software. Work on this bachelor's thesis helped me to gain more experiences and increased my knowledge about the propulsion system and its mechanism.</p>
KEY WORDS	<p>Lathe, transmission, propulsion system, engine, revolution, straining, revolving moment, CAD, PREV</p>

Obsah

Prohlášení o autorství	1
Obsah	6
1 Úvod	9
1.1 Co je to soustruh	9
1.2 Základní soustružnické operace	9
1.3 Soustruhy dělíme	10
1.4 Parametry	10
2 Hlavní části soustružnického pracoviště	11
2.1 Pohon soustruhu	11
2.2 Posuvová skříň	12
2.3 Rám	12
2.4 Vřeteník	13
2.5 Lože	13
2.6 Suport	14
2.7 Koník	16
2.8 Opěra (luneta)	16
2.9 Pohyblivé vedení	17
3 Pohon	18
3.1 Motor	18
3.1.1 Synchronní motor	18
3.1.2 Asynchronní motor jednofázový	19
3.1.3 Asynchronní motor trojfázový	19
3.2 Převodovka	20
3.3 Výstupní člen	21
4 Teorie výpočtu	23
5 Návrh pohonu soustruhu	28
5.1 Zadání	28
5.2 Vypracování	28
5.2.1 Volba elektromotoru	28
5.2.2 Výpočet krouticího momentu	28
5.2.3 Výpočet regulačního rozsahu elektromotoru a počet stupňů převodovky	28
5.2.4 Diagram elektromotoru	29
5.2.5 Diagram výstupního členu	29
5.2.6 Navržení jednotlivých převodových poměrů	30
5.2.7 Výpočet převodových poměrů jednotlivých stupňů	32

5.2.8	Volba počtu zubů jednotlivých kol.....	32
5.2.9	Výpočet dílčích převodových poměrů	32
5.2.10	Výpočet dílčích krouticích momentů a otáček.....	33
5.2.11	Výpočet jednotlivých modulů.....	37
5.2.12	Kontrolní pevnostní výpočty	38
6	Závěr	44
7	Použitá literatura	45
7.1	Knižní publikace	45
7.2	Učební texty	45
7.3	Publikace na internetu	45
8	Seznam příloh	47

Důležité fyzikální veličiny a jejich jednotky

- výběr z ČSN ISO 31-0 01 1300 až ČSN ISO 31-4 01 1300 [Veličiny 1994]
- výběr z dalších zdrojů a konvencí

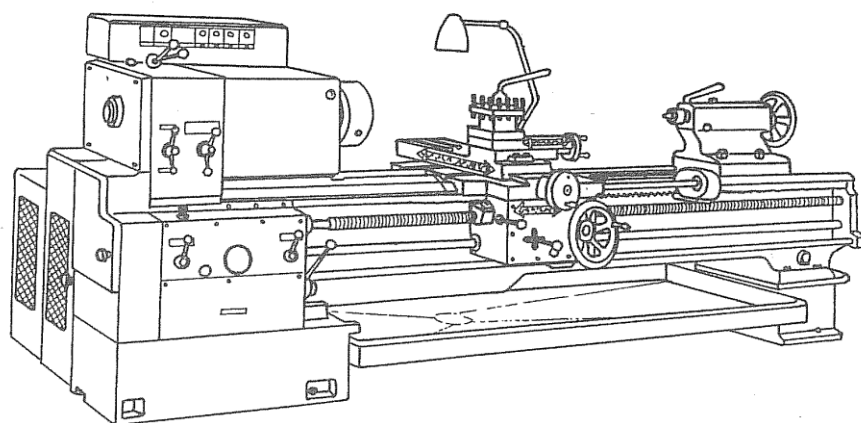
NÁZEV VELIČINY	Obecně		Doporučeno pro FST	
	ZNAČKA VELIČINY	MEZIN. ZNAČKA JEDNOTKY SI vč. jejich dekadických násobků/dílů a uznané CIPM	ZNAČKA VELIČINY	MEZIN. ZNAČKA JEDNOTKY SI, dekadické nás./díly SI a uznané CIPM
Část 1: Prostor a čas ČSN ISO 31-1 01 1300 (výběr)				
úhel, (rovinný úhel)	α, β, γ ϑ, φ	rad ° , ' , ''	α, β, γ $\vartheta, \varphi, \dots$	rad ° (na desetinná místa)
délka	l, L	m	$l, L,$ $a, b, c, d \dots$	mm, m, μm , km
šířka	b		b, B, \dots	
výška	h		h, H, \dots	
tloušťka	d, δ		t, \dots	
poloměr	r, R		r, R	
průměr	d, D		d, D	
délka dráhy	s		s, \dots	
vzdálenost	d, r		$l, L,$ $a, b, c, d \dots$	
kartézské souřadnice	x, y, z		x, y, z	
poloměr křivosti	ρ		ρ	
plocha	$A, (S)$	m^2	S	mm^2, m^2
objem	V	m^3	V	mm^3, m^3
čas, čas. interval, trvání	t	s, min, h, d	t	s, min, h, d, rok
úhlová rychlost	ω	rad/s	ω	rad/s
úhlové zrychlení	α	rad/s ²	α	rad/s ²
rychlost, složky rychlosti	$v, c,$ u, v, w	m/s	v	m/s, m/min, mm/min, km/h
zrychlení	a	m/s ²	a	m/s ²
(zrychlení volného pádu), gravitační zrychlení	g	m/s ²	g	m/s ²
Část 2: Periodické a příbuzné jevy ČSN ISO 31-2 01 1300 (výběr)				
perioda, doba kmitu	T	s	T	s
kmitočet, frekvence	f	Hz	f	Hz
(frekvence otáčení), otáčky za min., ot.za sek.	n	s ⁻¹ , r/min, r/s	n	s ⁻¹ , ot/min, ot/s (konvence)
úhlový kmitočet	ω	rad/s, s ⁻¹	ω	rad/s, s ⁻¹

1 Úvod

Tématem této bakalářské práce je návrh hlavního pohonu pro soustruhu. Znamená to navrhnout (ve funkčním schématu), spočítat a zkontrolovat dle zadaných parametrů konkrétní část převodovky. Jedná se o hřídel č. 2 a ozubená soukolí k němu příslušná. Dle zadaného výkonu a momentu navrhne patřičný elektromotor a poté příslušná soukolí a hřídel.

1.1 Co je to soustruh

Je obráběcí stroj určený pro třískové obrábění rotačních součástí. Tímto způsobem obrábění získáme z polotovaru, který je upnut v universálním sklíčidle, který koná hlavní rotační pohyb, požadovaný rotačně souměrný obrobek. Hlavní pohyb zde tedy vykonává obrobek a vedlejší řezný pohyb vykonává nástroj. Tento pohyb nástroje je přímočarý a může být ve směru jak axiálním (ve směru osy obrobku), tak radiálním (kolmém na osu obrobku), popřípadě kombinovaný (radiálně - axiální). Nástroj pro soustružení se používá jednobřítý soustružnický nůž, který může mít řadu tvaru, dle účelu a technologie soustružení (radiální přímý, rádiusové, zápichové apod.).



obr. 1 Universální hrotový soustruh (zdroj: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soustruh>)

1.2 Základní soustružnické operace

- obrábění vnějších a vnitřních ploch
- obrábění a zarovnání čelních ploch
- vytváření zápichů (vnější, vnitřní, čelní)
- upichování
- vrtání, vyvrtávání
- vroubkování
- řezání a soustružení závitů

1.3 Soustruhy dělíme

- **podle své osy hlavního rotačního pohybu na:**
 - vodorovné
 - svislé

- **podle konstrukčního provedení na:**
 - hrotové - soustružení hřídelových obrobků s vodorovnou osou rotace,
 - univerzální hrotové - soustružení hřídelových obrobků s velkým rozsahem otáček a posuvů, s přídatným pohybovým šroubem pro řezání veškerých druhů závitů ve velkých rozsazích stoupání, s vodorovnou osou rotace,
 - čelní - soustružení velkých průměrů a malých délek s vodorovnou osou rotace, nemá koníka,
 - karusely - soustružení velkých průměrů se svislou osou rotace, jednostránkové nebo dvoustojanové,
 - revolverové - soustružení obrobku při jednom upnutí. Nástroje se upínají do revolverové hlavy. Ta může mít vodorovnou osu s 12-16 nástroji nebo svislou s 6 nástroji na bocích. Podle osy rotace jsou revolverové hlavy s vodorovnou osou, se šikmou nebo svislou osou,
 - speciální - soustružnická centra, soustruhy na zalomené hřídele, více vřetenové soustružnické, kopírovací - většinou vodorovná osa rotace obrobku.

- **podle řízení na:**
 - ručně řízené,
 - poloautomaty,
 - automaty,
 - programově řízené: mechanicky - narážkami, vačkami
elektronicky - číslicové (NC, CNC, DNC).

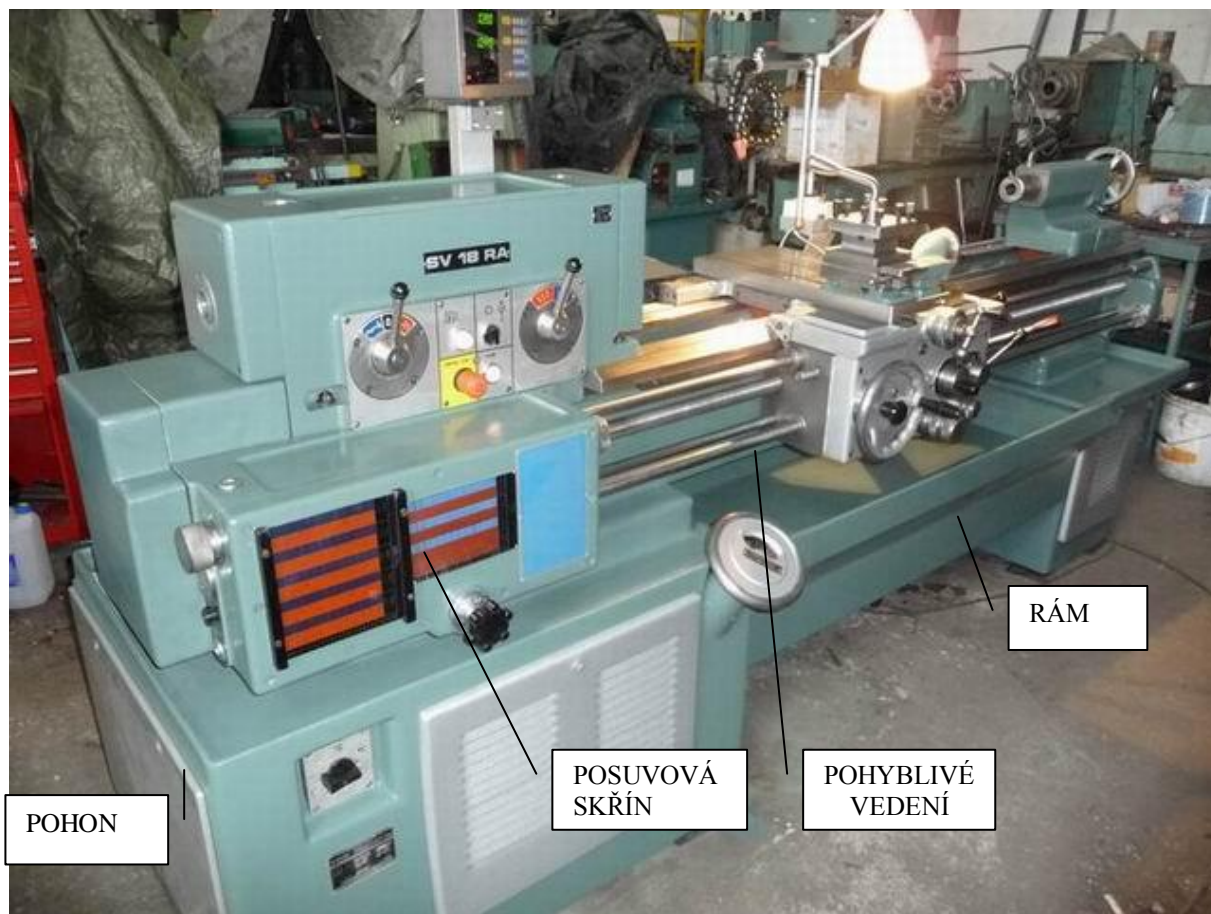
1.4 Parametry

- **Základní parametry soustruhů jsou:**
 - největší možný točný průměr nad ložem. Tedy maximální průměr součásti, který lze obrobit. Tento točný průměr se uvádí na prvním místě označení soustruhu,
 - největší délka soustružení, která se udává od pevného hrotu zasazeného ve vřetenu k hrotu v pinole koníku.

- **Dalšími parametry soustruhů jsou:**
 - výkon elektromotorum,
 - rozsahy otáček vřetena,
 - rozsahy posuvů,
 - největší průměr obrobku nad nejvyšším místem suportu.

2 Hlavní části soustružnického pracoviště

Každý soustruh se skládá podle funkčnosti z jednotlivých konstrukčních skupin. Hlavními skupinami soustruhu je **pohon, posuvová skříň, rám a pohyblivé vedení**.



obr. 2 Hrotový soustruh SV18RA (zdroj: <http://www.tumlikovo.cz/druhy-soustruhu>)

2.1 Pohon soustruhu

Pohonem soustruhu se v první řadě míní elektromotor, který pomocí převodové skříně pohání vřeteník. Elektromotorů je celá řada a každý z nich má své výhody a nevýhody. Díky své jednoduché konstrukci a přijatelné ceně se nejvíce používají trojfázové asynchronní motory s kotvou nakrátko, které mají také dobrý záběrový moment a využívají střídavého proudu. Dále můžeme použít synchronní motory, které využívají stejnosměrného proudu, mají větší účinnost než asynchronní motory, ale na druhé straně nejsou schopny tak velkého záběrového momentu při rozběhu jako asynchronní motory.

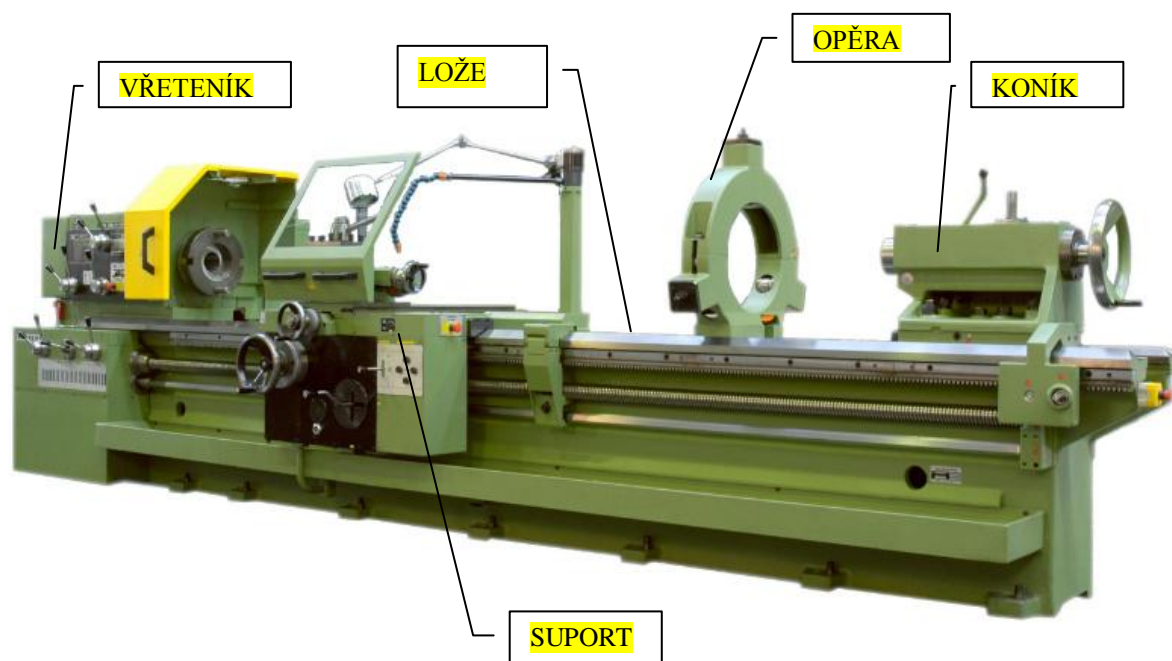
2.2 Posuvová skříň

Někdy označována jako rozvodová skříň, která slouží k ovládání podélného posuvu. Je vybavená základními převodovými soustavami pro různé varianty posuvů (rychluposuv, řezný posuv) a tvorby závitů. Změna převodů se ovládá pákami, tak jako smysl otáčení posuvového šroubu nebo pohyblivého vedení. Náhon této posuvové skříně může být buď ozubeným převodem z vřetene, nebo převodem z elektromotoru.

2.3 Rám

Rámem stroje myslíme samostatnou nosnou kostru stroje, která je přišroubována šrouby k základové betonové desce. Jedná se především o litinový odlitek, který představuje otevřený typ ve tvaru "C". Tento rám je u menších strojů celistvý, kdežto u strojů větších může být tvořen z více částí k sobě přišroubovaných předepjatými šrouby. K tomuto rámu jsou poté dále přišroubovány nebo jinak ukotveny další části jako:

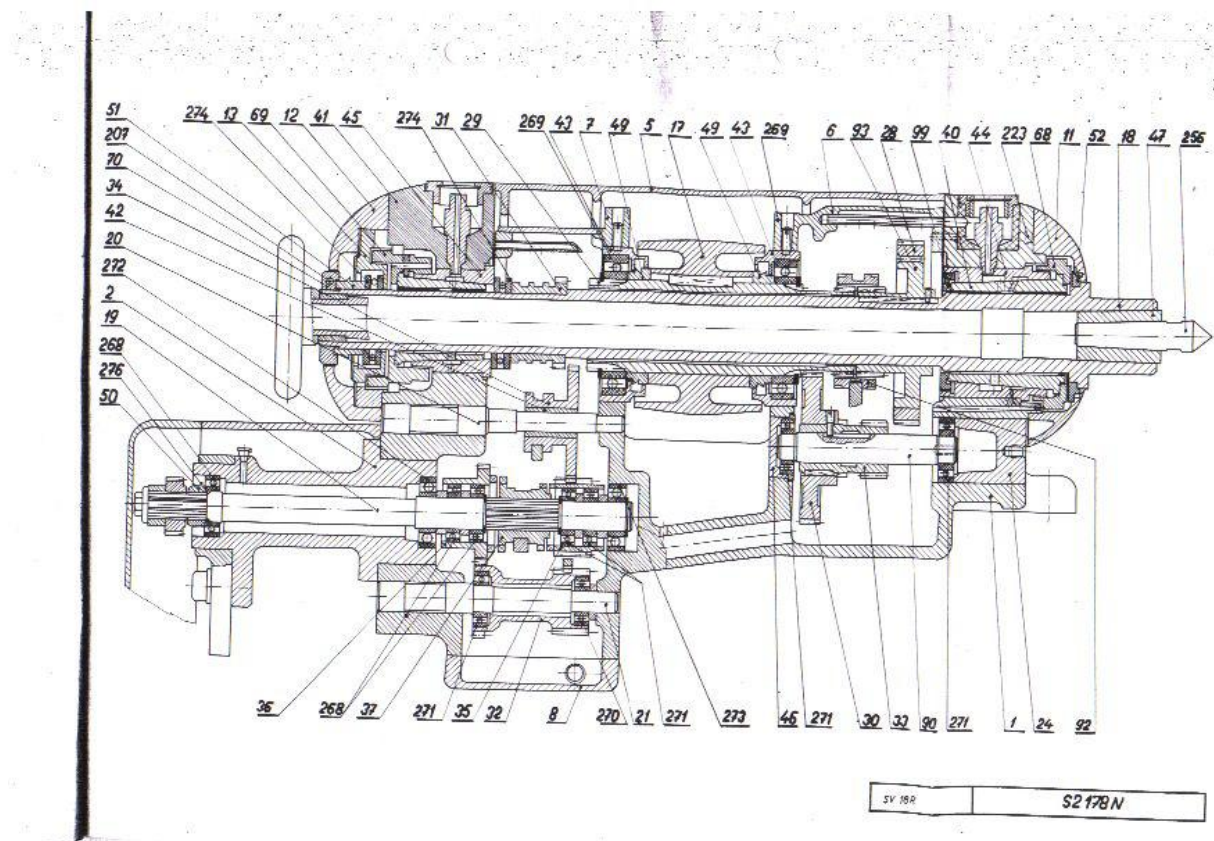
- vřeteník,
- lože,
- suport,
- koník,
- popřípadě opěry.



obr. 3 Hrotový soustruh SU63A (zdroj: <http://www.tosas.cz/lang/produkty/soustruhy/komerčni-sous/su-63-h>)

2.4 Vřeteník

Vřeteník je část soustruhu, která obstarává hlavní řezný rotační pohyb obrobku. Je to skříň přišroubována k rámu, která vymezuje chvění i při plném zatížení stroje. Polohově je zajištěn tvarem vodících ploch na loži. V této skříni je uložen hlavní nosný hřídel - vřeteno, který může být poháněn elektromotorem přes ozubené soukolí nebo pomocí řemenice. Vřeteno je tak konstrukčně řešeno, aby přenesl daný krouticí moment, zachytil axiální i radiální síly a aby docházelo k minimálnímu průhybu na optimální vzdálenosti ložisek, Tento hřídel je na konci, který vyčnívá ze skříně směrem ke koníku ukončen vnitřním ISO kuželem pro jednoduchou a pohodlnou výměnu upínací desky nebo upínacího trnu.

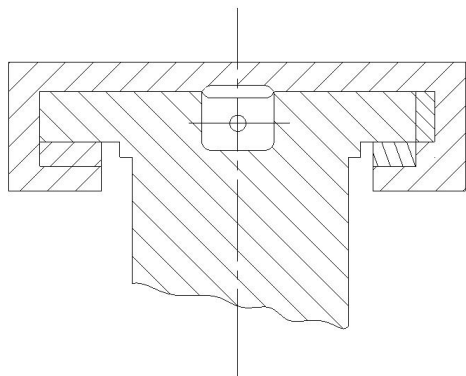


obr. 4 Uložení vřetene u soustruhu SV18R (zdroj: elektronický manuál soustruhu SV18R)

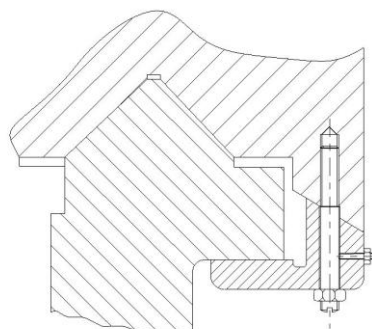
2.5 Lože

Lože je opět litinový odlitek, který je přišroubován speciálními šrouby tzv. fixátory k rámu stroje popř. u větších strojů k podlaze dílny. Tyto šrouby nám slouží k přesnému vycentrování vůči vřeteníku. Samotné lože je konstruováno pro velkou přesnost a tuhost. Nejvíce je namáháno na tlak a krut. Z tohoto důvodu můžeme zde vidět prvky jako je žebrování, které musí být vhodně navrženo. Toto žebrování taky může sloužit pro plynulý odvod třísek, kdy udává směr na zešikmené plochy, kterými třísky padají na zadní straně směrem od obsluhy do sběrné vany. Součástí lože jsou také vodící plochy, které zaručují přesnost vedení a polohu vůči koníku a vřetene. Tyto vodící plochy mohou být vcelku s ložem nebo mohou být k tomuto loži přišroubovány. V druhém případě by se jednalo o kalené vodící lišty, které mají větší životnost a přesnost. Podle velikosti stroje mohou být tyto vodící plochy jednoduché nebo vícenásobné. Podle tvaru těchto ploch se nejčastěji setkáváme s plochými, které se používají především u větších strojů nebo **kluznými** prizmatickými, které můžeme spíše vidět

u menších strojů. Vodící plochy ošetřujeme olejem pro snížení třecího koeficientu nebo je můžeme pro lepší kluzné vlastnosti obložit plastem, který má dobré frikční vlastnosti a velmi malý koeficient tření. Podle polohy těchto vodících ploch máme lože **vodorovné** nebo **šikmé**. Šikmé lože se dost často využívá o obráběcích centrech.



obr. 5 Ploché vodící plochy
(zdroj: skripta ZSVS)

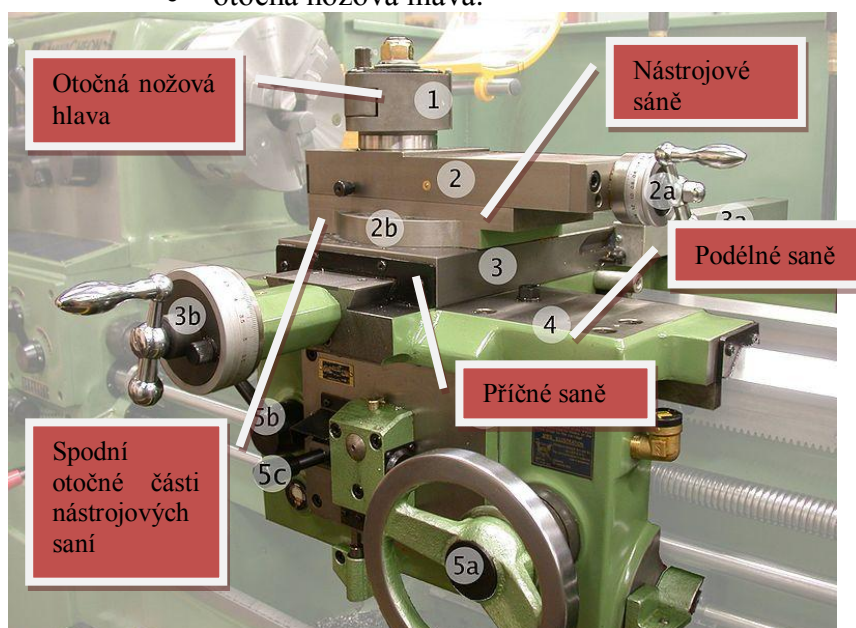


obr. 6 Prizmatické vodící plochy
(zdroj: skripta ZSVS)

2.6 Suport

Je část soustruhu, která nám zajišťuje vedlejší řezné pohyby. Tato část se skládá z dalších dílčích částí, jako jsou:

- podélné saně,
- příčné saně,
- spodní otočné části nástrojových saní,
- nástrojové saně,
- otočná nožová hlava.

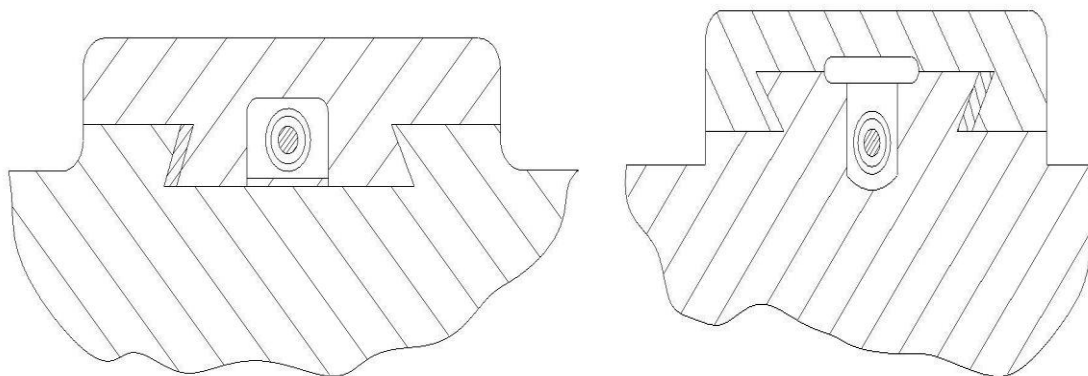


obr. 7 Suport a jeho části (zdroj: http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:HwacheonCentreLathe-carriage-mask_legend.jpg)

Suport je nosičem řezných nástrojů a z toho důvodu zde vznikají velké síly způsobené samotným řezným pohybem a odporem materiálu při soustružení. Z těchto důvodů musí být suport konstruován s velkou tuhostí v ohybu, tlaku a vysokou stykovou tuhostí ve vedení.

Podélné saně: jsou volně umístěny na loži a je k nim přišroubována suportová skříň. Tato skříň zajišťuje podélný pohyb pomocí pohybového šroubu, který touto skříní prochází. Pohyb můžeme mít jak strojní, tak rychloposuv nebo i ruční, který ovládáme ručním kolem. Přepínání strojního posuvu na ruční a rychloposuv umožňuje spojka, která je ovládána pákou. Samotné vodící plochy suportu musí mít stejný tvar jako je tvar ploch lože jenom s jinou tvrdostí, aby byly zaručeny dobré kluzné vlastnosti. Převážně se používá materiál ocel nebo litina. Vůle mezi vodícími plochami suportu a lože se vymezuje klínovými lištami, které umísťujeme na tvarově jednodušší plochu. Po stranách saní jsou krytky vodících ploch, které zabraňují vniku případných nečistot a zároveň drží mazivo ve stykových plochách.

- **Příčné saně:** jsou umístěny na podélném suportu a slouží k příčnému posuvu, který je zajištěn pohybovým šroubem. Tento posuv můžeme mít opět ruční, strojní nebo rychloposuv. Dost často se využívá pro zapínání a vypínání rychloposuvu výsuvné spojky, kterou ovládáme ručním kolem tak, že pohybem k obsluze tuto spojku zapneme a pohybem od obsluhy zase vypneme. Stykové plochy mezi podélnými a příčnými saněmi jsou řešeny rybinovým tvarem na obr. 8. Vůli mezi těmito plochami opět vymezujeme klínovými lištami a opět zde platí zásada dvou různých tvrdostí materiálu.



obr. 8 Rybinové uložení podélných a příčných saní (zdroj: skriptá ZSVS)

- **Spodní otočné části nástrojových saní:** je to otočná základna s rybinovým vedením pro nástrojové saně, která má na své čelní straně vyrytou kruhovou stupnici.
- **Nástrojové saně:** lze otáčet do libovolné polohy kolem čepu dle stupnice, která je na spodní otočné části. Konečnou polohu saní zajistíme šrouby. Samotný pohyb saní se potom uskutečňuje ručním kolečkem, které je ovládán šroubem s jemným stoupáním.
- **Otočná nožová hlava:** dovoluje upnutí několika nástrojů současně a zároveň určuje polohu soustružnického nože vůči ose obráběné součásti. Tato poloha se ještě reguluje kovovými podložkami dle použitého nože. Samotné nože upínáme do hlavy pomocí šroubů tak, aby jejich řezná část nebyla příliš dlouhá. Je to z důvodu tlaku a vibrací, které vznikají při řezném pohybu. U klasických soustruhů je tato hlava převážně čtyřboká, ale máme i hlavy revolverové, které jsou schopny upnout až 16 nástrojů současně. Podle polohy osy tyto revolverové nožové hlavy dělíme na: **vodorovné**,

svislé a šikmé. Otočný pohyb provádíme manuálně nebo v některých případech revolverových hlav automaticky. V případě manuálního otáčení hlavy se tento pohyb provádí povolování a utahování kliky na čele hlavy, kdy pomocí pružiny na spodní části hlavy dojde k nadzvednutí této hlavy a pomocí dvou ozubených věnců dojde k zajištění polohy proti pootočení.



obr. 9 Čtyřboká nožová hlava
(zdroj: <http://vyrobastroju.webnode.cz/products/nozove-drzaky>)



obr. 10 Revolverová hlava pro 16 nástrojů
(zdroj: skripta ZSVS/KOS3)

2.7 Koník

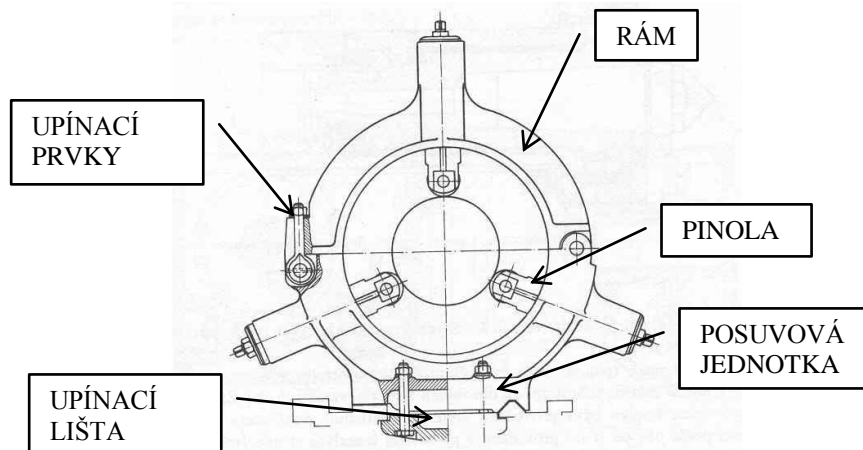
Část rámu, která je podélně posuvná po loži. Slouží k uchycení volného konce obráběné součásti a skládá se ze dvou částí. Spodní část tvoří vedení, které pomocí klínu přesně nalícujeme na plochu lože. Danou polohu zajistíme šroubem a objímkou. Vrchní část tvoří pinola, která má na jednom konci vnitřní kužel pro uchycení hrotu a na druhém konci ruční kolo pro ruční vysunutí. Uložení pinoly musí zachycovat axiální síly a zároveň poskytovat dilataci v ose, která vzniká ohřevem obrobku při soustružení. Polohu pinoly zajišťujeme pákou na koníku. Pro soustružení kuželů lze vrchní část oproti spodní mírně vychýlit. Materiál pro koníka se nejvíce používá ocel nebo litina.

2.8 Opěra (luneta)

Používá se při soustružení dlouhých obrobků, kdy může docházet díky řezné síle k průhybu a chvění obrobku. Slouží jako podpěra mezi vřetenem a koníkem, kdy nám zaručuje určitou přesnost obrábění. Podle délky obrobku můžeme mít několik opěr za sebou. Dělíme je na pět základních druhů:

- otevřená opěra
- uzavřená opěra
- uzavřená opěra s dělenou horní částí
- opěra ve tvaru “C“
- podvalek

Každá opěra se skládá ze základních konstrukčních prvků. **Rám** – který může být v podobě odlitku nebo svařence a může se skládat ze dvou dílů. **Upínací lišty** - která slouží k upevnění na lože. **Posuvové jednotky** - která zabezpečuje podélný pohyb po loži. **Pinola** – která slouží k přidržení obrobku. Počet pinol v opěře se liší podle konstrukce jednotlivé opěry a podle přenášených sil obrobkem. **Upínací prvky** – jsou prvky, kterými složíme opěru v jeden kus.



obr. 11 Uzavřená opěra s dělenou horní částí (zdroj: home.zcu.cz/~lasova/ZSVS/p55.ppt)

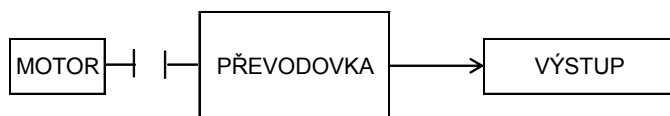
2.9 Pohyblivé vedení

Rozumíme tím hřídele, které převádí rotační pohyb na pohyb posuvný. Rotační pohyb získávají v posuvové skříně přes různé zubové spojky nebo ozubené převody. Tyto hřídele prochází suportovou skříní, kde předávají požadovaný posuvný pohyb patřičnými elementy, do úložné skříně na konci rámu stroje. Mezi tyto hřídele řadíme tři základní:

- **posuvová hřídel** – převážně šestihranného profilu umožňuje rychloposuv a podélný posuv suportové skříně pomocí pastorku, který se odvaluje po hřebeni upevněném na spodní části lože. Posuvová hřídel může ovládat i příčný posuv
- **spojková hřídel** – je také šestihranného profilu a je to hřídel, kterým zapínáme a vypínáme chod vřetene pomocí spojky. Pákovým mechanismem na posuvové skříně měníme chod vřetene na levý nebo pravý. Toho se nejvíce využívá pro řezání závitů
- **posuvový šroub** – umožňuje závitový posuv suportu pomocí matice, která je dělena ze dvou částí a je pevně uložena v suportové skříně. Tato matice se uvádí do chodu pomocí páky na suportové skříně. Tento šroub může být buď: **trapézový** – kdy se jedná o kluzné tření, které se používá na kratší vzdálenosti pro vedlejší posuvy. Šroub bývá ocelový a matice bronzová. Nebo **kuličkový** – kdy se jedná o valivé tření s lepšími třecími vlastnostmi a lepší účinností. Mezi šroubem a maticí se v drážkách závitů odvalují kuličky.

3 Pohon

Pohon soustruhu je jedna z nejdůležitějších částí stroje. Do pohonu stroje počítáme v první řadě motor, kterým je stroj poháněn a v druhé řadě převodovku, kterou navrhne dle požadavků na stroj a z výstupních parametrů motoru. Do požadavků na stroj řadíme: max. hmotnost a délku obrobku, výkon, otáčky, krouticí moment a počet převodových stupňů. Počet stupňů se u soustruhu nejčastěji pohybuje mezi 1-4. Čtvrtý stupeň je velmi zřídka.



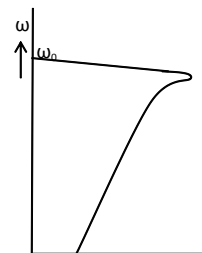
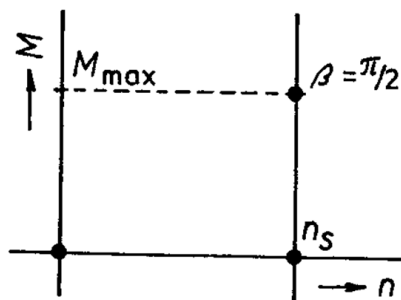
obr. 12 Schéma pohonu

3.1 Motor

Motor je hlavním zdrojem energie, který mění vstupní energii na mechanickou práci. Motor musí proto splňovat nejen konstrukční požadavky, ale i požadavky ekonomické a ekologické. Dle použití vstupní energie dělíme motory na elektromotory a hydromotory. Podle výstupního pohybu na rotační a lineární. Pro soustruhy se však nejvíce uplatňují elektromotory synchronní nebo asynchronní. Výstupními parametry elektromotoru je krouticí moment a otáčky motoru.

3.1.1 Synchronní motor

Je motor, kde rotor je tvořen magnetem nebo elektromagnetem a rotuje kolem statoru, na který je přiveden stejnosměrný proud a vytváří tím rotační magnetické pole, které můžeme pomocí budícího proudu v účinníku zvýšit. Což je jedna z největších výhod tohoto motoru. Otáčky synchronní motoru se rovnají otáčkám magnetického pole a nezávisí na zátěžovém momentu. Proto bude momentová charakteristika tohoto motoru rovnoběžná s osou otáček, jak je uvedeno na obr. 13. Pokud bude motor zatížen větším momentem než je moment max., tak tento motor ztratí synchronizaci a zastaví se. Pro dosažení vysoké účinnosti motoru se používají komutátory, které jsou umístěny zejména na rotoru (jsou to vzájemně izolované lamely, které jsou obklopeny převážně grafitovými stěrači) a slouží k přepínání proudu v cívice pod aktivním pólem. Velkou nevýhodou tohoto motoru je rozběhová část, kdy musíme motor uvést do pracovních otáček pomocí jiného stroje nebo pomocí náběhového vinutí asynchronního motoru.

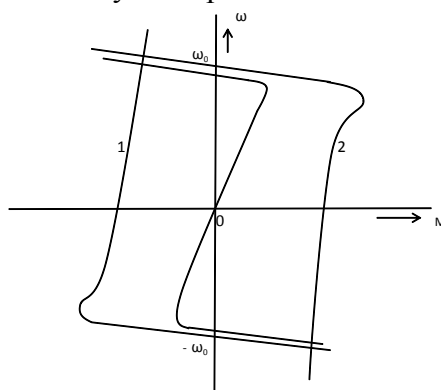


obr. 13 Momentová charakteristika synchronního motoru
(zdroj: www.ped.muni.cz/wtech/elearning/ELE/Asynch._a_synchr._stroje.ppt)

obr. 14 Rozběhová charakter. syn. motoru

3.1.2 Asynchronní motor jednofázový

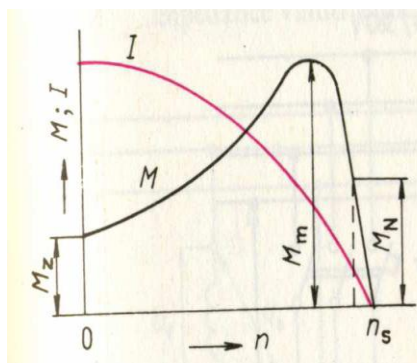
Je motor, kde nedochází k točivému magnetickému poli, ale k rotaci motoru dochází pulzujícím magnetickým polem. U jednofázových asynchronních motorů není možné dosáhnout magnetického točivého momentu jedním vinutím na statoru. Z toho důvodu jsou vinutí dvě, navzájem proti sobě pootočená a tvoří tak dvě různá proti sobě se otáčející magnetická pole. Výsledná momentová charakteristika tohoto motoru je součet příslušných dvou momentových charakteristik, která prochází počátkem obr. 15. Z toho plyne, že motor nemá žádný záběrový moment a bez příslušných opatření není schopen rozběhu. Pro rozběh musíme proto použít buď mechanicky dodanou počáteční energii, nebo vytvořit jedno z polí silnějším a přivést na něj odlišnou fázi než je napětí sítě. Výhodou těchto motorů je běžné napájení ze sítě, jednoduchá konstrukce a vysoká spolehlivost.



obr. 15 Charakteristika jednofázového motoru

3.1.3 Asynchronní motor trojfázový

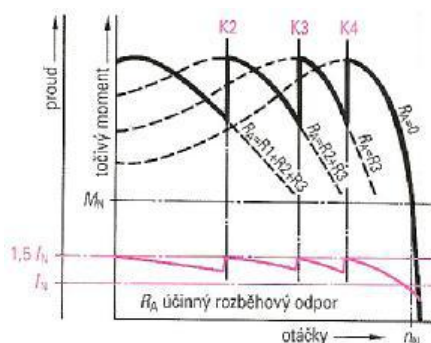
Je motor, který se nejvíce využívá pro obráběcí stroje. Má stejné výhody jako asynchronní motor jednofázový. Dle tvaru rotoru dělíme motor na **asynchronní motor s kotvou nakrátko** a **asynchronní motor s kroužkovou kotvou**. Konstrukce motoru s kotvou nakrátko spočívá v jednoduché kleci, kterou tvoří měděné nebo hliníkové vodiče na koncích spojené zkratovými kroužky. Takto vytvořený rotor je obalen jednostranně izolovanými plechy. Stator je nosné těleso, které je obaleno taktéž jednostranně izolovanými plechy a vinutím, které je vyvedeno na svorkovnici. Tím vzniká magnetické pole, které indukuje napětí, vzniklý proud vyvolává sílu, která otáčí rotorem ve směru otáčení magnetického pole. Velkou výhodou tohoto motoru je záběrový moment, který je schopen uvést stroj z klidu do chodu obr. 16.



obr. 16 Momentová charakteristika trojfázového asynchronního motoru nakrátko
(zdroj:<http://www.jsmilek.cz/skripta%20pdf/esp%209%20spousteni%20asm.pdf>)

Tento moment postupně s rostoucími otáčkami roste až do M_{max} , kdy potom zase rychle klesá. Naopak nevýhodou je velký proud, který pro rozběh potřebujeme a může být až 7x větší než záběrový moment. Z toho důvodu jsou motory pro přímý rozběh ze sítě výkonově omezeny. Můžeme takhle rozbíhat motory do 3 kW.

Konstrukce motoru s kroužkovou kotvou je podobná jako u motoru s kotvou nakrátko, s tím že na rotoru je trojfázové vinutí, které je napojeno na sběrné kroužky. Tyto sběrné kroužky umožňují zapojit do obvodu pomocí uhlíkových kartáčků přídavné odpory, které nám výrazně snižují rozběhový proud. U těchto motorů je i díky velkému podílu činné složky proudu znatelný rozběhový moment tzn., že tyto motory jsou schopny dosáhnout velkých záběrových momentů při poměrně malém rozběhovém proudu obr. 17.



obr. 17 Charakteristika momentu a proudu motoru s kroužkovou kotvou a třístuňovým odporem (zdroj: http://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/motory/obecne/002-Motory_TYPY_33str.pdf)

3.2 Převodovka

Převodovkou myslíme mechanismus, který nám zajišťuje potřebné pracovní pohyby a pracovní podmínky pro obrábění. Tyto pohyby můžeme rozdělit na **hlavní** a **vedlejší**. Hlavní pohyb nám zajišťuje hlavní řezný pohyb a řadíme do toho otáčky v širokém rozsahu působnosti, řezný výkon a směr otáčení včetně, z toho důvodu jsou na něj kladeny vysoké nároky. Vedlejší pohyb zajišťuje strojní posuv a rychloposuv a nejsou na něj kladeny takové nároky. Převodovka se skládá ze tří základních prvků:

- **vstupního hnacího členu**, což je hřídel, který přivádí transformovanou energii z elektromotoru
- **rámu**, který je pevně spojen s rámem stroje. Rám převodovky je myšlena litinová skříň, ve které jsou uloženy všechny patřičné kinematické převody a prvky k tomu potřebné. Tato skříň může být jako odlitek nebo svařenec. Z hlediska montáže a demontáže bývá zpravidla dělená ze dvou nebo více částí
- **výstupního hnaného členu**, který nám zajišťuje získané parametry a pohyby

Kromě těchto členů jsou součástí převodovky další prvky, které přenáší požadované kinetické pohyby:

- **spojovací** - jsou prvky, které nám slouží k spojení jednotlivých dílů v celek tzv. **souhmotí** (pera, čepy, kolíky, šrouby, závlačky apod.),
- **přenosové** - jsou prvky, které slouží k přenosu požadovaných parametrů hřídele,
- **převodové** - jsou prvky, přes které přenášíme požadovaný pohyb, ozubená soukolí dělíme dle tvaru na čelní (přímý, šikmý ozubení), kuželová, šneková,

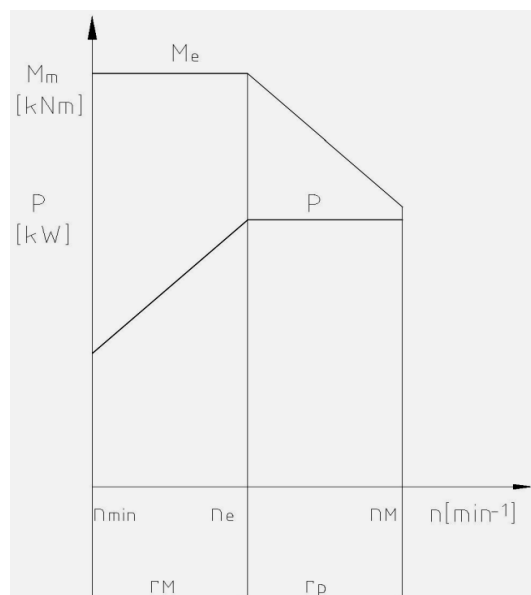
- **pro uložení** - jsou prvky, které slouží k zajištění rotačního pohybu ložiska dělíme dle tvaru valivého elementu na kuličková, válečková, soudečková, kuželíková,
- **pro spojení** - prvky, které nám slouží ke spojení dvou hřídelů, spojky mechanické, hydraulické, magnetické, elektrické.

Samotná převodovka je charakterizována podle těchto základních kritérií:

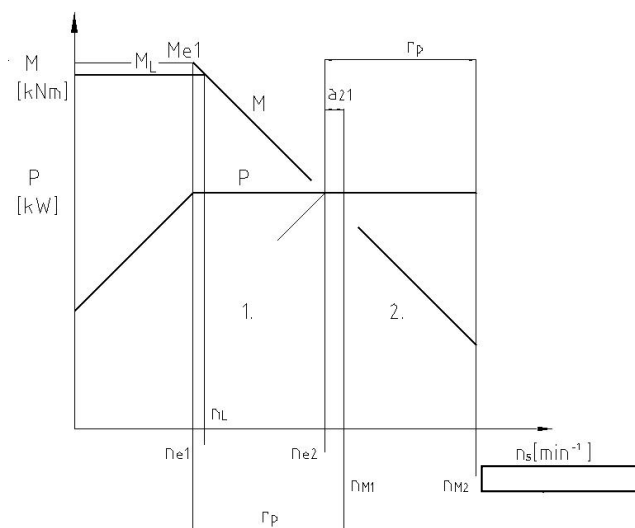
- **funkční** – jsou technické parametry, kterých je převodovka schopna dosáhnout. Mezi ně řadíme: získané otáčky, krouticí moment, celkový převodový poměr, životnost, spolehlivost, účinnost,
- **rozměrové** – určují montážní rozměry a rozměry samotné převodovky. Dále udávají polohu a osou vzdálenost vstupního a výstupního hřídele,
- **provozní** – které udávají parametry pro delší životnost jako je provozní teplota, použitý převodový olej, počet zapnutí a vypnutí stroje během určitého časového intervalu.

3.3 Výstupní člen

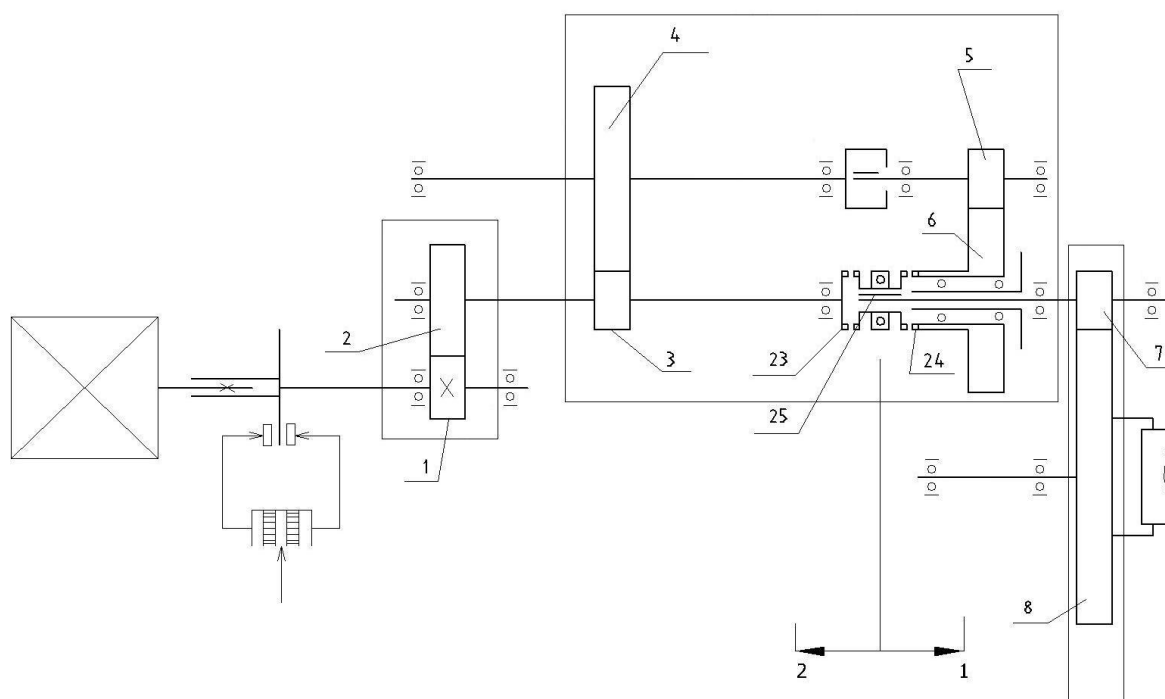
Je člen (vřeteno), který vykonává hlavní řezný pohyb a na kterém chceme získat patřičné parametry, jako je krouticí moment, otáčky, výkon. Od tohoto členu se poté odvozuje samostatná konstrukce stroje. Pro získání těchto patřičných parametrů se můžeme proto setkat s jednostupňovou nebo vícešupňovou převodovkou. Pokud se rovná regulační rozsah motoru poměru maximálních a limitních otáček vřetene, není třeba více stupňů. Pokud tento poměr otáček je větší než regulační rozsah motoru, tak se jedná o vícešupňové převodovky. Počet převodů se běžně používá v rozsahu 1-4.



obr. 18 Charakteristika jednostupňové převodovky (zdroj: elektronická skripta ZSVS)



obr. 19 Charakteristika dvoustupňové převodovky (zdroj: elektronická skripta ZSVS)



obr. 20 Dvoustupňové kinematické schéma soustruhu
(zdroj: elektronická skripta ZSVS)

4 Teorie výpočtu

- ze zadaného výkonu na vřetenu vybereme z katalogu příslušný motor
- z výkonu a otáček vypočítáme krouticí moment

$$P = M \cdot \omega \quad \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

P výkon

M krouticí moment

ω úhlová rychlost

n otáčky

- dle maximálních otáček, jmenovitých otáček a regulačního rozsahu motoru zvolíme počet stupňů (toto číslo se zaokrouhluje na nejbližší vyšší)

n_{max} ... max. otáčky vřetene

$$r_p^p = \frac{n_{max}}{n_e} \Rightarrow p = \frac{\log \frac{n_{max}}{n_e}}{\log r_p}$$

n_e jmenovité otáčky vřetene

p počet stupňů

r_p regulační rozsah motoru

- z počtu stupňů vypočítáme otáčky pro jednotlivé stupně
- z příslušných otáček vypočítáme jednotlivé převodové poměry

$$i_1 = \frac{n_{max}}{n_{e1}} \quad i_2 = \frac{n_{max}}{n_{e2}} \quad i_c = i_1 \cdot i_2 \cdot i_n$$

- z příslušných převodových poměrů spočítáme počty zubů jednotlivých ozubených kol

$$i_1 = \frac{z_2}{z_1} \cdot \frac{z_m}{z_n}$$

z_m počet zubů na jednom výstupním hřídeli

z_n počet zubů na druhém výstupním hřídeli

- dle příslušných počtů zubů a příčinného krouticího momentu vypočítáme modul

M_k krouticí moment

$$m = 7,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_k \cdot \cos \beta}{c \cdot \psi \cdot z_1}}$$

z_1 počet zubů kola č. 1

c materiálová hodnota (0,03-0,08) σ_{D0}

ψ součinitel materiálu (10-30)

- výpočet šířky kola

m modul

$$b = m \cdot \psi$$

ψ součinitel materiálu (10-30)

- výpočet základních korigovaných rozměrů čelních kol se šikmými zuby

V - korigovaná kola	pastorek - kolo 1	kolo - kolo 2
	z_1, x_1, β	z_2, x_2, β
	$m, \alpha, \beta, h_a^*, c_a^*, h_f^* = h_a^* + c_a^*$	
pro normalizované ozubení	$\alpha = 20^\circ, h_a^* = 1, c_a^* = 0,25$	
rozteč na roztečném ϕ	$p = \pi \cdot m$	
rozteč na roztečném ϕ v čelní rovině	$p_t = \frac{\pi \cdot m}{\cos \beta}$	
tloušťka zubu na rozteč. ϕ	$s_1 = 0,5 \cdot \pi \cdot m + 2 \cdot m \cdot x_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha$	$s_2 = 0,5 \cdot \pi \cdot m + 2 \cdot m \cdot x_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha$
tloušťka zubu na rozteč. ϕ v čelní rovině	$s_{t1} = \frac{s_1}{\cos \beta}$	$s_{t2} = \frac{s_2}{\cos \beta}$
šířka zubové mezery na rozteč. ϕ	$e_1 = 0,5 \cdot \pi \cdot m - 2 \cdot m \cdot x_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha$	$e_2 = 0,5 \cdot \pi \cdot m - 2 \cdot m \cdot x_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha$
šířka zubové mezery na rozteč. ϕ v čelní rovině	$e_{t1} = \frac{e_1}{\cos \beta}$	$e_{t2} = \frac{e_2}{\cos \beta}$
tloušťka zubu na obecném ϕ	$s_{y1,2} = d_{y1,2} \cdot \left(\frac{s_{1,2}}{d_{1,2}} + e v \alpha - e v \alpha_{y1,2} \right)$	

obr.21 Tabulka pro výpočet rozměrů ozubených korigovaných kol se šikmými zuby (zdroj: elektronická skripta ČMS2)

ϕD průměr roztečné kružnice

ϕD_a ... průměr hlavové kružnice

h_a hlava zubu $h_a = 1$

ϕD_f ... průměr patní kružnice

h_f pata zubu $h_f = (h_a + c_a) c_a = 0,25(\text{rad.vůle})$

ϕD_b ... průměr základové kružnice

α_t úhel záběru v čelní rovině

α_{wt} valivý úhel záběru v čelní rovině

a_w korigovaná osová vzdálenost

a teoretická osová vzdálenost

v případě čelních korigovaných kol se šikmými zuby se výpočet provádí stejně jenom s tím rozdílem, že se úhel sklonu zubu $\beta = 0$.

x korekce

z počet zubů

s šířka zubu

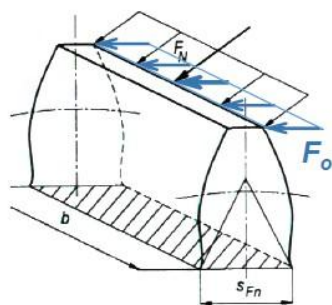
m modul

p rozteč

$p = \pi \cdot m$

$s = 0,5 \cdot \pi \cdot m$

- kontrolní pevnostní výpočet podle Bacha



obr.22 Působení sil na profil zubu (zdroj: elektronická skripta ČMS2)

$F_o = F_d = t \cdot b \cdot c$

$F_o = F_d = 1,5 \cdot t \cdot b \cdot c$

... pro přímé ozubení

... pro šikmé ozubení

t ... tloušťka zubu

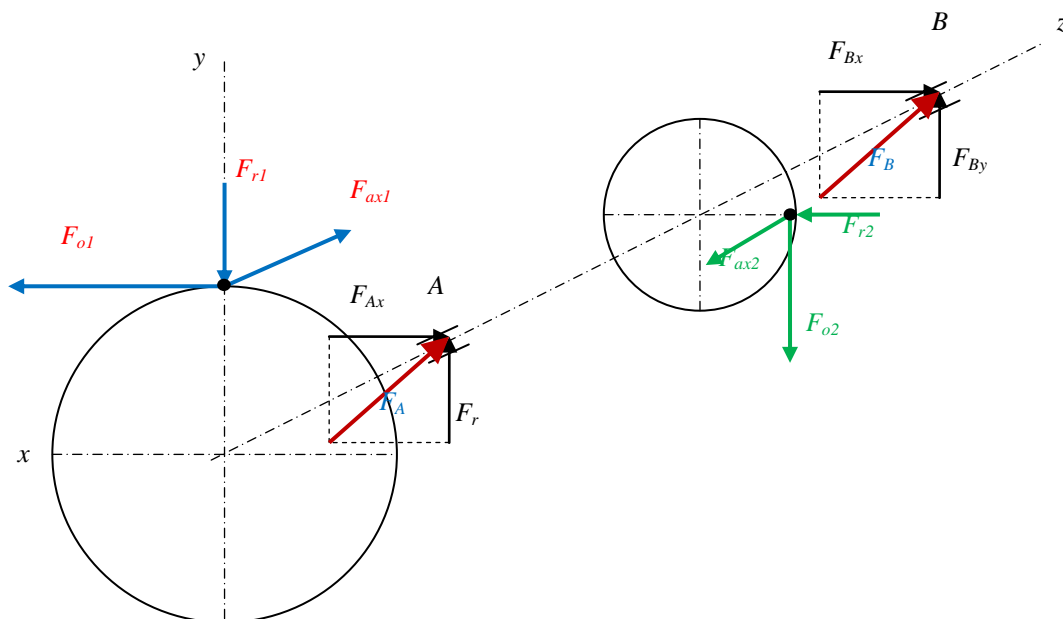
b ... šířka zubu

c ... dynamická únosnost

F_o ... obvodová síla

F_d ... dovolená síla

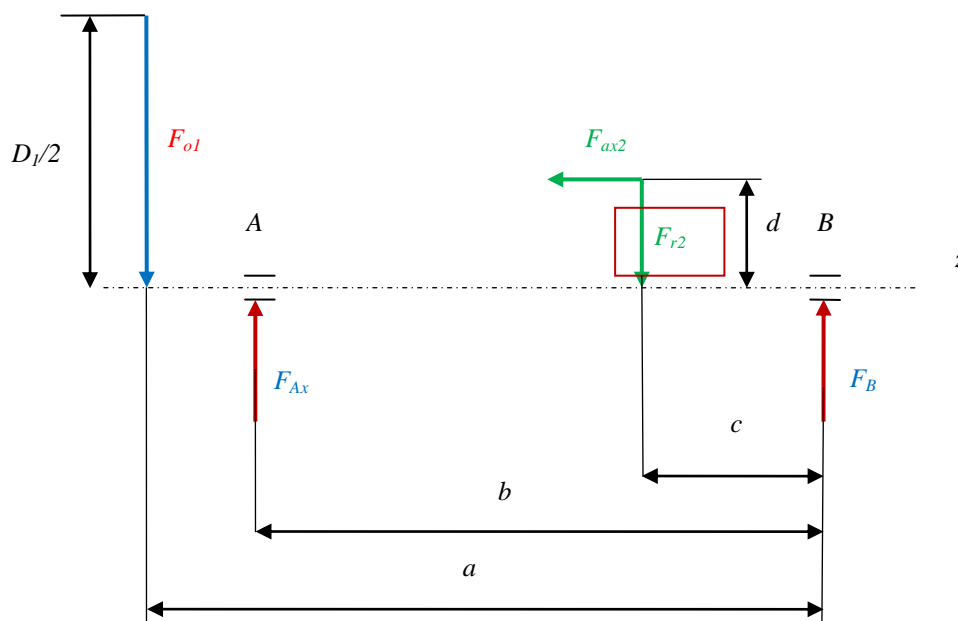
- výpočet zatížení hřídele



obr.23 Zatížení hřídele (zdroj: elektronická skripta ČMS2)

Nosné části jsou zatíženy vnitřními i vnějšími silami. Reakce v ložiscích A a B jsou barevně označeny F_A a F_B .

Rovina xz



Obr. 24 Zatížení hřídele v rovině XZ (zdroj: elektronická skripta ČMS2)

Složky sil F_{Ax} a F_{Bx} získáme z podmínky rovnováhy:

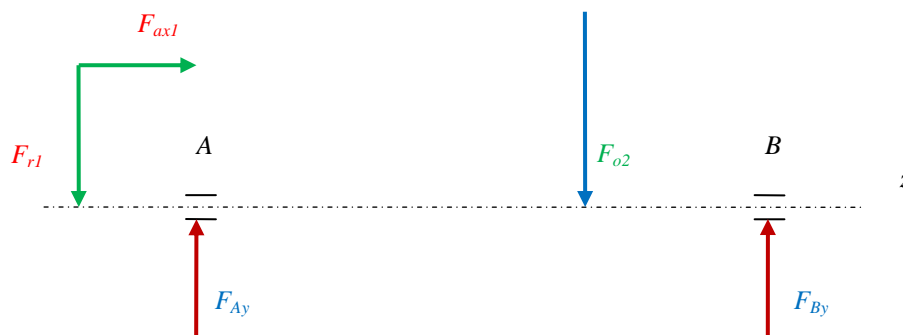
Silová:

$$F_{o1} - F_{ax} + F_{r2} - F_{Bx} = 0$$

Momentová k bodu **B**:

$$F_{o1} \cdot a - F_{ax} \cdot d + F_{r2} \cdot c - F_{Ax} \cdot b = 0$$

Rovina yz



Obr. 25 Zatížení hřídele v rovině XZ (zdroj: elektronická skripta ČMS2)

Složky sil F_{Ay} a F_{By} získáme z podmínky rovnováhy

Silová:
$$F_{r1} - F_{Ay} + F_{o2} - F_{By} = 0$$

Momentová k bodu **B**:

$$F_{r1} \cdot a - F_{Ay} \cdot d + F_{o2} \cdot c - F_{By} \cdot b = 0$$

$$F_A = \sqrt{F_{Ax}^2 + F_{Ay}^2}$$

$$F_B = \sqrt{F_{Bx}^2 + F_{By}^2}$$

Axiální síla na hřídeli je $F_{ax} = |F_{ax1} - F_{ax2}|$.

Provedeme kontrolu na statickou pevnost pro všechny druhy namáhání kromě smyku, který je v poměru k ostatním řádově menší.

Krut
$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \Rightarrow W_k = \frac{\pi \cdot D^3}{16}$$

Ohyb
$$\sigma = \frac{M_{oA}}{W_o} \Rightarrow W_o = \frac{\pi \cdot D^3}{32}$$

$$\left. \begin{array}{l} M_{ox} = F_{ox} \cdot (a - b) \\ M_{oy} = F_{r1} \cdot (a - b) - F_{ax1} \cdot \frac{D1}{2} \end{array} \right\} \Rightarrow M_{oA} = \sqrt{M_{ox}^2 + M_{oy}^2}$$

Tlak
$$\sigma = \frac{F_{ax} \cdot 4}{\pi \cdot d^2}$$

Výsledné namáhání

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_n^2 + 4\tau_k^2} \quad .$$

Volíme materiál s bezpečností 3, tj. $\sigma_{red} \cdot 3$.

- volba a výpočet ložisek, který počítáme pro jejich trvanlivost a životnost
- trvanlivost ložisek při jednoduchém dynamickém namáhání

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{60 \cdot n} \cdot \frac{1}{s_d} = \frac{1667}{n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p \geq s_d \cdot t$$

C..... základní dynamická únosnost

P..... dynamické zatížení ložiska $P=F$ [N]

L..... základní trvanlivost

n..... otáčky [min^{-1}]

s_d dynamická bezpečnost

t..... požadovaná trvanlivost

p..... pro kuličková ložiska $p = 3$
pro ostatní ložiska $p = 3,3$

Zatížení čistě radiální $F_e = F_{Lr}$

Zatížení čistě axiální $F_e = F_{Lax}$

Kombinované zatížení, porovnání s e

$$\left. \begin{array}{l} \frac{F_{Lax}}{F_{Lr}} \leq e \dots x_1, y_1 \\ \frac{F_{Lax}}{F_{Lr}} > e \dots x_2, y_2 \end{array} \right\} F_e = x \cdot F_{Lr} + y \cdot F_{Lax}$$

Kontrola na oteplení

Ložiska se nesmí zadřít. Maximální otáčky závisejí na mazání (tukem nebo olejem)

$$s_n = \frac{n_{dov}}{n_{max}} \geq 1$$

Kontrola na pevnost

Materiál klece je u nejlevnějších ložisek z plechu. Vyrábí se také z plastu, mosazi a pro nejvyšší otáčky jsou klece keramické

$$s_o = \frac{c_o}{F_{max}} = (0,5 \div 4)$$

5 Návrh pohonu soustruhu

5.1 Zadání

Navrhněte hlavní pohon soustruhu, pokud znáte:

Výkon na vřetení	$P_v = 80\text{kW}$
Omezený moment na vřetení	$M_{omez} = 70\text{kNm}$
Otáčky vřetene	$n_v = (2) - 300\text{ ot/min}$

5.2 Vypracování

5.2.1 Volba elektromotoru

Dle požadovaného výkonu na vřetenu jsem vyhledal v katalogu Siemens vhodný elektromotor:

1PH7224 – jedná se o trojfázový asynchronní motor s kotvou nakrátko 3 AC 400V

Technické parametry: výkon $P_m = 95\text{kW}$

minimální otáčky $n_{min} = 1500\text{ ot/min}$

maximální otáčky $n_{max} = 4500\text{ ot/min}$

kroučící moment $M_{mot} = 605\text{ Nm}$

5.2.2 Výpočet kroučícího momentu

$$P = M_{kv} \cdot \omega$$
$$M_{kv} = \frac{P}{\omega}$$
$$M_{kv} = \frac{95000}{157,07}$$
$$M_{kv} = \underline{605\text{ Nm}}$$
$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{min}}{60}$$
$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60}$$
$$\omega = \underline{157,07\text{ rad/s}}$$

5.2.3 Výpočet regulačního rozsahu elektromotoru a počet stupňů převodovky

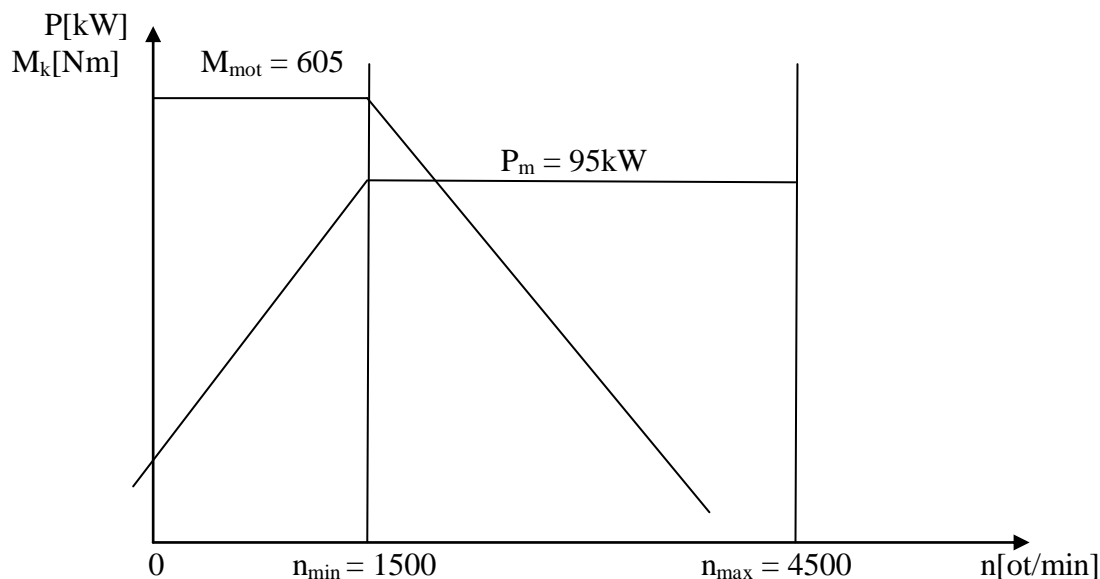
$$r_p^p = \frac{n_{max}}{n_{min}}$$
$$P_v = M_{om} \cdot \omega$$
$$p = \frac{\log \frac{n_v}{n_{om}}}{\log r_p}$$

$$r_p^p = \frac{4500}{1500}$$
$$\frac{P_v}{M_{om}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{om}}{60}$$
$$p = \frac{\log \frac{300}{10,9}}{\log 3}$$

$$r_p^p = \underline{3}$$
$$\frac{P_v \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot M_{om}} = n_{om}$$
$$\frac{80000 \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 70000} = n_{om}$$
$$\underline{10,9\text{ ot/min}} = n_{om}$$
$$p = \underline{3,017}$$

Motor má regulační rozsah roven 3 a převodovka bude mít tři stupně.

5.2.4 Diagram elektromotoru



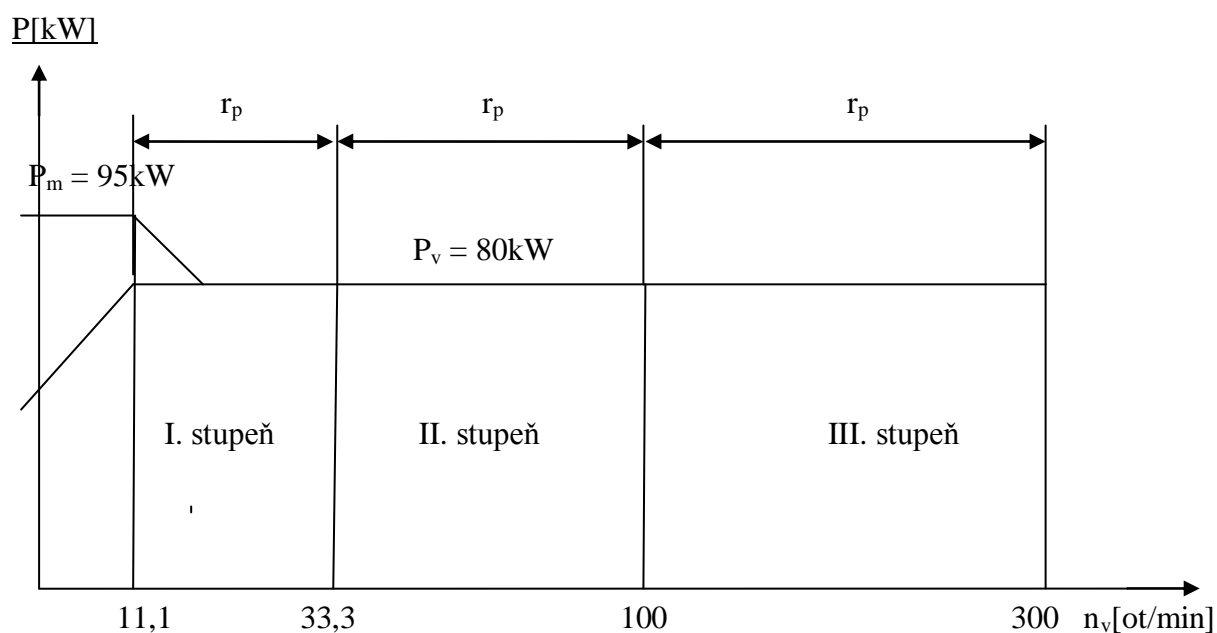
obr. 26 Charakteristika elektromotoru hlavního pohonu

5.2.5 Diagram výstupního členu

III. stupeň: otáčky vřetene $n_3 = 300$ ot/min
regulační rozsah $r_p = 3$

II. stupeň: otáčky vřetene $n_2 = \frac{n_3}{r_p} = \frac{300}{3} = 100$ ot/min
regulační rozsah $r_p = 3$

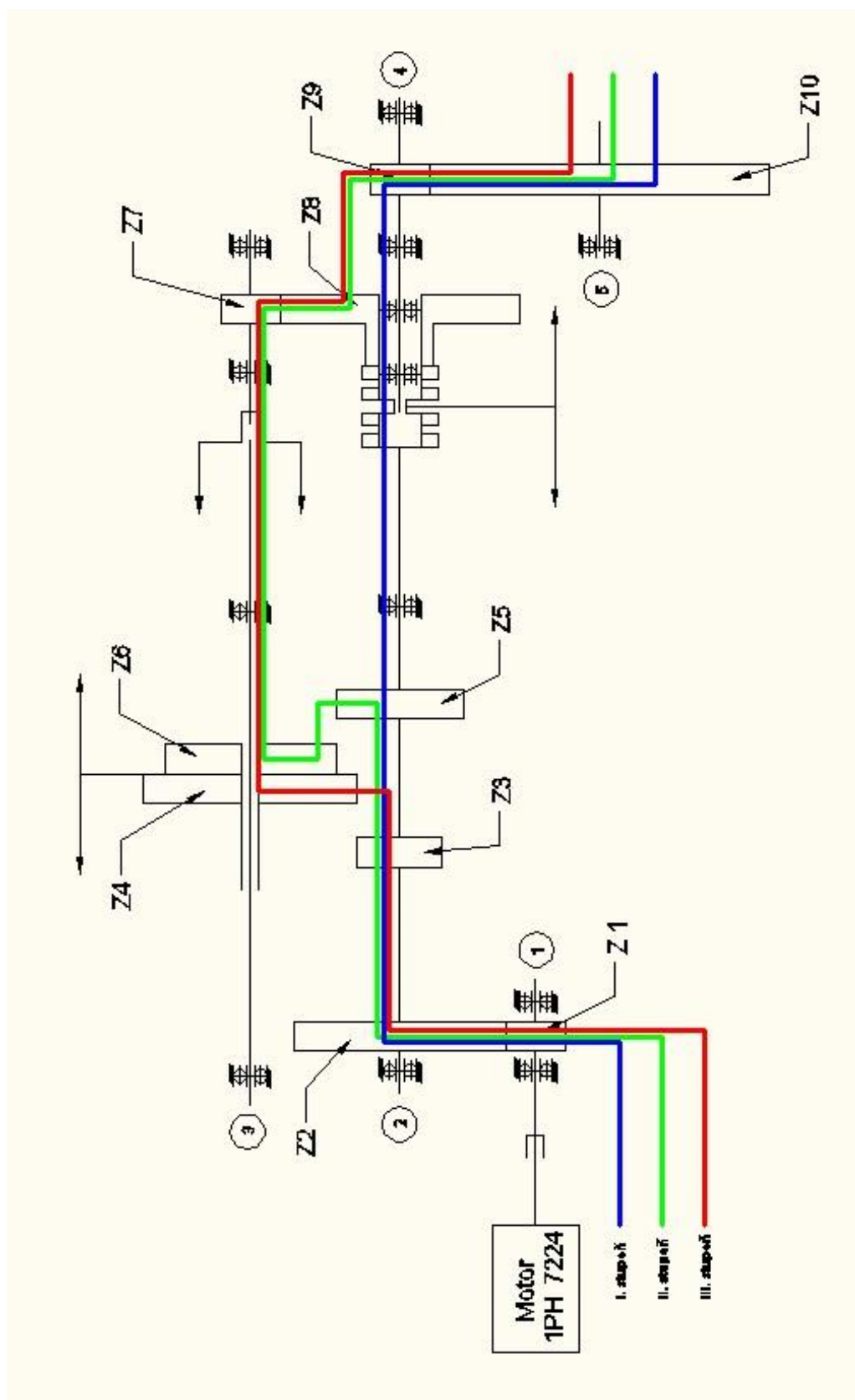
I. stupeň: otáčky vřetene $n_{1max} = \frac{n_2}{r_p} = \frac{100}{3} = 33,3$ ot/min
regulační rozsah $r_p = 3$
otáčky vřetene $n_{1min} = \frac{n_1}{r_p} = \frac{33,3}{3} = 11,1$ ot/min



obr. 27 Diagram výstupního členu

5.2.6 Navržení jednotlivých převodových poměrů

Podle diagramu výstupního členu vytvoříme kinematické schéma převodovky, kde uvedeme jednotlivé převodové poměry, označíme číselně jednotlivé hřídele a označíme jednotlivá ozubená kola.



obr. 28 Kinematické schéma 3 stupňové převodovky

III. stupeň - povede přes hřídel 1 od elektromotoru přes ozubené soukolí **z1/z2** na hřídel 2, přes zubovou spojku na hřídel 4 a přes ozubené soukolí **z9/z10** na výstupní hřídel 5 a na vřetenno.

II. stupeň - povede přes hřídel 1 od elektromotoru přes ozubené soukolí **z1/z2** na hřídel 2, přes ozubené soukolí **z5/z6** na hřídel 3, přes spojku a ozubené soukolí **z7/z8** na hřídel 4 a přes ozubené soukolí na výstupní hřídel 5 a na vřetenno.

I. stupeň - povede přes hřídel 1 od elektromotoru přes ozubené soukolí **z1/z2** na hřídel 2, přes ozubené soukolí **z3/z4** na hřídel 3, přes spojku a ozubené soukolí **z7/z8** na hřídel 4 a přes ozubené soukolí na výstupní hřídel 5 a na vřetenno.

5.2.7 Výpočet převodových poměrů jednotlivých stupňů

$$i_{III} = \frac{n_{max}}{n_3} = \frac{4500}{300} = \underline{15} \quad i_{II} = \frac{n_{max}}{n_2} = \frac{4500}{100} = \underline{45} \quad i_I = \frac{n_{max}}{n_{1max}} = \frac{4500}{33,3} = \underline{135,14}$$

$$i_c = i_I \cdot i_{II} \cdot i_{III} = 15 \cdot 45 \cdot 135,14 = \underline{91219,5}$$

5.2.8 Volba počtu zubů jednotlivých kol

$$\begin{array}{ll} z_1 = 27 & z_6 = 60 \\ z_2 = 79 & z_7 = 22 \\ z_3 = 30 & z_8 = 66 \\ z_4 = 91 & z_9 = 23 \\ z_5 = 60 & z_{10} = 118 \end{array}$$

Kola z_3, z_4, z_5 a z_6 volím jako čelní ozubení s přímými zuby, protože chodí do a ze záběru
Kola z_1, z_2, z_7, z_8, z_9 a z_{10} volím jako čelní ozubení se šikmými zuby

5.2.9 Výpočet dílčích převodových poměrů

$$i_{1,2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{79}{27} = \underline{2,93} \quad i_{3,4} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{91}{30} = \underline{3,03} \quad i_{5,6} = \frac{z_6}{z_5} = \frac{60}{60} = \underline{1}$$

$$i_{7,8} = \frac{z_7}{z_8} = \frac{66}{22} = \underline{3} \quad i_{9,10} = \frac{z_{10}}{z_9} = \frac{118}{23} = \underline{5,13}$$

Kontrola celkových převodových poměrů:

$$i_{III} = i_{1,2} \cdot i_{9,10} = 2,93 \cdot 5,13 = \underline{15}$$

$$i_{II} = i_{1,2} \cdot i_{5,6} \cdot i_{7,8} \cdot i_{9,10} = 2,93 \cdot 1 \cdot 3,03 \cdot 5,13 = \underline{45}$$

$$i_I = i_{1,2} \cdot i_{3,4} \cdot i_{7,8} \cdot i_{9,10} = 2,93 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5,13 = \underline{135,27}$$

Navrhované počty zubů odpovídají daným dílčím převodovým poměrům

5.2.10 Výpočet dílčích krouticích momentů a otáček

Krouticí moment motoru $M_{\text{mot}} = 605 \text{ Nm}$
Minimální otáčky motoru $n_{\text{min}} = 1500 \text{ ot/min}$
Účinnost $\eta = 0,98$

I. stupeň:

Kolo z_1 má stejné parametry jako motor, protože jsou na stejné hřídeli $M_{k1} = 605 \text{ Nm}$
 $n_1 = 1500 \text{ ot/min}$

$$\begin{aligned} \text{Kolo } z_2 : \quad M_{k2} &= M_{k1} \cdot i_{1,2} \cdot \eta & i_{1,2} &= \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_2 = \frac{n_1}{i_{1,2}} \\ M_{k2} &= 605 \cdot 2,93 \cdot 0,98 & n_2 &= \frac{1500}{2,93} \\ M_{k2} &= \underline{1737 \text{ Nm}} & n_2 &= \underline{512 \text{ ot/min}} \end{aligned}$$

Kolo z_3 má stejné parametry jako kolo z_2 , protože jsou na stejné hřídeli $M_{k3} = 1737 \text{ Nm}$
 $n_3 = 512 \text{ ot/min}$

$$\begin{aligned} \text{Kolo } z_4 : \quad M_{k4} &= M_{k3} \cdot i_{3,4} \cdot \eta & i_{3,4} &= \frac{n_3}{n_4} \Rightarrow n_4 = \frac{n_3}{i_{3,4}} \\ M_{k4} &= 1737 \cdot 3,03 \cdot 0,98 & n_4 &= \frac{512}{3,03} \\ M_{k4} &= \underline{5158 \text{ Nm}} & n_4 &= \underline{169 \text{ ot/min}} \end{aligned}$$

Kolo z_7 má stejné parametry jako kolo z_4 , protože jsou na stejné hřídeli $M_{k7} = 5158 \text{ Nm}$
 $n_7 = 169 \text{ ot/min}$

$$\begin{aligned} \text{Kolo } z_8 : \quad M_{k8} &= M_{k7} \cdot i_{7,8} \cdot \eta & i_{7,8} &= \frac{n_7}{n_8} \Rightarrow n_8 = \frac{n_7}{i_{7,8}} \\ M_{k8} &= 5158 \cdot 3 \cdot 0,98 & n_8 &= \frac{169}{3} \\ M_{k8} &= \underline{15164,5 \text{ Nm}} & n_8 &= \underline{56,3 \text{ ot/min}} \end{aligned}$$

Kolo z_9 má stejné parametry jako kolo z_8 , protože jsou na stejné hřídeli $M_{k9} = 15164,5 \text{ Nm}$
 $n_9 = 56,3 \text{ ot/min}$

$$\begin{aligned} \text{Kolo } z_{10} : \quad M_{k10} &= M_{k9} \cdot i_{9,10} \cdot \eta & i_{9,10} &= \frac{n_9}{n_{10}} \Rightarrow n_{10} = \frac{n_9}{i_{9,10}} \\ M_{k10} &= 15164,5 \cdot 5,13 \cdot 0,98 & n_{10} &= \frac{56,3}{5,13} \\ M_{k10} &= \underline{76238 \text{ Nm}} & n_{10} &= \underline{11 \text{ ot/min}} \end{aligned}$$

II. stupeň:

Kolo z_1 má stejné parametry jako motor, protože jsou na stejné hřídeli $M_{k1} = 605 \text{ Nm}$
 $n_1 = 1500 \text{ ot/min}$

$$\begin{aligned} \text{Kolo } z_2 : \quad M_{k2} &= M_{k1} \cdot i_{1,2} \cdot \eta & i_{1,2} &= \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_2 = \frac{n_1}{i_{1,2}} \\ M_{k2} &= 605 \cdot 2,93 \cdot 0,98 & n_2 &= \frac{1500}{2,93} \\ M_{k2} &= \underline{1737 \text{ Nm}} & n_2 &= \underline{512 \text{ ot/min}} \end{aligned}$$

Kolo z_5 má stejné parametry jako kolo z_2 , protože jsou na stejné hřídeli $M_{k5} - 1737 \text{ Nm}$
 $n_5 - 512 \text{ ot/min}$

$$\begin{aligned} \text{Kolo } z_6 : \quad M_{k6} &= M_{k2} \cdot i_{5,6} \cdot \eta & i_{5,6} &= \frac{n_5}{n_6} \Rightarrow n_6 = \frac{n_5}{i_{5,6}} \\ M_{k6} &= 1737 \cdot 1 \cdot 0,98 & n_6 &= \frac{512}{1} \\ M_{k6} &= \underline{1702 \text{ Nm}} & n_6 &= \underline{512 \text{ ot/min}} \end{aligned}$$

Kolo z_7 má stejné parametry jako kolo z_6 , protože jsou na stejné hřídeli $M_{k7} - 1702 \text{ Nm}$
 $n_7 - 512 \text{ ot/min}$

$$\begin{aligned} \text{Kolo } z_8 : \quad M_{k8} &= M_{k7} \cdot i_{7,8} \cdot \eta & i_{7,8} &= \frac{n_7}{n_8} \Rightarrow n_8 = \frac{n_7}{i_{7,8}} \\ M_{k8} &= 1702 \cdot 3 \cdot 0,98 & n_8 &= \frac{512}{3} \\ M_{k8} &= \underline{5004 \text{ Nm}} & n_8 &= \underline{171 \text{ ot/min}} \end{aligned}$$

Kolo z_9 má stejné parametry jako kolo z_8 , protože jsou na stejné hřídeli $M_{k9} - 5004 \text{ Nm}$
 $n_9 - 171 \text{ ot/min}$

$$\begin{aligned} \text{Kolo } z_{10} : \quad M_{k10} &= M_{k9} \cdot i_{9,10} \cdot \eta & i_{9,10} &= \frac{n_9}{n_{10}} \Rightarrow n_{10} = \frac{n_9}{i_{9,10}} \\ M_{k10} &= 5004 \cdot 5,13 \cdot 0,98 & n_{10} &= \frac{170,7}{5,13} \\ M_{k10} &= \underline{25157 \text{ Nm}} & n_{10} &= \underline{33,3 \text{ ot/min}} \end{aligned}$$

III. stupeň:

Kolo z_1 má stejné parametry jako motor, protože jsou na stejné hřídeli $M_{k1} - 605 \text{ Nm}$
 $n_1 - 1500 \text{ ot/min}$

$$\begin{aligned} \text{Kolo } z_2 : \quad M_{k2} &= M_{k1} \cdot i_{1,2} \cdot \eta & i_{1,2} &= \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_2 = \frac{n_1}{i_{1,2}} \\ M_{k2} &= 605 \cdot 2,93 \cdot 0,98 & n_2 &= \frac{1500}{2,93} \\ M_{k2} &= \underline{1737 \text{ Nm}} & n_2 &= \underline{512 \text{ ot/min}} \end{aligned}$$

Kolo z_9 má stejné parametry jako kolo z_3 , protože jsou na stejné hřídeli $M_{k9} - 1737 \text{ Nm}$
 $n_9 - 512 \text{ ot/min}$

$$\begin{aligned} \text{Kolo } z_{10} : \quad M_{k10} &= M_{k9} \cdot i_{9,10} \cdot \eta & i_{9,10} &= \frac{n_9}{n_{10}} \Rightarrow n_{10} = \frac{n_9}{i_{9,10}} \\ M_{k10} &= 1737 \cdot 5,13 \cdot 0,98 & n_{10} &= \frac{512}{5,13} \\ M_{k10} &= \underline{8732,6 \text{ Nm}} & n_{10} &= \underline{100 \text{ ot/min}} \end{aligned}$$

V prvním stupni překračuje moment na vřetenu námi daný omezený krouticí moment M_{omez} . Z tohoto důvodu je nezbytné první stupeň zpětně přepočítat. Začneme u vřetene, kde $M_{k1} = M_{omez}$, a pokračujeme postupně zpátky po jednotlivých hřídelích. Správné hodnoty jsou uvedeny v tabulce (obr. 23) ve druhém řádku u každého patričného kola.

I. stupeň:

Kolo z_{10} má stejné parametry jako vřeteno, protože jsou na stejné hřídeli $M_{komez} = 70 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} M_{k1} \cdot n_1 &= M_{komez} \cdot n_{omez} \\ \frac{M_{k1} \cdot n_1}{M_{komez}} &= n_{omez} \\ \frac{76238 \cdot 10,97}{70000} &= n_{omez} \Rightarrow n_{omez} = \underline{\underline{12 \text{ ot/min}}} \end{aligned}$$

Kolo z_9 :

$$\begin{aligned} M_{k10} &= M_{k9} \cdot i_{9,10} \cdot \eta & i_{9,10} &= \frac{n_9}{n_{10}} \Rightarrow i_{9,10} \cdot n_{omez} = n_9 \\ M_{k9} &= \frac{M_{k10}}{i_{9,10} \cdot \eta} & 5,13 \cdot 12 &= n_9 \\ M_{k9} &= \frac{70000}{5,13 \cdot 0,98} & \underline{\underline{61,6 \text{ ot/min}}} &= n_9 \\ M_{k9} &= \underline{\underline{13923,7 \text{ Nm}}} \end{aligned}$$

Kolo z_8 má stejné parametry jako kolo z_9 , protože jsou na stejné hřídeli $M_{k8} = 13923,7 \text{ Nm}$
 $n_8 = 61,6 \text{ ot/min}$

Kolo z_7 :

$$\begin{aligned} M_{k8} &= M_{k7} \cdot i_{7,8} \cdot \eta & i_{7,8} &= \frac{n_7}{n_8} \Rightarrow i_{7,8} \cdot n_8 = n_7 \\ M_{k7} &= \frac{M_{k8}}{i_{7,8} \cdot \eta} & 3 \cdot 61,6 &= n_7 \\ M_{k7} &= \frac{13923,7}{3 \cdot 0,98} & \underline{\underline{185 \text{ ot/min}}} &= n_7 \\ M_{k7} &= \underline{\underline{4736 \text{ Nm}}} \end{aligned}$$

Kolo z_4 má stejné parametry jako kolo z_7 , protože jsou na stejné hřídeli $M_{k4} = 4736 \text{ Nm}$
 $n_4 = 185 \text{ ot/min}$

Kolo z_3 :

$$\begin{aligned} M_{k4} &= M_{k3} \cdot i_{3,4} \cdot \eta & i_{3,4} &= \frac{n_3}{n_4} \Rightarrow i_{3,4} \cdot n_4 = n_3 \\ M_{k3} &= \frac{M_{k4}}{i_{3,4} \cdot \eta} & 3,03 \cdot 185 &= n_3 \\ M_{k3} &= \frac{4736}{3,03 \cdot 0,98} & \underline{\underline{560,6 \text{ ot/min}}} &= n_3 \\ M_{k3} &= \underline{\underline{1595 \text{ Nm}}} \end{aligned}$$

Kolo z_2 má stejné parametry jako kolo z_3 , protože jsou na stejné hřídeli $M_{k2} = 1595 \text{ Nm}$
 $n_2 = 560,6 \text{ ot/min}$

Kolo z_1 :

$$\begin{aligned} M_{k2} &= M_{k1} \cdot i_{1,2} \cdot \eta & i_{1,2} &= \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow i_{1,2} \cdot n_2 = n_1 \\ M_{k1} &= \frac{M_{k2}}{i_{1,2} \cdot \eta} & 2,93 \cdot 260,5 &= n_1 \\ M_{k1} &= \frac{1595}{2,93 \cdot 0,98} & \underline{\underline{1642,3 \text{ ot/min}}} &= n_1 \\ M_{k1} &= \underline{\underline{555,5 \text{ Nm}}} \end{aligned}$$

Hřídel	Kolo	I.stupeň			II.stupeň			III.stupeň			Max.otáčky
		M_k [Nm]	n[ot/min]	L_n [hod]	M_k [Nm]	n[ot/min]	L_n [hod]	M_k [Nm]	n[ot/min]	L_n [hod]	
1	Z ₁	605	1500	5000	605	1500	10000	605	1500	5000	4500
		555,5	1642,3								
2	Z ₂	1737	512	5000	1737	512	10000	1737	512	5000	1338
		1595	560,6								
		1737	512								
		1595	560,6								
3	Z ₄	5158	169	5000	1737	512	10000	1702	512	10000	1338
		4736	185								
4	Z ₇	5158	169	5000	1737	512	10000	1702	512	10000	1338
		4736	185								
		15163	56,3								
		13993	61,5								
5	Z ₁₀	15163	56	5000	5004	171	10000	5004	171	10000	300
		13923,7	61,6								
		76238	11								
		70000	12								

obr. 29 Tabulka jednotlivých hodnot

5.2.11 Výpočet jednotlivých modulů

$$\text{soukolí } \frac{z_1}{z_2} = \frac{27}{79}$$

$$\psi = 12$$

$$c = 12$$

$$\beta = 12^\circ$$

$$m = 7,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_k \cdot \cos\beta}{c \cdot \psi \cdot z_1}}$$

$$m = 7,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{605 \cdot \cos 12^\circ}{12 \cdot 12 \cdot 27}}$$

$$m = \underline{4}$$

$$b_2 = m \cdot \psi$$

$$b_2 = 4 \cdot 12$$

$$b_2 = \underline{48 \text{ mm}} \quad b_1 = \underline{45 \text{ mm}}$$

$$\text{soukolí } \frac{z_3}{z_4} = \frac{30}{91}$$

$$\psi = 12$$

$$c = 12$$

$$m = 8,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_k}{c \cdot \psi \cdot z_3}}$$

$$m = 8,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{4736}{12 \cdot 12 \cdot 30}}$$

$$m = \underline{9}$$

$$b = m \cdot \psi$$

$$b = 9 \cdot 12$$

$$b = \underline{108 \text{ mm}} \text{ volím } 100 \text{ mm}$$

$$\text{soukolí } \frac{z_5}{z_6} = \frac{60}{60}$$

$$\psi = 12$$

$$c = 12$$

$$m = 8,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_k}{c \cdot \psi \cdot z_3}}$$

$$m = 8,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{1735}{12 \cdot 12 \cdot 60}}$$

$$m = \underline{5}$$

$$b = m \cdot \psi$$

$$b = 5 \cdot 12$$

$$b = \underline{60 \text{ mm}}$$

$$\text{soukolí } \frac{z_7}{z_8} = \frac{22}{66}$$

$$\psi = 12$$

$$c = 12$$

$$\beta = 15^\circ$$

$$m = 7,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_k \cdot \cos\beta}{c \cdot \psi \cdot z_3}}$$

$$m = 7,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{13993 \cdot \cos 15^\circ}{12 \cdot 12 \cdot 22}}$$

$$m = \underline{12}$$

$$b = m \cdot \psi$$

$$b = 12 \cdot 12$$

$$b = \underline{144 \text{ mm}} \text{ volím } 150 \text{ mm}$$

$$\text{soukolí } \frac{z_9}{z_{10}} = \frac{23}{118}$$

$$\psi = 18$$

$$c = 20$$

$$\beta = 15^\circ$$

$$m = 7,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_k \cdot \cos\beta}{c \cdot \psi \cdot z_3}}$$

$$m = 7,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{70000 \cdot \cos 15^\circ}{20 \cdot 18 \cdot 23}}$$

$$m = \underline{15}$$

$$b = m \cdot \psi$$

$$b = 15 \cdot 18$$

$$b = \underline{270 \text{ mm}}$$

5.2.12 Kontrolní pevnostní výpočty

Kolo č.1,2 mat.14220	$F_{dov} \geq F_o$	$F_{o1} = \frac{2 \cdot M_{k1}}{\frac{m \cdot z_1}{\cos \beta}}$
$z_1 = 27$ mat. 16420	$\pi \cdot m \cdot b \cdot c_{min} \cdot \mu \geq \frac{2 \cdot M_{k1}}{\frac{m \cdot z_1}{\cos \beta}}$	$F_{o1} = \frac{2.555,5 \cdot \cos 12^\circ}{4.27}$
$z_2 = 79$	$F_{dov} = 3,14 \cdot 4 \cdot 45 \cdot 14,4 \cdot 1$	$F_{o1} = \underline{10,6 \text{ N}}$
$m = 4$	$F_{dov} = \underline{8,1 \text{ kN}}$	
$b = 45 \text{ mm}$		
$M_{k1} = 555,5 \text{ Nm}$		
$M_{k2} = 1595 \text{ Nm}$	$c_{o1} = \frac{\sigma_{do1} \cdot r_{o1}}{y_{o1}}$	$c_{o2} = \frac{\sigma_{do2} \cdot r_{o2}}{y_{o2}}$
$\beta = 12^\circ$	$c_{o1} = \frac{300 \cdot 0,3}{4,17}$	$c_{o2} = \frac{190 \cdot 0,38}{3,89}$
$\mu = 1$	$c_{o1} = \underline{14,4}$	$c_{o2} = \underline{18,56}$
$n_1 = 1642 \text{ ot/min}$		
$n_2 = 560,6 \text{ ot/min}$		
$L_h = 5000 \text{ hod}$	$c_{d1} = \frac{\sigma_{dd1} \cdot r_{d1}}{U \cdot y_{d1}}$	$c_{d2} = \frac{\sigma_{dd2} \cdot r_{d2}}{U \cdot y_{d2}}$
$\sigma_{do1} = 300 \text{ MPa}$	$c_{d1} = \frac{95 \cdot 0,48}{0,83 \cdot 1,14}$	$c_{d2} = \frac{23 \cdot 0,51}{0,83 \cdot 0,52}$
$\sigma_{do2} = 190 \text{ MPa}$	$c_{d1} = \underline{48,2}$	$c_{d2} = \underline{27,2}$
$\sigma_{dd1} = 95 \text{ MPa}$		
$\sigma_{dd2} = 23 \text{ MPa}$		
Z tabulek :	$r_{o1} = 0,3$ $r_{o2} = 0,38$	$U = \left(\frac{m}{10}\right)^{0,2}$
	$y_{o1} = 4,17$ $y_{o2} = 3,89$	$U = \left(\frac{4}{10}\right)^{0,2}$
	$r_{d1} = 0,48$ $r_{d2} = 0,51$	$U = \underline{0,83}$
	$y_{d1} = 1,14$ $y_{d2} = 0,5$	
$z_{n1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta}$	$z_{n2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta}$	$i_n = \frac{z_{n2}}{z_{n1}} = \frac{84}{29} = \underline{2,89}$
$z_{n1} = \frac{27}{\cos^3 12^\circ}$	$z_{n2} = \frac{79}{\cos^3 12^\circ}$	
$z_{n1} = \underline{28,85}$	$z_{n2} = \underline{84,4}$	

Kola z pevnostního hlediska pro I stupeň vyhovují

Kolo č.1,2 mat.14220	$F_{dov} \geq F_o$	$F_{o1} = \frac{2 \cdot M_{k1}}{\frac{m \cdot z_1}{\cos \beta}}$
$z_1 = 27$ mat. 16420	$\pi \cdot m \cdot b \cdot c_{min} \cdot \mu \geq \frac{2 \cdot M_{k1}}{\frac{m \cdot z_1}{\cos \beta}}$	$F_{o1} = \frac{2.605 \cdot \cos 12^\circ}{4.27}$
$z_2 = 79$	$F_{dov} = 3,14 \cdot 4 \cdot 45 \cdot 17,1 \cdot 1$	$F_{o1} = \underline{10,96 \text{ N}}$
$m = 4$	$F_{dov} = \underline{9,67 \text{ kN}}$	
$b = 45 \text{ mm}$		
$M_{k1} = 605 \text{ Nm}$		

$$M_{k2} = 1737 \text{ Nm}$$

$$\beta = 12^\circ$$

$$\mu = 1$$

$$n_1 = 1500 \text{ ot/min}$$

$$n_2 = 512 \text{ ot/min}$$

$$L_h = 10000 \text{ hod}$$

$$\sigma_{do1} = 300 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{do2} = 190 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dd1} = 95 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{dd2} = 23 \text{ MPa}$$

Z tabulek :

$$r_{o1} = 0,28$$

$$r_{o2} = 0,35$$

$$y_{o1} = 4,17$$

$$y_{o2} = 3,89$$

$$r_{d1} = 0,325$$

$$r_{d2} = 0,42$$

$$y_{d1} = 1,14$$

$$y_{d2} = 0,5$$

$$U = \left(\frac{m}{10}\right)^{0,2}$$

$$U = \left(\frac{4}{10}\right)^{0,2}$$

$$U = \underline{0,83}$$

$$z_{n1} = \frac{z_1}{\cos^3 \beta}$$

$$z_{n1} = \frac{27}{\cos^3 12^\circ}$$

$$z_{n1} = \underline{28,85}$$

$$z_{n2} = \frac{z_2}{\cos^3 \beta}$$

$$z_{n2} = \frac{79}{\cos^3 12^\circ}$$

$$z_{n2} = \underline{84,4}$$

$$i_n = \frac{z_{n2}}{z_{n1}} = \frac{84}{29} = \underline{2,89}$$

Kola z pevnostního hlediska pro II a III stupeň vyhovují

Kolo č.3,4 mat.12050

$$F_{dov} \geq F_o$$

$$F_{o3} = \frac{2 \cdot M_{k3}}{m \cdot z_3}$$

$z_3 = 30$ mat.11600

$$\pi \cdot m \cdot b \cdot c_{\min} \cdot \mu \geq \frac{2 \cdot M_{k3}}{m \cdot z_3}$$

$$F_{o3} = \frac{2 \cdot 1593}{9 \cdot 30}$$

$z_4 = 91$

$$F_{dov} = 3,14 \cdot 9 \cdot 100 \cdot 8,76 \cdot 1$$

$$F_{o3} = \underline{11,8 \text{ N}}$$

$m = 9$

$$F_{dov} = \underline{24,77 \text{ kN}}$$

$b = 108 \text{ mm}$

$M_{k3} = 1593 \text{ Nm}$

$M_{k4} = 1735 \text{ Nm}$

$$c_{o1} = \frac{\sigma_{do3} \cdot r_{o3}}{y_{o3}}$$

$$c_{o1} = \frac{95 \cdot 0,38}{4,12}$$

$$c_{o1} = \underline{8,76}$$

$$c_{o4} = \frac{\sigma_{do4} \cdot r_{o4}}{y_{o4}}$$

$$c_{o4} = \frac{90 \cdot 0,47}{3,88}$$

$$c_{o4} = \underline{10,9}$$

$\mu = 1$

$n_3 = 560 \text{ ot/min}$

$n_4 = 185 \text{ ot/min}$

$L_h = 5000 \text{ hod}$

$\sigma_{do3} = 95 \text{ MPa}$

$$c_{d3} = \frac{\sigma_{dd3} \cdot r_{d3}}{U \cdot y_{d3}}$$

$$c_{d3} = \frac{31 \cdot 0,51}{0,98 \cdot 1,11}$$

$$c_{d3} = \underline{14,53}$$

$$c_{d4} = \frac{\sigma_{dd4} \cdot r_{d4}}{U \cdot y_{d4}}$$

$$c_{d4} = \frac{28 \cdot 0,64}{0,98 \cdot 0,46}$$

$$c_{d4} = \underline{39,75}$$

$\sigma_{do4} = 90 \text{ MPa}$

$\sigma_{dd3} = 31 \text{ MPa}$

$$\sigma_{dd4} = 28 \text{ MPa}$$

Z tabulek :

$r_{o3} = 0,38$	$r_{o4} = 0,47$
$y_{o3} = 4,12$	$y_{o4} = 3,88$
$r_{d3} = 0,51$	$r_{d4} = 0,64$
$y_{d3} = 1,11$	$y_{d4} = 0,46$

$$U = \left(\frac{m}{10}\right)^{0,2}$$

$$U = \left(\frac{9}{10}\right)^{0,2}$$

$$U = \underline{\underline{0,98}}$$

Kola z pevnostního hlediska vyhovují

Kolo č.7,8 mat.12050

$$F_{dov} \geq F_o$$

$$F_{o7} = \frac{2 \cdot M_{k7}}{m \cdot z_7 \cdot \cos\beta}$$

$z_7 = 22$ mat. 11600

$$\pi \cdot m \cdot b \cdot c_{min} \cdot \mu \geq \frac{2 \cdot M_{k7}}{m \cdot z_7 \cdot \cos\beta}$$

$$F_{o7} = \frac{2 \cdot 4736 \cdot \cos 15^\circ}{4 \cdot 22}$$

$z_8 = 66$

$$F_{dov} = 3,14 \cdot 12 \cdot 150 \cdot 11,65 \cdot 1$$

$$F_{o7} = \underline{\underline{103,97 \text{ N}}}$$

$m = 12$

$$F_{dov} = \underline{\underline{47,24 \text{ kN}}}$$

$b = 150 \text{ mm}$

$M_{k7} = 4736 \text{ Nm}$

$M_{k8} = 13993 \text{ Nm}$

$$c_{o7} = \frac{\sigma_{do7} \cdot r_{o7}}{y_{o7}}$$

$$c_{o8} = \frac{\sigma_{do8} \cdot r_{o8}}{y_{o8}}$$

$\beta = 15^\circ$

$$c_{o7} = \frac{95 \cdot 0,57}{4,32}$$

$$c_{o8} = \frac{90 \cdot 0,47}{3,63}$$

$\mu = 1$

$$c_{o7} = \underline{\underline{12,53}}$$

$$c_{o8} = \underline{\underline{11,65}}$$

$n_7 = 185 \text{ ot/min}$

$n_8 = 61,5 \text{ ot/min}$

$L_h = 5000 \text{ hod}$

$$c_{d7} = \frac{\sigma_{dd7} \cdot r_{d7}}{U \cdot y_{d7}}$$

$$c_{d8} = \frac{\sigma_{dd8} \cdot r_{d8}}{U \cdot y_{d8}}$$

$\sigma_{do7} = 95 \text{ MPa}$

$$c_{d7} = \frac{31 \cdot 0,64}{1,04 \cdot 1,34}$$

$$c_{d8} = \frac{28 \cdot 0,78}{1,04 \cdot 0,54}$$

$\sigma_{do8} = 90 \text{ MPa}$

$$c_{d7} = \underline{\underline{14,24}}$$

$$c_{d8} = \underline{\underline{38,88}}$$

$\sigma_{dd7} = 31 \text{ MPa}$

$\sigma_{dd8} = 28 \text{ MPa}$

Z tabulek : $r_{o7} = 0,57$ $r_{o8} = 0,47$

$$U = \left(\frac{m}{10}\right)^{0,2}$$

$y_{o7} = 4,32$ $y_{o8} = 3,63$

$$U = \left(\frac{12}{10}\right)^{0,2}$$

$r_{d7} = 0,64$ $r_{d8} = 0,78$

$$U = \underline{\underline{1,04}}$$

$y_{d7} = 1,34$ $y_{d8} = 0,54$

$$z_{n7} = \frac{z_7}{\cos^3 \beta}$$

$$z_{n8} = \frac{z_8}{\cos^3 \beta}$$

$$i_n = \frac{z_{n8}}{z_{n7}} = \frac{73,23}{24,41} = \underline{\underline{3}}$$

$$z_{n7} = \frac{22}{\cos^3 15^\circ}$$

$$z_{n8} = \frac{66}{\cos^3 15^\circ}$$

$$z_{n7} = \underline{\underline{24,41}}$$

$$z_{n8} = \underline{\underline{73,23}}$$

Kola z pevnostního hlediska pro I. stupeň vyhovují

Kolo č.7,8 mat.12050

$$F_{dov} \geq F_o$$

$$F_{o7} = \frac{2 \cdot M_{k7}}{\frac{m \cdot z_7}{\cos \beta}}$$

$z_7 = 22$ mat. 11600

$$\pi \cdot m \cdot b \cdot c_{\min} \cdot \mu \geq \frac{2 \cdot M_{k7}}{\frac{m \cdot z_7}{\cos \beta}}$$

$$F_{o7} = \frac{2 \cdot 1700 \cdot \cos 15^\circ}{4.22}$$

$z_8 = 66$

$$F_{dov} = 3,14 \cdot 12 \cdot 150 \cdot 7,7 \cdot 1 \quad F_{o7} = \underline{\underline{37,32 \text{ N}}}$$

$m = 12$

$$F_{dov} = \underline{\underline{43,54 \text{ kN}}}$$

$b = 150 \text{ mm}$

$M_{k7} = 1700 \text{ Nm}$

$M_{k8} = 5205 \text{ Nm}$

$$c_{o7} = \frac{\sigma_{do7} \cdot r_{o7}}{y_{o7}}$$

$$c_{o8} = \frac{\sigma_{do8} \cdot r_{o8}}{y_{o8}}$$

$\beta = 15^\circ$

$$c_{o7} = \frac{95 \cdot 0,35}{4,32}$$

$$c_{o8} = \frac{90 \cdot 0,435}{3,63}$$

$\mu = 1$

$$c_{o7} = \underline{\underline{7,7}}$$

$$c_{o8} = \underline{\underline{11,65}}$$

$n_7 = 512 \text{ ot/min}$

$n_8 = 171 \text{ ot/min}$

$L_h = 10000 \text{ hod}$

$$c_{d7} = \frac{\sigma_{dd7} \cdot r_{d7}}{U \cdot y_{d7}}$$

$$c_{d8} = \frac{\sigma_{dd8} \cdot r_{d8}}{U \cdot y_{d8}}$$

$\sigma_{do7} = 95 \text{ MPa}$

$$c_{d7} = \frac{31 \cdot 0,42}{1,04 \cdot 1,34}$$

$$c_{d8} = \frac{28 \cdot 0,515}{1,04 \cdot 0,54}$$

$\sigma_{do8} = 90 \text{ MPa}$

$$c_{d7} = \underline{\underline{9,34}}$$

$$c_{d8} = \underline{\underline{25,68}}$$

$\sigma_{dd7} = 31 \text{ MPa}$

$\sigma_{dd8} = 28 \text{ MPa}$

Z tabulek : $r_{o7} = 0,35$

$r_{o8} = 0,435$

$$U = \left(\frac{m}{10}\right)^{0,2}$$

$y_{o7} = 4,32$

$y_{o8} = 3,63$

$$U = \left(\frac{12}{10}\right)^{0,2}$$

$r_{d7} = 0,42$

$r_{d8} = 0,515$

$$U = \underline{\underline{1,04}}$$

$y_{d7} = 1,34$

$y_{d8} = 0,54$

$$z_{n7} = \frac{z_7}{\cos^3 \beta}$$

$$z_{n8} = \frac{z_8}{\cos^3 \beta}$$

$$i_n = \frac{z_{n8}}{z_{n7}} = \frac{73,23}{24,41} = \underline{\underline{3}}$$

$$z_{n7} = \frac{22}{\cos^3 15^\circ}$$

$$z_{n8} = \frac{66}{\cos^3 15^\circ}$$

$$z_{n7} = \underline{\underline{24,41}}$$

$$z_{n8} = \underline{\underline{73,23}}$$

Kola z pevnostního hlediska pro II. stupeň vyhovují

Kolo č.9,10 mat.12050

$$F_{dov} \geq F_o$$

$$F_{o9} = \frac{2 \cdot M_{k9}}{\frac{m \cdot z_9}{\cos \beta}}$$

$z_9 = 23$ mat. 11600

$$\pi \cdot m \cdot b \cdot c_{\min} \cdot \mu \geq \frac{2 \cdot M_{k9}}{\frac{m \cdot z_9}{\cos \beta}}$$

$$F_{o9} = \frac{2 \cdot 13993 \cdot \cos 15^\circ}{4 \cdot 23}$$

$z_{10} = 118$

$$F_{dov} = 3,14 \cdot 15 \cdot 150 \cdot 13,06 \cdot 1 \quad F_{o9} = \underline{\underline{293,83 \text{ N}}}$$

$m = 15$

$$F_{dov} = \underline{\underline{92,32 \text{ kN}}}$$

$b = 150 \text{ mm}$

$M_{k9} = 13993 \text{ Nm}$

$M_{k10} = 70000 \text{ Nm}$

$$c_{o9} = \frac{\sigma_{do9} \cdot r_{o9}}{y_{o9}}$$

$$c_{o10} = \frac{\sigma_{do10} \cdot r_{o10}}{y_{o10}}$$

$$\beta = 15^\circ \quad c_{o9} = \frac{95,0,565}{4,11} \quad c_{o10} = \frac{90,0,72}{3,86}$$

$$\mu = 1 \quad c_{o9} = \underline{13,06} \quad c_{o10} = \underline{16,78}$$

$$n_9 = 61,6 \text{ ot/min} \quad c_{d9} = \frac{\sigma_{dd9} \cdot r_{d9}}{U \cdot y_{d9}} \quad c_{d10} = \frac{\sigma_{dd10} \cdot r_{d10}}{U \cdot y_{d10}}$$

$$n_{10} = 12 \text{ ot/min} \quad c_{d9} = \frac{31 \cdot 0,77}{1,08 \cdot 1,128} \quad c_{d10} = \frac{28 \cdot 0,98}{1,08 \cdot 0,4}$$

$$L_h = 5000 \text{ hod} \quad c_{d9} = \underline{19,59} \quad c_{d10} = \underline{63,5}$$

$$\sigma_{do9} = 95 \text{ MPa} \quad c_{d9} = \underline{19,59} \quad c_{d10} = \underline{63,5}$$

$$\sigma_{do10} = 90 \text{ MPa} \quad c_{d9} = \underline{19,59} \quad c_{d10} = \underline{63,5}$$

$$\sigma_{dd9} = 31 \text{ MPa} \quad c_{d9} = \underline{19,59} \quad c_{d10} = \underline{63,5}$$

$$\sigma_{dd10} = 28 \text{ MPa} \quad c_{d9} = \underline{19,59} \quad c_{d10} = \underline{63,5}$$

Z tabulek :

$$r_{o9} = 0,565 \quad r_{o10} = 0,72 \quad U = \left(\frac{m}{10}\right)^{0,2}$$

$$y_{o9} = 4,11 \quad y_{o10} = 3,86 \quad U = \left(\frac{15}{10}\right)^{0,2}$$

$$r_{d9} = 0,77 \quad r_{d10} = 0,98 \quad U = \underline{1,08}$$

$$y_{d9} = 1,128 \quad y_{d10} = 0,4$$

$$z_{n9} = \frac{z_9}{\cos^3 \beta} \quad z_{n10} = \frac{z_{10}}{\cos^3 \beta} \quad i_n = \frac{z_{n10}}{z_{n9}} = \frac{130,93}{25,52} = \underline{5,13}$$

$$z_{n9} = \frac{23}{\cos^3 15^\circ} \quad z_{n10} = \frac{118}{\cos^3 15^\circ}$$

$$z_{n9} = \underline{25,52} \quad z_{n10} = \underline{130,93}$$

Kola z pevnostního hlediska pro I. stupeň vyhovují

Kolo č.9,10 mat.12050 $F_{dov} \geq F_o$ $F_{o9} = \frac{2 \cdot M_{k9}}{\frac{m \cdot z_9}{\cos \beta}}$

$z_9 = 23$ mat. 11600 $\pi \cdot m \cdot b \cdot c_{min} \cdot \mu \geq \frac{2 \cdot M_{k9}}{\cos \beta}$ $F_{o9} = \frac{2 \cdot 5205 \cdot \cos 15^\circ}{4 \cdot 23}$

$z_{10} = 118$ $F_{dov} = 3,14 \cdot 15 \cdot 150 \cdot 10,05 \cdot 1$ $F_{o9} = \underline{109,3 \text{ N}}$

$m = 15$ $F_{dov} = \underline{71 \text{ kN}}$

$b = 150 \text{ mm}$

$M_{k9} = 5205 \text{ Nm}$

$M_{k10} = 26170 \text{ Nm}$ $c_{o9} = \frac{\sigma_{do9} \cdot r_{o9}}{y_{o9}} \quad c_{o10} = \frac{\sigma_{do10} \cdot r_{o10}}{y_{o10}}$

$\beta = 15^\circ \quad c_{o9} = \frac{95,0,435}{4,11} \quad c_{o10} = \frac{90,0,55}{3,86}$

$\mu = 1 \quad c_{o9} = \underline{10,05} \quad c_{o10} = \underline{12,82}$

$n_9 = 171 \text{ ot/min}$

$n_{10} = 33,3 \text{ ot/min}$

$L_h = 10000 \text{ hod} \quad c_{d9} = \frac{\sigma_{dd9} \cdot r_{d9}}{U \cdot y_{d9}} \quad c_{d10} = \frac{\sigma_{dd10} \cdot r_{d10}}{U \cdot y_{d10}}$

$\sigma_{do9} = 95 \text{ MPa} \quad c_{d9} = \frac{31 \cdot 0,51}{1,08 \cdot 1,128} \quad c_{d10} = \frac{28 \cdot 0,66}{1,08 \cdot 0,4}$

$\sigma_{do10} = 90 \text{ MPa} \quad c_{d9} = \underline{13,10} \quad c_{d10} = \underline{42,78}$

$\sigma_{dd9} = 31 \text{ MPa} \quad c_{d9} = \underline{13,10} \quad c_{d10} = \underline{42,78}$

$\sigma_{dd10} = 28 \text{ MPa} \quad c_{d9} = \underline{13,10} \quad c_{d10} = \underline{42,78}$

Z tabulek : $r_{o9} = 0,435$ $r_{o10} = 0,55$ $U = \left(\frac{m}{10}\right)^{0,2}$
 $y_{o9} = 4,11$ $y_{o10} = 3,86$ $U = \left(\frac{15}{10}\right)^{0,2}$
 $r_{d9} = 0,515$ $r_{d10} = 0,66$ $U = \underline{1,08}$
 $y_{d9} = 1,128$ $y_{d10} = 0,4$

$$i_n = \frac{z_{n10}}{z_{n9}} = \frac{130,93}{25,52} = \underline{5,13}$$

$$z_{n9} = \frac{z_9}{\cos^3 \beta} = \frac{23}{\cos^3 15^\circ} = \underline{25,52}$$

$$z_{n10} = \frac{z_{10}}{\cos^3 \beta} = \frac{118}{\cos^3 15^\circ} = \underline{130,93}$$

Kola z pevnostního hlediska pro II. stupeň vyhovují

Kolo č.9,10 mat.12050 $F_{dov} \geq F_o$ $F_{o9} = \frac{2 \cdot M_{k9}}{m \cdot z_9 \cdot \cos \beta}$
 $z_9 = 23$ mat. 11600 $\pi \cdot m \cdot b \cdot c_{min} \cdot \mu \geq \frac{2 \cdot M_{k9}}{m \cdot z_9 \cdot \cos \beta}$ $F_{o9} = \frac{2 \cdot 1737 \cdot \cos 15^\circ}{4 \cdot 23}$
 $z_{10} = 118$ $F_{dov} = 3,14 \cdot 15 \cdot 150 \cdot 9,01 \cdot 1$ $F_{o9} = \underline{36,47N}$
 $m = 15$ $F_{dov} = \underline{63,7 \text{ kN}}$

$b = 150 \text{ mm}$
 $M_{k9} = 1737 \text{ Nm}$
 $M_{k10} = 8732,6 \text{ Nm}$
 $\beta = 15^\circ$
 $\mu = 1$
 $n_9 = 512 \text{ ot/min}$
 $n_{10} = 100 \text{ ot/min}$
 $L_h = 5000 \text{ hod}$
 $\sigma_{do9} = 95 \text{ MPa}$
 $\sigma_{do10} = 90 \text{ MPa}$
 $\sigma_{dd9} = 31 \text{ MPa}$
 $\sigma_{dd10} = 28 \text{ MPa}$

$$c_{o9} = \frac{\sigma_{do9} \cdot r_{o9}}{y_{o9}} = \frac{95,0,39}{4,11} = \underline{9,01}$$

$$c_{o10} = \frac{\sigma_{do10} \cdot r_{o10}}{y_{o10}} = \frac{90,0,525}{3,86} = \underline{12,24}$$

$$c_{d9} = \frac{\sigma_{dd9} \cdot r_{d9}}{U \cdot y_{d9}} = \frac{31 \cdot 0,52}{1,08 \cdot 1,128} = \underline{13,23}$$

$$c_{d10} = \frac{\sigma_{dd10} \cdot r_{d10}}{U \cdot y_{d10}} = \frac{28 \cdot 0,71}{1,08 \cdot 0,4} = \underline{46}$$

Z tabulek : $r_{o9} = 0,39$ $r_{o10} = 0,525$ $U = \left(\frac{m}{10}\right)^{0,2}$
 $y_{o9} = 4,11$ $y_{o10} = 3,86$ $U = \left(\frac{15}{10}\right)^{0,2}$
 $r_{d9} = 0,52$ $r_{d10} = 0,71$ $U = \underline{1,08}$
 $y_{d9} = 1,128$ $y_{d10} = 0,4$

$$i_n = \frac{z_{n10}}{z_{n9}} = \frac{130,93}{25,52} = \underline{5,13}$$

$$z_{n9} = \frac{z_9}{\cos^3 \beta} = \frac{23}{\cos^3 15^\circ} = \underline{25,52}$$

$$z_{n10} = \frac{z_{10}}{\cos^3 \beta} = \frac{118}{\cos^3 15^\circ} = \underline{130,93}$$

Kola z pevnostního hlediska pro III. stupeň vyhovují.

6 Závěr

Cílem mé bakalářské práce byl navrhnout hlavní pohon soustruhu a provést k tomu patřičné výpočty a vypracovat patřičnou dokumentaci.

V teoretické části jsem popsal obecně, z čeho se soustruh skládá, dle čeho se rozděluje a k čemu se používá. Následně jsem se věnoval konkrétní oblasti, kde jsem od návrhu elektromotoru, od kterého se odvíjí počet převodových stupňů, zvolil příslušná ozubená soukolí a poté následně navrhnul konkrétní hřídel. Samozřejmě patřičné výpočty byly následně kontrolovány softwarovým souborem PREV, včetně souhmotí a navržených ložisek.

Na základě těchto výpočtů mohu říci, že mnou navržený hřídel vyhovuje všem požadovaným kritériím.

7 Použitá literatura

7.1 Knižní publikace

[1] TOS Manuál hrotového soustruhu SU63A

7.2 Učební texty

[1] ŘEHOŘ, J. *Strojírenská technologie obrábění*. Plzeň: ZČU-KTO, 2010.

[2] HUDEC, Z. *Konstrukce obráběcích strojů*. Plzeň: ZČU-KKS, 2010.

[3] LAŠOVÁ, V. *Základy stavby obráběcích strojů*. Plzeň: ZČU-KKS, 2010.

[4] KRÁTKÝ, J., KRONEROVÁ, E. *Části a mechanismy Strojů*. Plzeň: ZČU-KKS, 2009.

[5] ŘEHÁČEK, M. *Software pro soustruh*. Plzeň: ZČU-KTO, 2009.

7.3 Publikace na internetu

[1] *Wikipedia: Otevřená encyklopedie: Soustruh* [online]. c2011 [cit. 2011-10-10]. Dostupné z:
<<http://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Soustruh&oldid=8570473>><http://cs.wikipedia.org/wiki/Soustruh>>

[2] VUT Brno. *Vutbr* [online]. 2008 [cit. 2011-10-13]. Dostupné z:
<http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6815>

[3] VUT Brno. *Vutbr* [online]. 2008 [cit. 2011-10-13]. Dostupné z:
<http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17415>

[4] *Strojirenstvi-ucivo* [online]. 2010 [cit. 2011-10-14]. Dostupné z: <<http://strojirenstvi-ucivo.blogspot.com>>

[5] *TOSAS* [online]. 2011 [cit. 2011-10-28]. Dostupné z:
<<http://www.tosas.cz/lang/produkty/soustruhy/komercni-sous/su-63-h>>

[6] *Kovosvit* [online]. 2009 [cit. 2011-11-14]. Dostupné z:
<<http://www.kovosvit.cz/cz/masturn-550-cnc/>>

[7] *Wikipedia: Otevřená encyklopedie: Soubor:HwacheonCentreLathe-carriage-mask legend* [online]. 2006 [cit. 2011-11-15]. Dostupné z:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:HwacheonCentreLathe-carriage-mask_legend.jpg>

[8] *Vyroba stroju* [online]. c2008 [cit. 2011-11-17]. Dostupné z:
<<http://vyrobastroju.webnode.cz/products/nozove-drzaky>>

- [9] LASOVA, V. *OS s hlavním řezným pohybem rotačním* [online]. 2003 [cit. 2011-11-18]. Dostupné z: <<http://home.zcu.cz/~lasova/ZSVS/p55.ppt>>
- [10] *Wikipedia: Otevřená encyklopedie: Elektromotor* [online]. c2001 [cit. 2011-11-19]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromotor>>
- [11] PED-MUNI. *Asynchronní a synchronní stroje* [online]. 2010 [cit. 2012-06-13]. Dostupné z: <www.ped.muni.cz/wtech/elearning/ELE/Asynch._a_synchr._stroje.ppt>
- [12] SMILEK, J. *Spouštění asynchronních trojfázových motorů* [online]. 2009 [cit. 2011-11-21]. Dostupné z: <<http://www.jsmilek.cz/skripta%20pdf/esp%209%20spousteni%20asm.pdf>>
- [13] *Pslib: Motory* [online]. 2009 [cit. 2011-11-22]. Dostupné z: <http://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/motory/obecne/002-Motory_TYPY_33str.pdf>
- [14] *Siemens* [online]. 2010 [cit. 2012-02-25]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/katalogy/pm21/chapters/cat_pm-21-ch05_2011_de.pdf>

8 Seznam příloh

Příloha č.1 – Kontrolní výpočty hřídele

Příloha č. 2 – Výkresová dokumentace hřídele

PŘÍLOHA č. 1

Kontrolní výpočty hřídele


```

/~~~~~#
コ
コ  Namev : Hridel pohonu          Stroj : 80 kW          コ
コ
コ  Autor : Krigl                  03/30/12          コ
コ
コ                                HRIDEL. dh1          List : 2          コ
ネ~~~~~#

```

Loziska - zadani polohy

```

-----
Souhmoti : 2.0          pocet lozisek : 2
c. oznaceni   I sour.Z[mm] podpera maz. uloz.
-----I-----
1      6226   I      .00   .0   olej   ra(
2      6222   I     563.00   .0   olej   ra)
-----I-----

```

Obecna zatezna mista -zadani polohy

```

-----
Souhmoti : 2.0          pocet OZM : 0

```

- VYPOCTOVE CLENENI NOSNEHO PROFILU SOUHMOTI

Souhmoti : 2.00

rez	h r i d e l			I zatezna mista		I l o z i s k a	
	Z[mm]	Dmax[mm]	Dmin[mm]	I ozn.	ZZM/OZM	I	oznaceni typ loziska uloz.
1	-35.0	130.0	.0	I		I	
2	.0	130.0	.0	I		I	6226 r.kul.jr. ra(
3	23.0	150.0	.0	I		I	
4	35.0	180.0	.0	I		I	
5	59.0	180.0	.0	I	2.01 valc.vne.	I	
6	113.0	150.0	.0	I		I	
7	163.0	150.0	.0	I	3.04 valc.vne.	I	
8	433.0	140.0	.0	I		I	
9	483.0	140.0	.0	I	5.06 valc.vne.	I	
10	544.0	110.0	.0	I		I	
11	563.0	110.0	.0	I		I	6222 r.kul.jr. ra)
12	950.0	110.0	.0	I	11.12 spojka	I	
13	1100.0	.0	.0	I		I	

```

/~~~~~#

```


コ Autor : Krigl

03/30/12

コ

コ

コ

コ

HRIDEL. dh1

List : 6 コ

ネ~~~~~

11.12	spojka	1.01	.0	I	.0	.0	.0
		2.01	.0	I	.0	.0	.0
		3.01	-1735.0	I	.0	.0	.0

OBVODOVE RYCHLOSTI

zatez. misto	I	2.	I	3.	I	5.	I	11.	I
-----	I	-----	I	-----	I	-----	I	-----	I
obv. rych. [m/s]	I	23.68	I	19.79	I	39.58	I	.00	I

REAKCE V LOZISKACH

Souhmoti : 2.00

pocet lozisek : 2

l o z i s k o		I	v y p o c t e n e h o d n o t y				
oznaceni	typ	mst. zs	I	Fx	Fy	Fr	Fa
			I	[N]	[N]	[N]	[N]
6226	r. kul. jr.	1.01	I	-17212.1	-835.1	17232.4	2096.2
		2.01	I	-10528.5	-3900.6	11227.9	2283.1
		3.01	I	-9615.4	-4233.0	10505.9	2283.1
.....							
6222	r. kul. jr.	1.01	I	-4449.8	1460.3	4683.3	.0
		2.01	I	-6638.4	2242.7	7007.0	.0
		3.01	I	-1125.6	236.2	1150.1	.0

```

/~~~~~#
コ                                         コ
コ  Nazev : Hridel pohonu                Stroj : 80 kW      コ
コ                                         コ
コ  Autor : Krigl                        03/30/12        コ
コ                                         コ
コ                                         HRIDEL. dh1      List : 7   コ
コ                                         ~~~~~#

```

DEFORMACE v prevodovych prvcich

Souhmoti : 2.00 pocet ZZM : 4

p r e v o d. prvkyl v y p o c t e n e h o d n o t y

ozn.	typ	ms. zs I	pruhyb I ux[mm]	pruhyb uy[mm]	pruhyb uo[mm]	natoceni fio[rad]	natoceni fik[rad]
------	-----	----------	--------------------	------------------	------------------	----------------------	----------------------

2.01	valc. vne.	1.01I	.304E-02	-.936E-03	.318E-02	.516E-04	.000E+00
		2.01I	.142E-02	-.332E-03	.146E-02	.234E-04	.000E+00
		3.01I	.898E-03	-.142E-03	.909E-03	.142E-04	.000E+00

3.04	valc. vne.	1.01I	.731E-02	-.234E-02	.768E-02	.292E-04	.301E-04
		2.01I	.339E-02	-.887E-03	.351E-02	.143E-04	.328E-04
		3.01I	.201E-02	-.386E-03	.205E-02	.676E-05	.328E-04

5.06	valc. vne.	1.01I	.333E-02	-.108E-02	.350E-02	.412E-04	.301E-04
		2.01I	.210E-02	-.620E-03	.218E-02	.235E-04	.178E-03
		3.01I	.876E-03	-.176E-03	.894E-03	.105E-04	.178E-03

11.12	spojka	1.01I	-.167E-01	.542E-02	.176E-01	.454E-04	.301E-04
		2.01I	-.110E-01	.329E-02	.115E-01	.296E-04	.178E-03
		3.01I	-.438E-02	.883E-03	.447E-02	.115E-04	.817E-03

DEFORMACE v loziskach

Souhmoti : 2.00 pocet lozisek : 2

l o z i s k o I vypoctene hodnoty

oznaceni	typ	mst. zs I	natoceni I fio [rad]
----------	-----	-----------	-------------------------

6226	r. kul. jr.	1.01I	.5581E-04
		2.01I	.2588E-04
		3.01I	.1647E-04

6222	r. kul. jr.	1.01I	.4535E-04
		2.01I	.2963E-04
		3.01I	.1155E-04


```

/^\^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^\#
コ                                                                                                                                            コ
コ  Nazev : Hridel pohonu                                                                                                                Stroj : 80 kW                                                                                                                                            コ
コ                                                                                                                                            コ
コ  Autor : Krigl                                                                                                                            03/30/12                                                                                                                                            コ
コ                                                                                                                                            コ
コ                                                                                                                                            HRIDEL. dh1                                                                                                                                            List : 10                                                                                                                                            コ
^\^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^\#

```

```

*          o z u b e n a   k o l a   c e l n i          *
*  razitko pro kolo   2          *
*  =====          *

```

```

-----*
* ozubeni (CEJNI, KUZELOVE)          i          celni          *
* zuby (PRIME, SIKME, SIPOVE)       i          sikme          *
* pocet zubu                          i   z   i          79          *
*   i modul                           i   m   i          4.00        *
* nastroj i uhel profilu              i  alfa i   20  0  0        *
*   i profil                           i    CSN 014607          *
*   i vyska hlavy nastroje             i  hxf i  1.25.m = 5.00    *
* uhel sklonu bocni krivky zubu       i  beta i   12  0  0        *
* smysl stoupani bocni krivky zubu    i   -   i    levy          *
* jednotkove posunuti                 i   x   i    .0190        *
* jednotkova zmena tloustky zubu      i   xt  i          *
* stupen presnosti          st sev 641-77 i          7 - 7 - 5 Dh/III *
*   i tloustka zubu na tetive          i          i   5.60 -.074   *
*   i                                  i          i    -.138     *
*   i vyska hlavy zubu nad tetivou     i          i    3.03         *
* kontr. i pres   10 zubu               i   W   i   116.95 -.070   *
* rozmer i                               i          i    -.130     *
*   i pres kulicky 0  6.00             i   M   i   329.43 -.242   *
*   i                                  i          i    -.338     *
* modul celni                          i   mt  i    4.08936       *
* prumer zakladni kruznice             i   db  i    302.78        *
* uhel sklonu bocni krivky zubu na zakl.valcii betab i   11 15 59          *
* betaw15 = 11 40 10          dw15 = 313.91 i          i          *

```

```

-----*
*          spoluzabirajici kolo          *

```

```

-----*
* cislo vykresu i   pocet zubu   i   vzdalenost os aw   i   uhel os   *
*   i          27               i   218.00 + .035       i   0           *
*   i                               i   - .035         i           *

```

```

-----*
*  prumery ozubeneho kola 2   [mm]          *
*  =====          *
*   roztecný          323.06          mezni obvodove hazeni   .056          *
*   patni             313.21          *
*   hlavovy           331.16          *
*   zadana sirka      48.00 mm          *

```

```

*
*   hodnoty pro brouseni
*   beta w15           11 40 10           11 40 10
*   dw15              313.9061           107.2843
*   beta w 0          11 15 59           11 15 59
*   dw 0              302.7777           103.4810
*
*   prumer kruz. pocatku zaberu[mm]    317.62           106.26
*
* * * * *

```



```

*          o z u b e n a   k o l a   c e l n i          *
*  razitko pro kolo   3          *
*  =====          *
*-----*
* ozubeni (CELNI, KUZELOVE)          i          celni          *
* zuby (PRIME, SIKME, SIPOVE)        i          prime          *
* pocet zubu                          i   z   i          30          *
*   i modul                            i   m   i          9.00          *
* nastroj i uhel profilu              i  alfa i   20  0  0          *
*   i profil                           i    CSN 014607          *
*   i vyska hlavy nastroje             i  hxf i  1.25.m = 11.25          *
* uhel sklonu bocni krivky zubu       i  beta i    0  0  0          *
* smysl stoupani bocni krivky zubu    i   -   i          -          *
* jednotkove posunuti                 i   x   i          .3140          *
* jednotkova zmena tloustky zubu      i   xt  i          *
* stupen presnosti          st sev 641-77 i          7 - 7 - 5 Dh/III          *
*   i tloustka zubu na tetive          i          i          14.30  -.064          *
*   i                                  i          i          -.138          *
*   i vyska hlavy zubu nad tetivou     i          i          9.14          *
* kontr. i pres      4 zuby            i   W   i          98.71  -.060          *
* rozmer i                                  i          i          -.130          *
*   i pres valeyky  0  11.00          i   M   i          279.96  -.226          *
*   i                                  i          i          -.346          *
* modul celni                          i   mt  i          9.00000          *
* prumer zakladni kruznice             i   db  i          253.72          *
* uhel sklonu bocni krivky zubu na zakl.valcii betab i    0  0  0          *
*   i                                  i          i          *
*   i                                  i          i          *
* betaw15 =  0  0  0      dw15 =  262.67 i          i          *
*-----*
*          spoluzabirajici kolo          *
*-----*
* cislo vykresu i   pocet zubu   i   vzdalenost os aw   i   uhel os          *
*   i          91             i   548.00 + .055   i   0          *
*   i          i             i          - .055   i          *
*-----*
*  prumery ozubeneho kola 3   [mm]          *
*  =====          *
*   roztecny      270.00          mezni obvodove hazeni   .063          *
*   patni         253.15          *
*   hlavovy       293.49          *
*   *
*   zadana sirka   100.00 mm          *
*****

```


コ Navez : Hridel pohonu Stroj : 80 kW コ

コ Autor : Krigl 03/30/12 コ

コ HRIDEL. dh1 List : 16 コ

ネ^~~~~~

* * * * *

* o z u b e n a k o l a c e l n i *
* r o z m e r o v y v y p o c e t *

* korekce na merne skluzy *

* kolo 3 kolo 4 *

pocet zubu kol	30	91
normalny modul [mm]		9.00
normalny uhel zaberu [deg]	20 0 0	
uhel sklonu zubu [deg] (kl)	0 0 0	
bocni vule [mm]		.0000
osova vzdalenost [mm]		548.0000
sirka kol [mm]	100.00	100.00

jednotkove posunuti profilu	.3140	.0841
prumery hlavovych kruznic [mm]	293.49	838.35
prumery roztecnych kruznic [mm]	270.00	819.00
prumery patnich kruznic [mm]	253.15	798.01!pod zakladni*
prumery zakladnich kruznic [mm]	253.72	769.61

trvani evolventy		1.6471
trvani kroku		.0000
celkove trvani zaberu		1.6471

meze souctu jednotkovych posunuti		
smluvni dolni mez		-.4050
doporucena dolni mez		.0000
skutecny soucet jedn. posunuti		.3981
doporucena horni mez		1.0000
smluvni horni mez		1.5000

meze jednotkovych posunuti kol		
smluvni dolni mez	-.1667	-.5000
doporucena dolni mez	.0000	-.5000
skutecne jednotkove posunuti	.3140	.0841
doporucena horni mez	.6000	.6000
smluvni horni mez	.8000	1.0000

kontrolni miry		
pocet zubu pro mereni	4	11
rozmer pres zuby [mm]	98.71	290.96

* * * * *

*	konstantni tloustka zubu [mm]	14.30	12.97	*
*	konstantni vyska zubu [mm]	9.14	7.31	*
*				*
*	hodnoty pro brouseni			*
*	beta w15	0 0 0	0 0 0	*
*	dw15	262.6672	796.7571	*
*	beta w 0	0 0 0	0 0 0	*
*	dw 0	253.7170	769.6083	*
*				*
*	prumer kruz. pocatku zaberu[mm]	260.71	807.65	*
* * * * *				


```

/~~~~~#
コ
コ  Namev : Hridel pohonu          Stroj : 80 kW          コ
コ
コ  Autor : Krigl                  03/30/12          コ
コ
コ                                HRIDEL. dh1          List : 21  コ
ネ~~~~~#

```

* * * * *

* * * * *

* EVOLVENTNI DRAZKOVANI S UHLEM PROFILU 30. DEG *
 * ROZMERY ST SEV 517-77 (CSN 01 4954*) *
 * * * * *

* STREDENI NA BOKY ZUBU , PLOCHY TVAR DNA DRAZKY *
 * * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* ZADANE HODNOTY DRAZKOVANI *
 * * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* * * * *

* VYPOCTENE HODNOTY TOLERANCE *
 * * * * *

* * * * *

* POCET ZUBU 20 *
 * * * * *

* PRUMER ROZTECNE KRZNICE 100.00 [MM] *
 * * * * *

* PRUMER ZAKLADNI KRZNICE 86.603 [MM] *
 * * * * *

* * * * *

* HLAVOVY PRUMER HRIDELE 109.00 [MM] D9 , H12 *
 * * * * *

* HLAVOVY PRUMER NABOJE 100.00 [MM] H11 *
 * * * * *

* PATNI PRUMER HRIDELE 99.00 [MM] H16 *
 * * * * *

* PATNI PRUMER NABOJE 110.00 [MM] H16 *
 * * * * *

* * * * *

* POSUNUTI ZAKLADNIHO PROFILU 2.250 [MM] *
 * * * * *

* JMENOVITA TLOUSTKA ZUBU *
 * * * * *

* NA ROZTECNE KRZNICI 10.452 [MM] *
 * * * * *

* * * * *

* KONTROLNI ROZMERY *
 * * * * *

* * * * *

* HRIDEL : PRUMER VALECKU 11.00 [MM] *
 * * * * *

* ROZMER PRES VALECKY 122.313 [MM] -.160 -.073 *
 * * * * *

* * * * *

* NABOJ : PRUMER VALECKU 9.00 [MM] *
 * * * * *

* ROZMER MEZI VALECKY 91.103 [MM] .064 .173 *
 * * * * *

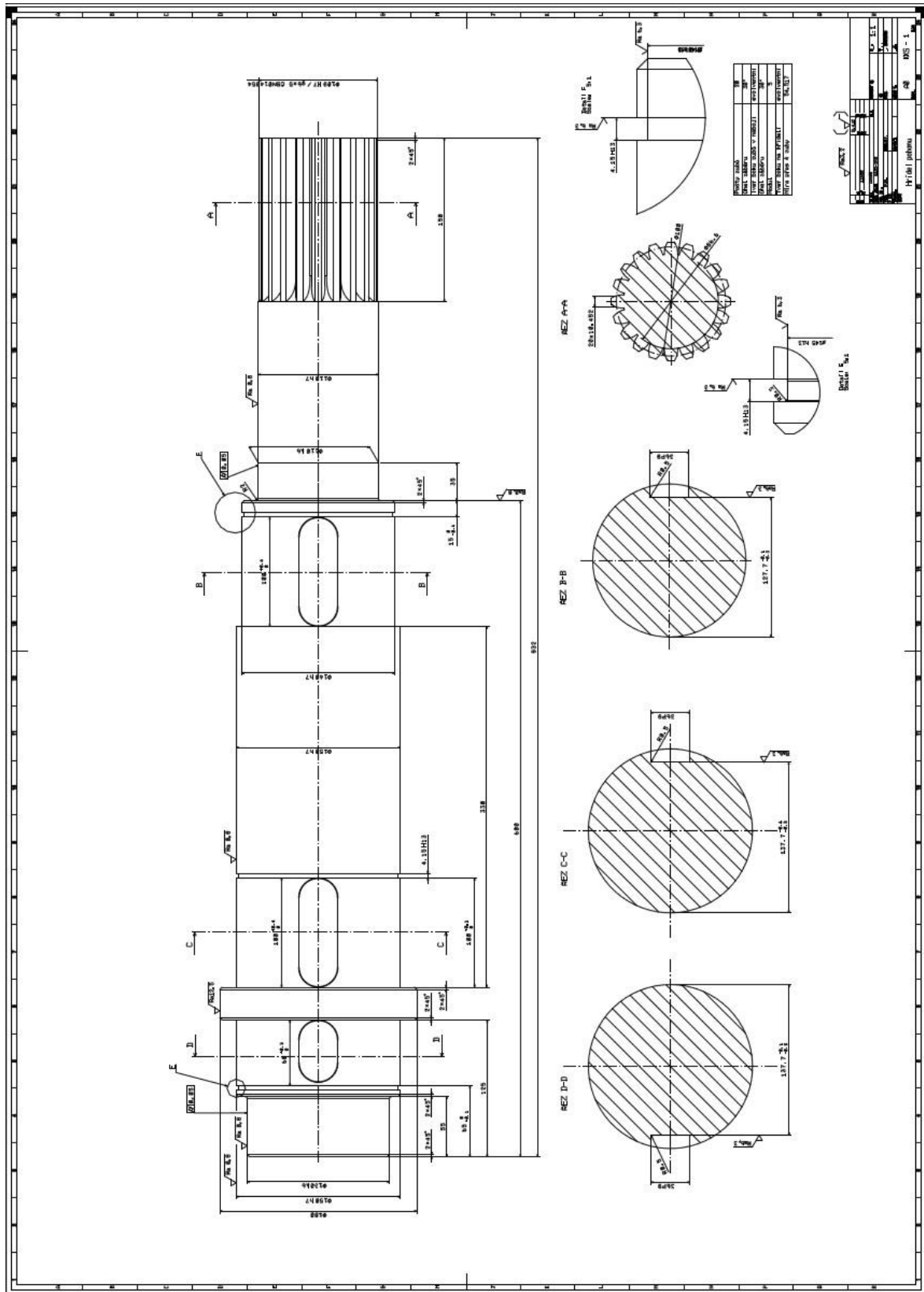
* * * * *

* POCET ZUBU PRES KTERE SE MERI 4 ** asi nepujde zmerit ** *
 * * * * *

* ROZMER PRES ZUBY : HRIDEL 54.517 [MM] -.100 -.046 *
 * * * * *

PŘÍLOHA č. 2

Výkresová dokumentace hřídele



Výrobní výkres navrženého hřídle

