

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T019 Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Využití pokročilých CAD/CAM simulací pro návrh speciálního
horizontkového pracoviště.

Autor: **Bc. Jan Stanek**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji paní Doc. Ing. Václavě Lašové, Ph.D. za cenné rady a odborné připomínky při vypracovávání této práce.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Stanek Bc.	Jméno Jan	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Strojní inženýrství“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Lašová, Ph.D	Jméno Václava	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Využití pokročilých CAD/CAM simulací pro návrh speciálního horizontkového pracoviště.		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	156	TEXTOVÁ ČÁST	87	GRAFICKÁ ČÁST	69
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Návrh speciálního pracoviště pro možnost obrobení rotorových obrobků s vhodným strojním příslušenstvím. Vyšetření správnosti návrhu obráběcího pracoviště pomocí virtuálních simulací a kompletní konstrukční návrh natáčecího vřeteníku pro polohování rotorového obrobku za účelem snížení vedlejších časů výroby.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>CAD/CAM, natáčecí vřeteník, master – slave, křížové ložisko s integrovaným ozubeným věncem, speciální horizontkové pracoviště, jednotka upínací</p>

SUMMARY OF DIPLOMA THESIS

AUTHOR	Surname Stanek Bc.	Name Jan	
FIELD OF STUDY	N2301 „Mechanical engineering“.		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Lašová, Ph.D	Name Václava	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Using advanced CAD/CAM simulations to design a special horizontal workplace.		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	156	TEXT PART	87	GRAPHICAL PART	69
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Design of a special workplace for machining rotor workpieces with suitable machine accessories. Examining the accuracy of a workpiece design using virtual simulations and a complete design of the rotary headstock for positioning the rotor workpiece to reduce secondary production times.
KEY WORDS	CAD / CAM, rotary headstock, master - slave, cross - bearing with integrated toothed ring, special horizontal workstation, clamping unit

Obsah

1	Úvod	11
2	Rešerše strojních zařízení pro opracování rotorových obrobků	13
2.1	Definice obrobku	13
2.2	Technologické procesy třískového obrábění.....	15
2.2.1	Základní druhy třískového obrábění využívaných při výrobě rotorových obrobků	16
2.2.2	Aditivní technologie využívané při výrobě rotorových obrobků	20
2.3	Rozdělení typů výroby rotorových obrobků.....	21
2.3.1	Výroba na více pracovištích.....	21
2.3.2	Výroba na modernizovaném, speciálním pracovišti	23
2.3.3	Výroba celého obrobku na jednom pracovišti	24
2.4	Moderní softwary využívané při návrzích strojních pracovišť	25
2.4.1	CAD	25
2.4.2	CAM	25
2.4.3	Post-procesor	26
2.4.4	NC a CNC řízení obráběcích strojů.....	26
2.4.5	Virtuální simulace	27
3	Základní popis konceptu pracoviště	28
3.1	Vodorovná vyvrtávací a frézovací frézka.....	28
3.1.1	Základní specifikace.....	28
3.1.2	Technické parametry.....	29
3.1.3	Posuvy	29
3.1.4	Přesnost polohování stroje.....	29
3.1.5	Hmotnost stroje HCW 3000.....	29
3.1.6	Krytí vodicích ploch	29
3.1.7	Kabina obsluhy	30
3.2	Příslušenství stroje	30
3.2.1	Frézovací hlava IFVW 103 C-E	30
3.2.2	Frézovací hlava OMG TA 26.40.....	31
3.2.3	Natáčecí vřeteník JS1250.....	32
3.3	Příslušenství pracoviště	34
3.3.1	Automatická výměna nástrojů	34
3.3.2	Pickup	34
3.4	Základ stroje	35
4	Návrh simulace pro obrobení zvoleného rotoru	37

4.1	Popis použitého softwaru.....	37
4.2	Model pracoviště v CAD	37
4.3	Definice kinematiky stroje.....	38
4.4	Definice technologických operací v CAM	39
4.5	Využití post-procesoru	40
4.6	Využití CSE simulace	41
5	Návrh potřebného příslušenství (natáčecí vřeteník JS 1250).....	42
5.1	Úvod	42
5.2	Stanovení optimální varianty konstrukčního řešení:	44
5.3	Návrh převodového ústrojí	45
5.3.1	Výpočet převodového ústrojí.....	47
5.3.2	Popis jednotlivých komponent pohonné soustavy	48
5.3.3	Křížové ložisko s integrovaným ozubeným věncem.....	52
5.4	Návrh lícní desky s upínacími jednotkami	53
5.4.1	Těleso lícní desky.....	54
5.4.2	Upínání obrobku sestava.....	54
5.4.3	Jednotky upínací.....	62
5.5	Uložení vřetene	66
5.5.1	Výpočet uložení vřetene.....	66
5.5.2	Kontrola ložisek	67
5.5.3	Vřeteno.....	71
5.6	Odměřování natočení lícní desky	71
5.6.1	Sestava odměřování osy A.....	72
5.6.2	Specifikace jednotky odměřování Heidenhain RCN 8380	72
5.7	Sestava tělesa natáčecího vřeteníku	73
5.7.1	Odlitek vřeteníku.....	73
5.7.2	Upevnění k základu stroje	74
5.7.3	Spodek vřeteníku.....	74
5.8	Kompletní natáčecí vřeteník JS1250	74
6	Technické a ekonomické zhodnocení.....	78
6.1	Cena a technické parametry vřeteníku JS1250	78
6.2	Srovnání se současným trhem	79
7	Závěr.....	80
	Seznam tabulek	82
	Seznam obrázků	83
	Seznam příloh.....	86

Seznam pramenů a použité literatury..... 87

Seznam zkratk

ZČU	Západočeská univerzita v Plzni
FST	Fakulta strojní
KKS	Katedra konstruování strojů
3D	Trojdimenzionální
CAD	Computer aided design (Počítačová podpora konstruování)
CAM	Computer Aided Manufacturing (Počítačem podporovaná výroba)
MKP	Metoda konečných prvků
CNC	Computer Numerical Control (počítačem řízený obráběcí stroj)
ČSN	Česká technická norma
DIN	Deutsche Industrie-Norm (německá národní norma)
EN	Evropská norma
str.	strana
atd.	a tak dále
tzv.	takzvaně
ŠMT a.s.	Akciová společnost ŠKODA MACHINE TOOL
HCW	Typové označení pro horizontální vyvrtávací stroj ŠKODA MT
FCW	Typové označení pro lehké vyvrtávací stroje ŠKODA MT
AWU	Natáčecí vřeteník od firmy Peiseler
IOV	Natáčecí vřeteník od firmy ŠMT
Nm	Jednotka točivého momentu
MPa	Jednotka tlaku
mm	Jednotka délky
m	Jednotka délky
s	Jednotka času
m/s	Jednotka rychlosti
kW	Jednotka výkonu
ot. /min	Otáčky za minutu
kg	Jednotka hmotnosti
i	Převodový poměr

1 Úvod

Tématem mé diplomové práce je návrh pracoviště vodorovné vyvrtávací frézky a návrh vhodného příslušenství pro opracování generátorových rotorů. Pracoviště vodorovné vyvrtávací frézky s vhodným příslušenstvím je navrženo za účelem zefektivnění výroby generátorových rotorů.

Zefektivnění výroby generátorových rotorů bude docíleno využitím moderního obráběcího stroje HCW 3000 ze sortimentu ŠKODA MACHINE Tool a. s. dále jen ŠMT. Moderní obráběcí stroj od firmy ŠMT zefektivní výrobní proces díky vlastním vysokým parametrům a možnosti využití moderního řídicího systému. S jeho pomocí je možné využít nejmodernější řezné nástroje, které potřebují vysoké vstupní parametry a zaručí snížení samotných řezných časů při samotném opracování rotorových komponent. Samotné řezné časy jsou kalkulovány z parametrů jednotlivých nástrojů a je nutné pro výpočet celkového času zahrnout i časy vedlejší, které ve výsledku nejvíce zlepšují celkovou dobu výroby daného obrobku. Mezi vedlejší časy patří převážně manipulace s obrobkem, tudíž je nutno k samotnému obráběcímu stroji zakomponovat vhodné strojní příslušenství.

Strojní příslušenství bude navrženo tak, aby manipulace s obrobkem byla co nejvíce eliminována. Mezi příslušenství, které budou zakomponovány do strojního pracoviště, spadají frézovací hlavy. Frézovací hlavy jsou strojní zařízení, které umožní natočení osy řezného nástroje do poloh mimo základní osu vřeteně stroje. Možnost využití frézovacích hlav je velice produktivní a promítne se do celkového řezného času, jelikož bude umožněno natočení řezného nástroje k obrobku a nebude nutno obrobek pracně ustavovat proti vřeteně stroje. Veškeré frézovací hlavy budou zakomponovány do strojního pracoviště, dle jejich parametrů, ze sortimentu ŠMT. Další příslušenství zahrnuté do celkového návrhu strojního pracoviště bude natáčecí vřeteník.

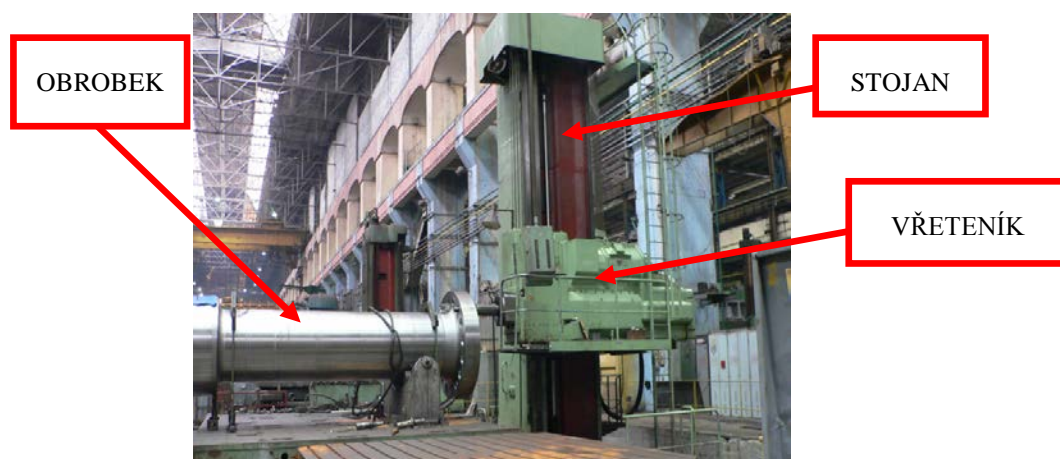
Natáčecí vřeteník umožní automatické natáčení obrobku kolem vlastní osy rotace a eliminuje manuální natáčení obrobku. Pro možnost natáčení obrobku budou k natáčecímu vřeteníku přiřazeny valivé podpěry, na nichž bude obrobek ustaven a natáčen. **Konstrukční návrh natáčecího vřeteníku je hlavní náplní diplomové práce.** Při stanovení vstupních parametrů natáčecího vřeteníku bylo spolupracováno s katedrou konstrukce fakulty strojní Západočeské univerzity, dále jen ZČU a s oddělením konstrukčního vývoje firmy ŠMT. Vstupní parametry pro natáčecí vřeteník byly stanoveny dle průzkumu trhu a dosavadních konstrukčních řešení ŠMT tak, aby nový konstrukční návrh vymezil volný prostor na současném trhu a samotné konstrukční řešení využívalo moderních trendů využívaných v moderních konstrukcích obráběcích strojů a jejich příslušenství. Průzkum trhu je důležitý i pro zmapování konkurence, která se zabývá výrobou natáčecích vřeteníků. Mezi konkurenci na současném trhu byla zařazena německá firma Peiseler, která vyrábí menší natáčecí vřeteníky než ŠMT. Parametry pro vlastní návrh natáčecího vřeteníku budou stanoveny tak, aby se navrhovaný vřeteník pohyboval parametry na trhu v prostoru mezi největším natáčecím vřeteníkem od firmy Peiseler a nejmenším natáčecím vřeteníkem od firmy ŠMT.

Pro přesné navržení strojního pracoviště bude využívána moderní CAD technologie v prostředí systému NX. V tomto prostředí bude navrženo celkové pracoviště v souladu se vstupním obrobkem tak, aby jednotlivé parametry stroje a příslušenství nebyly v rozporu s možností obrobek dané komponenty. Dalším krokem bude kompletní návrh natáčecího vřeteníku v tomto systému. Tento moderní systém bude využit pro modelování jednotlivých komponent, tvorbu výkresové dokumentace a pro výpočty vybraných dílů z natáčecího vřeteníku pomocí metody konečných prvků. V průběhu návrhu strojního pracoviště s natáčecím vřete-

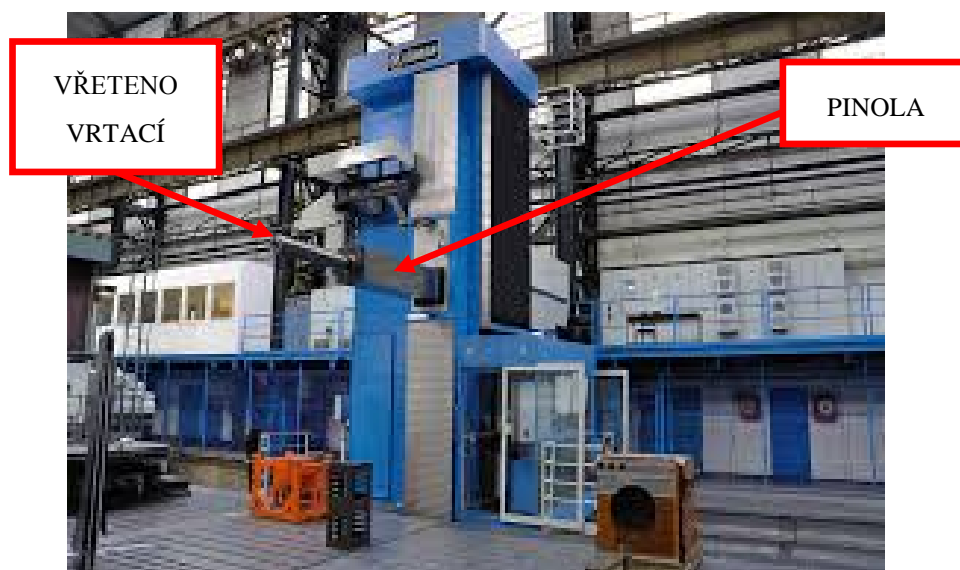
níkem bude využito i CAM technologií v prostředí systému NX. Pomocí CAM technologií naprogramují stěžejní obráběcí operace na definovaném obrobku tak, aby bylo možné následné data z CAM technologií využít ve virtuálních simulacích stroje, které pracují, jak již zmiňované CAD/CAM technologie v prostředí systému NX. Virtuální simulace stroje je využita pro ověření návrhu strojního pracoviště, detekování kolizí mezi obrobkem, strojem a použitým řezným nástrojem.

Po dokončení jednotlivých zmiňovaných činností diplomová práce splní vstupní cíl, kterým je kompletní návrh horizontkového pracoviště za pomoci CAD/CAM technologií. Pracoviště bude sestaveno ze strojních celků z výroby ŠMT a vlastního návrhu natáčecího vřeteníku, který bude hlavním prvkem diplomové práce.

Na níže uvedeném obrázku 1 a obrázku 2 jsou viděny rozdíly mezi starým a novým konceptem pracoviště. Koncepty se mezi sebou liší z pohledu estetiky, ale převážně odlišnými pracovními parametry. U nového konceptu stroje, který je viděn na obrázku 2, se zvýšily jednotlivé parametry stroje, které vedou k celkovému zefektivnění činnosti pracoviště. Mezi tyto parametry jsou zahrnuty zvýšené otáčky stroje, rychlosti posuvů na jednotlivých posuvových osách a v poslední řadě použití nového operačního systému SINUMERIK 840D, díky kterému je umožněno opracování i složitých geometrických tvarů. K pracovišti na obrázku 2 bude v rámci diplomové práce navržen natáčecí vřeteník a další příslušenství za pomoci moderních CAD/CAM technologií pro možnost opracování generátorového rotoru.



Obrázek 1 - stará koncepce vodorovné vyvrtávací frézky[1]



Obrázek 2 - nová koncepce vodorovné vyvrtávací frézky[1]

2 Rešerše strojních zařízení pro opracování rotorových obrobků

Rotorové obrobky jsou komponenty, které jsou vyráběny pomocí technologického procesu nazývaného třískové obrábění. U takto výrobně složitých obrobků je při výrobě použito více druhů třískového obrábění, mezi které patří převážně soustružení, frézování a vrtání. Jelikož každý druh třískového obrábění je specifický, využívá se při výrobě rotorových obrobků mnoho odlišných strojních pracovišť od různých výrobců obráběcích strojů.

Obráběcí stroje jsou odlišné v konstrukci z hlediska kombinace jednotlivých druhů třískového obrábění, které se na nich mohou použít. Některé z obráběcích strojů jsou navrženy jen pro jeden druh třískového obrábění, jako jsou například hrotové soustruhy využívány k soustružení. U jiných obráběcích strojů je konstrukce uzpůsobena tak, aby bylo možné využít více druhů třískového obrábění a daný obrobek byl z větší části nebo kompletně obroben na jednom strojním pracovišti. Tyto multifunkční stroje se začaly používat převážně pro zefektivnění výroby jednotlivých komponent, jak z pohledu samotného řezného procesu, tak z pohledu vedlejších úspor jednotlivých výrobních časů, nákladů.

Vedlejších úspor je docíleno přídatnými příslušenstvími, která jsou uzpůsobena pro manipulaci s obrobkem, pro rychlou výměnu nástrojů nebo pro možnost natočení nástroje do různých poloh, dle potřeb jednotlivých technologických operací pro obrobení i složitých nebo nepřístupných částí obrobku.

Dále se jednotlivé obráběcí stroje charakterizují z hlediska jejich vlastní obsluhy a to na stroje, u kterých jednotlivé pohyby ovládá mechanicky obsluha stroje, tak na CNC stroje, které jsou řízeny převážně počítačem.

Obráběcí proces u moderních CNC strojů, které se v současnosti navrhují v moderních CAD/CAM systémech, může být kompletně připraven a otestován. Příprava a testování probíhá v první řadě v odděleních konstrukce pomocí CAD systémů.

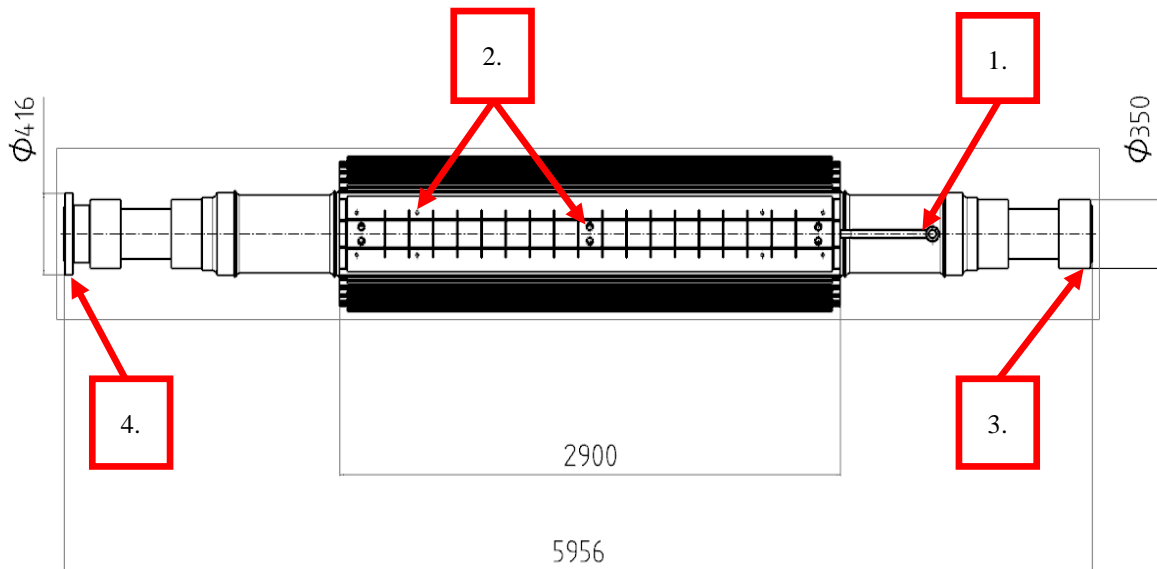
V CAD systému se kompletně připraví v reálném měřítku model strojního pracoviště tak, aby bylo vhodně přizpůsobeno k danému použití a minimalizoval se výskyt chyb při výrobě. V CAM systému pak následně další oddělení připraví NC program nutný pro řízení obráběcího procesu. Jednotlivé výstupy z CAD/CAM systémů je možno v současné době testovat ve virtuálních simulacích. Virtuální simulace závěrečně otestuje kompletní obráběcí proces a vhodnost daného konstrukčního řešení obráběcího stroje.

Přínosem pokročilých CAD/CAM technologií je zefektivnění všech tvůrčích činností při návrhu moderního obráběcího stroje, mezi které patří modelování jednotlivých komponent, výpočty pomocí FEM analýzy, tvorba NC programu, simulace kolizí a výpočet časů obráběcího procesu.

2.1 Definice obrobku

Vstupní komponentou je vybrán generátorový rotor, na který jsem tvořil technologii obrábění v roce 2015 pro firmu BRUSH SEM s.r.o. Technologie byla předána na vodorovné vyvrtávací frézce HCW3 od firmy Škoda Machine tool. Firma BRUSH SEM s.r.o. má rozdělenou výrobu generátorových rotorů na více pracovišť. Dokončovací technologické operace, mezi které patří vrtání, závitování a dílčí frézování, se prováděly na pracovišti HCW3. Předchozí operace byly provedeny na hrotovém soustruhu, na kterém se soustružil kompletně vnější povrch obrobku a na vodorovné drážkovačce, která provedla pomocí kotoučových fréz podélné drážkování na těle obrobku.

Na obrázku 3 je zobrazen generátorový rotor DAX 7 a popisy operací, které byly na obrobku zhotoveny pomocí strojního pracoviště HCW3.



Obrázek 3- generátorový rotor DAX7[1]

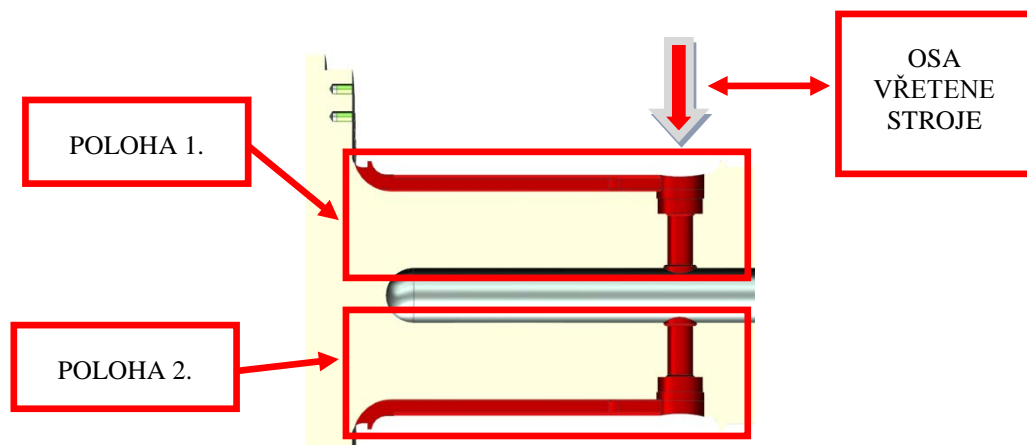
Specifikace materiálu obrobku:

Materiál:	ČSN 16 431 (CrNiMoV)
Hmotnost:	15 643 Kg
Mez kluzu:	569 MPa
Mez pevnosti:	686 – 834 MPa

Tabulka 1 - Hodnoty materiálu obrobku

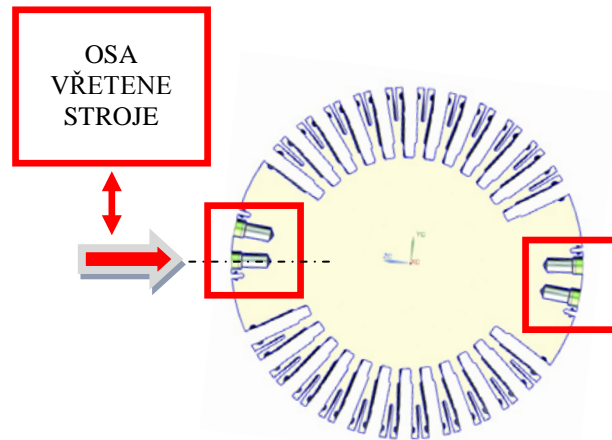
Popis jednotlivých operací:

1. Na obrázku 4 jsou pomocí červené barvy znázorněny části obrobku, které byly obrobny pomocí vřetene stroje a přidavného natáčecího vřeteníku. Přidavný natáčecí vřeteník byl využit po obrobení operací v poloze 1. pro možnost nastavení obrobku do polohy 2.



Obrázek 4 - obráběné operace 1[1]

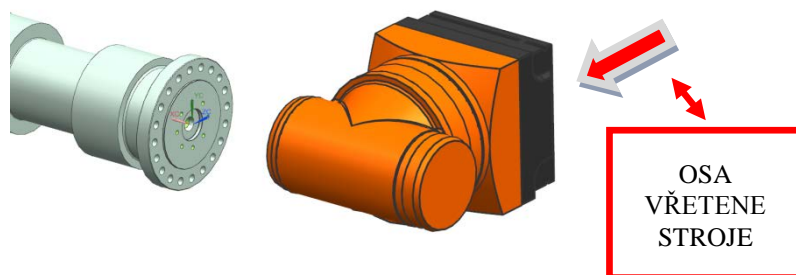
2. V této části byly vrtány a závitovány díry na těle rotoru, které měly osu kolmou k ose rotace rotoru. Pro možnost obrobení se pomocí přídavného natáčecího vřeteníku polohoval obrobek do jednotlivých poloh proti ose vřetení obráběcího stroje, za účelem zrychlení procesu obrobení. Pro znázornění je přiložen obrázek 5.



Obrázek 5 - obráběné operace 2[1]

3. Pro opracování příruby pozice 3 a 4 znázorněné na obrázku 3 byla použita frézovací hlava IFVW 103 ze sortimentu příslušenství firmy ŠMT.

Na obrázku 6 je viděn způsob opracování pozice 4 znázorněné na obrázku 3. Výhodou použití hlavy IFVW 103C je, že se nemusí obrobek ustavovat proti vřetenu stroje, jelikož toto příslušenství umožní opracování v úhlu 90° od osy hlavního vřetení stroje.



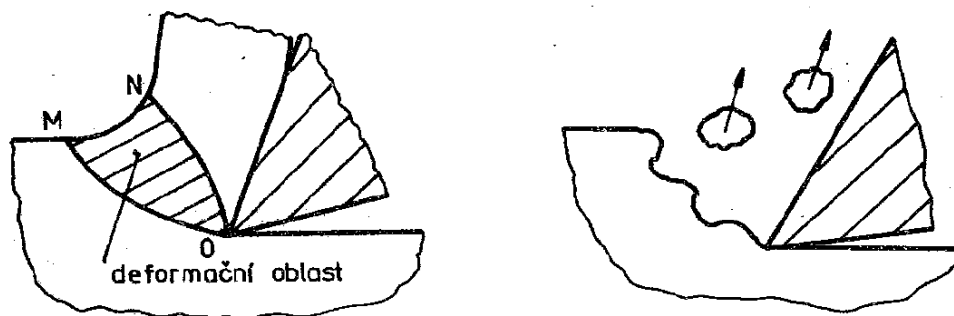
Obrázek 6 - Opracování s frézovací hlavou IFVW 103C

2.2 Technologické procesy třískového obrábění

Třískové obrábění je technologický proces, který je charakteristický oddělováním materiálu z obrobku ve formě třísky. Třísky vznikají v důsledku pohybu řezného nástroje vůči obrobku v důsledku silového působení břitu nástroje na materiál obrobku při vnikání břitu do obráběného materiálu. Pohyby řezného nástroje jsou docíleny v souladu s kinematikou obráběcího stroje uzpůsobeného pro daný druh technologické operace třískového obrábění. Odběrem třísek z polotovaru rotorových obrobků, které jsou převážně ve formě výkovků z legovaných ocelí, vzniká finální tvar komponenty dle výrobní technické dokumentace. Při obrábění legovaných ocelí dochází při vytváření třísky v obráběném materiálu bezprostředně u břitu nástro-

je k plastické deformaci a vzniká tak tříška tvářená. Při obrábění materiálů s odlišnou charakteristikou, než mají materiály ocelové, nedochází při vytváření třísky k plastickým deformacím a vzniká tříška netvářená.[2]

Na obrázku 7 je znázorněn rozdíl mezi jednotlivými druhy třísek vznikajících při procesu obrábění. V levé části obrázku je viděna tříška tvářená, které vzniká vlivem plastických deformací v obráběném materiálu v důsledku silového působení břitu nástroje. Mezi vznikající tvářenou třískou a obrobkem je znázorněná oblast plastické deformace tzv. deformační oblast. V pravé části obrázku je vidět vytrhávání jednotlivých částic obráběného materiálu ve formě netvářených třísek.[2]



Obrázek 7 - hlavní rozdělení třísek vznikajících v procesu obrábění[2]

2.2.1 Základní druhy třískového obrábění využívaných při výrobě rotorových obrobků

Základní druhy třískového obrábění lze rozdělit podle různých kritérií, např. dle charakteru vykonané práce existují ruční nebo strojní metody. Do ručních metod lze zařadit pilování, sekání, zaškrabávání atd. Strojní metody obrábění, kde je nutno použití strojního zařízení, se dle charakteristických znaků dělí následovně. Následovně uvedené dělení metod obrábění popisuje jednotlivé druhy obrábění, které se reálně využívají při opracování rotorových obrobků.[3]

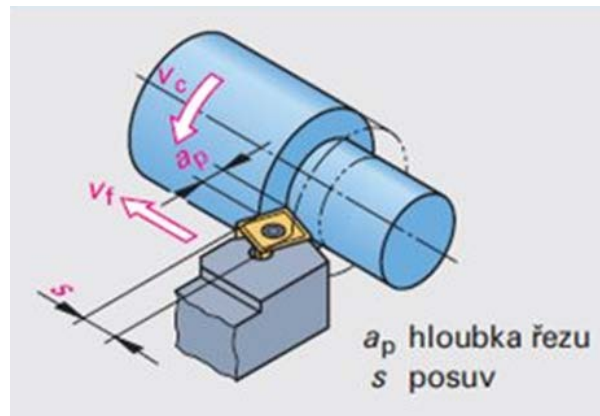
- obrábění pomocí nástrojů s definovanou geometrií (soustružení, frézování, vrtání, vystružování, zahlubování, vyvrtávání atd.)

Soustružení:

Soustružení je používáno k obrábění válcových tvarů. Při této technologické metodě je k odběru materiálu z obrobku používáno jednobřitého nástroje tzv. soustružnického nože. Hlavní řezný pohyb při metodě soustružení vykonává obrobek, který je např. u hrotových soustruhů upnut pomocí upínacích čelistí k lícni desce stroje a vykonává rotační pohyb kolem své osy. Vedlejší pohyby, mezi které v základu může být zařazen pohyb kolmý a rovnoběžný s osou rotace obrobku vykonává nástroj. Kolmým pohybem na osu rotace obrobku je určena hloubka řezu [ap] a rovnoběžným pohybem s osou rotace je určen posuv [s]. Posuv je u této metody volen dle použitého nástroje, materiálu obrobku atd. Vstupními polotovary k obrábění pomocí metody soustružení jsou především tyčový materiál, odlitky a výkovky. Metodou soustružení lze obrábět mimo vnějších průměrů obrobků i průměry vnitřní, kuželové plochy, závity a lze vrtat otvory, které mají totožnou osu rotace s osou obrobku.

Na obrázku 8 je znázorněn celkový princip metody soustružení se základními parametry. Mezi základní parametry patří již zmíněná hloubka řezu [a_p] a posuv [s]. Dále parametr V_c tzv. řezná rychlost, který lze odvodit z níže uvedeného vztahu a parametr V_f nazývaný posuvová rychlost.[3]

$$V_c = \pi * D * n \text{ (mm * min}^{-1}\text{)} ; D - \text{obráběný průměr obrobku, } n = \text{otáčky obrobku}$$
$$V_f = s * n \text{ (mm * min}^{-1}\text{)}$$



Obrázek 8 - Základní hodnoty v soustružení [4]

Frézování:

Frézování je výrobní metoda, u které se materiál z obrobku odebírá zuby nástroje rotujícího kolem své osy. Posuv obrobku probíhá převážně kolmo k ose nástroje. Jelikož frézovací nástroje mají více břitů, každý břit odřezává krátké třísky proměnné tloušťky a tím je řez přerušovaný. Metodu frézování lze uplatnit v mnoha aplikacích se zaručením vysokých přesností, proto je tato metoda velmi rozšířena v praxi. Při frézování velkými řeznými rychlostmi je díky nástrojům s více břity tato metoda velmi efektivní a nahrazuje u opracování rovinných ploch např. hoblování, které využívá pouze jednobřitých nástrojů. V mnoha případech je metoda frézování jediným možným způsobem obrábění.

Při metodě frézování rozdělujeme způsoby obrábění podle polohy nástroje k obráběné ploše. Základním rozdělením je frézování obvodem a frézování čelem nástroje. Toto základní dělení je základem pro další dělení, které se využívá při této metodě. Oba tyto způsoby pracují dle stejných vztahů. Do vztahů vstupují hodnoty [h] uvádějící hloubku odebíraného materiálu, velikost posuvu na zub [S_z], posuvu na otáčku [S_n] a posuvu, který vykoná nástroj za minutu [S_{min}]. [2][3]

Vztah mezi posuvy:

$$S_{min} = S_z * z * n \text{ (mm * min}^{-1}\text{)}, \text{ kde } S_n = S_z * z$$

z = počet zubů frézovacího nástroje, frézy

n = otáčky frézovacího nástroje, frézy

Řezná rychlost se při frézování určuje:

$$v = \pi * D * n \text{ (mm * min}^{-1}\text{)}, \text{ kde } D = \text{průměr frézy (mm)}$$

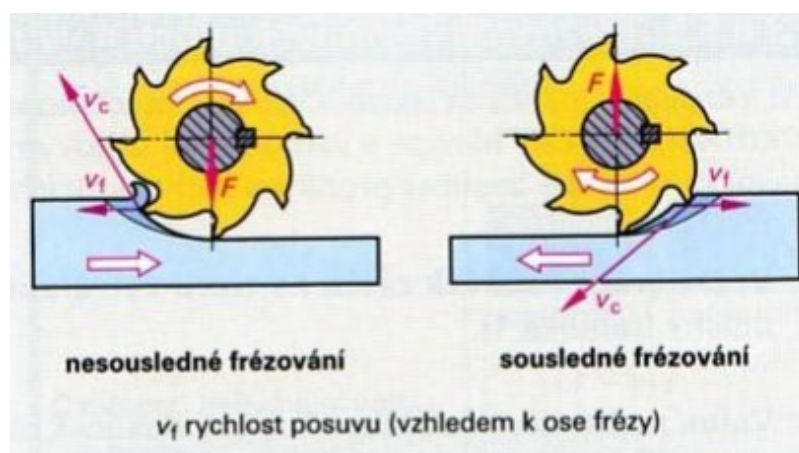
Na obrázku 9 je znázorněno základní dělení používané při metodách frézování. Rotace nástroje představuje u metody frézování hlavní řezný pohyb. Vedlejší pohyby jsou docíleny dle kinematiky stroje. U strojů jako jsou například deskové horizontální vyvrtávací a frézovací frézky vykonává vedlejší pohyby stroj. Frézovací stroje portálového uspořádání využívají rozdělení vedlejších pohybů mezi pohyb stroje a pohyb obrobku. U frézek menšího typu se nacházejí i stroje, kde vedlejší pohyby vůči hlavnímu řeznému pohybu vykonává pouze obrobek.



Obrázek 9 - Čelní a obvodové frézování [4]

Zmíněné základní dělení lze dále dělit. U obvodového frézování se rozlišuje frézování na nesouměrné a souměrné. Nesouměrné frézování je specifikováno tak, že smysl rotace nástroje, hlavní řezný pohyb, je orientován proti posuvu o, vedlejšímu pohybu obrobku. Z toho vyplývá, že tloušťka třísky se postupně mění z nulové hodnoty na hodnotu maximální, kdy břít frézky vychází ze záběru. Souměrné frézování je od nesouměrného frézování odlišné tím, že smysl rotace nástroje působí ve směru posuvu obrobku. U souměrného frézování se tříska tvoří z maximální tloušťky třísky do nulové. [2]

V moderní literatuře se tyto dva typy frézování nazývají též nesousledné a sousledné frézování. Rozdíly jsou viděny na obrázku 10.



Obrázek 10 - Sousledné a nesousledné frézování[4]

U čelního frézování existuje mnoho dalších dělení např. okružní frézování, planetové frézování nebo trochoidní frézování. Frézování je využíváno i při tvorbě závitů, kdy jsou využívány speciální frézky se specifickými břity.

Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování:

Vrtání je další z výrobních metod, která je využívána pro zhotovení nebo zvětšení otvorů válcového průřezu pomocí rotujícího nástroje, jako u metody frézování. Hlavní pohyb, řezný pohyb vykonává nástroj, zřídka obrobek. Vrtání otvorů za pomoci rotace obrobku je využíváno při vrtání osových děr např. u soustruhů. Osa vrtacího nástroje je kolmá k ploše obrobku. Posuv nástroje probíhá ve směru jeho osy.

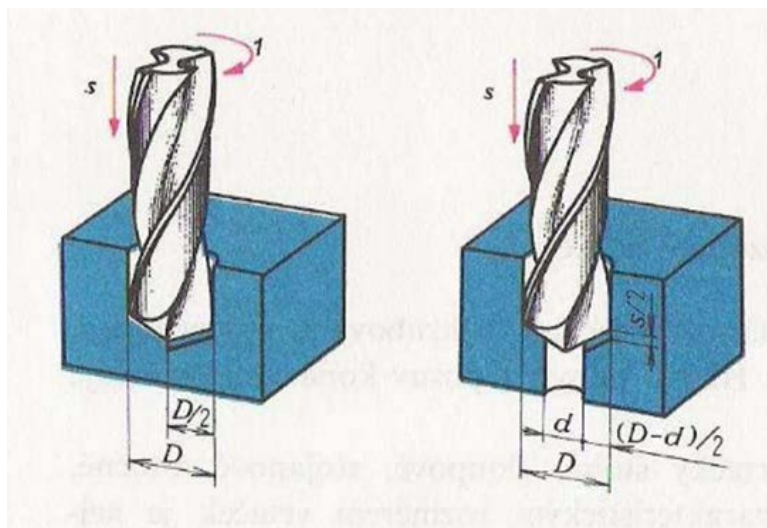
Vyhrubování, vystružování a zahlubování využívá stejných pohybů nástroje k docílení lepších drsností a kvalit povrchů otvorů.

Charakteristickou vlastností nástrojů využívaných pro tvorbu děr je úbytek řezné rychlosti směrem k ose nástroje. Pro výpočty používáme řeznou rychlost na maximálním průměru nástroje.[3]

Řezná rychlost se při vrtání určuje:

$v = \pi * D * n$ ($mm * min^{-1}$), kde D = průměr frézy (mm), n = počet otáček nástroje za min.

Na obrázku 11 je znázorněn princip vrtacích operací pro představu působení hlavních a vedlejších pohybů.



Obrázek 11 - Princip vrtacích operací







- obrábění pomocí nástrojů s nedefinovanou geometrií (broušení, honování, lapování, superfinišování atd.)

Broušení:

Pro broušící operace je využíván mnohobřítý nástroj, který je zhotoven ze zrn brusiva spojených pojivem. Broušení je využíváno pro dokončovací operace již obrobku za účelem zlepšení tvaru, rozměru a drsnosti povrchu. Vzhledem k dosahování vysokých kvalit povrchu je broušení v moderní době velmi využívané a obráběcí stroje, které byly dříve využívány jen pro jeden typ operací, přidávají broušení k rozšíření všestrannosti obráběcího pracoviště. Příkladem jsou hrotové soustruhy, na které se přidávají broušící zařízení na druhý suport.

Tvoření třísky při využití metody broušení je téměř analogické s metodou frézování. Při broušení jsou nepatrné odlišnosti, které je nutno vzít v úvahu. Na rozdíl od frézování jsou břity nástroje, broušící zrna rozmístěna nepravidelně po obvodu broušícího nástroje, kotouče. Úhel čela zrna se pohybuje v rozmezí 0 až -45° . U frézování je v záběru několik málo řezných břitů nástroje. Při broušení je v záběru velký počet břitů. Hloubka řezu se pohybuje na rozdíl od jiných metod v mikrometrech a tudíž je střední průřez třísky 10^4 krát menší než u frézování. V důsledku vysokých řezných rychlostí a nepravidelné geometrii brusných zrn vzniká mezi obrobkem a brusným nástrojem velký měrný řezný odpor. Vlivem vysokých měrných odporů vzniká v materiálu velké teplo a je nutno přivádět chladicí medium. Hlavní funkcí chladicího media je na rozdíl od jiných metod odvést teplo. Při soustružení nebo frézování a to především u hrubovacích operací, kde je velký úběr materiálu, slouží medium více k mazání než chlazení.[2]

Mezi způsoby broušení patří rotační broušení, rovinné broušení, podélné broušení apod. Dále se broušení dělí dle směru posuvu, řezné rychlosti atd. Další možnosti broušení jsou viděny na obrázku 12.

Charakteristiky		Způsob broušení	
směr posuvu			
		podélné broušení	příčné broušení
aktivní plocha brusného nástroje (kotouče)			
		obvodové broušení	čelní broušení
broušení ploch	poloha	vnější broušení, vnitřní broušení	
	tvar	rovinné broušení, broušení dokulata	
			
		profilové broušení	tvarové broušení
řezná rychlost		běžné broušení, vysokorychlostní broušení	
přísuv		kyvadlové broušení, hluboké broušení	
drsnost plochy		hrubování, hlazení, jemné broušení	

Obrázek 12 - Způsoby broušení[4]

2.2.2 Aditivní technologie využívané při výrobě rotorových obrobků

V současné době jsou obráběcí stroje technologicky zdokonalovány. Přední výrobci strojů navrhují hybridní stroje, které umožňují, mimo klasického třískového obrábění, využití tzv. aditivních technologií. Touto kombinací se výrazně zvyšuje využití stroje, jelikož je umožněno obrobení větší škály obrobků se složitější tvarovou geometrií.

Aditivní technologie označuje proces, při němž vzniká obrobek nebo je zhotovována jeho část pomocí nanášení tenkých vrstev přídavného materiálu tence na sebe. Aditivní technologie je v podstatě podobný proces 3D tisku. Materiál se vrství a spéká, cílem procesu je vytvoření objektu ze série 3D dat pomocí CAD systému, které jsou pomocí CAM systémů přeneseny do pohybu části stroje přizpůsobené 3D tisku. Takto nanášený materiál se dá na takto přizpůsobených strojích ještě opracovat pomocí klasického třískového obrábění.

Mezi materiály, které lze nanášet patří kovové materiály, termoplasty a neobvyklé materiály. Nanášené kovové materiály jsou např. slitiny hliníku, slitiny titanu, nerezové a konvenční oceli. Nanášení kovových materiálů je umožněno i na velkých multifunkčních centrech pro výrobu rotorových obrobků. Ostatní typy materiálů se využívají na menších obráběcích strojích, proto je zde není nutno uvádět.

Metody, které jsou využívány na nános kovových materiálu se nazývají např. SLS, DMLS, EBF a SLM.

- Selective Laser Sintering (SLS)
- Direct Metal Laser Sintering (DMLS)
- Electron Beam Fabrication (EBF)
- Selective Laser Melting (SLM)

Jelikož na takto speciálně přizpůsobeném stroji je zakomponován laser. V mnoha případech je využíván k povrchovému kalení materiálu rotorových součástí.[5]

2.3 Rozdělení typů výroby rotorových obrobků

Rotorové obrobky, které jsou součástí mnoha typů elektráren v podobě např. parních turbín nebo generátorových rotorů jsou obráběny v mnoha firmách rozmístěných po celém světě. Tyto firmy mají vlastní obrobny, kde ze vstupních polotovarů, které jsou u rotorových obrobků především v podobě výkovek, vyrábějí finální obrobky rotorů navržených dle jejich využití. Obrobny jednotlivých firem se liší především vybavením strojního parku. Strojní park tvořený jednotlivými obráběcími stroji úzce ovlivňuje celkovou technologii výroby. Technologie výroby je u každého výrobce odlišná, jelikož musí stejnou komponentu vyrobit na odlišných pracovištích, než má k dispozici výrobce jiný.

Ve výrobcích především staršího typu, které neprošly výraznou modernizací, se rotorové obrobky vyrábějí na více strojních pracovištích. Prvním pracovištěm v technologickém postupu je u výrob tohoto typu vždy hrotový soustruh, na kterém jsou obrobny rotační plochy. Dalším pracovištěm jsou speciální stroje, které slouží na opracování drážek rotorů tzv. drážkovačky. V poslední řadě je obrobek dohotovován na strojích s možností frézování, vrtání a závitování. Na tyto poslední operace je často využíváno horizontálních vyvrtávacích a frézovacích frézek.

V současnosti je trendem ve výrobcích výše zmiňované stroje modernizovat a rozšířit tyto pracoviště tak, aby nahradily možnosti více strojů na jeden stroj. Rozšíření pracovišť často bývá např. u horizontálních frézek o natáčecí vřeteník s podpěrami. Rotor je poté usazen do podpěr a upnut do natáčecího vřeteníku. Díky takovému rozšíření pracoviště je možné s použitím frézovacích hlav obrobek vydrážkovat a kompletně dohotovit. Obrobek je tak kromě soustružnických operací, které se zhotovují na hrotovém soustruhu, opracován na jednom pracovišti. Výhodou je minimalizování vedlejších časů, jako je upínání, transport obrobku mezi pracovišti a především automatické natáčení pomocí natáčecího vřeteníku.

Nejmodernějším trendem jsou multifunkční centra, která umožní komponentu obrobit kompletně a není zapotřebí více pracovišť.

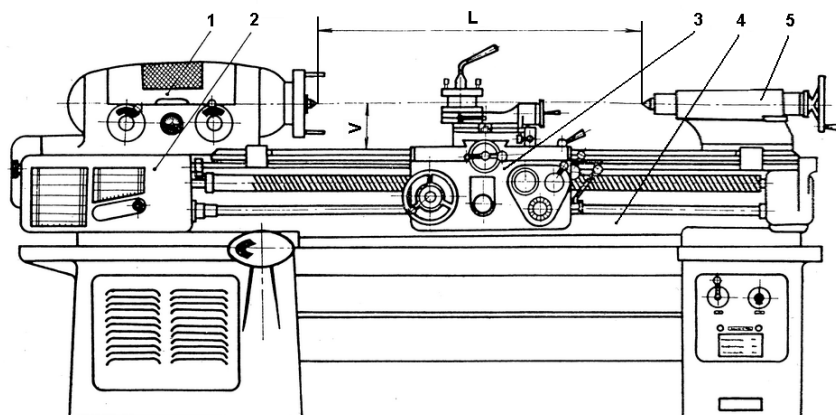
2.3.1 Výroba na více pracovištích

Popis obráběcích strojů, které jsou využívány pro obrobení rotorových obrobků ve výrobcích staršího typu se stroji, které jsou přizpůsobeny pro jednu technologickou metodu.

2.3.1.1 Hrotový soustruh

Používají se převážně v kusové a malosériové výrobě pro soustružení rotačních obrobků rozličných rozměrů a tvarů. Technologické možnosti hrotových soustruhů jsou soustružení vnějších a vnitřních rotačních ploch, rovinných ploch čelních, řezání závitů, soustružení kuželových ploch nebo tvarových ploch u CNC řízených soustruhů. [6]

Na obrázku 13 je uveden popis hlavních částí hrotového soustruhu s hlavními rozměry, které jsou důležité z hlediska možnosti obrobení obrobků. Tyto rozměry udávají maximálně možný obráběný průměr a maximální délku obrobku.



1-vřeteník, 2-posuvové ústrojí, 3-suport, 4-lože, 5-koník, L-maximální vzdálenost hrotů (točná délka), V- výška hrolů nad ložem (točný průměr)

Obrázek 13 - Hrotový soustruh[7]

2.3.1.2 Drážkovačka pro zhotovení podélných drážek

Na obrázku 14 je viděna koncepce stroje od firmy Köllmann, která je využívána při výrobě podélného drážkování. Stroje podobné koncepce slouží k vyhotovení podélných drážkování na tzv. těle rotoru. Drážky na těle rotoru jsou obrobeny pomocí kotoučových fréz velkých průměrů. U této technologické operace za použití tohoto typu nástroje je veliký úběr materiálu a na stroj působí vysoké silové účinky. Podélné drážkovačky jsou konstruované s velmi masivními rámy stroje a s vřeteníkem, který vyvine vysoký kroučící moment. Kromě firmy Köllman se výrobou tohoto typu strojů zabývají např. firma Heller nebo Weingärtner.

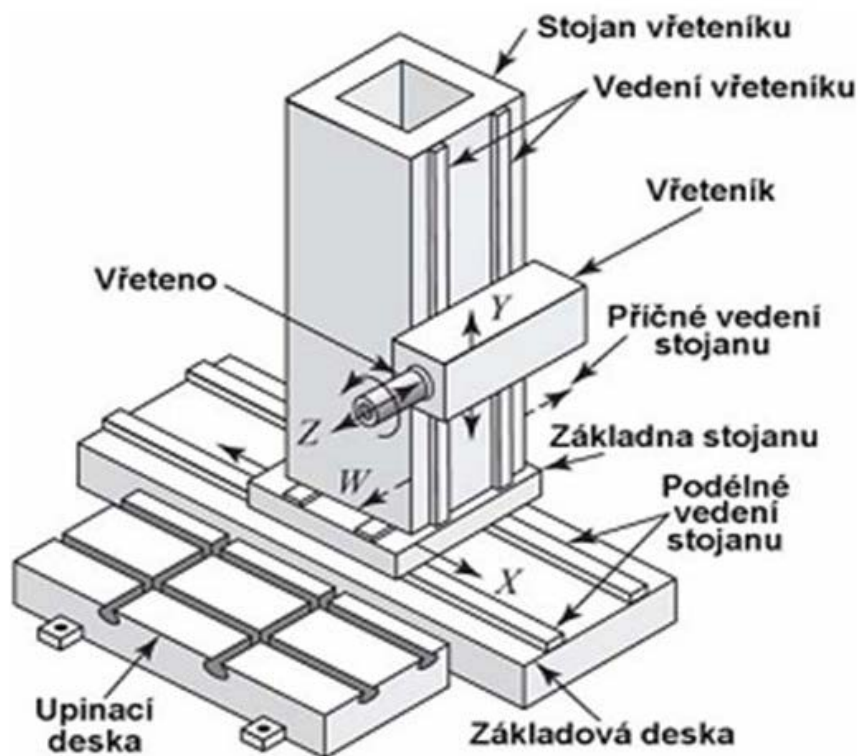


Obrázek 14 - Drážkovací stroj od firmy Köllmann[1]

2.3.1.3 Vodorovné vyvrtávačky

Vodorovné vyvrtávačky patří do třídy univerzálních strojů vhodných k obrábění tvarově složitých součástí v kusové a malosériové výrobě. Stroje tohoto typu umožňují realizaci mnoho technologických operací, mezi které spadá vrtání, vyvrtávání, frézování, protahování a obrážení. S využitím speciálních příslušenství tzv. lícních desek, lze na těchto strojích využívat soustružení čelních, vnitřních i vnějších ploch. Vodorovné vyvrtávačky se dělí dle jejich konstrukce na tzv. stolové, deskové, přenosné, portálové a souřadnicové.[6]

Na obrázku 15 je znázorněné schéma deskové vyvrtávačky s popisem jednotlivých pracovních os. Každá z pracovních os charakterizuje pohyb jednotlivých částí stroje. Znázorněná osa Y popisuje pohyb vřeteníku po stojanu stroje. Stojan vřeteníku se pohybuje po základové desce v ose X. Osa Z je v tomto typu provedení umožněna pomocí posuvu vřetenice z vřeteníku. Směr těchto os je u provedení vodorovných vyvrtávaček shodný, ale každé provedení se liší pohybem jednotlivých částí v těchto osách. [6]



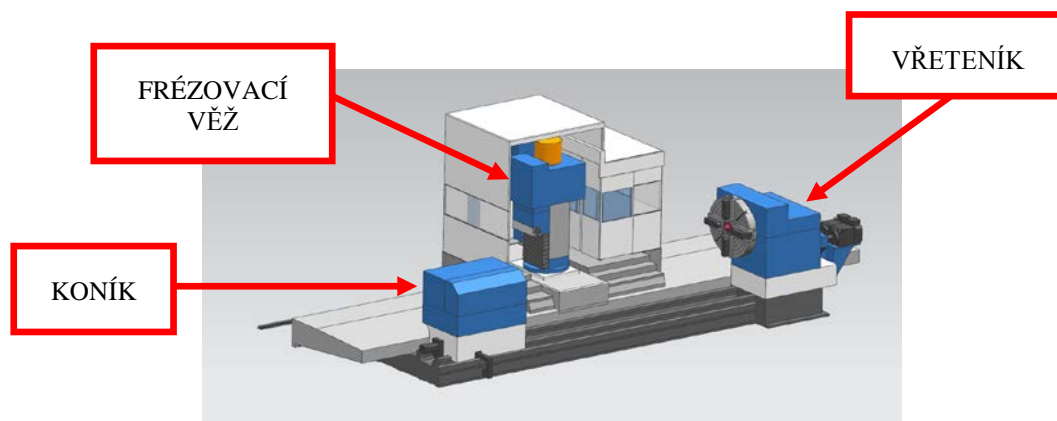
Obrázek 15 - Vodorovná desková vyvrtávačka[8]

2.3.2 Výroba na modernizovaném, speciálním pracovišti

Modernizovaným pracovištěm je pracoviště, které díky úpravám vlastní koncepce umožňuje větší rozsah využití v technologickém postupu výroby dané komponenty. Tím dochází k výrazným úsporám nákladů výroby obráběné komponenty, jelikož na jednom pracovišti, s ohledem na modernizaci konstrukce, je opracováno více technologických operací. Minimalizuje se manipulace s obrobkem a další vedlejší časy dle specifikace vlastního návrhu modernizace.

2.3.2.1 Vodorovný hrotový soustruh s frézovací věží

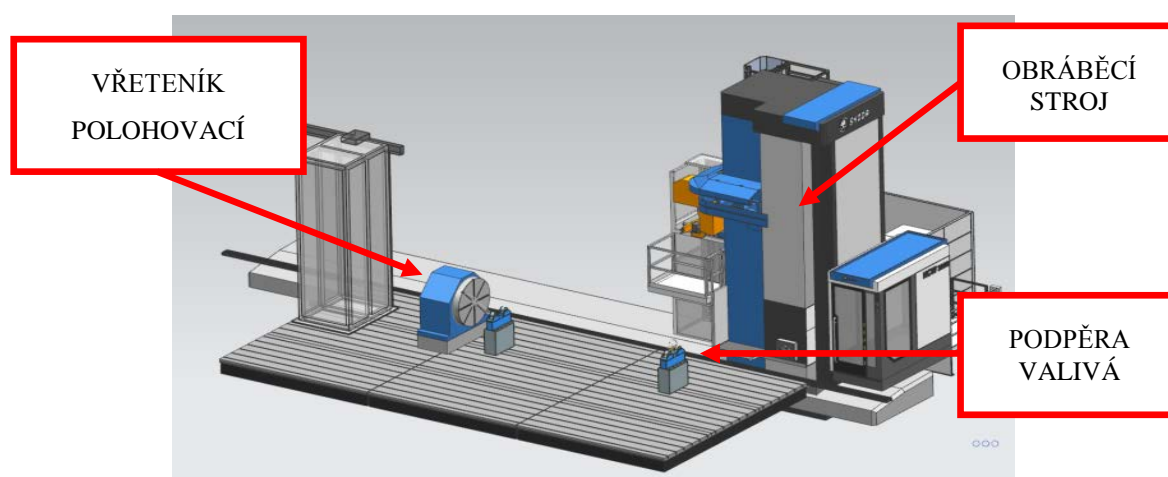
Vodorovné hrotové soustruhy jsou využívány ve sdružení výrobních operací na více strojních pracovištích, převážně pro soustružnické operace. Na obrázku 16 lze vidět moderní koncepci pracoviště, na které je možno díky přídavné frézovací věži začlenit vrtací a frézovací operace. Tímto typem modernizace se umožní opracovat na rotorovém obrobku veškeré soustružnické, frézovací, vrtací a závitové operace na jednom pracovišti.



Obrázek 16 - Vodorovný hrotový soustruh řady SR od firmy ŠMTI[1]

2.3.2.2 Vodorovná vyvrtávačka s natáčecím vřeteníkem

Vodorovné vyvrtávací frézky jsou využívány na konečné operace, mezi které patří frézování, vrtání a závitování. Na obrázku 17 je viděn moderní stroj s přídavným polohovacím vřeteníkem a valivými podvalky. Tato koncepce výrazně zefektivní výrobní proces, díky přídavnému příslušenství pro možnost natočení. Při vhodné konfiguraci pracoviště je možné obrobek kompletně vyrobit na jednom pracovišti. Podrobnější popis bude popsán ve vlastním návrhu diplomové práce.

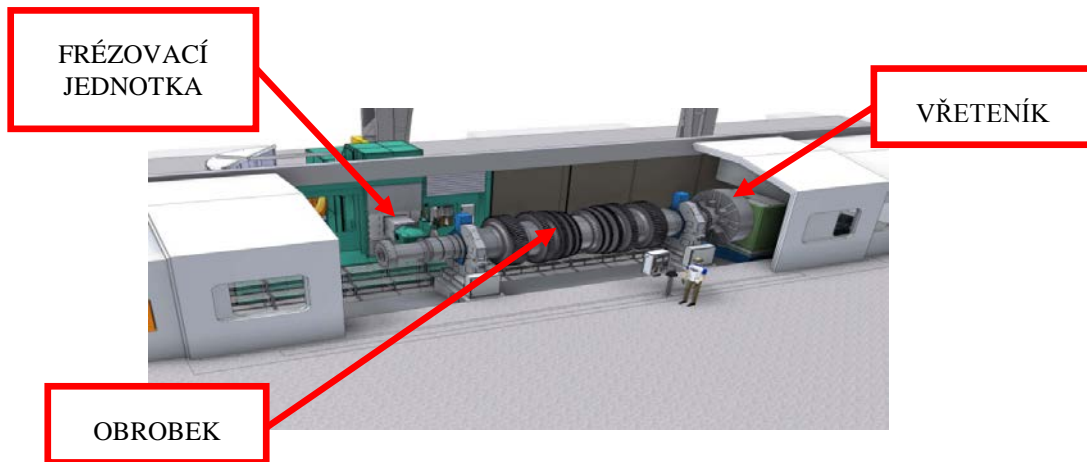


Obrázek 17 - Vodorovná vyvrtávací frézka řady HCW od firmy ŠMTI[1]

2.3.3 Výroba celého obrobku na jednom pracovišti

Stroji pro kompletní opracování jsou myšlena multifunkční centra umožňující kompletní opracování rotorových součástí při minimálním počtu upnutí. Díky přídavným příslušenstvím je umožněno využití i technologií, jako jsou povrchové úpravy materiálu, mezi které spadá

např. povrchové kalení, aditivní technologie nebo kuličkování využívané pro zvýšení meze únavy materiálu. Pro představu je přiložen obrázek 18. Na obrázku je stroj od firmy Georg, na kterém je umožněno kompletní opracování rotorového obrobku.



Obrázek 18 - Multifunkční centrum od firmy GEORG[1]

2.4 Moderní softwary využívané při návrzích strojních pracovišť

V současné době se ve strojírenství často používá termín CA.. gramotnosti. Tímto obratem je míněna schopnost navrhovat, analyzovat a vyrábět pomocí počítačové podpory. Od současné generace konstruktérů a technologů se očekává znalost CAD/CAM/CAE systému a jejich využití v procesu návrhu a výroby strojírenských součástí.[9]

2.4.1 CAD

Zkratka CAD znamená v anglickém jazyce Computer Aided Design, kterou po překladu do jazyka českého můžeme přeložit jako počítačem podporované navrhování. Jedná se o využití výpočetní techniky a programového vybavení v prvotní fázi procesu návrhu výrobku. Tyto systémy nahradily tvorbu výkresové dokumentace pomocí rýsovacích tabulí s pantografem a dvěma na sebe kolmými pravítky s archem papíru o maximální velikosti A0 za obrazovku elektronického listu s teoreticky nekonečnou velikostí.

Po rýsovacích prknech, se začali používat 2D systémy, které umožnily zjednodušit změnové řízení ve výkresové dokumentaci a zcela jinou archivaci výkresové dokumentace v elektronické podobě.

Novějším a hlavně sofistikovanějším způsobem bylo a je navrhování přímo ve 3D prostoru. Jedná se o tzv. objemové modelování, kde se za pomoci Booleanovských operací, mezi které patří sjednocení, průnik a odčítání daly navrhout tělesa různých tvarů.

Nejnovějšími 3D možnostmi jsou tzv. hybridní modelování, které umožňují modelování otevřených tvarů. Hybridní modelování spojuje možnosti 2D a 3D modelování.[9]

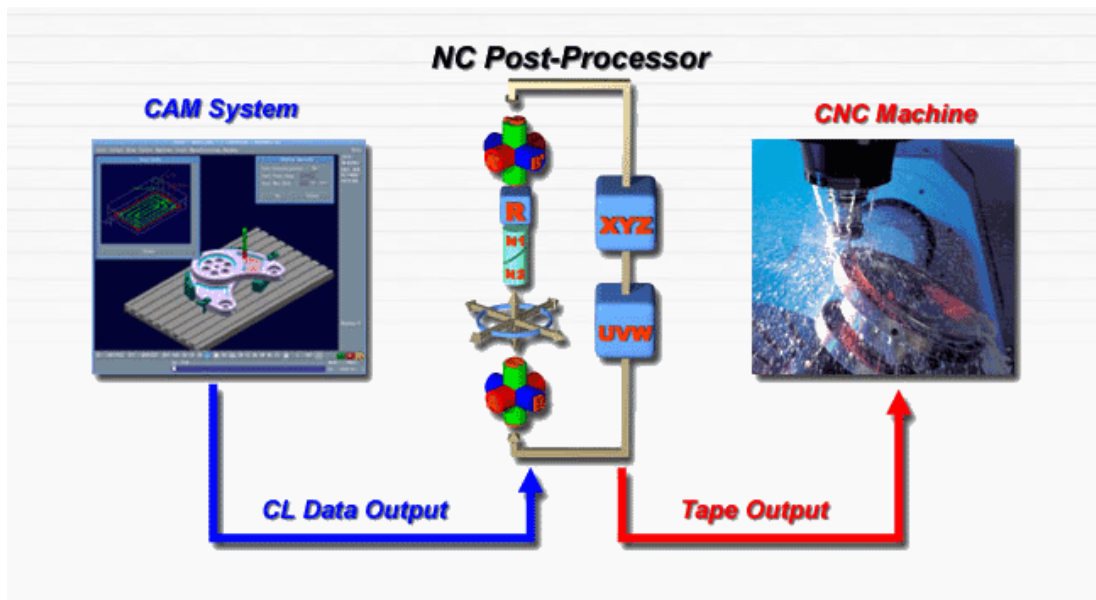
2.4.2 CAM

Zkratka CAM znamená v anglickém jazyce Computer Aided Manufacturing, do českého jazyka lze přeložit jako počítačem podporovaná výroba. Tento typ systémů se používá ve výrobních technologiích pro tvorbu NC kódu stroje, podle kterého obráběcí stroj vykonává vedlejší a hlavní rezné pohyby. NC programátoři v odděleních technologie na modelech komponent tvořených v CAD systémech tvoří pomocí uživatelských CAM funkcí např. vrtání, frézování a závitování jednotlivé dráhy nástroje. Dráhy nástroje jsou popsány v CAM jazyku,

který je následně převeden pomocí post-processoru do již zmiňovaného NC kódu. CAM systémy umožňují zlepšení archivace a správy NC programů jak bylo popsáno již u CAD systémů.[9]

2.4.3 Post-processor

Post-processor je rozhraní mezi CAM systémem a reálným jazykem stroje, ISO kódem, NC kódem. CAM systém je jeden z modulů např. softwaru NX a jsou v něm definovány jednotlivé operace obrábění. Ty jsou tvořeny již se zvoleným rezným nástrojem a vhodnými reznými parametry, jako jsou otáčky nebo posuvová rychlost. Výsledkem přípravy v CAM modulu jsou vygenerované dráhy nástroje pro jednotlivé operace, ty jsou popsány v tzv. CL datech, v jazyku CAM systému. Jelikož reálné NC stroje pracují na NC datech, vstupuje do procesu přípravy NC programu post-processor, který virtuální CL data převede na NC data. Je tedy překladatelem mezi dvěma odlišnými numerickými jazyky. Pomocí dat z CAM systémů lze pomocí tzv. virtuálních simulací rozpohybovat model stroje tvořený v CAD systému a ověřit si správnost obráběcího procesu před reálnou výrobou.[9]



Obrázek 19 - Proces tvorby NC dat[10]

2.4.4 NC a CNC řízení obráběcích strojů

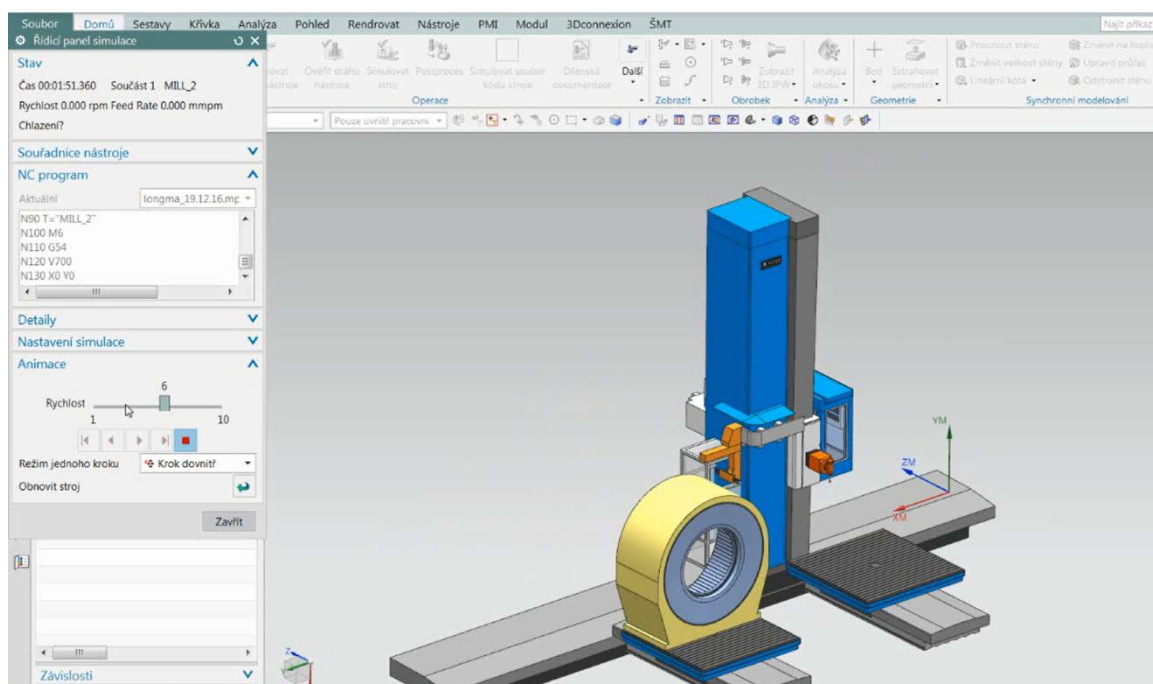
Princip NC resp. CNC řízení obráběcích strojů spočívá v tom, že nástroj upevněný v obráběcím stroji je veden na základě souřadnic z počítačového modelu, čímž se přenáší tvar modelu do polotovaru. Děje se tak na základě NC dat vygenerovaných CAM modulem na základě geometrie CAD modelu. Dále budou stručně popsána NC resp. CNC řízení.

Numericky řídicí NC systém je metoda řízení pohybů jednotlivých částí obráběcího stroje kódovanými instrukcemi ve formě alfanumerických dat. Řídicí systém stroje interpretuje tyto data a převádí je do výstupních signálů. Tyto signály řídí jednotlivé motory stroje a jiné komponenty, které zabezpečují např. otáčky včetně, výměnu nástrojů, pohyby obrobku atd. Tento programový jazyk vznikl v roce 1958 jako výsledek výzkumu v leteckém průmyslu v USA.[9]

2.4.5 Virtuální simulace

Virtuální simulace slouží k odladění NC dat vytvořených v CAM systému. Tyta data, jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách, slouží k řízení obráběcího stroje. Simulace ve virtuálním prostoru pracuje s modelem stroje, který je řízen stejně jako reálný stroj pomocí NC dat. Jelikož pracujeme v simulaci se stejným měřítkem, jak v reálném obrábění, můžeme detekovat kolize mezi strojem a obrobkem nebo mezi nástrojem a obrobkem. Je možné zkrátka odladit celý proces obrábění včetně kolizí a obráběcích časů. Simulace jsou velice vhodné pro predikování chyb a tím dokážou zabránit nečekaným nákladům.

Obrázek 20 znázorňuje prostředí v softwaru NX 10, které je uzpůsobeno pro možnost využití virtuálních simulací.



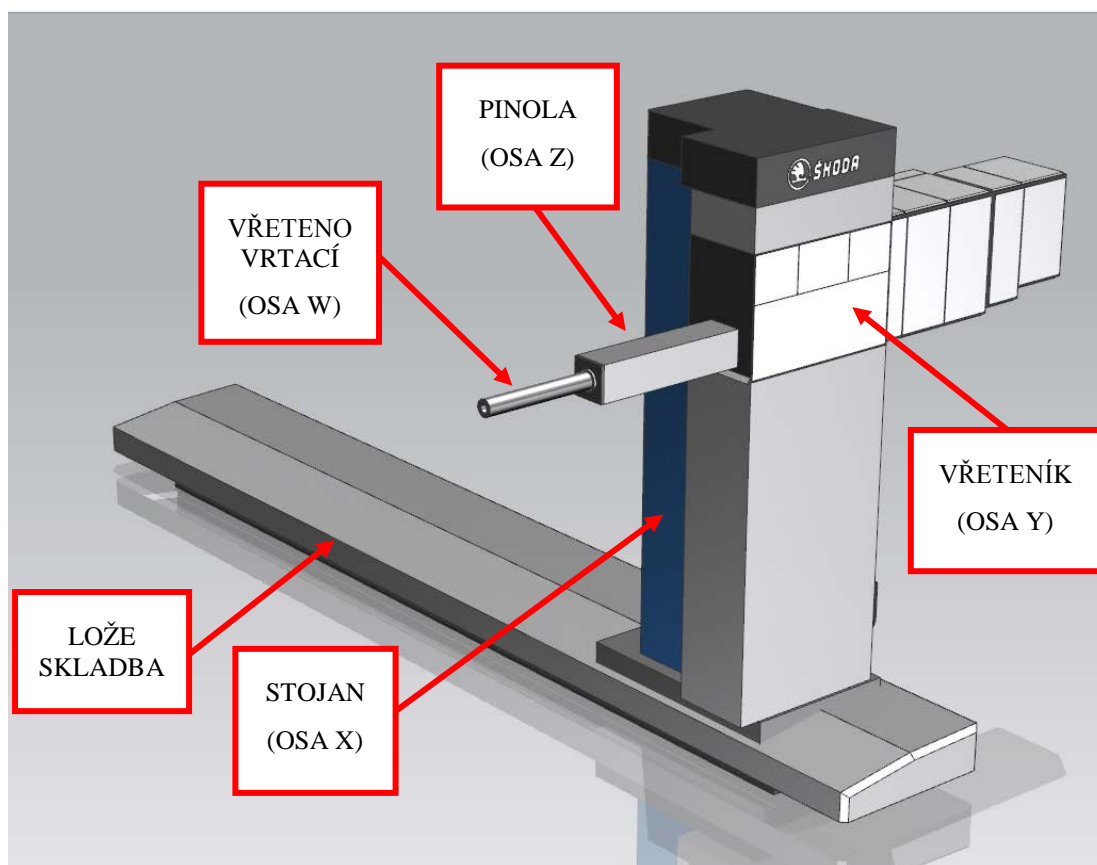
Obrázek 20 - Ukázka CSE simulace

3 Základní popis konceptu pracoviště

Koncept pracoviště je kompletní popis jednotlivých částí speciálního strojního pracoviště vodorovné vyvrtávací a frézovací frézky. Strojní pracoviště je navrženo ze sortimentu ŠMT tak, aby bylo umožněno co nejefektivnější obrobení zvolené rotorové komponenty. U jednotlivých částí strojního pracoviště jsou uvedeny jednotlivé parametry s odůvodněním jejich použití v tomto konceptu.

3.1 Vodorovná vyvrtávací a frézovací frézka

Stroj typu HCW 3000 je zařazen do konceptu pracoviště s ohledem na vlastní vysoké parametry, jako jsou např. maximální otáčky vřetene a vysoké posuvové rychlosti. Tyto parametry umožňují použití moderních nástrojů a je umožněno docílení výrazných úspor v procesu výroby z hlediska úspory samotných rezných časů při opracování jednotlivých strojních operací v požadované přesnosti a kvalitě. Jednotlivé části stroje jsou popsány na obrázku 21.



Obrázek 21 - Vodorovná vyvrtávací a frézovací frézka HCW 3000[1]

3.1.1 Základní specifikace

Typ:	ŠKODA HCW 3000NC
Průměr vřetene:	225mm
Maximální otáčky:	3 000ot./min
Typ vedení:	hydrostatické

3.1.2 Technické parametry

Osa X - stojan po loži:	10 000mm
Osa Y - vřeteník po stojanu:	4 000mm
Osa Z - výsuv pinoly:	2 000mm
Osa Z+W :	3 500mm

Měřicí systém stroje:

Osy X, Y	-	měř. systém Heidenhain LB382C	-	přímé odměřování
Osa Z, W	-	měř. systém Heidenhain LC483	-	přímé odměřování

3.1.3 Posuvy

Rychlosti posuvů:

Osa X	mm/min	20000
Osa Y	mm/min	20000
Osa Z	mm/min	15000
Osa W	mm/min	15000

Max. posuvové síly

V osách X, Y, Z,	kN	60
W	kN	50

3.1.4 Přesnost polohování stroje

Pro přímé odměřování os X, Y, Z, W

Přesnost polohování	0,015/1000	mm
Systematická odchylka polohování	0,010/1000	mm
Rozptyl polohování (střední)	0,008	mm
Odchylka při reverzaci (střední)	0,005	mm

3.1.5 Hmotnost stroje HCW 3000

m = 102 030 kg

3.1.6 Krytí vodicích ploch

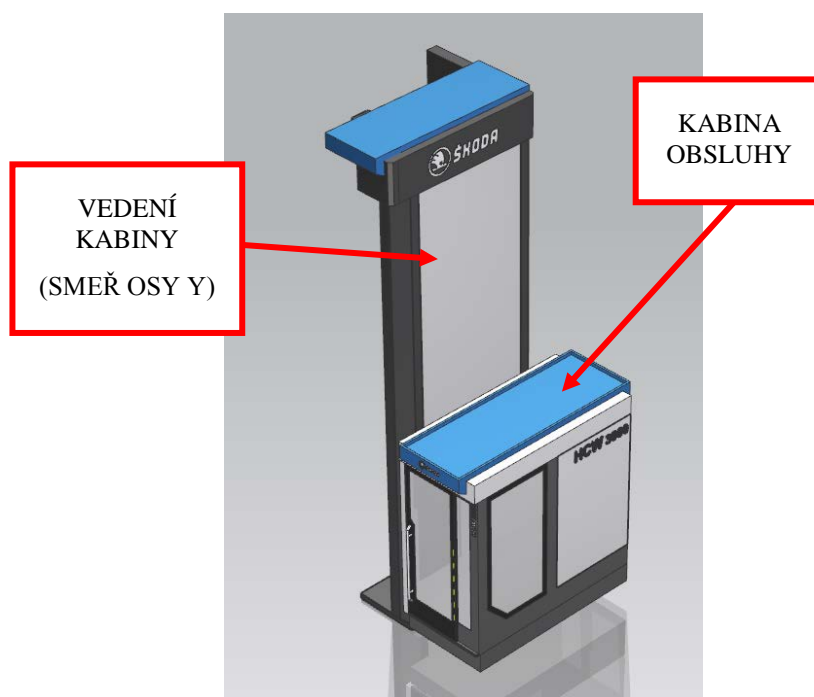
Ocelové teleskopické krytí vodicích ploch na loži lomené se sklonem k dopravníku třísek. Standardně jsou jednotlivé krabice teleskopického krytí skládány sestupně od spodku stojanu stroje k jednotlivým koncům skladby loží.

Teleskopické krytí zabraňuje nečistotám a chladicím mediím průnik do prostorů, kde je umístěn posuvový mechanismus osy X, který se skládá z dvou pastorků a hřebenu. Nadále je zde umístěno lineární odměřování, které zajišťuje přesné polohování zmiňované posuvové osy.

V poslední řadě je docíleno udržení čistoty v okruhu hydrostatiky, které je propojené i s ostatními posuvovými osami stroje.

3.1.7 Kabina obsluhy

U vodorovné vyvrtávací frézky se používají kabiny pevně spojené s vřeteníkem stroje nebo kabiny nezávislé. Nezávislé kabiny stroje mají vlastní vedení, po kterém se mohou pohybovat ve směru osy Y nezávisle na poloze vřeteníku. Na obrázku 22 je uveden model kabiny s nezávislým posuvem po stojanu.



Obrázek 22 - Samo pojízdná kabina obsluhy[1]

3.2 Příslušenství stroje

Příslušenství stroje je začleněno do konceptu pracoviště s ohledem na minimalizaci vedlejších časů obrábění. Mezi vedlejší časy obrábění spadají manipulace a ustavování s obrobkem. Tyto manipulace jsou minimalizovány, jelikož použité příslušenství umožňuje natočení řezného nástroje s ohledem na umístění strojní operace na obrobku nebo natočení celého obrobku kolem vlastní osy rotace. Jednotlivé příslušenství stroje jsou popsány v této kapitole s ohledem na jejich využití v rámci úspor v časech, nákladech obrábění.

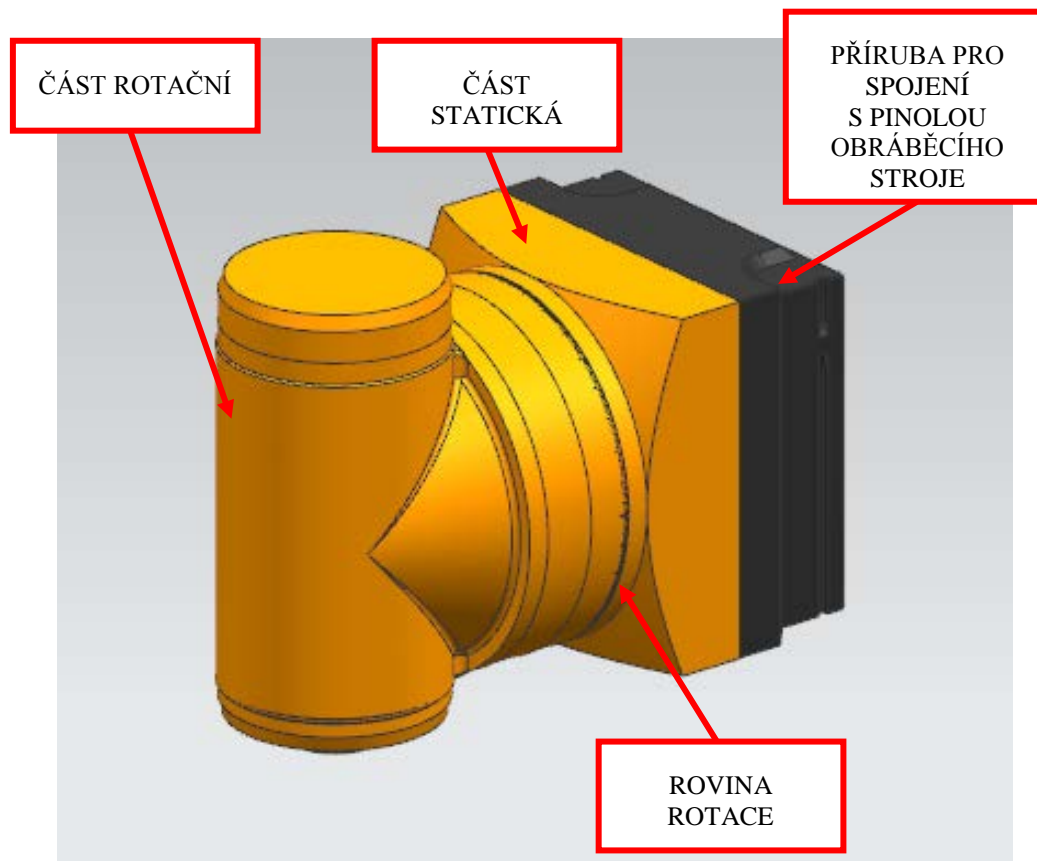
3.2.1 Frézovací hlava IFVW 103 C-E

Aby obráběcí stroj mohl pracovat i v jiných rovinách než je rovina kolmá na čelo vřetene stroje, používají se frézovací hlavy. Ty jsou konstruovány tak, aby rovina stroje mohla být natočena o takový úhel, aby osa řezného nástroje byla kolmá na obráběnou plochu obrobku. Frézovací hlavy se dělí na hlavy s jedním natočením nebo s možností dvou natočení od základní roviny stroje. Díky možnosti dvou natočení od základní roviny stroje může stroj pracovat v 5 osách. Možnost práce v 5 osách je možná pouze u frézovacích hlav s kontinuálním polohováním obou os. Tyto frézovací hlavy jsou NC řízeny a každá polohovací osa má vlastní rotační odměřování polohy.

Dále se používají frézovací hlavy, které nejsou kontinuálně řízeny. Ty se dělí na hlavy s ručním natočením pomocí šnekového převodu a na frézovací hlavy s automatickým natočením do daného úhlu. Automatické frézovací hlavy jsou natočeny pomocí vřetene stroje a jsou v daném natočení aretovány pomocí Hirthovi spojky. Dále mezi hlavní dělení frézovacích

hlav patří rozčlenění dle možnosti přenosu zatížení stroje nebo dle jejich vnější konstrukce, aby bylo umožněno opracovat i špatně prostorově dostupná místa na obrobku.

Na obrázku 23 je vidět frézovací hlava s možností jednoho natočení se zpevněním pomocí Hirthovo spojky.



Obrázek 23 - Úhlová frézovací hlava IFVW103 C-E[1]

V provedení pro automatické upnutí na čelo pinoly

Automatické napojení přívodu energií

Převod mezi vstupem a výstupem 1 : 1

Max. otáčky1/min 3000

Max. moment do 160 1/min.Nm 4000

Max. výkon od 160 1/min.kW 67

Upínání nástrojů automatické tahem kleštiny

Kleština pro nástroje SK 50 (60) – podle DIN 69871

s upínacím čepem podle DIN 69872

Automatické indexování v jedné ose po 1° (360 poloh)

Rozsah otáčení 0 – 360°

Přívod chladicí kapaliny vně i středem vřetena

Příprava pro využití automatického mazání

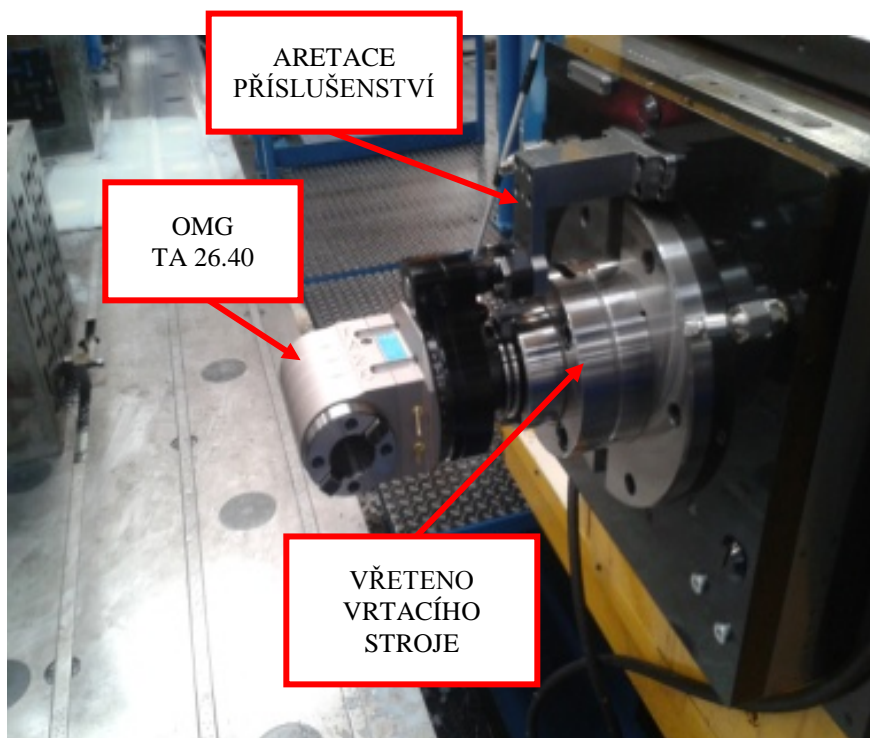
Hmotnost bez příruby: 690 kg

3.2.2 Frézovací hlava OMG TA 26.40

Každá firma zabývající se výrobou obráběcích strojů má v sortimentu zahrnutý i frézovací hlavy. Stává se však, že není možnost využít příslušenství z vlastní produkce. V těchto přípa-

dech se musí frézovací zařízení nakupovat u autorizovaných firem, které se zabývají výrobou frézovacích hlav. Mezi výrobce hlav patří firma OMG, která dodává příslušenství malých rozměrů.

Na obrázku 24 je vidět frézovací příslušenství, které se využívalo pro obrobení špatně dostupných ploch.



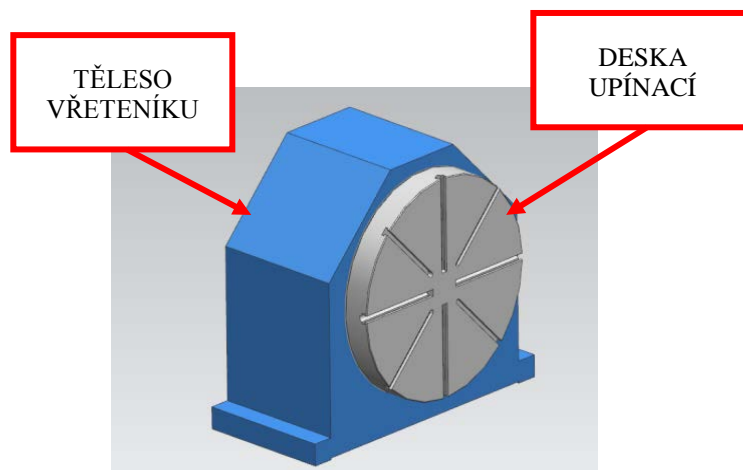
Obrázek 24 - Úhlová frézovací hlava OMG TA 26[1]

Převod mezi vstupem a výstupem	1 : 1
Max. otáčky	1/min 2500
Max. moment	Nm 130
Max. výkon.....	kW 25
Upínání nástrojů ruční	
Kleština pro nástroje SK 40 – podle DIN 2079	
Ruční indexování v jedné ose	
Rozsah otáčení	0 – 360°
Přívod chladící kapaliny vně i středem vřetena	
Hmotnost zařízení: 28 kg	

3.2.3 Natáčecí vřeteník JS1250

Natáčecím vřeteníkem se rozumí zařízení, které umožňuje natočení rotorových obrobků kolem posuvové osy stroje X. V kinematice se tato osa nazývá osou A, dle pravidel programování. Podrobně toto strojní zařízení popíši v následující kapitole, jelikož jsem si natáčecí vřeteník vybral za hlavní téma diplomové práce s jeho kompletním konstrukčním návrhem. Navrhované příslušenství bude mít stanovenou výšku osy rotace nad základovými deskami. Pro možnost využití pro více rotorových obrobků se bude moci výška osy natáčecího vřeteníku

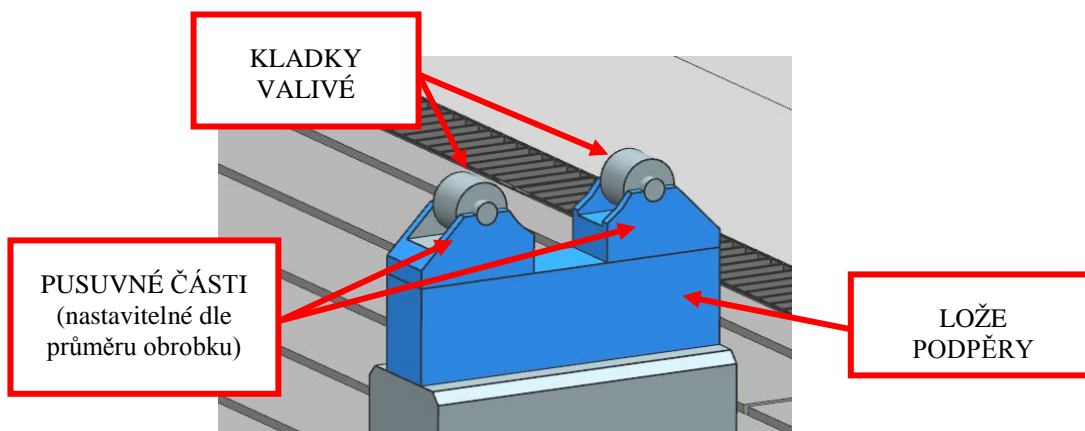
redukovat pomocí spodku vřeteníku. Spodkem vřeteníku je myšleno těleso z litiny pod samotným vřeteníkem, které se bude konstruovat dle typů obrobků jednotlivých zákazníků. Spodek vřeteníku bude mít v horní části situované přípojovací rozměry dle spodní části navrhovaného vřeteníku. Ve spodní části budou uzpůsobeny rozměry dle umístění v prostoru stroje. Uvažovány jsou dvě varianty, první varianta je spojení se základovými deskami, kde se spodek vřeteníku ustaví ve směru vertikálním a horizontálním pomocí šroubů a válcových kolíků. V druhém případě bude vřeteník ustavován přímo na betonové podlaží mimo základové desky stroje, kde se budou používat základové šrouby. Základové šrouby se používají i u vodorovné vyvrtávací frézky, otočného stolu a základových desek. Konstrukce základových šroubů umožňuje opět přesné ustavení vřeteníku k pojezdům obráběcího stroje.



Obrázek 25 - Zjednodušený kinematický model natáčecího vřeteníku JS 1200

3.2.3.1 Podpěry valivé

Na obrázku 26 je vidět zjednodušené zobrazení podpěry valivé, které jsou použity v návrhu strojního pracoviště. V podpěrách je při procesu obrábění uložen rotor, který se v nich natáčí dle polohy natáčecího vřeteníku. Jednotlivé valivé kladky jsou uloženy v posuvných elementech, které díky přestavitelnosti umožňují uložení větší škály typů rotorových obrobků.



Obrázek 26 - Zjednodušená model podpěry valivé

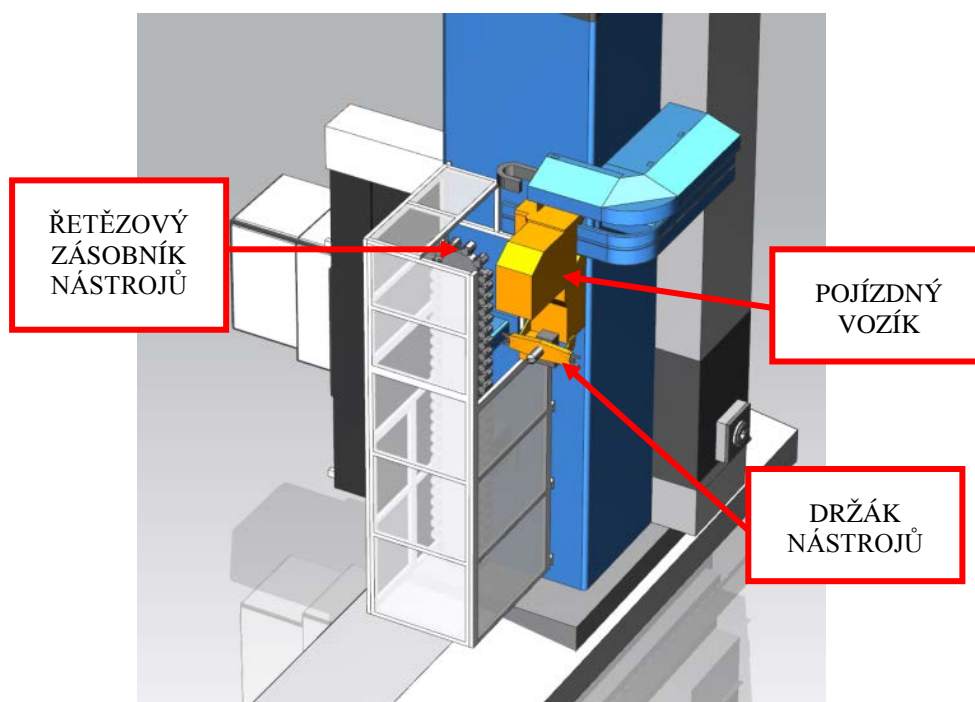
3.3 Příslušenství pracoviště

Příslušenství pracoviště jsou začleňovány do moderních konceptů pracovišť s důvodem zvětšení automatizace obráběcího procesu. S využitím těchto zařízení se snižují ztrátové časy a zvyšuje komfort stroje pro strojní obsluhu.

3.3.1 Automatická výměna nástrojů

ATC jsou příslušenství používaná pro automatickou výměnu nástrojů. Na horizontky se používají převážně ATC pevně spojené se stojanem stroje.

Na obrázku 27 jsou viděny jednotlivé části ATC. V buňkách řetězového zásobníku nástrojů jsou uskladněny jednotlivé nástroje, každá z buněk je evidována v řídicím systému stroje a při výměně nástroje se řetězový zásobník natočí do pozice, v které přebere nástroj pojízdný vozík výměny nástrojů. Výměnný vozík má na starost přepravu nástroje z řetězového zásobníku k vřetenu stroje. Vřeteno stroje je při procesu výměny přesunuto do stanoveného bodu pomocí posuvů os Y, Z, W, aby se dostalo do polohy, kde se posouvá pohyblivý vozík. Pohyblivý vozík má kromě možnosti pohybu od řetězového zásobníku k vřetenu, ještě možnost rotačního a lineárního pohybu chapače, aby byla umožněna výměna nástroje.

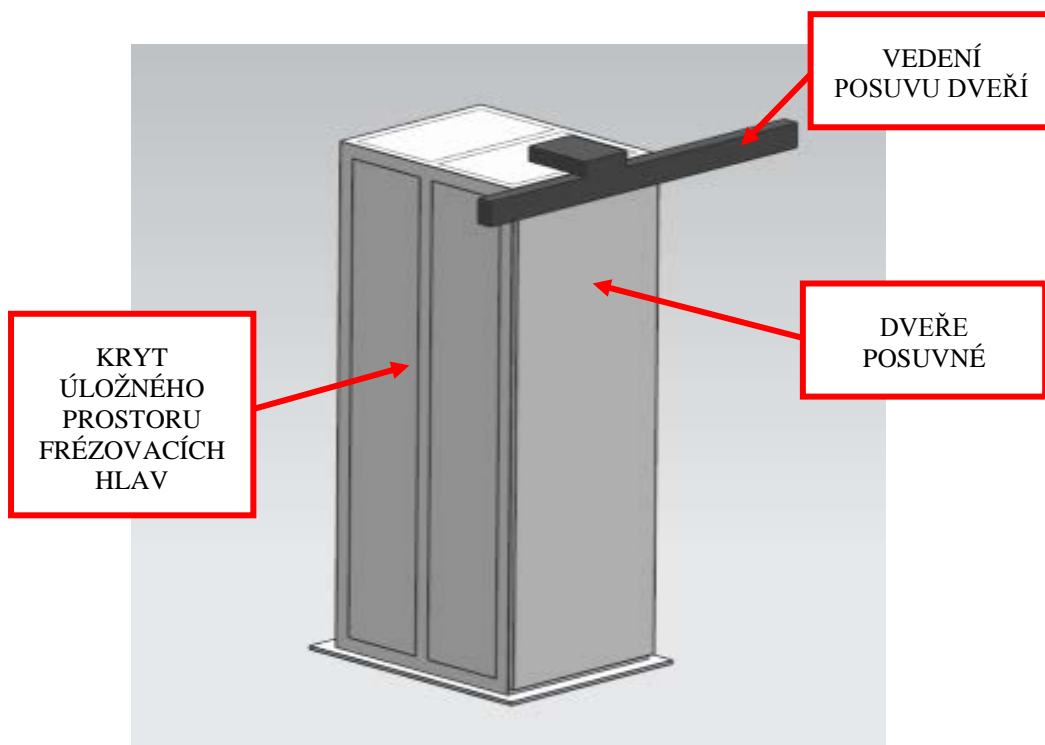


Obrázek 27 - Automatická výměna nástrojů od firma S.G.M.[1]

3.3.2 Pickup

Pickup neboli zásobník hlav je zařízení, které je konstruováno za účelem skladování hlav v pracovním prostoru stroje. Zásobník hlav umožňuje automatickou výměnu příslušenství v obráběcím procesu. Předností využití tohoto zařízení je ochrana příslušenství před znečištěním pomocí automatického uzavření pohyblivých dveří. Zásobníky příslušenství se liší v počtu skladných míst a v konstrukčním uspořádání pohyblivých dveří. Konstrukční uspořádání pohyblivých dveří se volí dle polohy zásobníku příslušenství v pracovním prostoru.

Na obrázku 28 je viděn zásobník s pohyblivými dveřmi v levém směru, tento zásobník se umísťuje ke koncové poloze stroje ve směru X+.



Obrázek 28 - Zařízení pro automatickou výměnu frézovacích hlav[1]

3.4 Základ stroje

Základ stroje je navrhován pro každý typ obráběcího stroj zvlášť. Ke každému obráběcímu stroji je tvořena výkresová dokumentace tzv. základový plán.

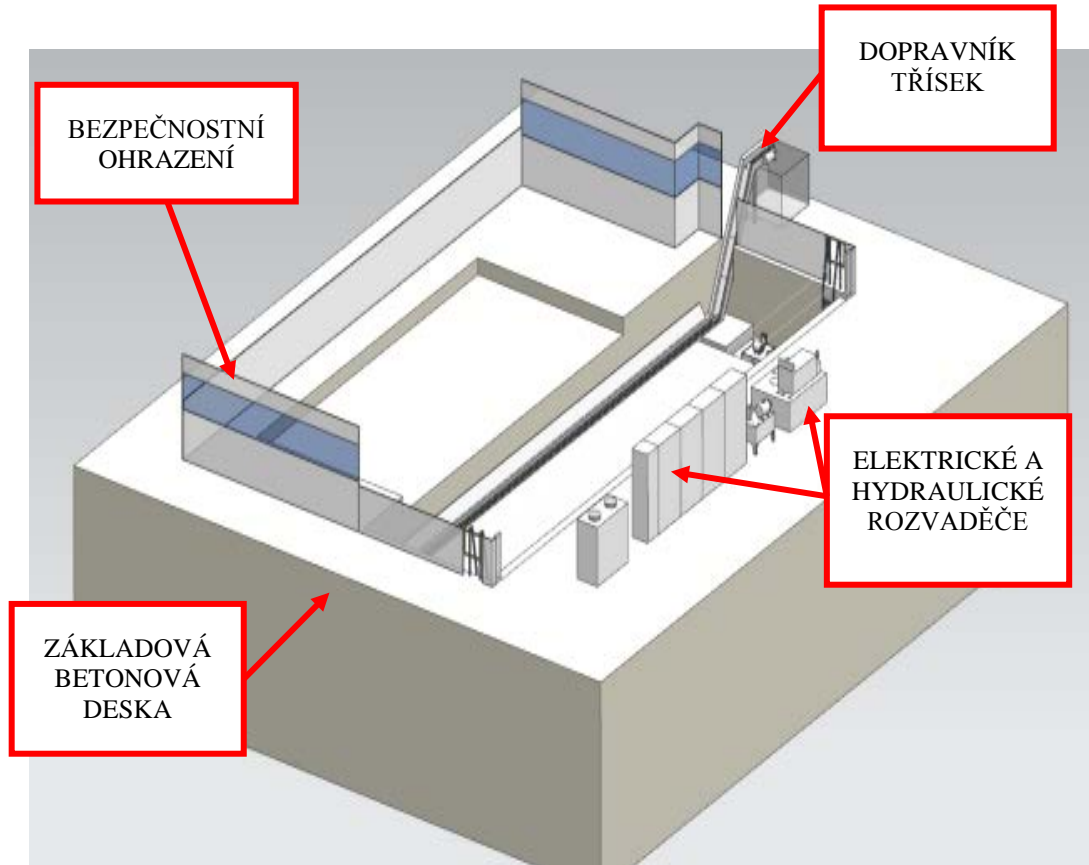
Při tvorbě základového plánu konstruktér navrhuje v prvé řadě rozměry jednotlivých částí základu stroje, které se mění velikostí stroje a dodávaným základovým příslušenstvím k obráběcímu stroji.

Velikostí stroje jsou rozuměny výkonnostní řady strojů, které se mezi sebou liší velikostí jednotlivých částí, jako jsou lože, spodek stojanu, stojan a vřeteník. Dále velikost stroje ovlivňuje základový plán při změně délky posuvu v ose X, kdy se mění délka skladby loží.

Základovým příslušenstvím jsou v prvé řadě komponenty a strojní zařízení sloužící k možnosti upnutí obrobku. Mezi tyto příslušenství spadají základové desky a otočné stoly, které se ke stroji koncipují dle možnosti obrobění stanoveného obrobku, zohledňují se prostory v hale zákazníka a zohledňují se bezpečnostní normy. Dále je nutné při návrhu základového plánu zohlednit přídatná zařízení, to jsou hydraulické agregáty a elektrické rozvodové skříně.

Závěrem je se zákazníkem konzultován způsob odvodu třísek z pracovního prostoru stroje a bezpečnostní ohraničení stroje. Pro odvod třísek se využívá třískový dopravník, který má za úkol dopravit odpad vytvořený při obrábění na sběrné místo v blízkosti stroje. V základovém plánu jsou specifikovány i dutiny pro možnost zalití kotevních šroubů, aby stroj bylo možné nainstalovat. Základové šrouby zajišťují stabilitu stroje a základní geometrické nastavení jednotlivých loží a základových desek.

Na obrázku 29 je základ stroje s jednotlivými částmi, které jsou umístěny v prostoru stroje a je nutné s nimi uvažovat při tvorbě výkresové dokumentace.



Obrázek 29 - Základ stroje[1]

4 Návrh simulace pro obrobení zvoleného rotoru

Návrh simulace pro obrobení zvoleného obrobku byl posledním krokem po návrhu koncepce strojního pracoviště. Díky moderním simulacím bylo ověřeno, zda veškeré návrhové práce tvořené v CAD a následně CAM systému jsou navrženy vhodně ke zvolené technologii obrábění. Tento bod je důležitý k prvnímu sladění obráběcího stroje, pracoviště s vlastním příslušenstvím s ohledem na detekci kolize stroje s obrobkem, na správné zvolení geometrií nástrojů a ověření správného navržení jednotlivých délek pracovních os. Dalším přínosem je ověření celkových technologických časů před samotným reálným obráběním.

Tento bod je velice užitečný s ohledem na sankce, které jsou smluvně uzavřeny se zákazníkem. U projektů s technologickou podporou jsou zahrnuty časy obrábění do smluvních dokumentů a dodavatel obráběcího stroje musí těmto časům dostát. Proto odladění celkových časů obrábění je posledním důležitým krokem před spuštěním hlavních konstrukčních a výrobních prací a umožňuje změny návrhu bez vyšších vedlejších nákladů.

4.1 Popis použitého softwaru

V současnosti jsou při návrhu pracoviště používány moderní softwary, mezi ně patří software NX10, který byl pro diplomovou práci využit. Zmiňovaný software dokáže připravit návrh v komplexním pojetí od prvotního návrhu složení strojního pracoviště, jak bylo popsáno v předchozí kapitole, až po následné definování kinematiky stroje a dalších možností přípravy. Možnosti budou popsány podrobněji v následujících bodech tak, jak je skutečně při návrhu tzv. technologie na klíč postupováno.

Technologie na klíč je technologie, při které se návrh pracoviště uzpůsobuje pro možnost obrobení definovaných operací na stanovené komponentě. Technický pracovník v závěru obrobí první obrobek zákazníka na již kompletně předaném stroji. V rámci doby obrábění prvního obrobku předá technik podklady technologie obrábění, jako jsou postupy výroby, seznamy nástrojů a NC data. Velkým přínosem je virtuální odzkoušení všech úskalí, takže při realizaci dochází k minimálnímu počtu komplikací.

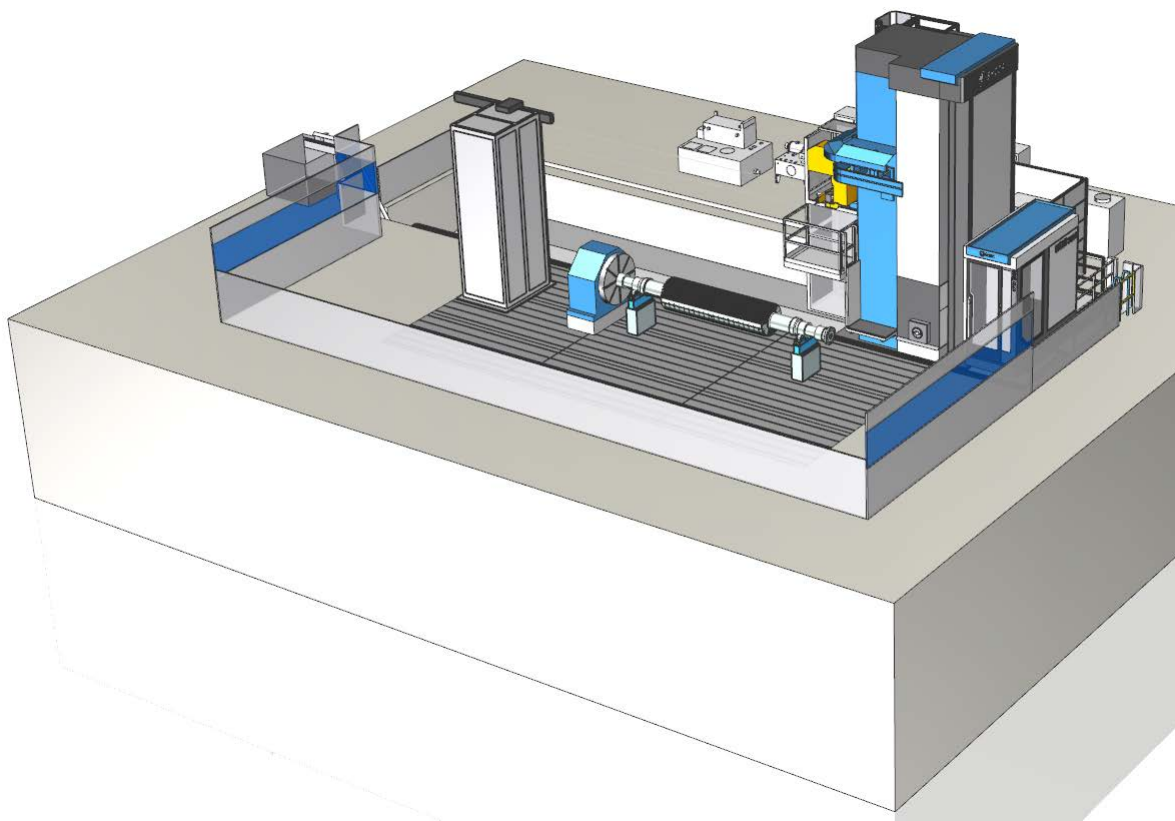
4.2 Model pracoviště v CAD

Návrh modelu pracoviště je prvotním úkonem pro potřebu definice kinematiky strojního pracoviště a jednotlivé části strojního pracoviště byly popsány v kapitole 3. Technický pracovník musí mít předem ujasněny rozjezdy jednotlivých pracovních os stroje. Osy stroje jsou definovány tak, aby plnily hlavní funkci stroje, tou je obrobení všech definovaných částí obrobku. Další faktory, např. automatizace celého procesu pomocí přídavných příslušenství, jsou nyní druhotné, ale je nutno je již zohlednit.

Model pracoviště byl kompletně sestaven v systému NX10 a to v tzv. modulu modelování. Kompletní model pracoviště je sestava stroje, která se skládá z jednotlivých podsestav dle kinematiky obráběcího stroje. Jednotlivé modely jsou zjednodušeně zobrazeny. Zjednodušeným zobrazením se rozumí, že nejsou v této sestavě zahrnuty modely komponent, které nejsou viděny, jelikož se nachází uvnitř větších celků. Mezi tyto modely patří posuvové šrouby, ložiska, talířové pružiny, ozubená kola atd. Až po návrhu tohoto zjednodušeného modelu se konstruktér rozhodne, zda je nutno konstruovat nové strojní celky nebo zda stačí vydat do výroby celky ty, které byly již využity na předchozích projektech a je bez detailního rozpracování vydat do výroby již na zhotovené výkresové dokumentaci. V diplomové práci, jak již bylo popsáno v kapitolách předchozích, bylo zjištěno, že pro tento sortiment obrobků, které zákazník bude na pracovišti vyrábět, je nutno vyvinout nový natáčecí vřeteník. Tento vřeteník je kompletně rozpracován v následné kapitole a celý proces popsáný v diplomové práci je

demonstrací postupu vývoje při tvorbě nového pracoviště ze sortimentu firmy, která má vlastní technický rozvoj a dokáže rychle reagovat na požadavky zákazníka v relativně krátkém čase.

Na obrázku 30 je viděn zkompletovaný prvotní model pracoviště, který bude využíván pro další operace v prostředí moderních softwaru. Samotný natáčecí vřeteník je zde zobrazen ve zjednodušené formě, jelikož velký objem dat by zpomalil virtuální simulaci stroje.



Obrázek 30 - Model pracoviště HCW 3000[1]

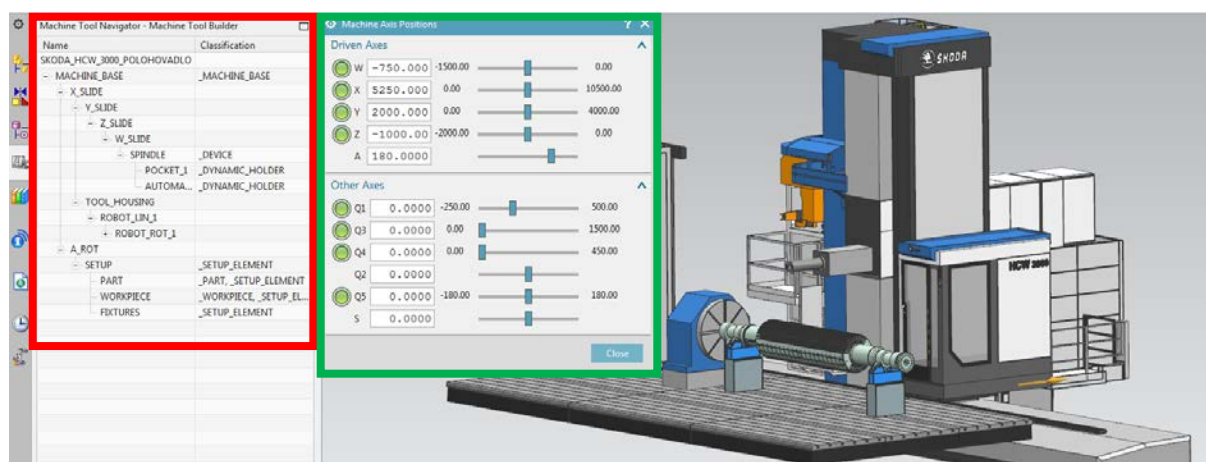
4.3 Definice kinematiky stroje

V této části je popsáno, jak vypadá prostředí pro tvorbu kinematiky stroje v moderním softwaru NX10. Jsou zde definovány jednotlivé pracovní a přidružené osy stroje, od jednotlivých názvů staženým ke kartézskému souřadnému systému, až po podrobnou definici délek rozjezdů v jednotlivých osách stroje. U každé pohyblivé osy je definována rychlost, zrychlení a mnoho dalších parametrů, to je důležité pro přiblížení virtuálního stroje k reálnému, pro stanovení detekce kolizí mezi strojem a obrobkem, ale především pro přesný odhad času obrábění.

Pro představu, jak se jednotlivé úkony v softwaru NX10 provádějí je přiřazen obrázek 31. Na tomto obrázku je vidět v červeném ohraničení strom jednotlivých os, které jsou seřazeny tak, aby jednotlivé pohyby v CSE simulaci odpovídaly reálnému stroji. Ke každé ose uvedené v tomto stromě jsou v první řadě přiděleny jednotlivé modely, které se mají v rámci osy pohybovat. V druhé řadě je zde definována délka pojezdu a dynamické koeficienty. Pro přesnější představu je znázorněna v zeleném rámečku tabulka polohy jednotlivých os. Ta demonstruje nastavení každé osy ve zmiňovaném stromě.

Jelikož např. v ose X jsou definované modely, části stroje, které se mají v rámci této osy pohnout. Při nastavení pojezdu na hodnotu 5250 mm se posunul stojan stroje, kabina a výměna nástrojů společně o definovanou vzdálenost. Osa Y je ve stromě zařazena pod osu X, tzn. že pohyb vykonala též, ale jelikož pro osu Y je pro pohyb definovaný model vřeteník, pohnul se vřeteník dle definice o 2000 mm ve směru osy Y. Stejnou logiku je možné pozorovat u osy Z a W, kde v ose Z se pohybuje model pinoly a v ose W se pohybuje model vrtacího vřetená. Tímto jsou popsány osy univerzálního stroje, kterým bez pochyb horizontální vyvrtávačka je.

Aby se z univerzálního stroje v CSE simulaci stal stroj speciální pro obrábění viděného rotoru DAX 7, je přiřazena osa A, která dle zmiňovaných pravidel umožní rotaci upínací desky natáčecího vřeteníku. Jelikož je v systému pomocí vazeb, které nahrazují reálné upnutí pomocí upínacích čelistí, spojena upínací deska s rotorem – obrobkem, pohybují se po natočení osy A oba modely společně.



Obrázek 31 - Model stroje s definovanou kinematikou

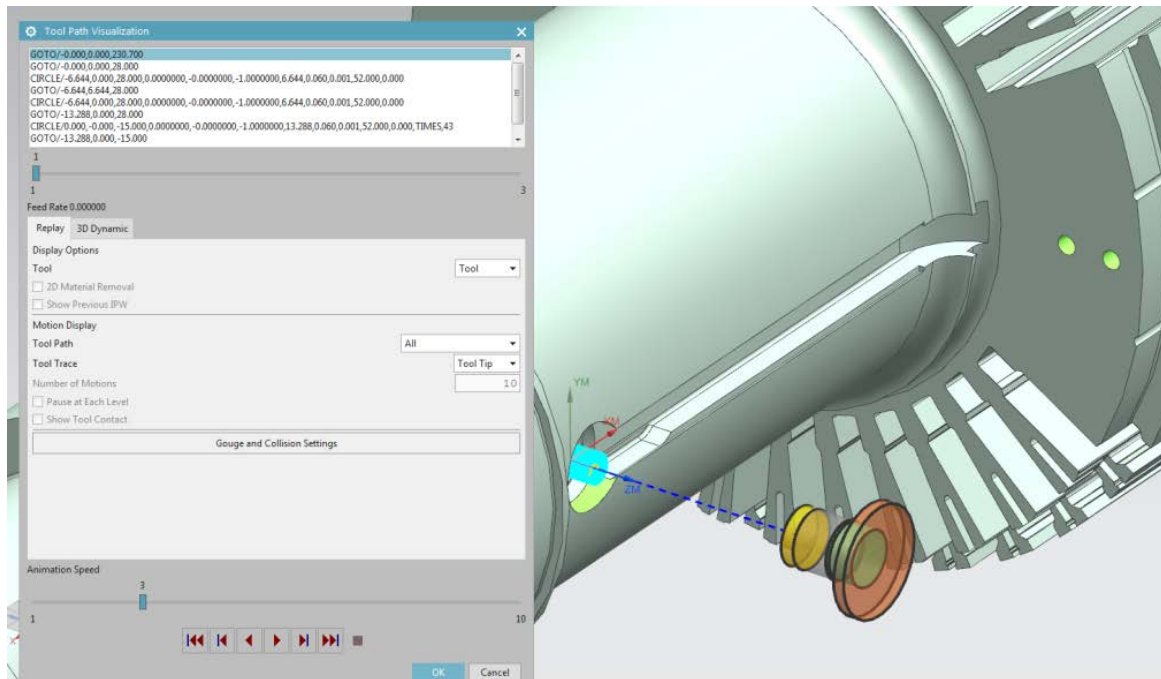
4.4 Definice technologických operací v CAM

Technologie obrábění uváděné komponenty rotoru DAX 7 byla připravena v počátku v rámci časové studie. Časová studie sloužila jako prvotní soupis operací, které se v rámci obrábění u zákazníka musely zhotovit. Ke každé operaci byl určen typ a průměr nástroje, aby bylo možné vypočítat samotný řezný čas. Takto připravená studie byla zaslána dodavatelům nástrojů, aby v rámci výběrového řízení byl vybrán partner pro obrobek u zákazníka. Pro spolupráci byla vybrána firma Clarkson CZ, s kterou ŠMT doladila řezné parametry jednotlivých nástrojů a následně zaslala finální verzi zákazníkovi.

Po schválení nástrojů zákazníkem byla zhotovená studie v CAM systému. Studie v CAM byla využita pro generaci CAM dat, které se následně převedly pomocí post-procesoru na data NC.

Na obrázku 32 je znázorněna technologická operace v CAM systému, při které byl zhotoven otvor $\varnothing 79,1$ mm frézou o $\varnothing 52$ mm za pomoci spirálové interpolace. Je zde viděn model nástroje a jeho dráha, kterou nástroj vykonává při obrábění. Dráha znázorněná čerchovanou čarou tmavě modré barvy znázorňuje rychloposuv, křivka znázorněná žlutou barvou znázorňuje nájezd již pracovním posuvem. Dráha znázorněná spirálou světle modré barvy je pracovní posuv. Pracovní posuv byl vypočítán na 90 mm/min. při otáčkách 1 1000 ot./min. Jelikož byla použita spirální interpolace, nástroj se pohyboval po

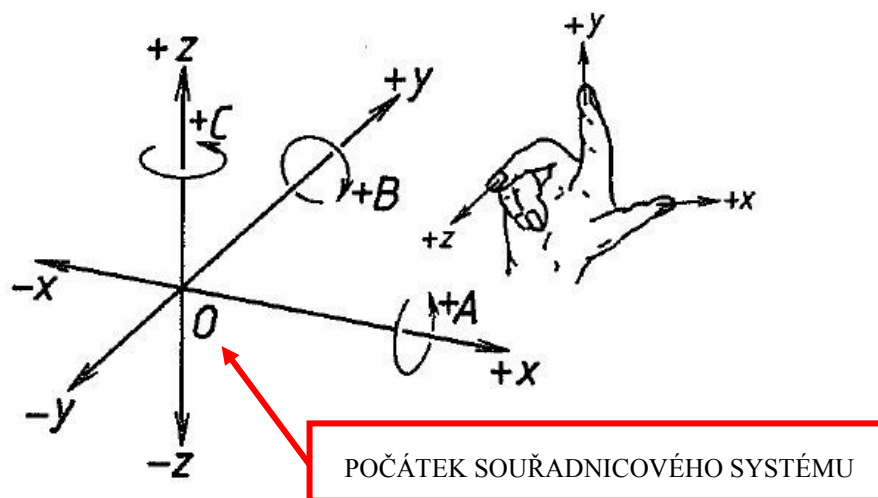
šroubovici po zdvihu 1 mm. V tabulce v zeleném ohrazení jsou viděna CAM data, která jsou následně převedena pomocí post-processoru na reálný NC kód. Převedení CAM dat bude popsáno v následných kapitolách.



Obrázek 32 - Obrábění v CAM nástrojem $\varnothing 52\text{mm}$

4.5 Využití post-processoru

Pro diplomovou práci byl použit post-processor vytvořený firmou ŠMT, který sloužil k odladění klíčových operací obrábění na definovaném obrobku, kde byla možnost nastání kolize mezi obrobkem a strojem. Post-processor firmy ŠMT, který byl připraven pro strojní osy X, Y, Z, byl rozšířen o osu A. Osa A je rotační osa, pomocí níž se programuje natočení upínací desky natáčecího vřeteníku. Název osa A je zvolen dle pravidel programování, jelikož se jedná o rotaci kolem první lineární osy X.

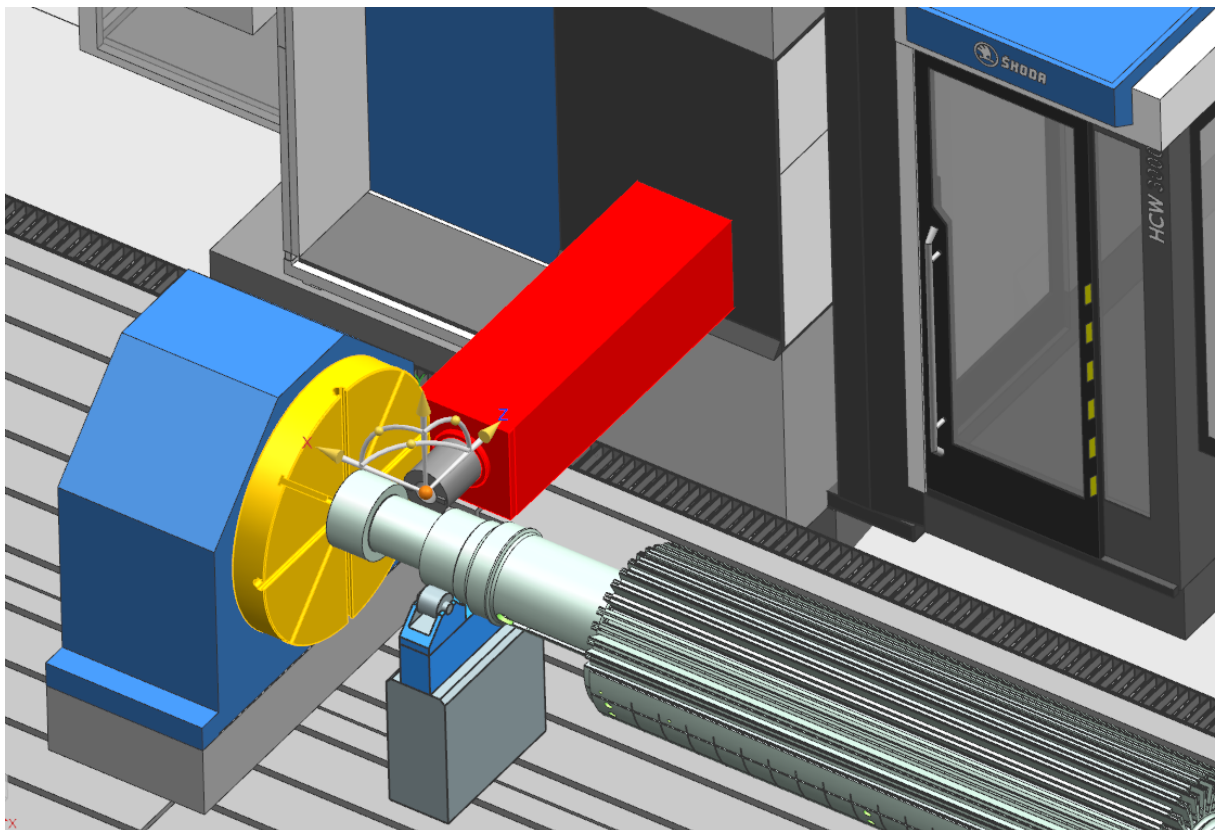


Obrázek 33 - Pravidlo označení směru os[11]

4.6 Využití CSE simulace

CSE simulace je jedna z podporovaných simulací softwarem NX. V Softwaru NX jsou podporovány tři druhy simulací. První TPV simulace pracuje pouze na CAM datech (CL datech), nelze proto provádět testy externích programů, protože tato simulace nedokáže číst NC data. Další již zmiňovaná CSE simulace pracuje již na NC datech a je umožněno čtení externích NC kódů. Výsledek simulace jednotlivých technologických operací se velice blíží reálnému strojnímu zařízení. Nejvíce se však reálnému stroji přibližuje VNCK simulace. Simulace byla posledním ověřením studie obrábění před reálným obráběním u zákazníka. V prostředí simulace byl ověřen NC kód a správnost zvolených obráběcích nástrojů. Pomocí simulace byly vyšetřované kolize mezi strojem a dalšími částmi strojního pracoviště.

Obrázek 34 znázorňuje využití CSE simulace pro detekci kolizí. Je vidět signalizace v simulaci při kolizi pinoly s upínací deskou natáčecího vřeteníku.



Obrázek 34 - Znázornění kolize[1]

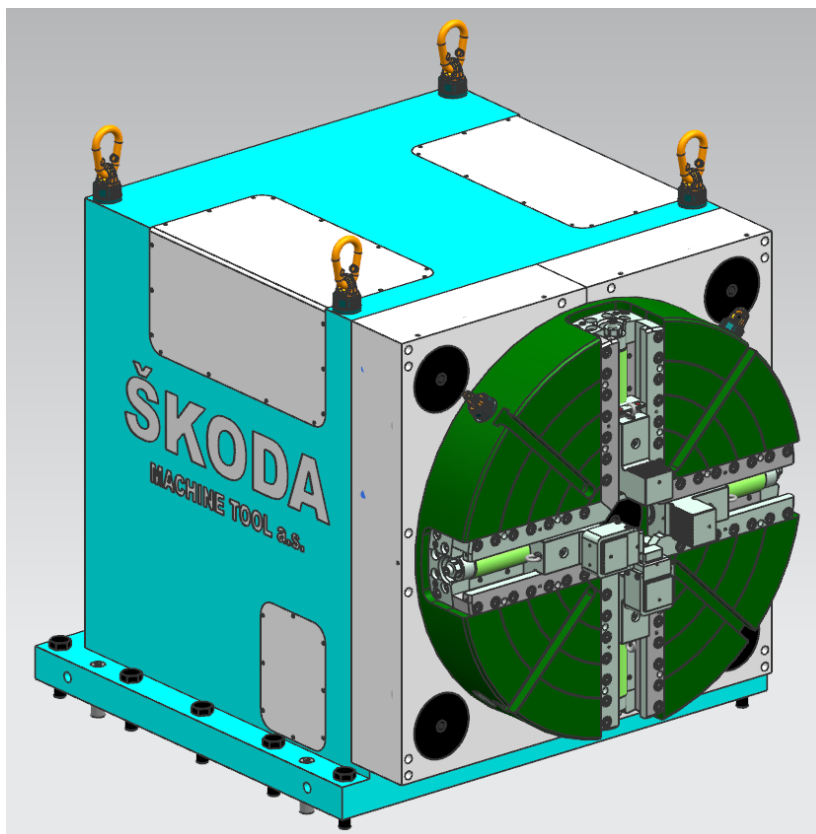
5 Návrh potřebného příslušenství (natáčecí vřeteník JS 1250)

V kapitole bude detailně popsán návrh vodorovného polohovadla dle zadání od firmy ŠKODA MACHINE TOOL a.s.

5.1 Úvod

Zadání mé diplomové práce vychází z průzkumu nynějším trhu. Dle zjištěných poznatků jsou vyhodnocena konstrukční řešení konkurence. Konstrukce polohovadla vychází z práce dvou firem, které využívají polohovadlo jako příslušenství k vodorovným vyvrtávacím frézám, k polohování rotorových součástí. Jedná se o firmu ŠMT a německou firmu Peiseler se svým produktem AWU. U firmy ŠMT jsou příslušenství pro polohování rotorových obrobků nazývány IOV. Parametry pro mnou navrhované vodorovné polohovadlo byly stanoveny tak, aby nové konstrukční řešení bylo na trhu konkurence schopné a zároveň doplnilo řadu IOV. Firma Peiseler v minulosti spolupracovala s firmou ŠMT a jsem tudíž z reálné praxe seznámen i s produktem AWU. Polohovadlo AWU je konstruováno do maximální váhy obrobku 16 000 kg, příslušenství IOV na možnost polohování obrobku od 70 000 kg. Po detailním prozkoumání produktů firem ŠMT a Peiseler, které vyrábějí již zmiňovaná zařízení IOV a AWU jsme dospěli k názoru, že nová konstrukce polohovacího příslušenství bude řešena dle moderních konstrukčních trendů a zaplní neobsazené místo mezi produktovými řadami IOV a AWU. Tím je rozuměno, že můj návrh bude zaplňovat prostor na trhu těchto zařízení a bude mít maximální nosnost obrobku mezi 16 000 kg až 70 000 kg.

Obrázek 35 znázorňuje kompletní návrh polohovacího vřeteníku, který bude detailně roze-psán ve zbytku diplomové práce.



Obrázek 35 - Natáčecí vřeteník JS 1200

Na další příložené fotodokumentaci jsou zobrazena vodorovná polohovadla od firem ŠMT a Peiseler.

Na obrázku 36 je výrobek firmy ŠMT. Ten byl instalován k vodorovné vyvrtávací frézce typu HCW3 na území U.S.A. a umožňuje obrábění těžkých rotorů parních turbín, které se využívají v jaderné energetice. Pro ustavení rotoru se použily hydrostatické opěry, ty umožňují automatický posuv po vlastním loži. Tato konstrukce umožnila jednotlivé opěry automaticky ustavovat v potřebných vzdálenostech od samotného polohovadla dle podpěrných průměrů, které byly stanoveny ve výkresové dokumentaci obrobku zákazníka.

Na obrázku 37 je viděn produkt firmy Peiseler, jež byl použit pro možnost obrábění generátorových rotorů ve firmě BRUSH SEM s. r. o. Příslušenství od firmy Peiseler se použilo společně se strojem firmy ŠMT řady HCW2. Pro ustavení generátorových obrobků se použily kluzné opěry od firmy Pilsen Tools. Tyto kluzné opěry byly navrženy firmou ŠMT.



Obrázek 36 - Vodorovné polohovadlo ŠMT z typové řady IOV [1]



Obrázek 37 - Vodorovné polohovadlo od firmy Peiseler z typové řady AWU [1]

Definice vstupních parametrů:

Zde jsou uvedeny jednotlivé vstupní parametry, které jsou důležité při konstrukčním návrhu pracoviště. Tyto podklady byly definovány, aby mnou navrhované polohovadlo bylo navrženo dle potřeb stávajícího trhu a zároveň vyhovovalo potřebám ŠMT.

Parametr	hodnota	jednotky
Výška osy	800	mm
Průměr desky	1250	mm
Max. moment pohonný	40	kNm
Max. moment zpevňovací	60	kNm
Hmotnost obrobku	min. 25	tun
Otáčky upínací desky	6 až 11	rpm
Přesnost polohování	$\pm 2''$	$^{\circ}$
Hmotnost polohovadla	do 11	tun
Upínací čelisti	mechanické	

Tabulka 2 - Základní vstupní parametry

5.2 Stanovení optimální varianty konstrukčního řešení:

Pro zvolení optimálního konstrukčního řešení natáčecího vřeteníku, které bude v souladu s technickým zadáním a zároveň bude konkurence schopné se současným trhem, byla vytvořena morfologická matice.

Pomocí morfologické matice si stanovím možnosti jednotlivých konstrukčních řešení hlavních uzlů tak, aby navržený natáčecí vřeteník byl konstrukčně moderní, splňoval technické parametry a byl ekonomicky přijatelný.

Jednotlivé možnosti řešení morfologické matice byly sestaveny z průzkumu konkurenčních technických řešení natáčecích vřeteníků a ze zvyklostí konstrukce obráběcích strojů ŠMT.

HLAVNÍ TRANSFORMAČNÍ FUNKCE TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ		MOŽNOSTI ŘEŠENÍ		
		1.	2.	3.
1	Materiál tělesa vřeteníku	Odlitek	Svařenec	Kombinace
2	Typ převodu	Dva předepnuté pastorky	Master - Slave	Šnekový převod
3	Náhon upínací desky	Ozubený věnec	Integrované ozubení na ložisku	Šnekové kolo

4	Uložení upínací desky	IRT ložisko	Ložisko s integrovaným ozubením	Kluzné ložisko
5	Materiál upínací desky	Odlitek	Svařenec	Kombinace
6	Aretace upínací desky	Brzda na pastorku	Upínací jednotka	Kombinace
7	Upínání obrobku	Šroub trapézový	Silové vřeteno	Přestavení upínacích čelistí
8	Posuv upínacích čelistí	Elektricky	Mechanicky	Kombinace
9	Odměřování osy A	Z motoru	Řemenový převod	Přímé rotační odměřování
10	Vřeteno - povrchová úprava	Kalené	Nitridované	Bez povrchové úpravy
11	Přenos momentu mezi vřetenem a upínací deskou	Broušený kužel 1:50	Pomocí pera	Pomocí kolíků
12	Upínací jednotka - vyvinutí zpevňovací síly	Mechanické Talířové pružiny	Hydraulické Hydraulický píst	Elektrické Magnetem
13	Upínací jednotka - odepnutí	Mechanické Talířové pružiny	Hydraulické Hydraulický píst	Elektrické Magnetem
14	Přenos sil mezi upínací jednotkou a tělesem vřeteníku	Pomocí kolíků	Pomocí lícovaných šroubů	Pomocí pera

Tabulka 3 – Morfologická matice pro zvolení optimálního konstrukčního návrhu

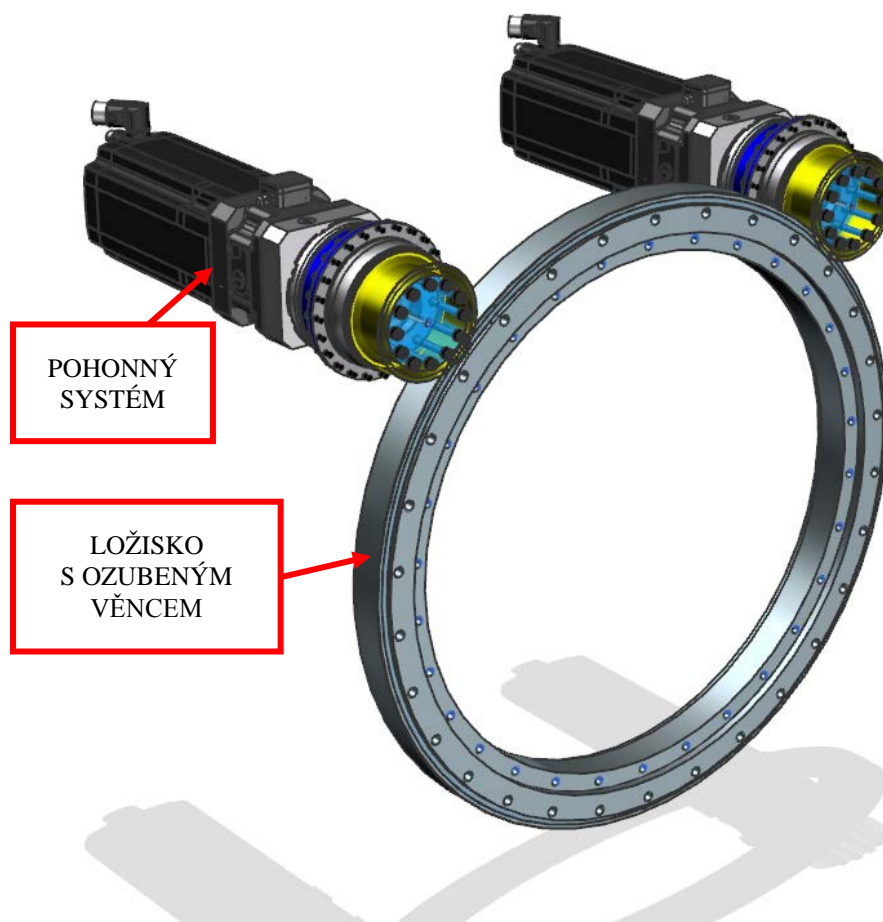
Tabulka 3 popisuje možnosti konstrukčních řešení jednotlivých uzlů, které budou hlavními stavebními kameny natáčecího vřeteníku. Zelenou barvou je znázorněna optimální varianta. Detailní řešení optimální varianty se bude zabývat zbytek náplně diplomové práce.

5.3 Návrh převodového ústrojí

Pro náhon lícní desky vodorovného polohovadla byl použit převodový systém pastorek a ozubený věnec. Pro vyvinutí větších momentů potřebných k polohování a zpevnění lícní desky byly požití dva samostatně naháněné pastorky. Tyto dva pastorky jsou elektricky zapojeny ve

vazbě master-slave, která zaručuje vymezení vůle v ozubení mezi pastorkem a ozubeným věncem. Vymezení vůle v ozubení mezi pastorkem a ozubeným věncem zaručuje přesné polohování lícni desky se stabilním zpevněním v daném natočení. Výhodou navrhované konstrukce je použití křížového ložiska, které má na vnějším kroužku integrované vnější ozubení s přímými zuby. Pro náhon jednotlivých pastorků jsem využil motory od firmy Siemens. Mezi motorem a pastorkem je vložena převodovka a brzda, které jsou nakoupené u externích firem. Převodovka s brzdou jsou vloženy, abych docílil potřebnou transformaci momentu před finálním převodem pastorku a ozubeného věnce a výstupní hodnoty splnily zadané parametry. Brzda zaručí po výpočtu dostatečný upínací moment, když zákazník nebude chtít zakomponovat upínací jednotky, které by funkci této brzdy nahradily. V mé práci jsem natáčecí vřeteník navrhl s upínacími jednotkami a tím jsou brzdy využívány díky PLC nastavení jen při havárii nebo při náhlém výpadku proudu.

Na obrázku 38 je vidět kompletní sestava převodového ústrojí.



Obrázek 38 - Převodové ústrojí

5.3.1 Výpočet převodového ústrojí

5.3.1.1 Základní údaje potřebné pro výpočet

Ozubený věnec:

Počet zubů:

$$z_1 = 133$$

Pastorek:

Počet zubů:

$$z_2 = 21$$

Osová vzdálenost ozubených kol:

$$a = 616\text{mm}$$

Motor:

Výstupní moment:

$$M_m = 70\text{Nm}$$

Maximální otáčky:

$$n_{motor} = 3000 \text{ ot/ min}$$

Převodovka:

Převodový poměr:

$$i_{vstup} = 55$$

Brzda:

Zpevňovací moment:

$$M_b = 100 \text{ Nm (maximální brzdny moment)}$$

Master-slave:

Poměr při zapojení Master-slave:

$$k_{ms} = 1,8$$

Při použití dvou pastorků v zapojení master - slave se výkon jednoho pastorku nenásobí dvěma, ale koeficientem 1,8, jelikož druhý z pastorků vždy přibrzdí 20% pastorek první, aby se vymezily vůle v ozubení.

5.3.1.2 Výpočet finálního převodu $i_{finál}$:

$$i_{finál} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{133}{21} = 6,33$$

5.3.1.3 Výpočet maximálních otáček lícni desky n_{max} :

$$n_{max} = \frac{n_{motor}}{i_{vstup} * i_{finál}} = \frac{3000}{55 * 6,33} = \frac{3000}{346,5} = 8,6 \text{ ot/ min}$$

5.3.1.4 Výpočet pohonného momentu M_p

Jeden pastorek:

$$M_{p1} = M_m * i_{vstup} * i_{final} = 70 * 55 * 6,33 = 24\ 382\ \text{Nm}$$

Dva pastorky (master - slave):

$$M_p = M_{p1} * k_{ms} = 24\ 382 * 1,8 = 43\ 888\ \text{Nm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

5.3.1.5 Výpočet zpevňovacího momentu dosaženého pomocí brzdy M_z

Výpočet je proveden pro zjištění zpevňovacího momentu, který je vykonaný pomocí brzdy. V diplomové práci budou navrženy také upínací jednotky, které budou popsány níže.

Jeden pastorek:

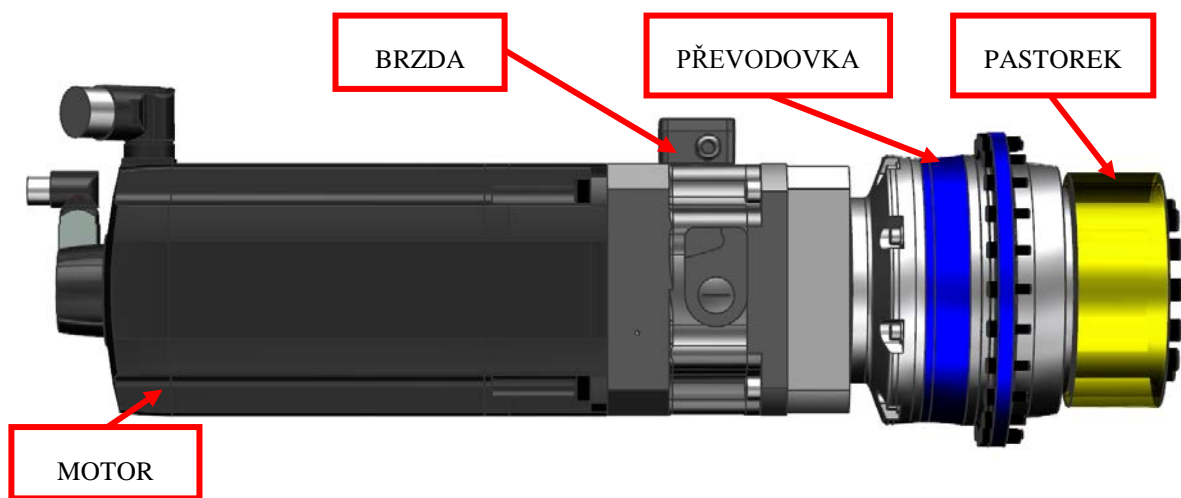
$$M_{z1} = M_b * i_{vstup} * i_{final} = 100 * 55 * 6,33 = 34\ 815\ \text{Nm}$$

Dva pastorky:

$$M_z = M_{z1} * k_{ms} = 34\ 815 * 2 = 69\ 630\ \text{Nm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

5.3.2 Popis jednotlivých komponent pohonné soustavy

Obrázek 39 demonstruje uspořádání jednotlivých komponent pohonné soustavy.



Obrázek 39 - Pohonná soustava

5.3.2.1 Motor Siemens

Konstrukční řada motoru:

SIMOTICS S-1FT7

Použitý typ motoru pro pohonnou soustavu

1FT7108-5AF71-1NL1

Výkon:

P = 6,28kW

Výstupní moment:

$M = 70\text{Nm}$

Hmotnost:

$m = 59\text{ kg}$

Typ motoru:

Synchronní motor s permanentními magnety

Chlazení:

Chlazení vodou

Monitorování teploty:

Snímač teploty ve statoru navíjení

Vinutí statoru:

Izolační v souladu s EN 60034-1 (IEC 60034-1)

Typ konstrukce:

Konstrukce v souladu s EN 60034-7(IEC 60034-7)

Výstupní hřídel motoru:

Prodloužení hřídele v DE v souladu s normou DIN 748-3 (IEC 60072-1)

Připojení:

Konektory pro signály a výkon otočný

Brzda:

Motory řady SIMOTICS S 1FT7 se vyrábějí jak s implementovanou brzdou nebo v provedení bez implementované brzdy. Pro pohonnou soustavu je použit motor s integrovanou brzdou.

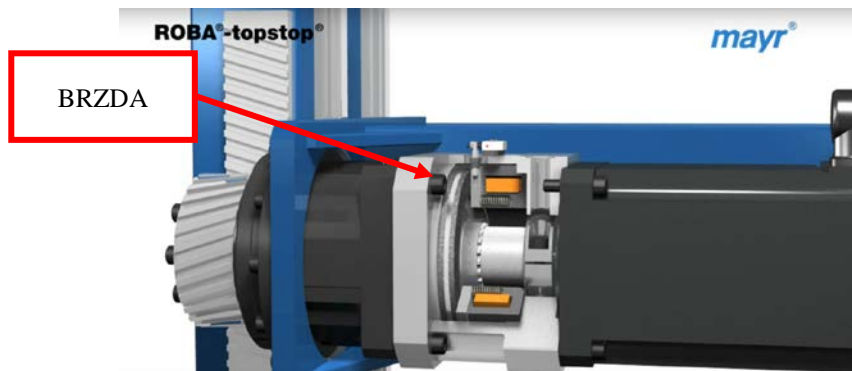
5.3.2.2 Zpevňovací brzda Mayer

Firma Mayr vyrábí velké množství strojních zařízení sloužících k brzdění nebo aretaci různých typů pohybů, jako jsou např. pohyby rotační nebo lineární. Produkty od firmy Mayr jsou využívány ve strojních zařízeních v mnoha průmyslových odvětvích, mezi které patří mimo strojní průmysl, také energetika nebo zábavný průmysl.

Konstrukční řada brzdy:

ROBA-TOPSTOP

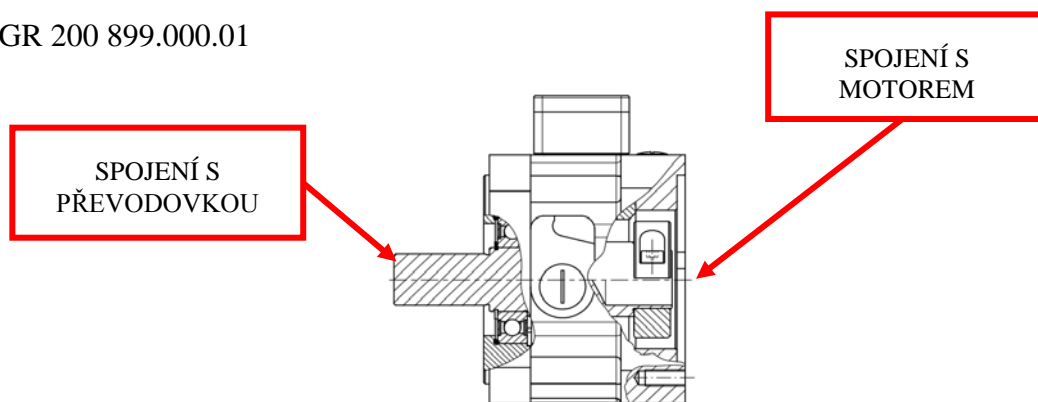
Využívaná k osazování servomotorů, jak z hlediska bezpečnosti, například při výpadku napájení, tak pro zvýšení zpevňovacích sil potřebných pro aretaci v definované poloze. Výrobce Mayr vyrábí velké množství brzdných systémů z typové řady ROBA-TOPSTOP. Tyto brzdné systémy se liší konstrukčně možnostmi vstupního a výstupního připojení. Dále se v každé konstrukční řadě nachází výkonnostní typy pro možnost využití ve velké škále strojních zařízení.



Obrázek 40 - Ukázka zapojení brzdy od firmy Mayr

Použitý typ brzdy pro konstrukci:

Typ GR 200 899.000.01



Obrázek 41 - ROBA-TOPSTOP s výstupním hřídelem a vstupním svěrným pouzdem

Tento typ brzdy je možné integrovat do stávajících pohonů bez další konstrukční úpravy. Na straně pravé se pomocí svěrného pouzdra spojí brzda s výstupní hřídelí servomotoru. Vnitřní průměr pouzdra se dá u každého typu brzdy měnit dle vnějšího průměru výstupního hřídele servomotoru. Na straně druhé je výstupní hřídel pro spojení s následujícím zařízením. V mém případě se jedná o převodovku od firmy Wittenstein.

Moment zpevnění:

$$M_b = 100\text{Nm}$$

Maximální otáčky brzdy:

$$n_{max.b} = 3000\text{ot/min}$$

5.3.2.3 Převodovka Wittenstein alpha

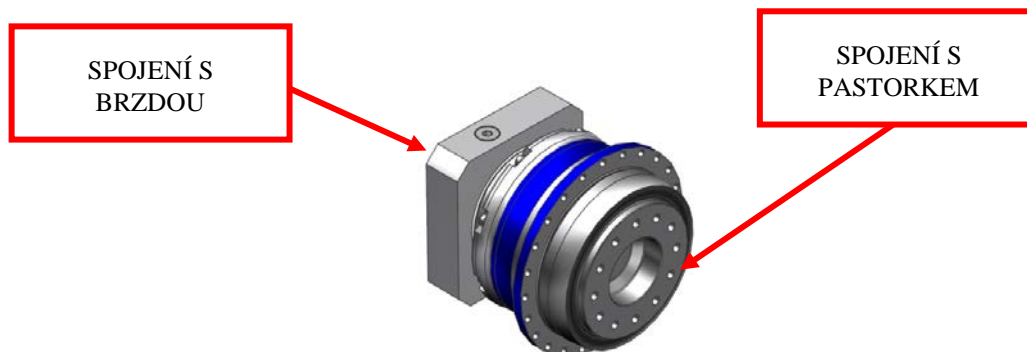
Konstrukční řada převodovky:

TP+HIGH TORQUE

Tento konstrukční typ převodovek slouží pro přenos velkých sil a momentů, proto je vhodný pro aplikace, kde je nutno docílit vysokých přesností a stabilních zpevnění v daných pozicích. Právě z tohoto hlediska jsem tento typ převodovky použil v mém konstrukčním řešení a docí-

lil tak vhodných podmínek pro zpevnění lící desky. Zpevnění lící desky v daném natočení je důležité pro zajištění stabilních podmínek při obráběcím procesu, které zajistí přesnost obrobění dané komponenty.

Na obrázku 42 je vidět zvolená převodovka s popisem jednotlivých částí.



Obrázek 42 - Převodovka Wittenstein TP+110MA HIGH TORQUE

Převodový poměr:

$$i = 55$$

Jmenovitý výstupní moment:

$$M = 1\,400\text{Nm}$$

Jmenovité vstupní otáčky:

$$n_{1N} = 2\,500\text{ ot/min}$$

Maximální vstupní otáčky:

$$n_{1Max} = 4\,500\text{ ot/min}$$

Životnost:

$$L_h = 20\,000\text{ hod.}$$

5.3.2.4 Pastorek:

Pastorek je navržený z materiálu dle ČSN 16 526. 40 s čelním přímým ozubením.



Obrázek 43 - Pastorek

Počet zubů:

$$z = 21$$

Modul ozubení:

$$m = 8$$

Úhel záběru:

$$\alpha = 20^\circ$$

Průměr patní kružnice:

$$D_f = 148\text{mm}$$

Průměr hlavové kružnice:

$$D_a = 184\text{mm}$$

Průměr roztečné kružnice:

$$D = 168\text{mm}$$

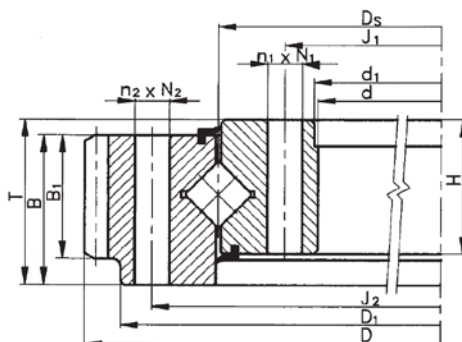
Šířka pastorku:

$$b = 72\text{mm}$$

5.3.3 Křížové ložisko s integrovaným ozubeným věncem

V mém konstrukčním návrhu je použito křížové ložisko od firmy PSL typu 9E_1Z250984_0452, které má na vnějším obvodu integrovaný ozubený věnec. Ložisko je konstrukčně přizpůsobené firmou PSL dle požadavků ŠMT.

Na obrázku 44 jsou uvedeny základní rozměry křížového ložiska, dále popíši hodnoty vztahující se k integrovanému ozubení. Údaje a výpočty samotného ložiska jsou popsány v kapitole uložení vřetene.



Obrázek 44 - Základní rozměry křížového ložiska

Označení	hodnota [mm]
d	Ø890
d1	Ø895
J1	Ø922
Ds	Ø954
J2	Ø1010
D1	Ø1043
D	Ø1080
T	82
B	70
B1	62
H	67
N1	30xØ17
N2	36xM16

Tabulka 4 - Základní rozměry křížového ložiska

Počet zubů:

$z = 133$

Modul ozubení:

$m = 8$

Úhel záběru:

$\alpha = 20^\circ$

Průměr roztečné kružnice:

$D = 1064\text{mm}$

Průměr patní kružnice:

$D_f = 1044\text{mm}$

Průměr hlavové kružnice:

$D_a = 1080\text{mm}$

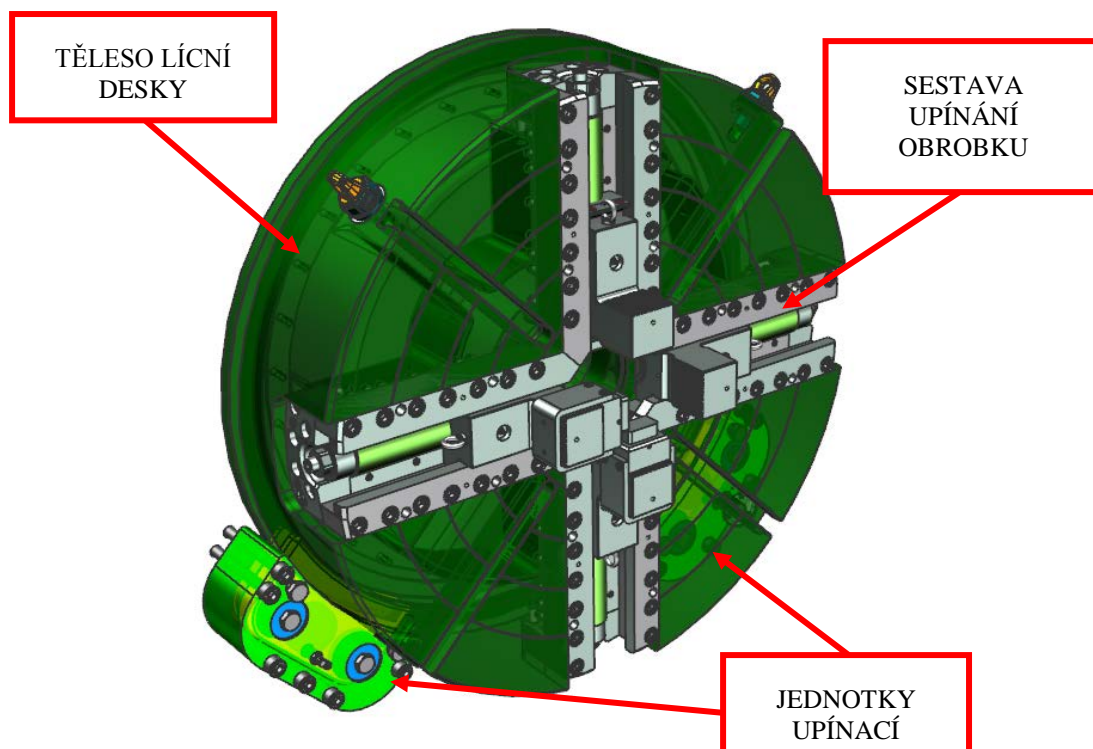
Šířka pastorku:

$b = 70\text{mm}$

5.4 Návrh lícní desky s upínacími jednotkami

Lícní deska s komponenty je navržena pro možnost upnutí obrobku od $\varnothing 200$ mm do $\varnothing 1000$ mm pomocí upínacích čelistí. Čelisti jsou posuvné ve vedení za pomoci silového vřetene. Silové vřeteno je vybaveno na vnějším průměru trapézovým závitem, který dociluje posuvu zmiňovaných čelistí. Lícní deska je navržena pro přenos zatížení 250 kN v radiálním a axiálním směru. Lícní deska je navržena pro možnost využití upínacích jednotek.

Jednotlivé podsestavy jsou znázorněny na obrázku 45. Popis jednotlivých komponent lícní desky je popsán níže.

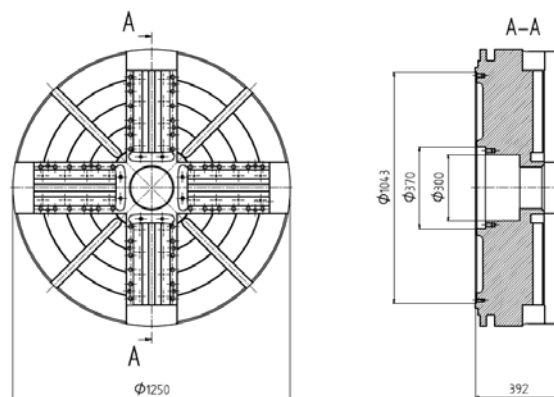


Obrázek 45 - Lícní deska sestava

5.4.1 Těleso lící desky

Lící deska je odlévaná komponenta z tvárné litiny se značením EN-GJS-500-7.

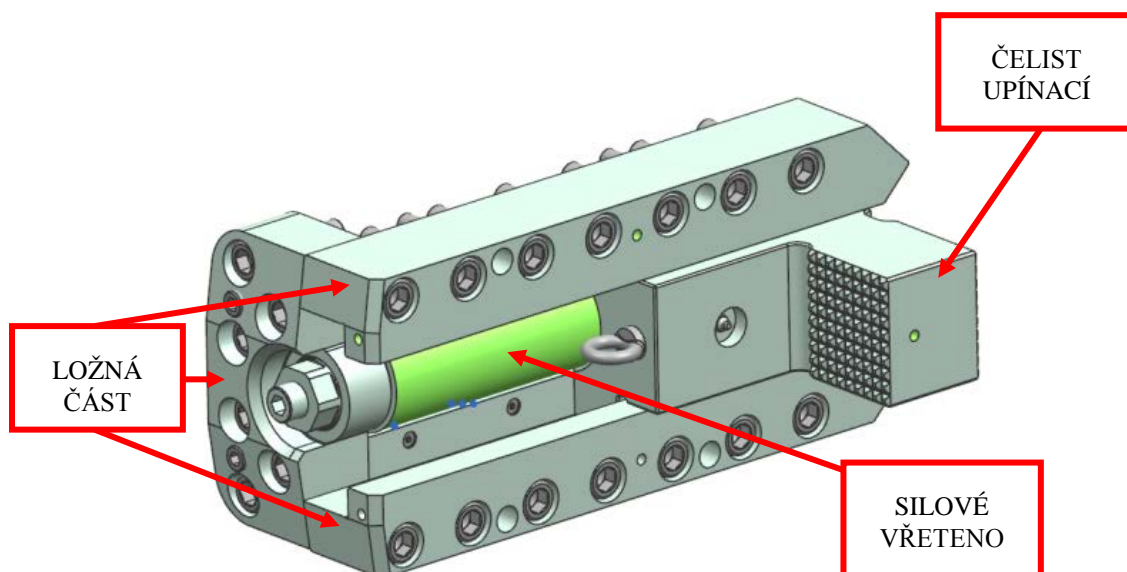
Na obrázku 46 jsou označeny hlavní rozměry navrženého odlitku lící desky po kompletním strojním opracování a dalších technologických úpravách. V přední části je lící deska přizpůsobena pro možnost nainstalování podskupiny s názvem Upínání obrobku sestava, která je popsána v kapitole 5.4.2 a slouží k upnutí obrobku k lící desce. Na zobrazeném řezu A-A je vidět zahloubení o $\varnothing 1043$ mm, kde je lícováno křížové ložisko, popsáno v kapitole 5.5.2.1. Ložisko je spojeno s lící deskou a tělesem natáčecího vřeteníku a společně s vřetenem, které je lícováno do $\varnothing 300$ mm.



Obrázek 46 - Základní rozměry lící desky

5.4.2 Upínání obrobku sestava

Na obrázku 47 je popsána sestava zabezpečující přesný posuv upínací čelisti a vyvinutí dostatečných upínacích sil tak, aby byly přeneseny výkonnostní parametry natáčecího vřeteníku na obrobek a následně byl zabezpečen stabilní režný proces. Tato sestava je spojena s lící deskou a nachází se na čelní ploše lící desky 4 krát po 90° .



Obrázek 47 - Upínání obrobku sestava

5.4.2.1 Ložná část

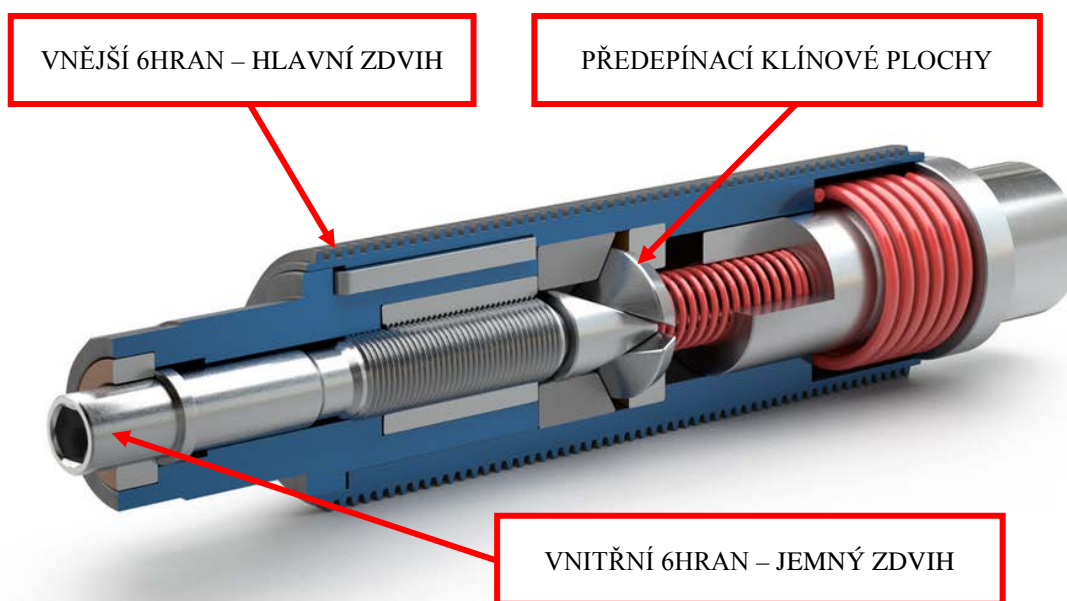
Jednotlivé díly sestavy ložné části jsou vyrobeny z materiálu s označením ČSN 14 220. Vodičí plochy, v kterých se pohybuje upínací čelist, jsou povrchově kaleny pro zvýšení jejich tvrdosti. Pomocí šroubů M20x90-8.8 viděných na obrázku 47 je sestava upínání obrobku spojena s tělesem lící desky.

Ložná část je uzpůsobena též pro uložení silového vřetene od firmy Jakob Antriebstechnik. Funkce silového vřetene bude popsána v následné kapitole.

5.4.2.2 Silové vřeteno MSD 80

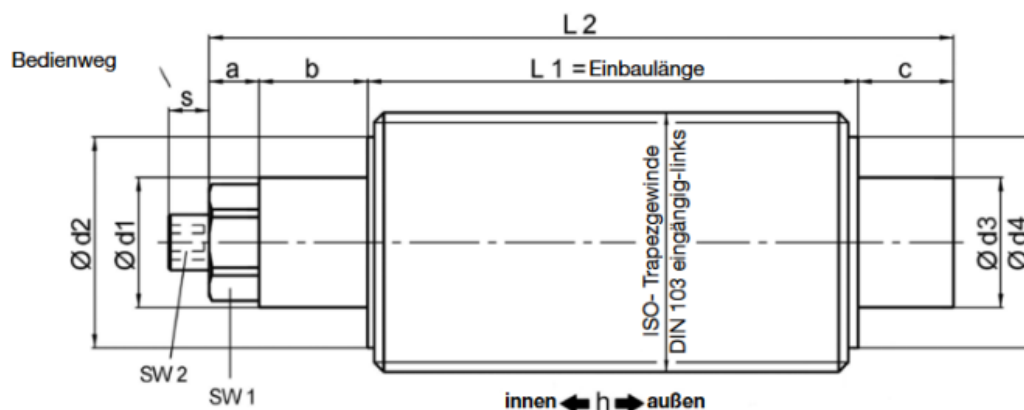
Silové vřeteno od firmy Jakob je využíváno na hrotových soustruzích řady SR od firmy ŠMT. Vřeteno je specifické tím, že má dva způsoby řešení pro upevnění obrobku. Pro hlavní zdvih je využit vnější trapézový závit. Vřeteno je uloženo v sestavě upínání obrobku tak, že při jeho rotaci se posouvá upínací čelist ve směru kolmém na osu upínaného obrobku. Pomocí hlavního zdvihu je obrobek hrubě upnut. Konečné ustavení obrobku do požadované přesnosti za požadované upínací síly se pak dokončí pomocí vnitřního mechanismu, jde o tzv. jemný zdvih, který pracuje v rozsahu zdvihu dle přiložené specifikace. Tento mechanismus pracuje při utahování vnitřního šestihranu tak, že se posouvají vnitřní klínové plochy.

Na obrázku 48 je vidět uspořádání vnitřních součástí silového vřetene, které demonstruje způsob činnosti této součásti.



Obrázek 48 - Silové vřeteno Jakob[12]

Na obrázku 49 je znázorněné schéma silového vřetene. Jednotlivé rozměry uvedené na schématu jsou popsány v tabulce 5. Firma Jakob vyrábí více řad rozměrových a výkonostních vřeten, které jsou možné použít pro návrh lící desky natáčecího vřeteníku s větší únosností.



Obrázek 49 - Rozměry silového vřetene[12]

Tabulka 5 je uvedena v německém jazyce. Pro upřesnění jsou některé výrazy přeloženy do jazyka českého.

- ISO – Trapezgewinde – trapézový závit
- Nennspannkraft – Nominální upínací síla
- Nennanzugsmoment – Nominální utahovací moment
- max. stat. Belastung – maximální statické zatížení
- Sechskant – šestihran

technische Daten und Abmessungen [mm]: Längenmaße nach DIN ISO 2768 mH

MSP/MSPD	Größe	50	65	80	100	120	160	200
ISO-Trapezgewinde	TR-links	50x3	65x4	80x5	100x6	120x6	160x8	200x10
Nennspannkraft [kN]	außen	100	150	200	250	300	400	500
	innen	70	100	140	180	220	300	400
Nennanzugsmoment	[Nm]	60	80	100	130	160	160	180
max. stat. Belastung	[kN]	150	250	300	400	600	800	1200
Spannhub h	[mm]	2	2,5	3	3	3	3	3
Bedienweg s	[mm]	7,5	15	17	17	17	25	27
Sechskant	außen SW 1	27	41	46	50	55	65	85
	innen SW 2	10	12	14	14	17	17	17
a		20	20	20	25	25	30	40
b / c		30	35	40	50	60	70	80
Ø d1/d3 f7		30	45/40	50	60	65	80	100
Ø d2/d4		40	55/52	68	85	95	130	160
MSPD - L1 min.		150	170	230	250	280	330	360
MSPD - L2 min.		230	260	330	375	425	500	560
MSP - L1 min.		140	150	210	220	250	290	320
MSP - L2 min.		220	240	310	345	395	460	520

Tabulka 5 - Technické data silového vřetena MSPD 80[12]

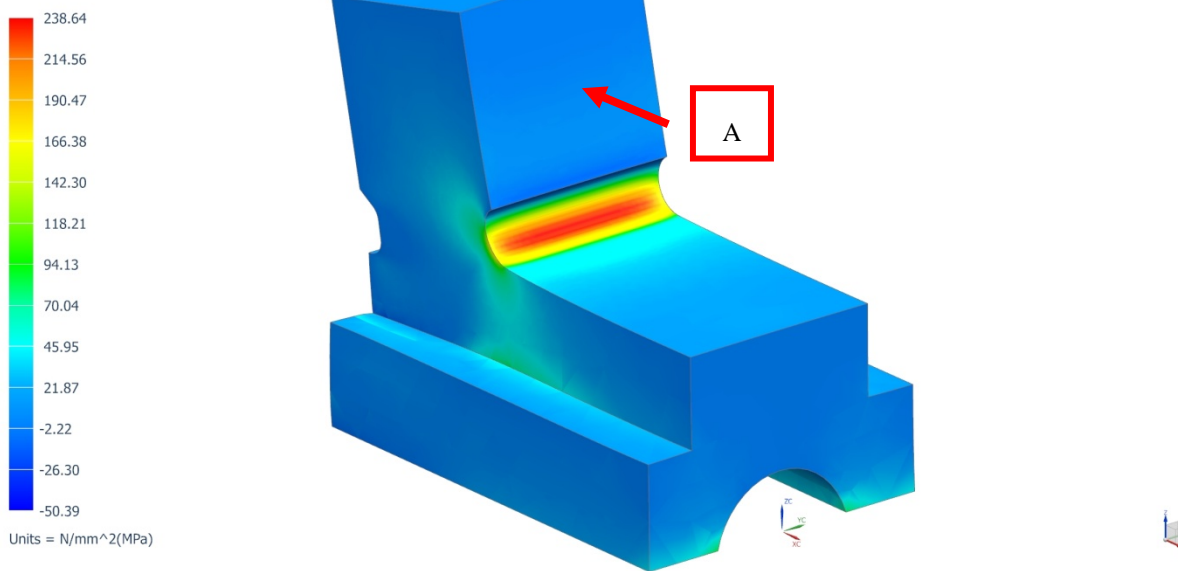
5.4.2.3 Čelist upínací

Upínací čelist je vyrobena z vykovaneho bloku materiálu s označením ČSN 15241.9. Tento materiál je zvolen s ohledem na vysoké zatížení upínací čelisti. Na čelist působí síly vycházející z předepnutí obrobku, to je docíleno pomocí silového vřetene, vlastní váhy obrobku a sil působících z řezného procesu. Upínací čelist se v průběhu výroby kontroluje na vnitřní vady materiálu ultrazvukovou zkouškou dle ČSN 015042-II/2. Závit přenášejí síly vyvinuté z předepnutí obrobku pomocí silových vřeten nese značení Tr80x5 LH-7H-4 a je lícován dle odměření závitů v silovém vřetenu. Stykové plochy s povrchovým rýhováním jsou povrchově kaleny pomocí laseru na pevnost 45...55 HRC. Veškeré zápichy jsou leštěny pro zlepšení vrubové houževnatosti. Upínací čelist je dimenzovaná na přenesení váhy obrobku 250 kN.

Na obrázku 50 až obrázku 57 je znázorněn průběh napětí ve směru vektoru A nebo B při zatížení dle popisu obrázku o síle 125 kN a 250 kN. Obrázky se znakem VM v popisu obrázku znázorňují průběh redukovaného napětí a obrázky se znakem MP v popisu obrázku znázorňují průběh maximálního tahového napětí.

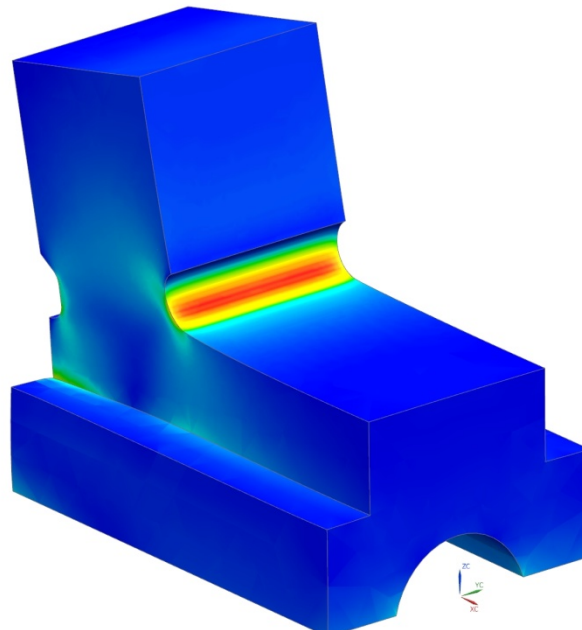
Zatěžující síla 125 kN demonstruje zatížení jedné čelisti při hmotnosti obrobku 25 000 kg a síla 250 kN demonstruje zatížení při hmotnosti obrobku 50 000 kg. Zatěžující síly jsou poloviční, jelikož se předpokládá, že rotorová komponenta je ustavena ve dvou podpěrných bodech. Jeden z podpěrných bodů je upínací čelist lícní desky, bodem druhým je podpěra valivá.

CELIST_fem1_sim1 : Solution 1 Result
A125, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Max Principal
Min : -50.39, Max : 238.64, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



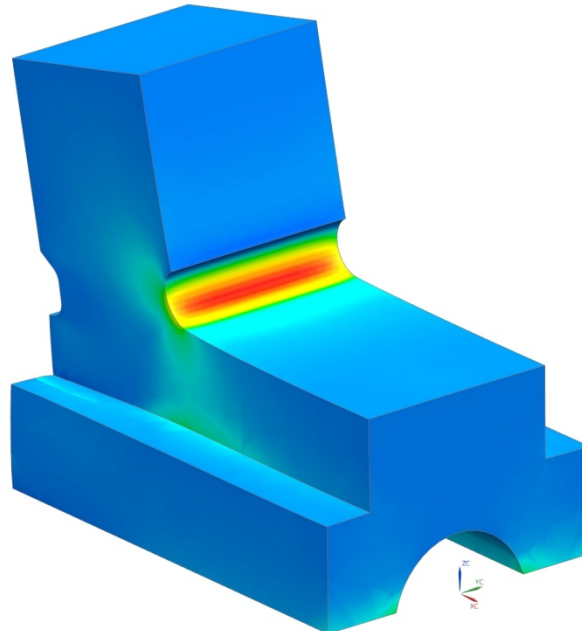
Obrázek 50 - A125 MP

CELIST_fem1_sim1 : Solution 1 Result
A125, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 0.19, Max : 210.96, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 51 - A125 VM

CELIST_fem1_sim1 : Solution 1 Result
A250kN, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Max Principal
Min : -100.78, Max : 477.29, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

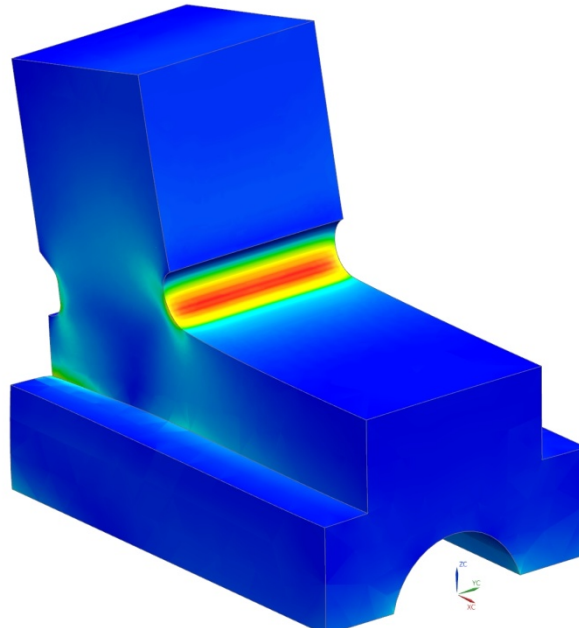


Obrázek 52 - A250 MP

CELIST_fem1_sim1 : Solution 1 Result
A250kN, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 0.37, Max : 421.91, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Units = N/mm²(MPa)

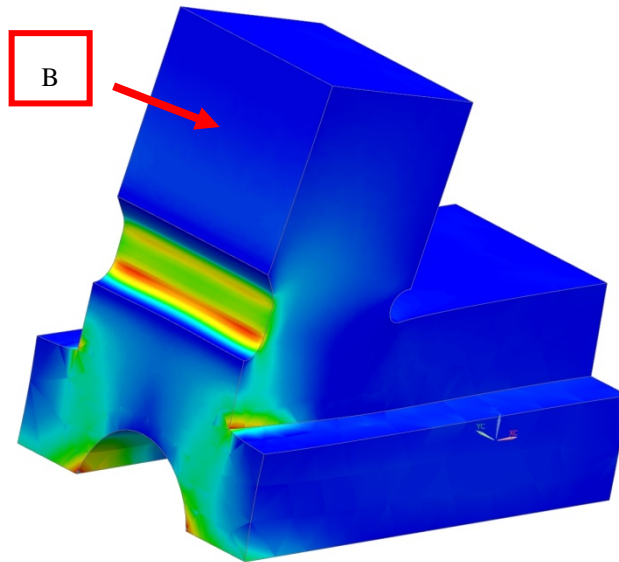


Obrázek 53 - A250 VM

CELIST_fem1_sim1 : Solution 1 Result
B125, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Max Principal
Min : -37.55, Max : 176.73, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

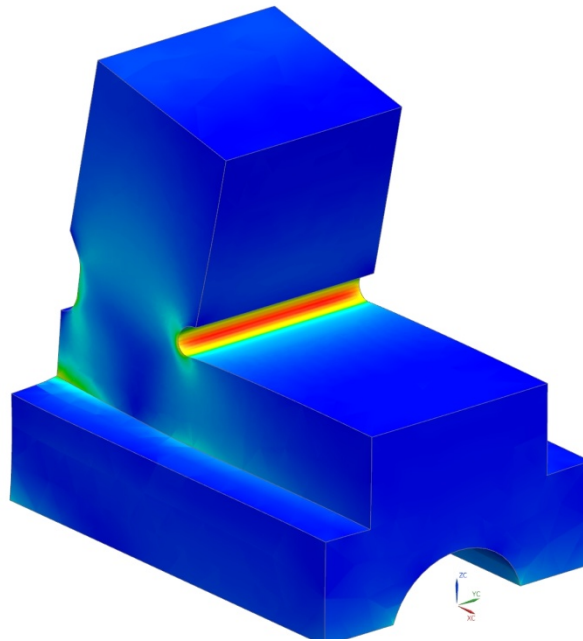


Units = N/mm²(MPa)



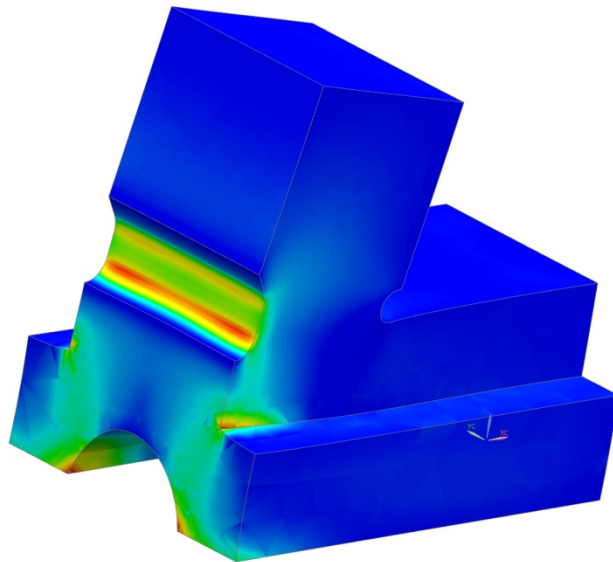
Obrázek 54 - B125 MP

CELIST_fem1_sim1 : Solution 1 Result
B125, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 0.14, Max : 206.18, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



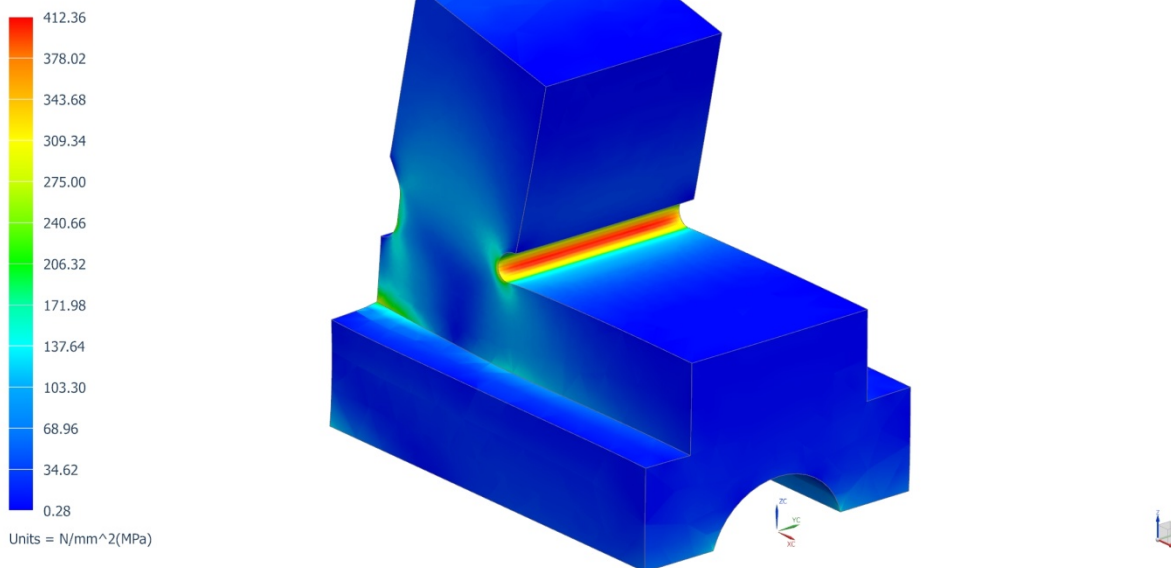
Obrázek 55 - B125 VM

CELIST_fem1_sim1 : Solution 1 Result
B250, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Max Principal
Min : -75.09, Max : 353.46, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 56 - B250 MP

CELIST_fem1_sim1 : Solution 1 Result
B250, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 0.28, Max : 412.36, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 57 - B250 VM

Výpočet bezpečnosti:

Bezpečnost:

$$k = \frac{R_e}{\sigma_t}$$

Materiál - ČSN 15 241	
Re [MPa]	Rm [MPa]
588	900

Tabulka 6 - Mechanické vlastnosti použitého materiálu

STAV	SMĚR ZATÍŽENÍ	ZATÍŽENÍ [kN]	TAHOVÉ NAPĚTÍ - σ_t [MPa]	BEZPEČNOST[k]	OBRÁZEK
1.	A	125	239	2,5	Obrázek 50
2.	A	250	477	1,2	Obrázek 52
3.	B	125	160	3,7	Obrázek 54
4.	B	250	320	1,8	Obrázek 56

Tabulka 7 - Jednotlivé stavy zatížení

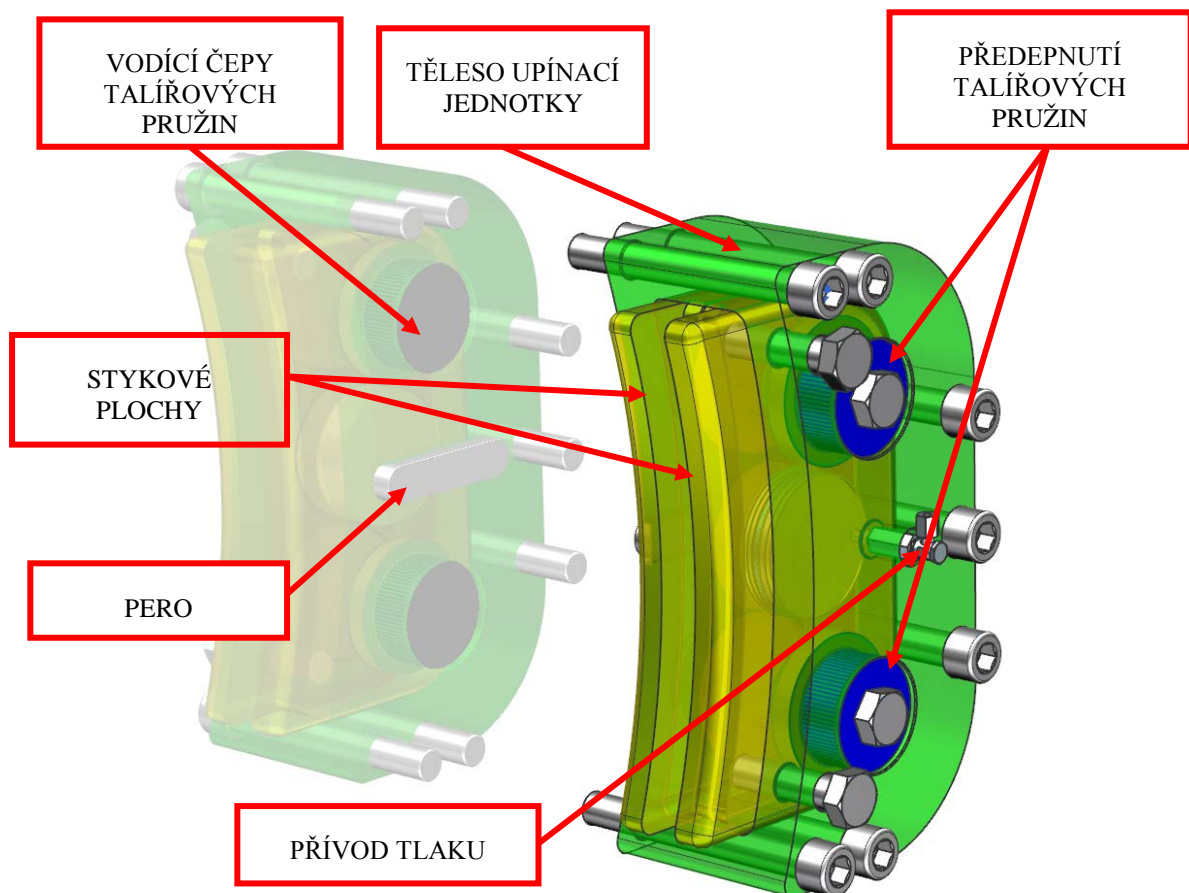
Tabulka 7 popisuje velikost bezpečnosti v jednotlivých stavech zatížení. Pro obrobek vážící 25 000 kg, u kterého zatížení na jedné čelisti odpovídá 125 kN je bezpečnost vysoká a čelist je pro tento stav vhodně navrhnutá.

Pro obrobek vážící 50 000 kg, u kterého zatížení odpovídá 250 kN je bezpečnost nižší. V tomto případě, kdy bude obrobek o hmotnosti 50 000 kg obráběn, bude za potřeby využití dvou podpěr viz. obrázek 30.

Pro možnost obrábění těžších či jinak upnutých obrobků, kdy by bylo zatížení na čelisti větší, by došlo k použití vyšší řady sestavy upínání obrobku, která by nahradila původní řešení do stávajícího natáčecího vřeteníku.

5.4.3 Jednotky upínací

Jednotky upínací jsou navrženy pro dosažení zpevňovacího momentu 60 kNm dle zadání. Zpevnění je důležité při obrábění s ohledem na dosažení vysokých přesností obráběné komponenty a též s ohledem na stabilitu nástroje v řezu. Upínačky jsou navrženy tzv. plavoucím způsobem. Plavoucí způsob znamená, že vnitřní upínací tělesa jsou uložena na vodicích čepech, které umožňují pohyb 0,3 mm. Tím je eliminováno působení axiálních sil při upnutí a nedochází k namáhání křížového ložiska a upínací desky. Mimo namáhání zmiňovaných komponent, které by tyto axiální síly musely přenést, nedochází k ovlivňování ustavení obrobku při upnutí. Upínací síla je dosažena pomocí talířových pružin, které jsou předepnuty tak, aby vyvinuly dostatečnou upínací sílu k dosažení požadovaného momentu. Pro možnost odepnutí upínacích jednotek je použito hydraulického pístu, který zpevňovací jednotky přesune do krajních poloh, vycházejících z konstrukce tak, že při natáčení vřeteníku je mezi plochou vnitřního upínacího tělesa a upínací plochou na tělese upínací desky vůle 0,15 mm. Upínací jednotky jsou montovány na těleso natáčecího vřeteníku v odepnutém stavu, aby je bylo možné nasadit na brzdny disk, který je součástí upínací desky. Odepnutý stav je dosažen pomocí tzv. montážních šroubů, které mechanicky přetlačí talířové pružiny do krajních poloh. Celá sestava upínací jednotky je připevněna na těleso vřeteníku pomocí šroubů. Na zadní části upínací jednotky je umístěno pero, které se ustaví do drážky vyhotovené v tělesu natáčecího vřeteníku. Toto pero je použito proto, aby upínací jednotka přenesla síly, které budou působit při zatížení 60 kNm.



Obrázek 58 - Jednotka upínací

5.4.3.1 Výpočet upínacích jednotek pro potřebný upínací moment

Celkový požadovaný moment zpevňovací při 2 upínacích jednotkách:

$$M = 60\,000 \text{ Nm}$$

Celkový požadovaný moment pro 1 upínací jednotku:

$$M_B = 30\,000 \text{ Nm}$$

Vztah pro návrh potřebné zpevňovací síly:

$$M_B = n_s * n_p * F * f * R_B$$

ZNAČENÍ	POPIS	HODNOTA
n_s	POČET SAD	2
n_p	POČET STYKOVÝCH PLOCH	2
f	SOUČINITEL TŘENÍ	0,2
R_b	ZPEVŇOVACÍ POLOMĚR	0,6
F	POTŘEBNÁ PŘÍTLAČNÁ SÍLA	X?

Tabulka 8 - Návrh potřebné přítláčné síly

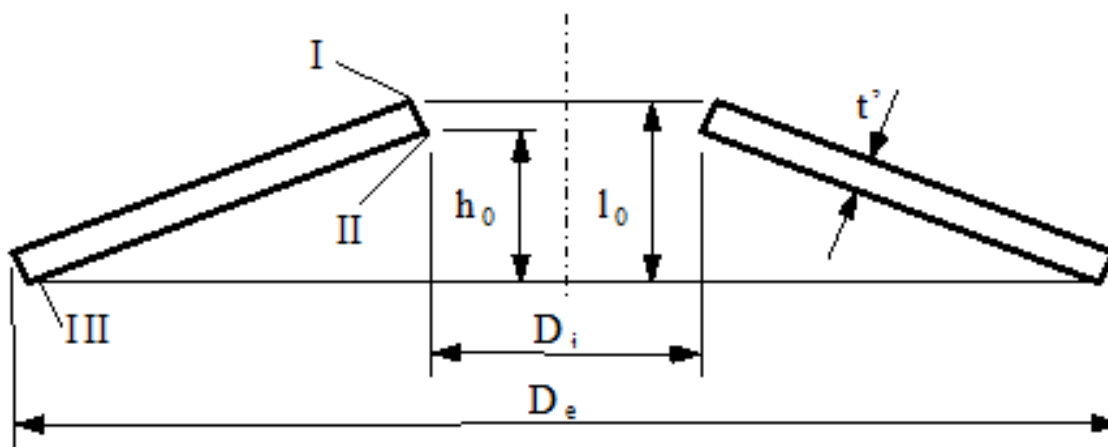
Potřebná přítláčná síla:

$$F = \frac{M_B}{n_s * n_p * f * R_B} = \frac{30\,000}{2 * 2 * 0,2 * 0,6} = 62\,500 \text{ N}$$

Talířové pružiny:

Pro dosažení zpevňovacího momentu M_B je nutno vyvinout pomocí talířových pružin sílu 62 500 N. Pro dosažení požadované síly jsou vytipované pružiny a nastavené jejich předepnutí.

Typ talířových pružin Mubea 19 0001:



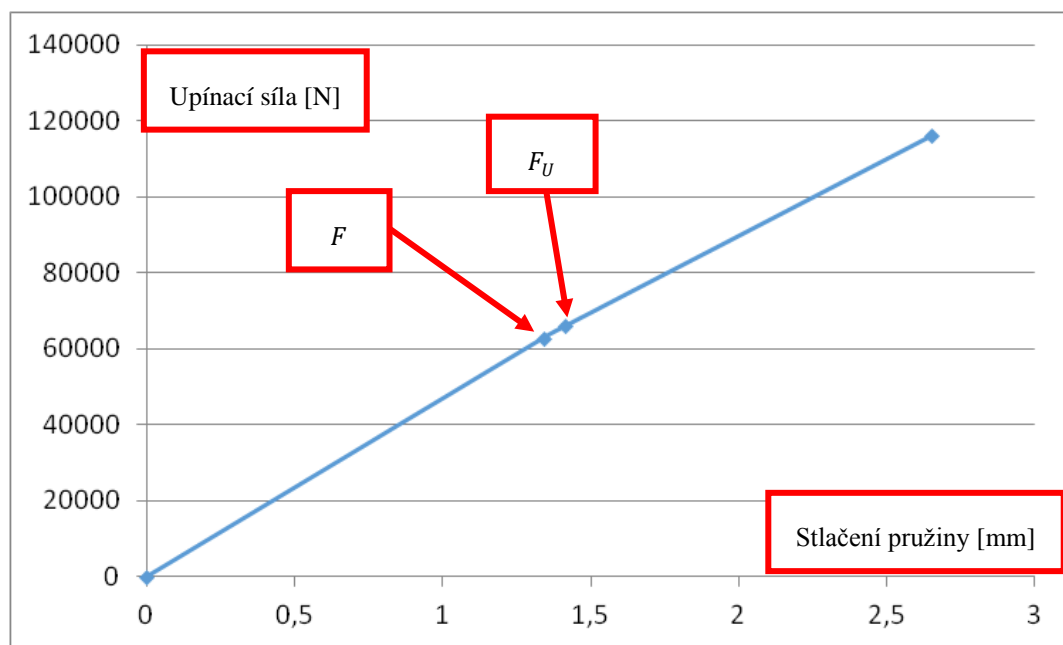
Obrázek 59 - Základní rozměry talířové pružiny

Mubea 19 0001		
D_e	100,000	mm
D_i	51,000	mm
t	7,000	mm
t'	6,550	mm
l_0	9,200	mm

Tabulka 9 - Rozměry zvolené talířové pružiny

Předepnutí pružin pro dosažení síly $F = 62\,500\text{ N}$:

Pro dosažení potřebné síly je nutno pružinu stlačit, předepnout o 1,34 mm. Předepnutím 1,34 mm vyvine talířová pružina sílu $F = 62\,832\text{ N}$. Pro odepnutí talířových pružin je nutno vykonat stlačení jedné pružiny o 1,415 mm. Rozdíl mezi stlačením pružin ve stavu upnutém a odepnutém je 0,075 mm. Jelikož jsou pružiny uspořádané v páru, bude celkový pohyb jednoho vnitřního tělesa 0,15 mm. 0,15 mm je konstrukční vůle mezi vnitřním upínacím tělesem a tělesem upínací jednotky. Pro dosažení odepnutí je nutno vyvinout sílu $F_U = 66\,017\text{ N}$.



Obrázek 60 - Průběh upínací síly talířové pružiny

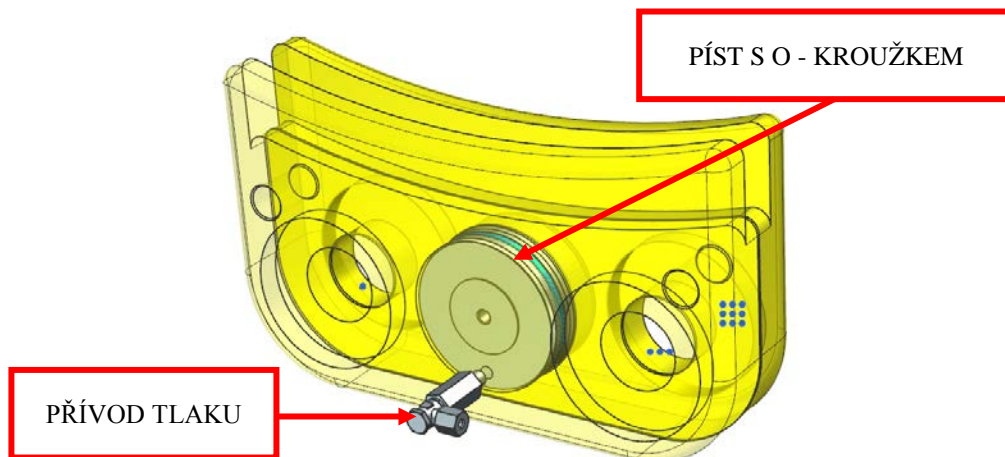
Návrh hydraulického pístu:

Pro odepnutí upínací jednotky je nutno překonat odepínací sílu $F_U = 66\,017\text{ N}$. Pro odepnutí byl navržen hydraulický píst s těsnícím kroužkem PW 430 1000, který přenesne tlak 25 MPa.

Píst byl navržen o $\varnothing D = 100\text{ mm}$

$$\text{Plocha pístu: } S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 100^2}{4} = 7853\text{ mm}^2$$

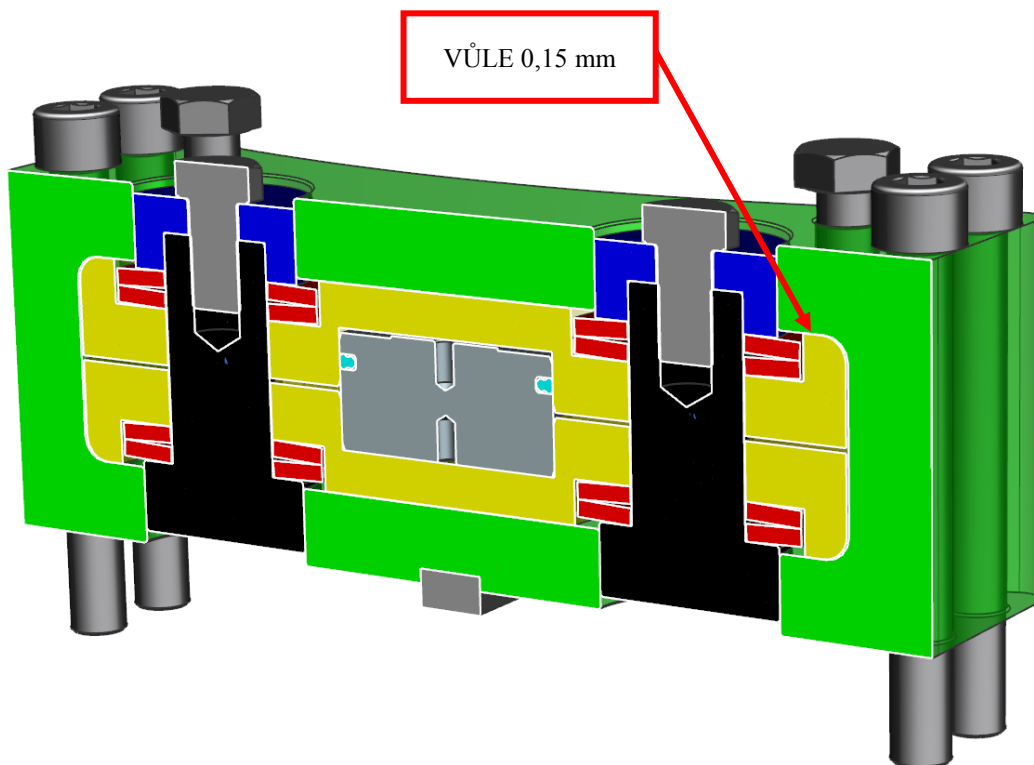
Potřebný tlak pro odepnutí pružin: $p = \frac{2 \cdot F_U}{S \cdot \eta} = \frac{2 \cdot 66\,017}{7853 \cdot 0,95} = 17,69 \text{ MPa}$; η – účinnost



Obrázek 61 - Odepínací hydraulický píst s těsněním

Pro odepnutí upínacích jednotek je nutno přivést do prostoru válce kapalinu o tlaku 18MPa.

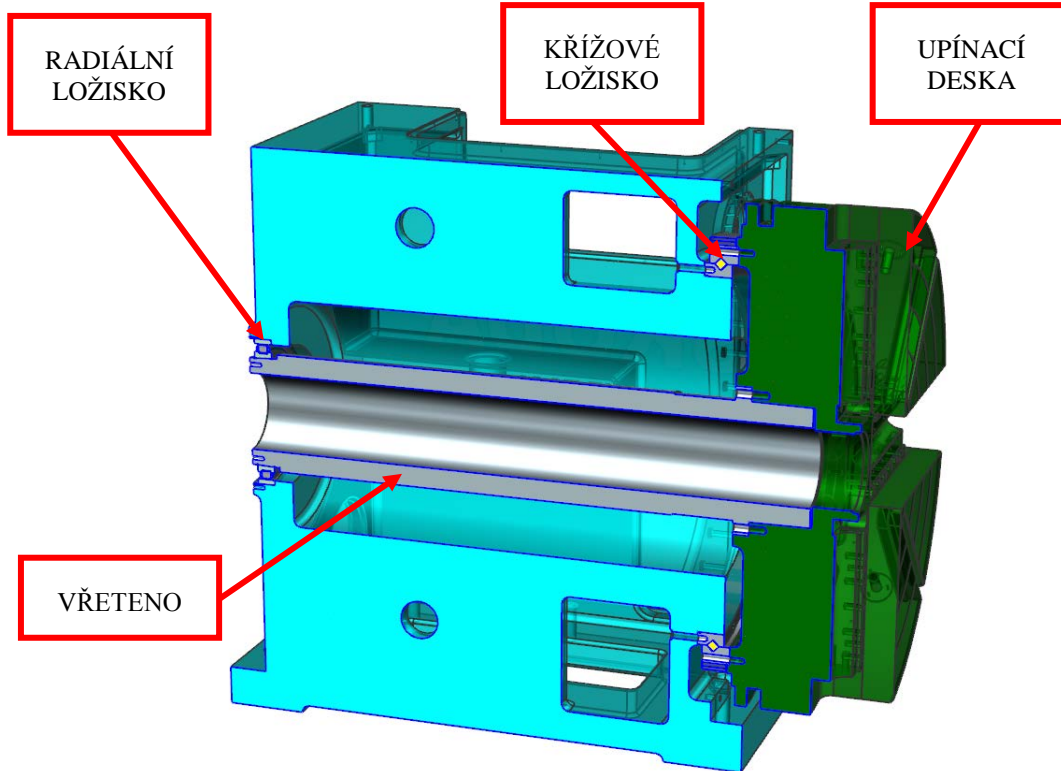
Na obrázku 62 je znázorněn řez skrz upínací jednotku. Černou barvou jsou viděny vodící čepy, které docilují pomocí volného uložení možnost pohybu vnitřních komponent v axiálním směru a je tak zabráněno přenosu axiálních sil do dalších částí natáčecího vřeteníku. Modrou barvou jsou znázorněny příruby, které se líčují na rozměr dle odměření v průběhu montáže, aby bylo dosaženo potřebné upínací síly. Mezi vnějšími plochami žlutých těles a vnitřními plochami zeleného tělesa upínací jednotky je vůle 0,15 mm pro možnost odepnutí. Celková vůle mezi brzdícími plochami a plochami brzděnými je 0,3 mm.



Obrázek 62 - Řez upínací jednotkou

5.5 Uložení vřetene

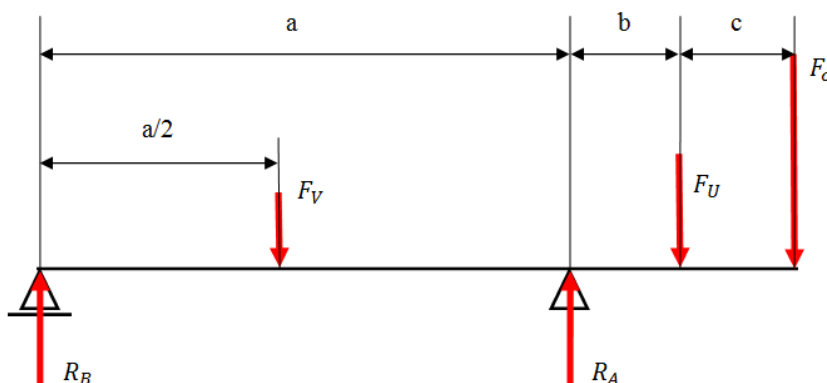
Pro možnost natočení upínací desky byl navržen způsob uložení vřetene pomocí dvou ložisek. Na straně upínací desky je křížové ložisko, které je spojeno s upínací deskou a s tělesem natáčecího vřeteníku. V upínací desce je uloženo vřeteno pomocí kuželové plochy 1:50. Vřeteno je v zadní části uloženo v radiálním ložisku. Zadní ložisko přenáší minimum sil, jelikož přední křížové ložisko přeneše většinu sil působících na natáčecí vřeteník.



Obrázek 63 - Způsob uložení vřetene

5.5.1 Výpočet uložení vřetene

Výpočtem uložení vřetene je zjištěna velikost reakcí v jednotlivých podpěrách. Podpěry tvoří křížové a radiální ložisko.



Obrázek 64 - Síly působící na uložení vřetene

$R_B; R_A$ reakce v uložení, F_O váha obrobku, F_U váha up. desky, F_V váha vřetene

VSTUPNÍ HODNOTY			
F_O	250 000 N	a	1,15 m
F_U	24 070 N	b	0,23 m
F_V	4 660 N	c	0,32 m

Tabulka 10 - Zatížení působící na uložení vřetene

- 1) $R_A + R_B - F_V - F_U - F_O = 0$
- 2) $R_B * a - F_V * \frac{a}{2} + F_U * b + F_O * (b + c) = 0$

$$2) \quad -R_B = \frac{-F_V * \frac{a}{2} + F_U * b + F_O * (b + c)}{a} = \frac{-4\,660 * 0,575 + 24\,070 * 0,23 + 250\,000 * 0,55}{1,15} = 122\,041,13 \text{ N}$$

$$R_B = -122\,041,13 = -122,04 \text{ kN}$$

$$1) \quad R_A = -R_B + F_V + F_U + F_O = 122\,041 + 4\,660 + 24\,070 + 250\,000 = 400\,711 \text{ N}$$

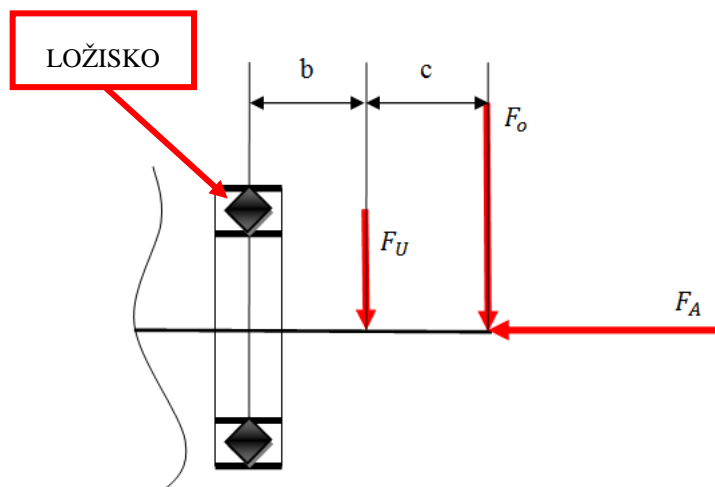
$$R_A = 400,7 \text{ kN}$$

Výpočet byl vyhotoven jen pro zatížení v ose Y. Osa X bude zatížena jen za předpokladu, bude-li použit pro upnutí koník. Jelikož se axiální upínací síla pomocí koníku rovná váze obrobku, budu uvažovat toto axiální zatížení jen při výpočtu křížového ložiska, protože radiální ložisko axiální síly nepřenesa a zároveň axiální síly budou přeneseny právě na ložisku křížovém.

5.5.2 Kontrola ložisek

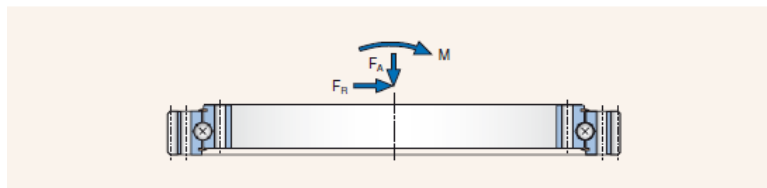
5.5.2.1 Ložisko PSL 9E-1Z25-0984-0452

Pro křížové ložisko byl zhotoven výpočet dle stanovených vzorců výrobcem. Do výpočtu budu zahrnovat pouze síly, které působí před křížovým ložiskem. Mezi tyto síly zařadím i axiální sílu, která by byla vyvinuta předepnutím obrobku pinolou koníku a je uvažovaná 250 kN.



Obrázek 65 - Zatížení působící na ložisko

Výpočet ložiska s ohledem na zatížení:



Obrázek 66 - Výpočet zatížení ložiska PSL[13]

$$F_A = 250 \text{ kN}$$

$$F_R = F_U + F_V = 250 + 24 = 274 \text{ kN}$$

$$M_O = F_U \cdot b + F_O \cdot (b + c) = 24\,000 \cdot 0,23 + 250\,000 \cdot 0,55 = 143,02 \text{ kNm}$$

$$F_{OA} = (F_A + 2,05 \cdot F_R) \cdot s_0 = (250 + 2,05 \cdot 274) \cdot 1 = 811,7 \text{ kN}$$

$$M_{OK} = M_O \cdot s_0 = 143,02 \cdot 1 = 143,02 \text{ kNm}$$

s_0 – voleno 1 dle výrobce

$$0,1 < \frac{F_{OR}}{F_{OA}} < 8 \rightarrow 1,096, \text{ při hodnotě nižší než } 0,1 \text{ není nutné uvažovat s radiální silou}$$

Výpočet ekvivalentního axiálního a momentového zařazení		
Otoče	Vzorec	Podmienky platnosti
Gulkové so 4-bodovým stykom	$F'_{OA} = (F_{OA} + 5,05 \cdot F_{OR}) \cdot s_0$ $M'_{OK} = M_{OK} \cdot s_0$	$0,1 < \frac{F_{OR}}{F_{OA}} < 8$ $e > 2$
	$F'_{OA} = (1,23 \cdot F_{OA} + 2,68 \cdot F_{OR}) \cdot s_0$ $M'_{OK} = 1,23 \cdot M_{OK} \cdot s_0$	$0,1 < \frac{F_{OR}}{F_{OA}} < 8$ $e \leq 2$
So skříženými valčekmi	$F'_{OA} = (F_{OA} + 2,05 \cdot F_{OR}) \cdot s_0$ $M'_{OK} = M_{OK} \cdot s_0$	$0,1 < \frac{F_{OR}}{F_{OA}} < 8$

kde: F_{OA} – Σ axiálních statických sil na otoč

F_{OR} – Σ radiálních statických sil na otoč

M_{OK} – Σ klopných momentů na otoč (statických)

s_0 – součinitel statické bezpečnosti – směrné hodnoty uvádza tabuľka 1

[kN]

[kN]

[kNm]

[-]

Obrázek 67 - Vzorce pro výpočet silového a momentového zatížení

Ložisko – dimenzování ozubení:

Jmenovitý kroutící moment:

$$M_{Tjm} = M_{jm_na\ pastorku} \cdot \frac{z_2}{z_1} \cdot \eta = 3850 \cdot \frac{133}{21} \cdot 0,98 = 23,896 \text{ kNm}$$

Jmenovitá obvodová síla:

$$F_{Tjm} = \frac{2000 \cdot M_{Tjm}}{m(z + 2x)} = \frac{2000 \cdot 23,896}{8(133 + 0)} = 44,92 \text{ kNm}$$

$$F_{Tjm_DOV} = 45 \text{ kN} > F_{Tjm} \rightarrow \text{VYHOVUJE NA ÚNAVU V OHYBU}$$

Maximální krouticí moment:

$$M_{Tmax} = M_{max_na\ pastorku} * \frac{z_2}{z_1} * \eta = 5550 * \frac{133}{21} * 0,98 = 34,47 \text{ kNm}$$

Maximální obvodová síla:

$$F_{Tmax} = \frac{2000 * M_{Tmax}}{m(z + 2x)} = \frac{2000 * 34,477}{8(133 + 0)} = 64,75 \text{ kNm}$$

$$F_{Tmax_DOV} = 90 \text{ kN} > F_{Tmax} \rightarrow \text{VYHOVUJE NA PŘENOS MAXIMÁLNÍ STATICKÉ SÍLY}$$

Potřebný moment od motoru:

$$M_T = M_R + M_G + M_2$$

Rozběhový moment od tření:

$$M_R = 0,3 \text{ kNm}$$

Moment od zrychlení rotujících hmot:

$$M_G = J * \varepsilon \text{ (zanedbatelné)}$$

Moment tření od zatížení:

$$M_2 = \mu * k \left(\frac{M_{OK}}{D_s} + \frac{F_R * f_L}{2} + \frac{F_A}{k} \right) * \frac{D_s}{2000}$$

$$M_2 = 0,006 * 4 \left(\frac{143,02 * 1000}{954} + \frac{274 * 1}{2} + \frac{250}{4} \right) * \frac{980}{2000} = 4,1 \text{ kNm}$$

$$M_T = 0,3 + 0 + 4,1 = 4,4 \text{ kNm}$$

$$M_{Tjm} = 23,9 \text{ kNm} > M_T \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Výpočet menovitéj a maximálnej obvodovej sily:

$$F_{Tnom} = \frac{2000 \cdot M_{Tnom}}{m \cdot (z + 2x)} \quad F_{Tmax} = \frac{2000 \cdot M_{Tmax}}{m \cdot (z + 2x)}$$

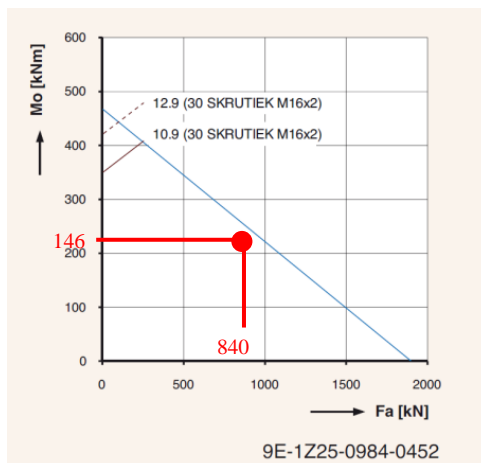
kde: F_{Tnom}	– menovitá obvodová síla	[kN]
F_{Tmax}	– maximálna obvodová síla	[kN]
M_{Tnom}	– menovitý krútiaci moment	[kNm]
M_{Tmax}	– maximálny krútiaci moment	[kNm]
m	– modul ozubenia	[mm]
z	– počet zubov	[–]
x	– jednotkové posunutie základného profilu (jednotková korekcia)	[–]

Pri správnom dimenzovaní ozubenia z hľadiska únavovej odolnosti v ohybe a prenosu maximálnej statickej sily musia byť splnené nasledovné podmienky:

$$F_{Tnom} \leq F_{TDOV} \quad \text{– na únavu v ohybe}$$

$$F_{Tmax} \leq F_{TmaxDOV} \quad \text{– na prenos maximálnej statickej sily}$$

Obrázek 68 - Výpočet jmenovité a maximální obvodové síly[13]



Obrázek 69 - Graf zatížení ložiska

5.5.2.2 Ložisko FAG N1956.M1

Koeficient statické bezpečnosti:

$$S_o = \frac{C_o}{P_o} = \frac{800\,000}{122\,040} = 6,55 \rightarrow \text{minimálně } 3$$

C_o = statická únosnost; $P_o = F_r$ = stat. ekvivaletní zatížení = působící radiální síla

Životnost ložiska:

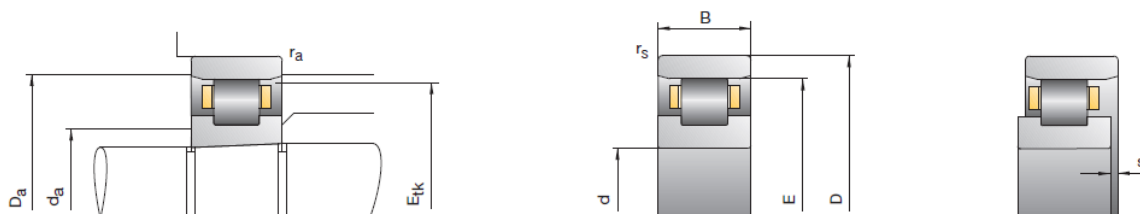
$$L_h = \frac{16667}{n} * \left(\frac{C_{dyn.}}{P}\right)^p = \frac{16667}{8} * \left(\frac{440\,000}{121\,040}\right)^{3,3} = 143\,451 \text{ hod}$$

n = ot. upínací desky; C_{dyn} = dynamická únosnost, $p = 3,3$ pro ložiska válečková

Koeficient dynamické bezpečnosti:

$$S_d = \frac{L_h}{L_{požadované}} = \frac{143\,451}{20\,000} = 7,17$$

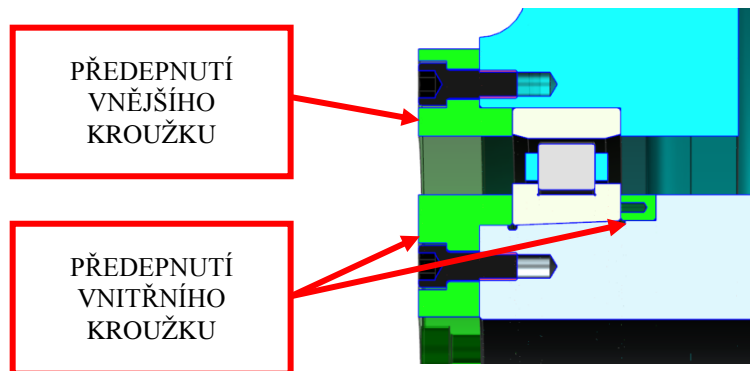
Na obrázku 70 je znázorněno kótování radiálního ložiska od firmy FAG. Veškeré rozměry jsou popsány ve specifikaci ložiska v katalogu od firmy FAG, který je odkazován v citaci 14. Ložisko



Obrázek 70 - Rozměry ložiska FAG[14]

Uložení radiálního ložiska:

Na obrázku 71 je znázorněno uložení radiálního ložiska. Na vnitřním kroužku na vnitřním průměru je vidět kužel 1:12, který je vhodný pro předepnutí a ustavení ložiska vůči vřetenu a dutině pro vnější kroužek v tělesu natáčecího vřeteníku. Ložisko je předepnuto na vnějším a vnitřním kroužku z obou stran. Axiální síly vznikající z předepnutí obrobku nebo z teplotních dilatací vřetena nebudou mít vliv na práci ložiska, jelikož konstrukce ložiska umožňuje pohyb vnitřního kroužku vůči vnějšímu.



Obrázek 71 - Uložení radiálního ložiska

5.5.3 Vřeteno

Vřeteno je uloženo v upínací desce natáčecího vřeteníku a v radiálním ložisku. S upínací deskou je spojeno pomocí kužele 1:50, který je broušen v průběhu výroby dle odměření kužele v lící desce natáčecího vřeteníku. V zadní části vřetene je broušený kužel se sklonem 1:12, který slouží k ustavení radiálního ložiska.

Vřeteno je vyrobeno z polotovaru výkovku materiálu ČSN 15 340.6, který se využívá i na vřetena obráběcích strojů ŠMT.



Obrázek 72 - Vřeteno natáčecího vřeteníku

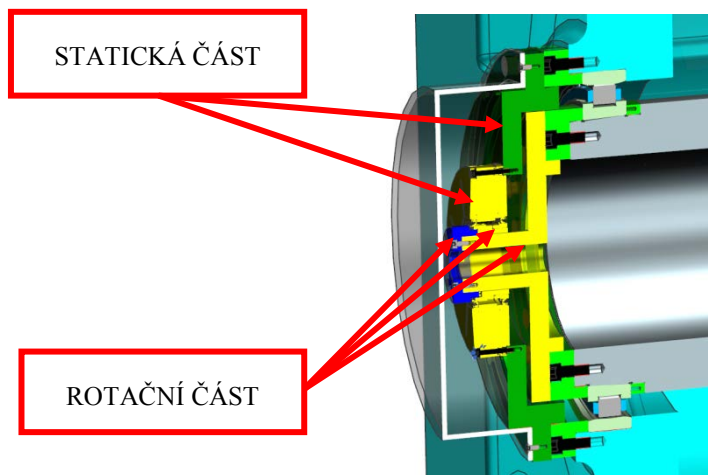
5.6 Odměrování natočení lící desky

Pro možnost přesného natočení lící desky upínacího vřeteníku, která se nazývá v numeric-kém řízení osa A, je použito rotační odměřování od firmy Heidenhain. Díky rotačnímu vřeteníku je možno využívat osy A jako programovatelné osy. Tudiž je tento koncept vodorovné

vyvrtávací frézky s natáčecím vřeteníkem nastaven tak, že je možné kontinuální obrábění ve 4 osách. Při použití frézovací hlavy s CNC rotační osou kolem osy Y, tudíž osou B, je možné kontinuální obrábění v 5 osách, jelikož budou zapojeny 3 lineární osy stroje se dvěma rotačními osami.

5.6.1 Sestava odměřování osy A

Sestava odměřování je umístěna v zadní části natáčecího vřeteníku. Vnitřní rotační část odměřování je spojena s vřetenem stroje. Vnější statická část je spojena s tělesem vřeteníku. Způsob zakomponování rotačního odměřování je znázorněn na obrázku 73.

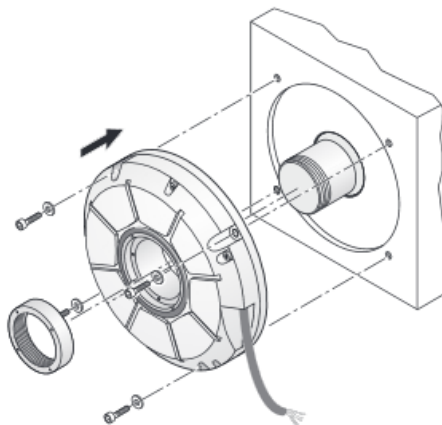


Obrázek 73 - Sestava odměřování osy A

5.6.2 Specifikace jednotky odměřování Heidenhain RCN 8380

Rotační odměřování se používají pro přesnou indexaci rotačních pohybů. Mimo natáčecí vřeteníky se používají pro odměřování frézovacích hlav nebo otočných stolů komponovaných do pracovišť obráběcích strojů.

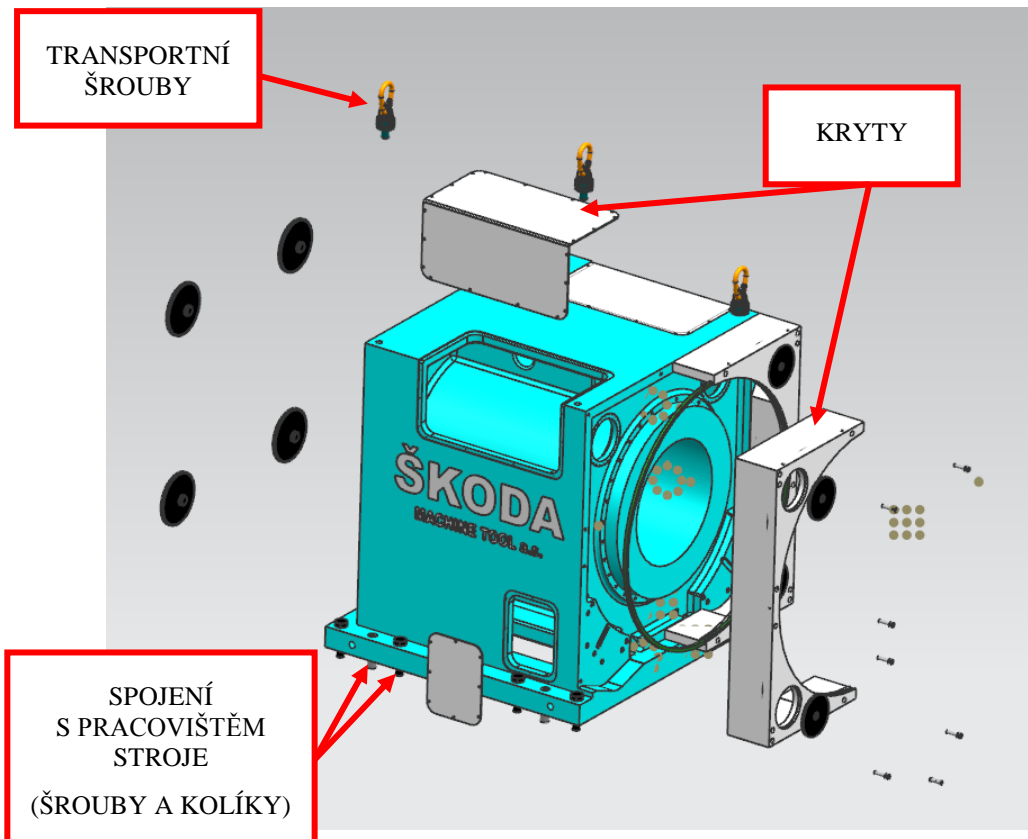
Rotační odměřování typu RCN 8380 má vnitřní \varnothing 60 mm a vnější \varnothing 200 mm, které jsou určeny pro spojení s navrhovaným zařízením, jako je viděno na obrázku 74. Odměřování pracuje v přesnosti natočení úhlu 2''.



Obrázek 74 - Rotační odměřování Heidenhain RCN 8380[15]

5.7 Sestava tělesa natáčecího vřeteníku

Do sestavy tělesa natáčecího vřeteníku patří mimo samotné těleso natáčecího vřeteníku i prvky, mezi které spadají kryty pro krytování otvorů v tělese vřeteníku s jejich spojovacím materiálem, prvky umožňující manipulaci s natáčecím vřeteníkem a prvky pro spojení s pracovištěm vodorovné vyvrtávačky. Otvory v tělese vřeteníku byly navrženy tak, aby byla zajištěna možnost montáže všech součástí natáčecího vřeteníku, které se nacházejí uvnitř tělesa vřeteníku.



Obrázek 75 - Sestava tělesa natáčecího vřeteníku

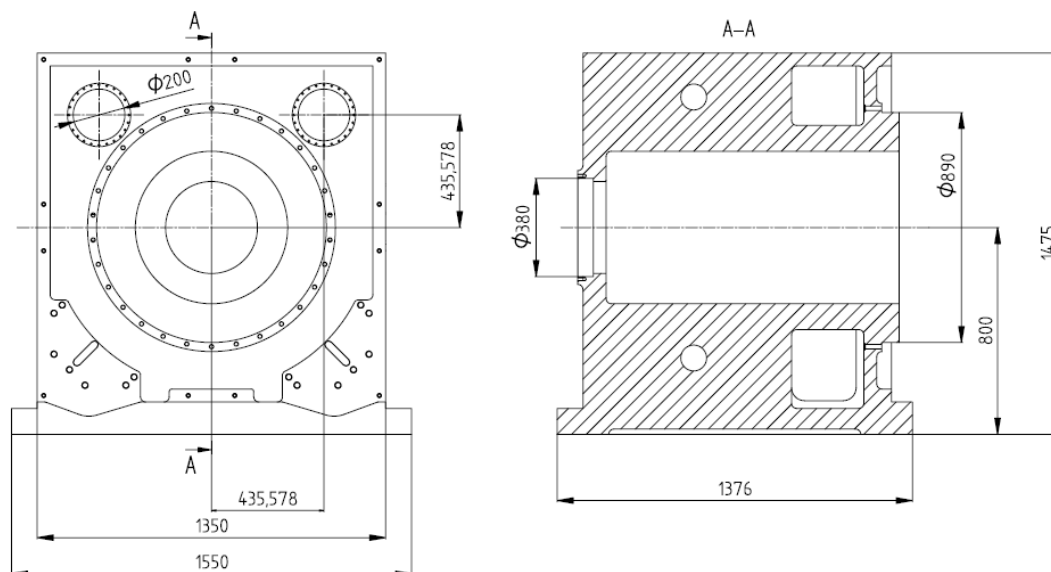
5.7.1 Odlitek vřeteníku

Vstupní polotovár tělesa vřeteníku je odlitek z šedé litiny. Těleso vřeteníku je navrženo tak, aby přeneslo zatížení minimálně 250 kN dle vstupních parametrů stanovených pro kompletní návrh natáčecího vřeteníku.

V přední části vřeteníku jsou uzpůsobené plochy pro spojení s křížovým ložiskem. Pomocí křížového ložiska je poté upnuta lícni deska a umožněn přenos zatížení do tělesa vřeteníku. V dolní úrovni přední části tělesa vřeteníku se též nachází plochy pro upevnění upínacích jednotek, které se pak v průběhu výroby lícují dle tělesa vřeteníku a upínací desky tak, aby bylo docíleno upnutí upínacích jednotek bez vyvolání axiálních sil.

V horní části se též nachází průměry o \varnothing 200 mm pro upevnění pohonné soustavy. Tyto průměry se vyhotovují na udání dle průměrů vkládané převodovky s vůlí 0,03 mm. Dalším krokem je nastavení záběru pastorku s ozubeným věncem křížového ložiska. Záběr ozubení se koriguje v osách X, Y, dle odměření ozubeného věnce křížového ložiska. V délkové ose Z je

rozměr docílen zpětným zahloubením na $\varnothing 200$ mm. V zadní části tělesa vřeteníku je zhotoven průměr pro radiální ložisko a komponenty ze sestavy odměřování osy A.



Obrázek 76 - Základní rozměry tělesa vřeteníku

5.7.2 Upevnění k základu stroje

Natáčecí vřeteník bude v rámci návrhu pracoviště konfigurovaného k vstupnímu obrobku ustaven na základové upínací desky stroje, jak je viděno v kapitole 4.2. K základovým deskám bude upevněn pomocí šroubů ISO – 4014 – M36 X 150. Pro přenos sil z obrábění a především pro zaručení přesného opakovaného ustavení natáčecího vřeteníku k osám stroje jsou použity kuželové kolíky ISO – 8736 – A 40 X 160.

Upínací základová deska, s kterou bude natáčecí vřeteník spojen, bude obrobena dle úpravy výkresu. Na tomto výkresu budou uvedeny souřadnice závitů a otvorů pro kolíky dle ustavení natáčecího vřeteníku k pojezdu obráběcího stroje.

5.7.3 Spodek vřeteníku

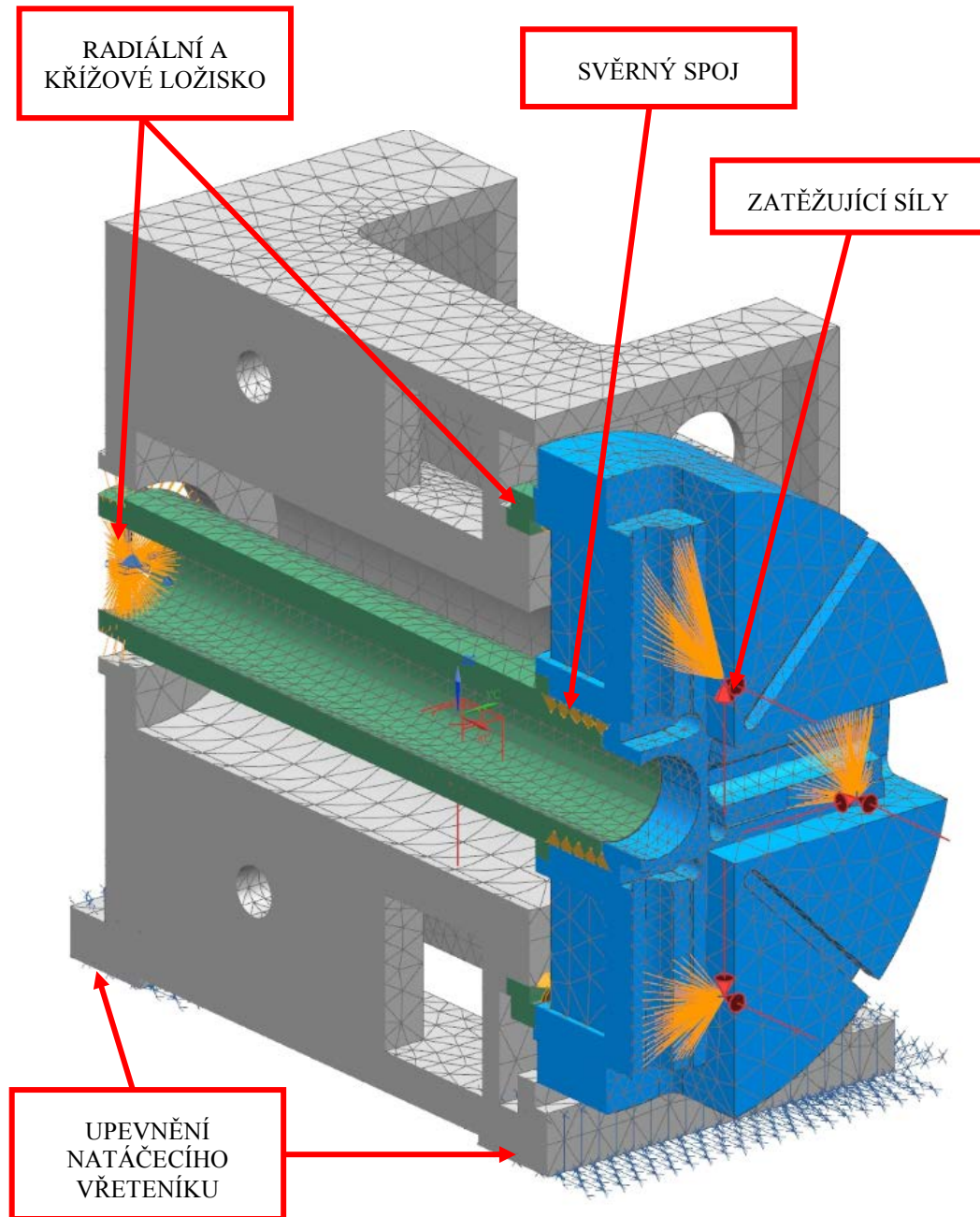
Spodek vřeteníku nebyl vyšetřován v rámci diplomové práce. Spodek vřeteníku bude využíván v případech, kdy bude upravována osa natáčecího vřeteníku. Osa vřeteníku se bude měnit v závislosti na rozjezdech obráběcího stroje nebo velikosti obráběné komponenty.

5.8 Kompletní natáčecí vřeteník JS1250

Zde je provedeno kompletní vyšetření navrhované konstrukce natáčecího vřeteníku při pracovním zatížení 250 kN a znázorněn je průběh napětí a deformace natáčecího vřeteníku. Zatížení 250 kN uvažováno v radiálním a axiálním směru. Ve směru axiálním bude uvažováno z důvodu, jelikož je možné při přidání otočného hrotu do konstrukce natáčecího vřeteníku zakomponovat do obráběcího pracoviště koník. Koník by poté vyvinul axiální sílu srovnatelnou s váhou obrobku. Upínací síla se nastavuje koeficientem dle úhlu otočného hrotu koníku.

Pro vyšetření zatížení a deformace byl použit systém NX 10. Do vyšetření byly použity nosné díly, na které zatížení bude působit. Mezi ně patří upínací deska, těleso vřeteníku, vřetení, křížové a radiální ložisko.

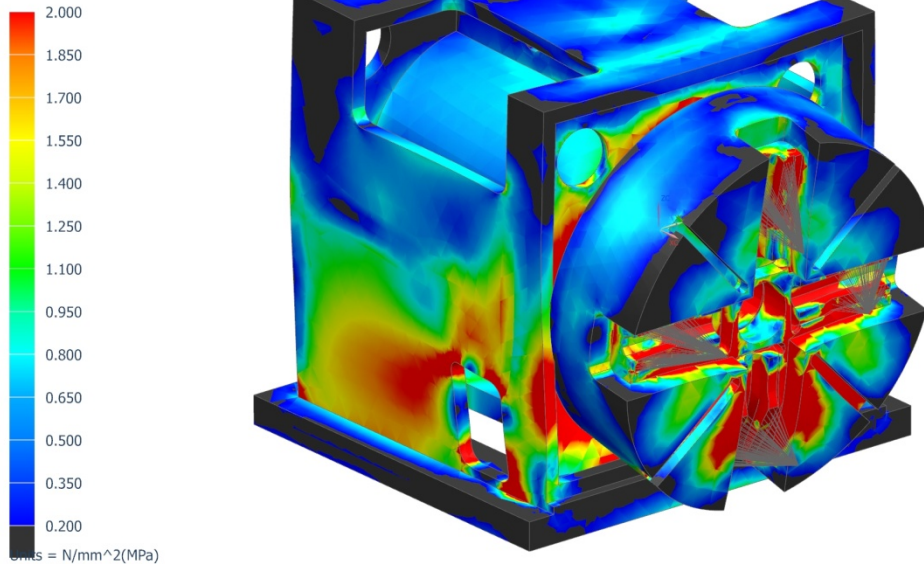
Obrázek 77 znázorňuje ustavení vřeteníku s jednotlivými vazbami mezi zohledněnými komponenty při zatížení 250 kN.



Obrázek 77 - Nastavení vyšetření deformací v systému NX 10

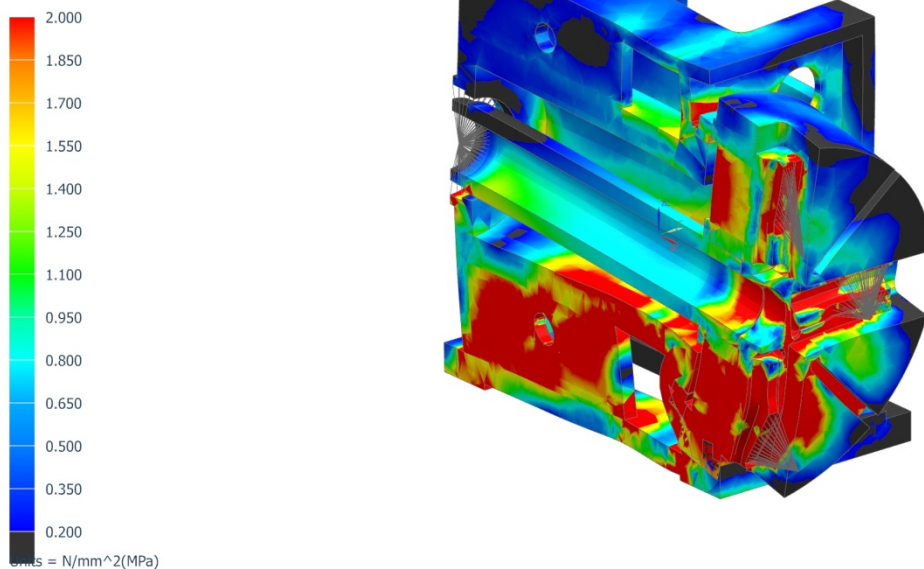
Obrázek 78 a obrázek 79 znázorňuje průběh napětí při zatížení konstrukce vřeteníku. Využití materiálu je znázorněno barevnou škálou znázorňující velikost napětí v jednotlivých částech natáčecího vřeteníku.

vretenik-exp_x_t_fem1_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 0.00, Max : 146.38, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



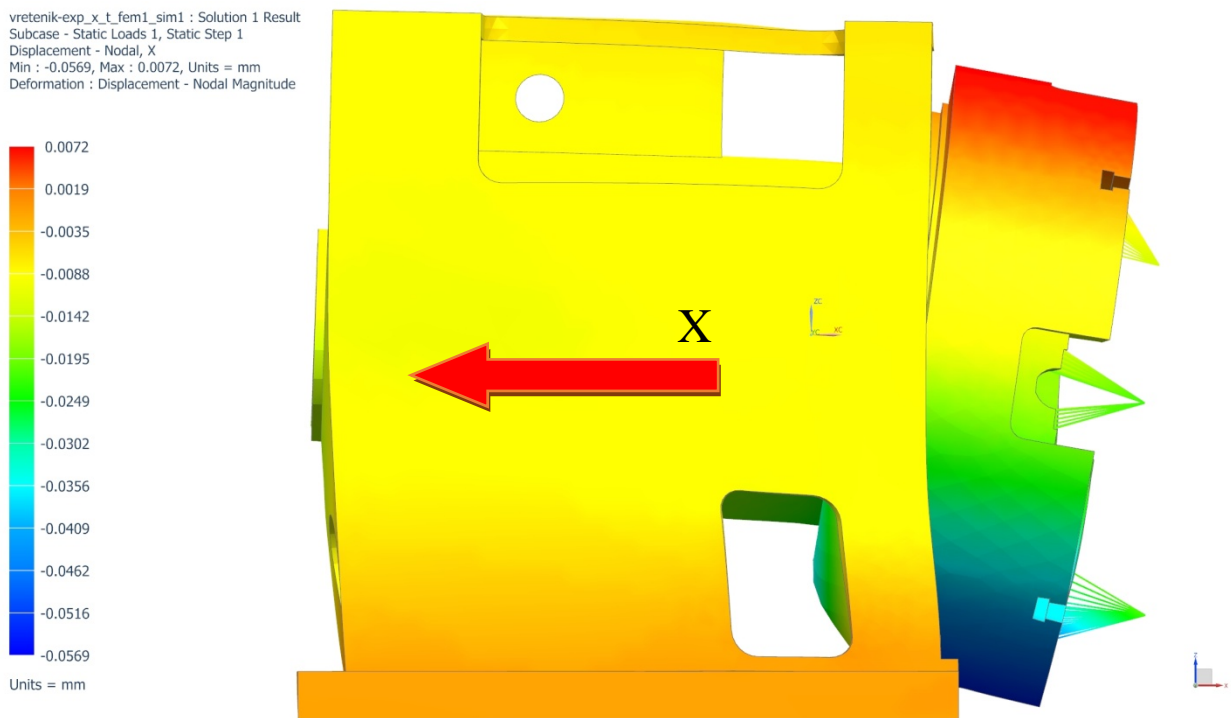
Obrázek 78 - Využití materiálu při zatížení s ohledem na napětí

vretenik-exp_x_t_fem1_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 0.00, Max : 146.38, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



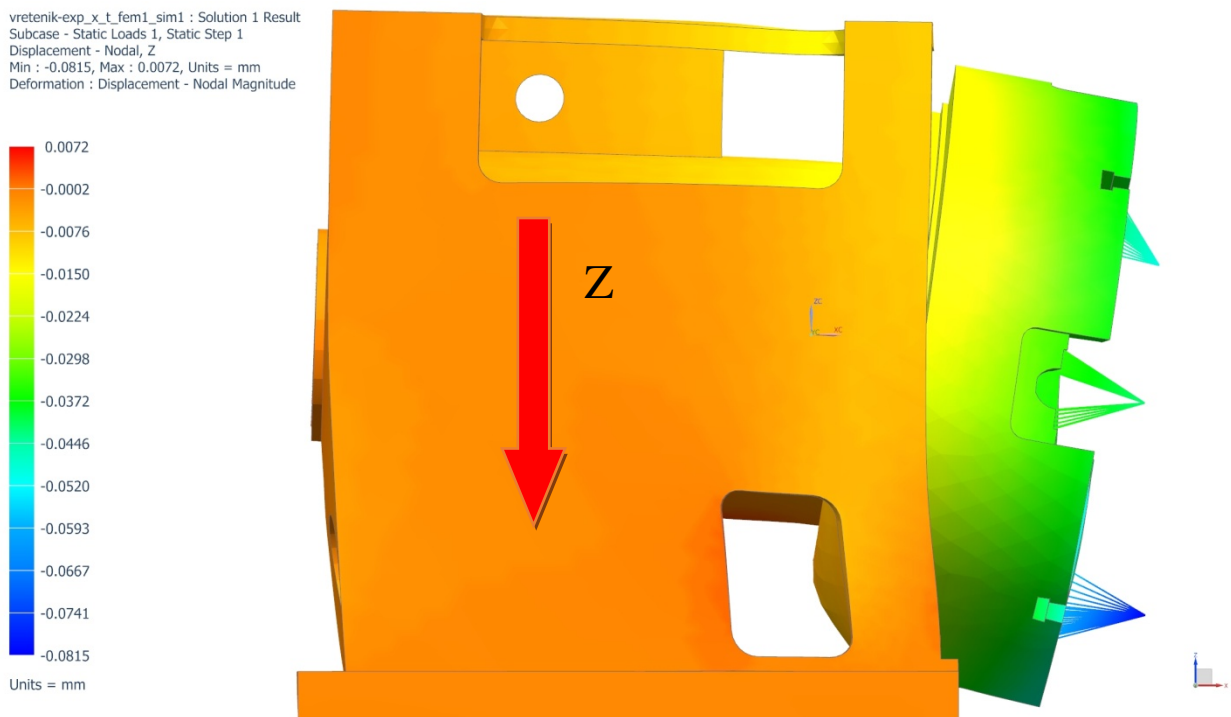
Obrázek 79 - Využití materiálu při zatížení s ohledem na napětí – řez sestavou

Obrázek 80 demonstruje průběh deformace v ose X.



Obrázek 80 - Vyšetření posunutí v ose X

Obrázek 81 demonstruje průběh deformace v ose Z.



Obrázek 81 - Vyšetření posunutí v ose Z.

6 Technické a ekonomické zhodnocení

V ekonomickém zhodnocení budou srovnávány produkty již využívané na trhu s natáčecím vřeteníkem, který byl navrhnout v rámci diplomové práce. Srovnání bude zhotoveno po stránce ekonomické a technické.

Ekonomické srovnání a technické posouzení je důležité pro predikci uplatnění vřeteníku na stávajícím trhu. Tyto dva pohledy srovnání spolu úzce souvisejí, jelikož bude znázorněna výše ceny navrhovaného natáčecího vřeteníku a zároveň lze vidět technické parametry srovnávaných představitelů. Tím se docílí komplexního srovnání produktů stejného typu na trhu.

6.1 Cena a technické parametry vřeteníku JS1250

Technické parametry byly představeny v předchozí části diplomové práce, nyní budou vypsané do přehledné tabulky s celkovou cenou navrhovaného strojního produktu.

Celková cena natáčecího vřeteníku byla stanovena s dílčích ekonomických propočtů jednotlivých podskupin. Při tvoření cen komponent se vyšlo ze znalosti kilové ceny litiny, výkovků a hutního materiálu a z nabídky nakupovaných komponent, mezi které spadají např. motory a převodovky. V závěru se dle moderních trendů nástrojů stanovily ceny obráběcího procesu jednotlivých komponent, které se vyráběly s nakupovaných polotovarů.

Pro jednotlivé kroky pro budování ceny se vycházelo ze znalostí výroby a oddělení nákupu firmy ŠMT.

CENA NATÁČECÍHO VŘETENÍKU_JS 1250				
2 812 008				
NÁZEV	MNOŽSTVÍ	CENA		
		KS.	NÁKUP	VÝROBA
POHON SESTAVA	2	199 811	0	399 622,40
LOŽISKO 9E 1Z250984	1	400 000	0	400 000,00
LOŽISKO N1956K M1 FAG	1	65000	0	65 000,00
VŘETENO	1	40 000	185 000	225 000,00
TĚLESO	1	235 000	95 000	330 000,00
DESKA UPÍNACÍ SESTAVA	1	380 540	545 440	925 980,00
JEDNOTKA UPÍNACÍ	2	6 690	76 490	166 360,00
ODMĚŘOVÁNÍ OSY A	1	93 295	99 525	192 820,00
KRYTY DESKY UPÍNACÍ SESTAVA	1	22 880	70 500	93 380,00
SPOJOVACÍ MATERIÁL CELKOVÁ SESTAVA	1	13 846	0	13 845,50

Tabulka 11 - Cena natáčecího vřeteníku JS 1250

V tabulce 11 jsou znázorněny jednotlivé ceny celků natáčecího vřeteníku vycházející z cen nákupu, výroby a množství jednotlivých celků dle výskytu v natáčecím vřeteníku.

V tabulce 12 jsou uvedeny technické parametry, které jsou vybrány pro srovnání s konkurencí.

PARAMETR	JS 1250	JEDNOTKY
POHONNÝ MOMENT	43,9	kNm
ZPEVŇOVACÍ MOMENT	60,3/69,63	kNm
HMOTNOST	9600	kg
OTÁČKY	8,6	rpm
ÚNOSNOST	min 25 000	kg
CENA	2,8	mil. Kč

Tabulka 12 - Tabulka technických parametrů JS 1250

6.2 Srovnání se současným trhem

Srovnáním se současným trhem bude porovnán navržený natáčecí vřeteník s vybranými konkurenty na trhu po stránce technické a ekonomické

Za konkurenty na trhu byly vybrány dva natáčecí vřeteníky od firmy Peiseler, jelikož jsou využívány k obráběcím strojům ŠMT. Účelem nového natáčecího vřeteníku je náhrada konkurence a přesun tohoto typu strojních zařízení do výroby ŠMT. Dále toto srovnání bude jasným signálem, zda by se mohl natáčecí vřeteník prodávat zákazníkům pro strojní pracoviště jiných firem, jako samostatný produkt ŠMT.

Tabulka 13 znázorňuje ekonomické a technické srovnání se současným trhem. Jednotlivé parametry konkurenčních řešení byly uvedeny dle nabídek firmy Peiseler. Zelenou barvou jsou vyznačeny parametry, které jsou ve srovnání mezi konkurenty nejlepší.

PARAMETR	JS 1250	AWU 1250	AWU 1600	JEDNOTKY
POHONNÝ MOMENT	43,9	36	40	kNm
ZPEVŇOVACÍ MOMENT	60,3/69,63	40	46	kNm
HMOTNOST	9 600	9 000	17 000	kg
OTÁČKY	8,6	8	3	rpm
ÚNOSNOST	min 25 000	18 000	25 000	kg
CENA	2,8	2,3	4,4	mil. Kč

Tabulka 13 - Srovnání s konkurencí

7 Závěr

V diplomové práci je nastíněn konstrukční technologický proces, který probíhá při konfiguraci obráběcího pracoviště pro zadanou technologii na klíč. Technologie na klíč znamená, že zákazník zadá vzorový obrobek a určí technologické operace, které bude vyžadovat předvést ve vlastní výrobě v závěru instalace. Při kompletním předání obráběcího pracoviště a technologie na klíč jsou zákazníkovi též předány odladěné NC programy a simulátor, který je úplnou virtuální kopií stroje. Zákazník pomocí simulátoru může generovat a simulovat NC programy pro další výrobky, které bude na takto vytipovaném pracovišti opracovávat.

V diplomové práci je nejprve představen generátorový obrobek, současně jsou popsány technologie obrábění využívané při výrobě komponent tohoto typu a moderní CAD/CAM simulace, v kterých bylo při komplexním návrhu pracoviště pracováno.

Po dokončení úvodní části, v níž jsou stanoveny jednotlivé cíle práce a představeny nástroje potřebné pro jejich splnění, bylo přistoupeno ke komplexnímu návrhu obráběcího pracoviště.

Obráběcí pracoviště bylo vytipováno ze sortimentu firmy ŠMT tak, aby bylo možné obrobek představený obrobek s příslušenstvím, které celkový proces obrábění zefektivní. Zjistilo se, že firma ŠMT ve svém sortimentu nemá vhodný natáčecí vřeteník pro polohování rotorového obrobku. Stávající natáčecí vřeteník byl pro zadaný obrobek předimenzovaný a jeho použití tak nevhodné. Cena a technické parametry byly zároveň příliš vysoké. Ideální natáčecí vřeteník byl nalezen až u konkurence. Po prostudování konkurenčních řešení byly stanoveny parametry pro vývoj natáčecího vřeteníku v potřebném rozsahu.

Následně bylo vytipované pracoviště navrženo v CAD systému a připraveno pro zhotovení simulátoru. V CAM systému byly naprogramované technologické operace, které sloužily pro vygenerování NC kódu. Vygenerovaná NC data umožnila rozpočítání virtuálního modelu simulátoru.

Návrh simulátoru sloužil k ověření správnosti návrhu obráběcího pracoviště a je stručně popsán v diplomové práci.

Hlavním cílem diplomové práce byl komplexní návrh natáčecího vřeteníku, který je navržen dle poznatků vycházejících ze studie konkurence na trhu. Z této studie byly vypsány konkurenční varianty konkurenčních uzlů jednotlivých natáčecích vřeteníků. Pro zhotovení vlastního návrhu je důležitá nízká cena a vysoké výkonnostní parametry. Pro snížení ceny bylo nutné konstrukční řešení přizpůsobit. Bylo použito ložisko s integrovaným ozubeným věncem, které je o polovinu levnější než ložiska od firmy FAG a samostatný ozubený věnec. Pro docílení vysokých výkonnostních a technických parametrů byly použity dva samostatně poháněné pastorky ve vazbě master – slave. Takto navržený náhon upínací desky docílil vysoký pohonný moment polohování a vymezení vůlí v převodu mezi pastorky a integrovaným ozubeným věncem na vnějším kroužku křížového ložiska.

Na závěr byla provedena ekonomická kalkulace. Výsledná cena navrženého konstrukčního řešení je srovnána s dalšími parametry, které byly vybrány pro srovnání s konkurencí.

Při srovnání s konkurencí bylo prokázáno, že navržený natáčecí vřeteník se pohybuje ve stejné rozměrové a cenové kategorii se stejným představitelem. Výhodou jsou vyšší výkonnostní parametry než představitel silnější konkurenční řady.

Závěrem návrhu natáčecího vřeteníku je tak nové konstrukční řešení představující zajímavý produkt na trhu obráběcích strojů. Tento koncept je prvním představitelem nové řady firmy ŠMT a lze ho použít jako vzor při konstrukci natáčecích vřeteníků jiných parametrů. Po vypracování dalších návrhů s odlišnými parametry je možné vyvinout novou komplexní kon-

strukční řadu výrobků. Takto navržená konstrukční řada by sloužila k uspokojení velkého množství zákazníků a umožnila by obrobení lehkých malých rotorových obrobků až po obrobky velkých rozměrů a hmotností. Nově navržená konstrukční řada by se například skládala ze čtyř natáčecích vřeteníků odlišných rozměrů a výkonností. Docílilo by se tak možnosti natáčení rotorových obrobků od průměru 200 mm až po 2 200 mm o hmotnosti od 25 000 kg do 200 000 kg.

Jelikož v moderní době se klade velký důraz na automatizaci výroby, je tento návrh důležitý nejen pro firmu ŠMT. Takto automatizované pracoviště umožní vysoké snížení nákladů na výrobu rotorových obrobků, vysoký komfort pro obsluhu stroje a hlavně eliminaci lidských chyb při ustavování obrobku, neboť všechny pracovní osy takto navrženého stroje jsou programově řízeny.

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Hodnoty materiálu obrobku	14
Tabulka 2 - Základní vstupní parametry	44
Tabulka 3 – Morfologická matice pro zvolení optimálního konstrukčního návrhu.....	45
Tabulka 4 - Základní rozměry křížového ložiska.....	52
Tabulka 5 - Technické data silového vřetena MSPD 80[12]	56
Tabulka 6 - Mechanické vlastnosti použitého materiálu.....	61
Tabulka 7 - Jednotlivé stavy zatížení	61
Tabulka 8 - Návrh potřebné přítláčné síly.....	63
Tabulka 9 - Rozměry zvolené talířové pružiny	64
Tabulka 10 - Zatížení působící na uložení vřetene	67
Tabulka 11 - Cena natáčecího vřeteníku JS 1250	78
Tabulka 12 - Tabulka technických parametrů JS 1250	79
Tabulka 13 - Srovnání s konkurencí	79

Seznam obrázků

Obrázek 1 - stará koncepce vodorovné vyvrtávací frézky [1]	12
Obrázek 2 - nová koncepce vodorovné vyvrtávací frézky [1]	12
Obrázek 3- generátorový rotor DAX7 [1].....	14
Obrázek 4 - obráběné operace 1 [1]	14
Obrázek 5 - obráběné operace 2 [1]	15
Obrázek 6 - Opracování s frézovací hlavou IFVW 103C	15
Obrázek 7 - hlavní rozdělení třísek vznikajících v procesu obrábění[2].....	16
Obrázek 8 - Základní hodnoty v soustružení [4].....	17
Obrázek 9 - Čelní a obvodové frézování [4]	18
Obrázek 10 - Sousedné a nesousedné frézování[4]	18
Obrázek 11 - Princip vrtacích operací.....	19
Obrázek 12 - Způsoby broušení[4].....	20
Obrázek 13 - Hrotový soustruh[7]	22
Obrázek 14 - Drážkovací stroj od firmy Köllmann [1].....	22
Obrázek 15 - Vodorovná desková vyvrtávačka[8].....	23
Obrázek 16 - Vodorovný hrotový soustruh řady SR od firmy ŠMT [1].....	24
Obrázek 17 - Vodorovná vyvrtávací frézka řady HCW od firmy ŠMTI [1].....	24
Obrázek 18 - Multifunkční centrum od firmy GEORG [1]	25
Obrázek 19 - Proces tvorby NC dat[10].....	26
Obrázek 20 - Ukázka CSE simulace	27
Obrázek 21 - Vodorovná vyvrtávací a frézovací frézka HCW 3000 [1]	28
Obrázek 22 - Samo pojízdná kabina obsluhy [1]	30
Obrázek 23 - Úhlová frézovací hlava IFVW103 C-E [1]	31
Obrázek 24 - Úhlová frézovací hlava OMG TA 26 [1]	32
Obrázek 25 - Zjednodušený kinematický model natáčecího vřeteníku JS 1200.....	33
Obrázek 26 - Zjednodušená model podpěry valivé.....	33
Obrázek 27 - Automatická výměna nástrojů od firma S.G.M. [1].....	34
Obrázek 28 - Zařízení pro automatickou výměnu frézovacích hlav [1]	35
Obrázek 29 - Základ stroje [1]	36
Obrázek 30 - Model pracoviště HCW 3000 [1]	38
Obrázek 31 - Model stroje s definovanou kinematikou	39
Obrázek 32 - Obrábění v CAM nástrojem \varnothing 52mm.....	40
Obrázek 33 - Pravidlo označení směru os[11]	40
Obrázek 34 - Znázornění kolize [1]	41

Obrázek 35 - Natačecí vřeteník JS 1200	42
Obrázek 36 - Vodorovné polohovadlo ŠMT z typové řady IOV [1]	43
Obrázek 37 - Vodorovné polohovadlo od firmy Peiseler z typové řady AWU [1]	43
Obrázek 38 - Převodové ústrojí.....	46
Obrázek 39 - Pohonná soustava	48
Obrázek 40 - Ukázka zapojení brzdy od firmy Mayr.....	50
Obrázek 41 - ROBA-TOPSTOP s výstupním hřídelem a vstupním svěrným pouzdrem	50
Obrázek 42 - Převodovka Wittenstein TP+110MA HIGH TORQUE.....	51
Obrázek 43 - Pastorek	51
Obrázek 44 - Základní rozměry křížového ložiska	52
Obrázek 45 - Lící deska sestava	53
Obrázek 46 - Základní rozměry lící desky	54
Obrázek 47 - Upínání obrobku sestava	54
Obrázek 48 - Silové vřeteno Jakob[12].....	55
Obrázek 49 - Rozměry silového vřetene[12]	56
Obrázek 50 - A125 MP	57
Obrázek 51 - A125 VM.....	58
Obrázek 52 - A250 MP	58
Obrázek 53 - A250 VM.....	59
Obrázek 54 - B125 MP.....	59
Obrázek 55 - B125 VM.....	60
Obrázek 56 - B250 MP.....	60
Obrázek 57 - B250 VM.....	61
Obrázek 58 - Jednotka upínací	62
Obrázek 59 - Základní rozměry talířové pružiny	63
Obrázek 60 - Průběh upínací síly talířové pružiny.....	64
Obrázek 61 - Odepínací hydraulický píst s těsněním.....	65
Obrázek 62 - Řez upínací jednotkou	65
Obrázek 63 - Způsob uložení vřetene	66
Obrázek 64 - Síly působící na uložení vřetene.....	66
Obrázek 65 - Zatížení působící na ložisko	67
Obrázek 66 - Výpočet zatížení ložiska PSL[13]	68
Obrázek 67 - Vzorce pro výpočet silového a momentového zatížení.....	68
Obrázek 68 - Výpočet jmenovité a maximální obvodové síly[13]	69
Obrázek 69 - Graf zatížení ložiska	70

Obrázek 70 - Rozměry ložiska FAG[14]	70
Obrázek 71 - Uložení radiálního ložiska.....	71
Obrázek 72 - Vřeteno natáčecího vřeteníku	71
Obrázek 73 - Sestava odměřování osy A	72
Obrázek 74 - Rotační odměřování Heidenhain RCN 8380[15]	72
Obrázek 75 - Sestava tělesa natáčecího vřeteníku	73
Obrázek 76 - Základní rozměry tělesa vřeteníku	74
Obrázek 77 - Nastavení vyšetření deformací v systému NX 10	75
Obrázek 78 - Využití materiálu při zatížení s ohledem na napětí	76
Obrázek 79 - Využití materiálu při zatížení s ohledem na napětí – řez sestavou	76
Obrázek 80 - Vyšetření posunutí v ose X	77
Obrázek 81 - Vyšetření posunutí v ose Z.....	77

Seznam příloh

Příloha 1: Layout - Pracoviště HCW 3000

Příloha 2: Celková sestava - Natáčecí vřeteník JS 1250

Příloha 3: Těleso skříně vřeteníku

Příloha 4: Těleso desky upínací

Příloha 5: Dílčí výpočty

Seznam pramenů a použité literatury

- [1] i. z. ŠMT, *ŠKODA MACHINE TOOL a. s.*, Plzeň, 2017/2018.
- [2] C. doc. Ing. Jan Mádl, *Teorie obrábění*, Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1990.
- [3] D. Doc. Ing. Bohumil Vlach, *Technologie obrábění*, Praha: České vysoké učení v Praze, 1986.
- [4] „ZOZEI - Za odbornými znalostmi evropsky a interaktivně,“ [Online]. Available: <http://zozei.sssebrno.cz/technologie/>. [Přístup získán 12 3 2018].
- [5] „dspace.cvut.cz,“ [Online]. Available: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73084/F2-BP-2017-Dvorak-Jan-BP_Dvorak.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. [Přístup získán 16 03 2018].
- [6] C. Doc. Ing. Josef Kubíček, *Konstrukce a výpočty obráběcích strojů*, Plzeň: ZČU plzeň, 1994.
- [7] „DOCPLAYER,“ [Online]. Available: <http://docplayer.cz/17644690-Jihoceska-univerzita-v-ceskych-budejovicich-zaverecna-prace-pedagogicka-fakulta-katedra-pedagogiky-a-psychologie.html>. [Přístup získán 15 03 2018].
- [8] „SlidePlayer,“ [Online]. Available: <http://slideplayer.cz/slide/1917599/>. [Přístup získán 05 03 2018].
- [9] P. Ing. Michal Fabian a C. prof. Ing Emil Spišák, *Navrhování a výroba s pomocí CA.. technologií*, Brno: CCB spol. s. r. o., 2009.
- [10] „wordpress,“ [Online]. Available: <https://cadcamhaiphong.wordpress.com/icam-postprocessor/>. [Přístup získán 8 03 2018].
- [11] „ELUC,“ [Online]. Available: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1353>. [Přístup získán 18 03 2018].
- [12] „Jakob Antriebstechnik,“ [Online]. Available: http://www.jakobantriebstechnik.de/wordpress/?page_id=372. [Přístup získán 03 17 2018].
- [13] „PSL,“ [Online]. Available: http://www.psl.sk/downloads/psl_23_2010_rev1_oto_s_public_01.pdf. [Přístup získán 26 03 2018].
- [14] „loziska-bearings,“ [Online]. Available: https://www.loziska-bearings.sk/Data/1167/UserFiles/Vretenove%20loziska_cz.pdf. [Přístup získán 20 03 2018].
- [15] „Heidenhain,“ [Online]. Available: https://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/350457-C3_V%C3%BDrobn%C3%AD_program.pdf. [Přístup získán 30 03 2018].