



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

MALÁ CNC FRÉZKA

SMALL CNC MILLING MACHINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vladimír Kalina

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vladimír Dokoupil, CSc.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Vladimír Kalina
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	Ing. Vladimír Dokoupil, CSc.
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Malá CNC frézka

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh malé CNC frézky, určené pro obrábění přesných součástí z kovových materiálů

Cíle diplomové práce:

- analýza problematiky
- návrh variant možných řešení
- koncepční řešení zvolené varianty
- nezbytné konstrukční výpočty
- výkresová dokumentace vybrané části stroje

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. 2.vyd., přeprac., rozšíř. Praha: MM publishing, 2010. ISBN 978-80-254-7980-3.

BORSKÝ, Václav. Obráběcí stroje. 2. vyd. Brno: Nakladatelství VUT, 1992. ISBN 80-214-0470-1.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. Konstruování strojních součástí. 1. vyd. v Brně: VUTIUM, 2010. ISBN 978-8-214-2629-0.

MM Průmyslové spektrum. Praha: Vogel Publishing, 1997-. ISBN 1212-2572.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Obsahem této diplomové práce je návrh a konstrukce malé vertikální CNC frézovacího stroje. V diplomové práci jsou uvedeny i stroje, které se objevují v dnešní produkci na trhu. V konstrukční části jsou řešeny výpočty pro nástroje, dále pro kuličkový šroub, lineární vedení. Dále jsou připojeny 3D modely s vertikálním strojem a výkresy navrhovaného stroje.

ABSTRACT

The content of this diploma thesis is the design and construction of small vertical CNC milling machines. In the thesis are listed and machines that appear in today's production on the market. The components are designed for tools, for ball screw, linear guide. Parts are attached to the 3D models with vertical machine and drawings of the proposed machinery.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vertikální CNC fréza, kuličkový šroub THK, lineární vedení THK, frézovací nástroj SECO, elektrovřetenno GMN,

KEYWORDS

Vertical milling machine, ball screw THK, milling tool SECO, spindle GMN

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KALINA, V. *Malá CNC frézka*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 48 s., Vedoucí diplomové/bakalářské práce Ing. Vladimír Dokoupil, Cs.C.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Vladimíru Dokoupilovi Cs.C. za cenné rady a vstřícné vedení při zpracovávání diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat mému bratrovi, moji mamce a přítelkyni za jejich podporu a trpělivost během studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Vladimírem Dokoupilem, Cs.C. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26.5.2017

.....

Kalina Vladimír

Obsah

1	ÚVOD	11
2	CNC OBRÁBĚCÍ CENTRA DNEŠNÍ PRODUKCE	12
2.1	VTC-530C	13
2.2	MCFV 1060	14
2.3	VMP-45S	18
2.4	MCV 754 QUICK.....	22
2.5	Hyundai WIA Hi-MOLD6500.....	24
2.6	DMC 650 V	29
3	NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ.....	32
4	VOLBA TYPU STROJE	34
5	NÁVRH KONSTRUKCE OBRÁBĚCÍHO CENTRA	37
5.1	Výpočty od obrábění pro materiál s měrnou řeznou silou 1800 MPa	37
5.2	Volba nástroje pro čelní drážkování	37
5.2.1	Výpočet sil od čelního frézování	38
5.2.2	Vrtání	40
5.2.3	Výpočet sil od od vrtání.....	40
5.3	Technické výpočty od obrábění	42
5.4	Volba nástroje pro čelní drážkování	42
5.4.1	Výpočet sil od čelního frézování	42
5.4.2	Vrtání	45
5.4.3	Výpočet sil od vrtání.....	45
5.5	Výpočty od obrábění pro materiál s měrnou řeznou silou 700 MPa	46
5.6	Volba nástroje pro čelní drážkování	47
5.6.1	Výpočet sil od čelního frézování	47
5.6.2	Vrtání	50
5.6.3	Výpočet sil od vrtání.....	50
5.7	Technické výpočty od obrábění	52
5.8	Volba nástroje pro čelní drážkování	52
5.8.1	Výpočet sil od čelního frézování	52
5.8.2	Vrtání	55
5.8.3	Výpočet sil od vrtání.....	55
5.9	Výběr vřetena.....	57
5.10	Výběr a výpočet lineárního vedení	58
5.11	Výpočet lineárního vedení pro křížový stůl.....	59
5.12	Výpočet pohonu pro kuličkový šroub.....	63
5.13	Výpočet pohonu pro kuličkový šroub.....	66
5.13.1	Statické hledisko	66
5.13.2	Kinematické hledisko	68
5.13.3	Dynamické hledisko	68
5.13.4	Uložení kuličkového šroubu	69
5.13.5	Výpočet životnosti radiálního ložiska	71
5.14	Krytování pohyblivých částí	71
5.15	Lože	72
5.16	Stojan vertikální osy Z.....	73
5.16.1	Výpočet pohonu.....	74
5.16.2	Výpočet kuličkového šroubu	75
5.16.3	Statický výpočet servomotoru pro pohon kuličkového šroubu	77

5.16.4 Kinematický výpočet.....	79
5.16.5 Dynamický výpočet.....	80
5.16.6 Výpočet životnosti radiálního ložiska.....	81
5.17 Zásobník nástrojů	81
5.18 Krytování obráběcího stroje	82
5.19 Chladící kapalina	83
5.20 Volitelné příslušenství.....	83
6 GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ NAVRHOVANÉHO STROJE A JEHO PARAMETRY.....	85
7 ZÁVĚR.....	87
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	88
9 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	92
9.1 Seznam obrázků.....	92
9.2 Seznam tabulek.....	93
9.3 Seznam zkratk.....	94
10 SEZNAM PŘÍLOH.....	95
PŘÍLOHY	96

1 ÚVOD

Cílem této práce je provést návrh víceúčelové CNC frézky, určené k obrábění železných a neželezných kovů. Oblast, která je uplatněna pro tento stroj, jsou malé firmy zabývající výrobou kusů z lehkých slitin hliníku či výrobou kusů s klasických konstrukčních materiálů. [1][28]

Frézovací stroje slouží k obrábění rovinných a tvarových ploch. Dále jsou používány k vyvrtávání otvorů. Při frézování tvoří mnohobřítý nástroj hlavní řezný pohyb.



Obrázek 1 - Rozdělení frézovacích strojů

Frézovací stroje se v dnešní době využívají spíše jako obráběcí centra pro více osé frézování. Nyní jsou kladeny značné nároky obráběcích center na vysokou tuhost, která je spojena s velkým výkonem, a hlavně na přesnosti obráběcího stroje a bezvúlového posuvu. V dnešní době jsou nejvíce požadovány tyto parametry:

- snižování výrobních dávek a sériovosti
- rostoucí požadavky na kvalitu výrobku spojenou s přesností
- rostoucí mzdy

Obráběcí centrum na nerotační součásti je frézovací stroje, který zvládá různé druhy technologických operací s automatickou výměnou nástrojů i obrobků a zároveň dokáže pracovat bez obsluhy stroje.

V dnešní době se využívají při výrobě složitějších součástí spíše stroje pěti-osé obráběcí centra. Přidáním čtvrté a páté osy do obráběcího centra se většinou řeší se zákazníkem jako volitelné příslušenství. [28][29][32]

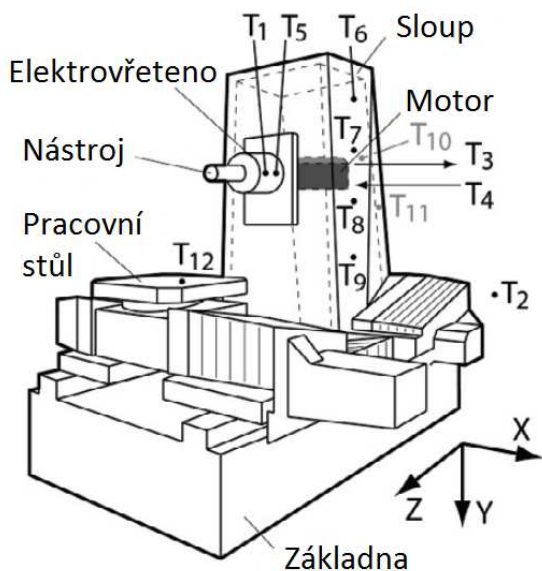
2 CNC OBRÁBĚCÍ CENTRA DNEŠNÍ PRODUKCE

V dnešní době je mnoho firem, které vyrábějí frézovací stroje či frézovací CNC stroje. Frézovací stroje na nerotační součásti se může rozdělit do více skupin.

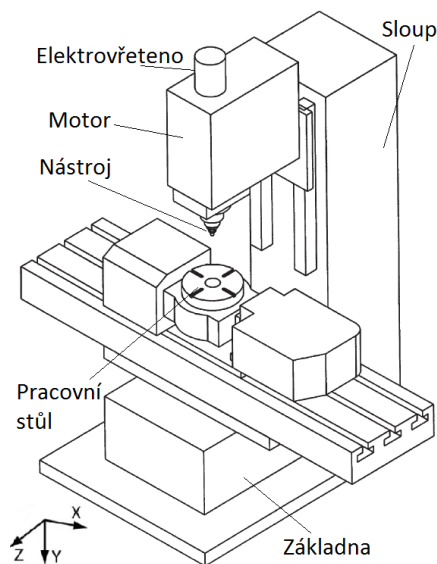


Obrázek 2 - Rozdělení frézovacích center[28]

V této diplomové práci se budu zabývat obráběcími centry na nerotační součásti s vertikální frézovací hlavou.



Obrázek 3 - Obráběcí centrum na nerotační součásti - horizontální



Obrázek 4 - Obráběcí centrum na nerotační součásti - vertikální

Na obrázku 3 je vidět obráběcí centrum s horizontální frézovací hlavou. Obrázek 4 zobrazuje stroj s vertikální osou. Na jednom konci kinematického řetězce je nástroj s hlavním vřetenem. Blok vřeten je zafixován ke sloupu v ose Z. Vřetenový blok se posouvá po prizmatických kolejnicích. Sloup je na druhé straně přišroubován k loži stroje

2.1 VTC-530C

Společnost Yamazaki Mazak corporation je firma, která byla založena v 1919 ve městě Nagoja v Japonsku. Firma Mazak má mnoho výrobních závodů. Na obrázku 6 je vertikální obráběcí centrum od firmy Mazak. Tento stroj má vřeten s vysokým kroutícím momentem a vysokou tuhostí. Stroj obsahuje automatický měnič nástrojů s ramenem pro výměnu nástroje poskytující kapacitu 30 nástrojů. Vysoce účinný pohyb os s rychloposuvem zajišťují kuličkové šrouby s přímým pohonem a válečkové lineární vedení. Dále stroj pracuje s vřetenem s vysokými otáčkami a vysokým výkonem. A je navrženo tak, aby zkrátilo časy cyklů obrábění. [5][28]



Obrázek 5 – VTC-530C

Technické parametry stroje VTC-530C jsou specifikovány s tabulce 1.

Tabulka 1 - VTC-530C

Rozměry stroje	Výška pracovního stolu	750mm
	Délka pracovního stolu	2300 mm
	Šířka pracovního stolu	530 mm
	Podélný pohyb – osa X	1740 mm
	Příčný pohyb – osa Y	530 mm
	Vertikální pohyb – osa Z	510 mm
Vřeteno	Maximální otáčky vřetene	12000 min-1
	Maximální výkon vřetene	18,5 kW
Posuv	Maximální posuv	42 m / min
	Zrychlení	Není udáno
Zásobník	Počet kusů v zásobníku	30 ks
	Upínání	CAT40
	Čas výměny nástroje	4,4 s
	Maximální průměr sousedních nástrojů	125 mm
Stroj	Délka	4100 mm
	Šířka	2800 mm
	Výška	2685 mm
	Váha	9800 kg

Obráběcí stroj VTC-530C může obrábět současně v 5 osách. Je to rozdělené 3+2, kde nástroj se pohybuje ve vše 3 osách a stůl se pohybuje ve 2 osách. Proces, který funguje na tomto stroji je takový, že nástroj se při obrábění může pohybovat ve zmíněných 3 osách, ale stůl se při obrábění nemůže pohybovat avšak se může naklopit před anebo po obrábění.

2.2 MCFV 1060

Firma TAJMAC-ZPS byla založena 1903 jako strojnická dílna. Nyní má firma velkou škálu výrobků od vertikálních obráběcích center až po vícevřetenové CNC automaty. Jedním

ze strojů, který jsem vybral, je vertikální obráběcí centrum MSFV 1060. Vertikální obráběcí centrum pokrývá celou škálu technologií od silového po vysokorychlostní obrábění. Stroj je tvořen dvěma stacionárními odlitky – základnou a na ní upevněný stojan. Veškeré pohyby obráběcího centra jsou zprostředkovávány pomocí lineárního vedení s valivými elementy. Obráběcí centrum využívá svoje vlastnosti k vysokému a přesnému obrábění. Stroj má vysokou tuhost a pevnost, a dlouhodobou přesnost díky své konstrukci.

Pracovní stůl se pohybuje v podélném směru (osa X) po vedení křížového suportu. Křížový suport se pohybuje po vedení na základně v příčném směru (osa Y). Po vedení na stojanu se pohybuje vřeteník ve vertikálním směru (osa Z). Nosnost stolu se pohybuje do 1350kg.



Obrázek 6 - vertikální obráběcí centrum MCFV 1060

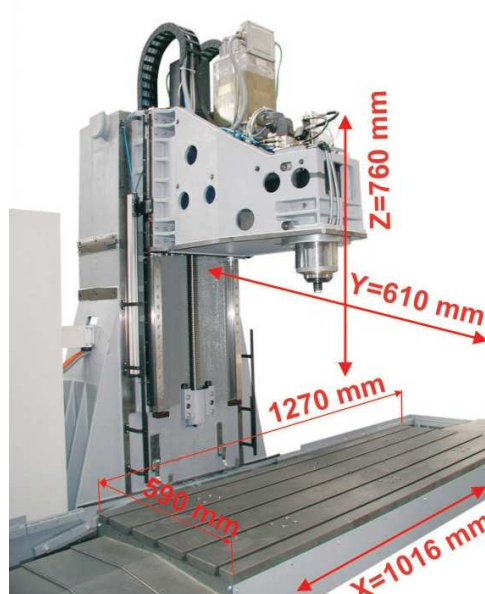
Pohyby stroje jsou realizovány prostřednictvím lineárního vedení s valivými jednotkami. Ve všech osách je odměřování prováděno absolutním lineárním odměřovacími jednotkami.

Vertikální obráběcí centrum MCFV 1060 má bubnový zásobník nástrojů s vyjmennou rukou umístěnou mimo pracovní prostor stroje. Jeho kapacita je pro 30 nástrojů.

Obráběcí centrum dále disponuje volitelným provedením - přidáním otočného stolu pro 4. a 5. osu.[3][4][34]



Obrázek 7 - Konstrukce stroje MCFV 1060



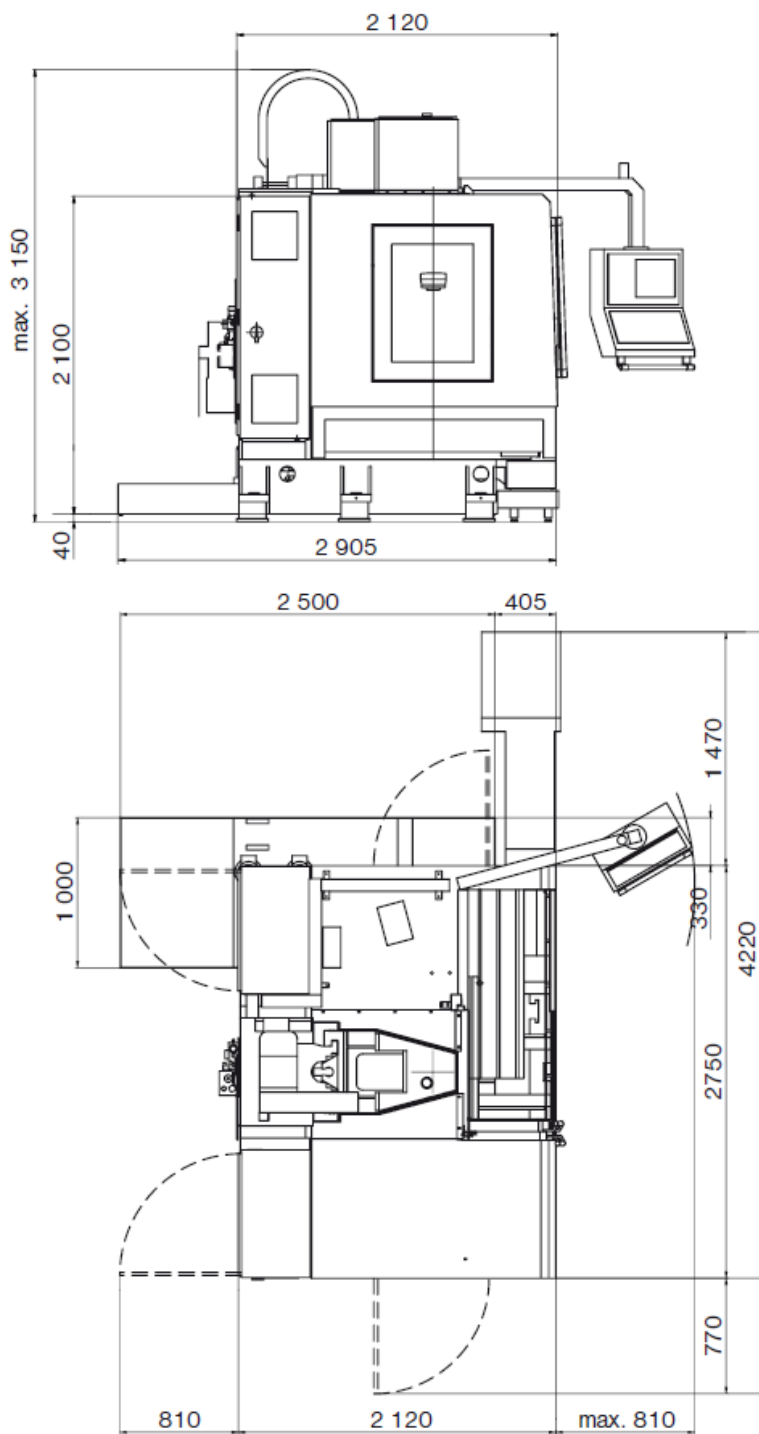
Obrázek 8 - Maximální posuvy stroje MCFV 1060



Obrázek 9 - Volitelné provedení pro otočnou 4. a 5. Osu

Fuknce stroje jsou řízený CNC řídicím systémem. Využíván pro složité obrábění 3D součástí. Vřeteník se na konstrukci pohybuje ve vertikálním směru, ve kterém je uloženo vřeteno. Vřeteno může využívat upínací kužel typu HSK a ISO a jeho maximální otáčky u

HSK-A63 jsou až 18000 otáček/min. Dalším z volitelných vybavení je využití elektrovřetena, které využije maximální otáčky až 50000 otáček / minutu. Obrobek je upnut k pracovnímu stolu. Pracovní stůl je pohybuje v podélném směru osy X po vedení na křížovém suportu. Křížový suport se pohybuje na základně v příčném směru.



Obrázek 10 - Zástavbové rozměry stroje

Tabulka 2 - Základní parametry MCFV 1060

Rozměry stroje	Výška pracovního stolu	125 mm
	Délka pracovního stolu	1270 mm
	Šířka pracovního stolu	590 mm
	Podélný pohyb – osa X	1016 mm
	Křížový suport – osa Y	610 mm
	Vertikální pohyb vřeteníku – osa Z	760 mm
Vřeteno – upínací kužel	Maximální otáčky vřetene s upínacím kuželem HSK-A63	18000 ot / min
	Výkon vřetene	25 kW
Posuv	Maximální pracovní stůl	40 m / min
	Zrychlení	5 m / s ²
Zásobník	Počet míst v zásobníku	30 ks
	Čas výměny nástroje	3,5 s
	Maximální délka	300 mm
	Maximální průměr sousedních nástrojů	160 mm
	Maximální celková hmotnost	195 kg
Stroj	Půdorys stroje – délka	2750 mm
	Půdorys stroje – šířka	2120 mm
	Bokorys – výška	3150 mm
	Hmotnost stroje	7700 kg

2.3 VMP-45S

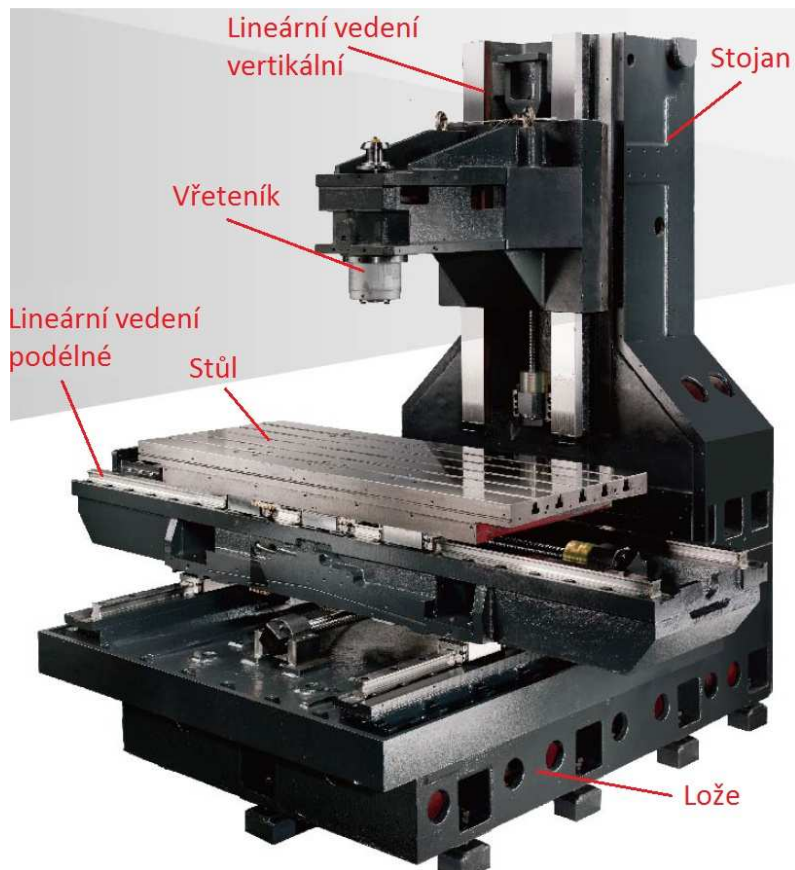
Firma STRÁNSKÝ a PETRŽÍK nabízí obráběcí centra horizontální, závitovací a vrtací centra. Dále nabízí vertikální obráběcí centra. Vybral jsem vertikální obráběcí centrum VMP45S. Konstrukce stroje je zaručená tuhostí a stabilitou. Rám stroje a jeho hlavní díly jsou

vyrobeny z jemnozrnné litiny, záruka vynikající stability s dlouhodobým provozem bez deformací.



Obrázek 11 - Obráběcí vertikální centrum VMP-45S

Konstrukce stroje je podobná. Na obrázku 13 je vidět konstrukční složení VMP-45S. Spodní část rámu má speciální konstrukci ve tvaru A. Servopohony jsou přímo poháněny předpjatými kuličkovými šrouby zajišťující tuhost a požadovanou přesnost polohování. Ve vřetenu jsou použita ložiska s kosouhlým stykem, která zajišťují maximální tuhost vřetena a vysokou přesnost. Motor vřetena využívá velkého krouticího momentu, který zabezpečuje řezný výkon. Jako těsnící prvky využívá labyrint s těsnícím vzduchovým systémem, který zabraňuje aby se do ložisek dostala chladící kapalina nebo prach. [8]



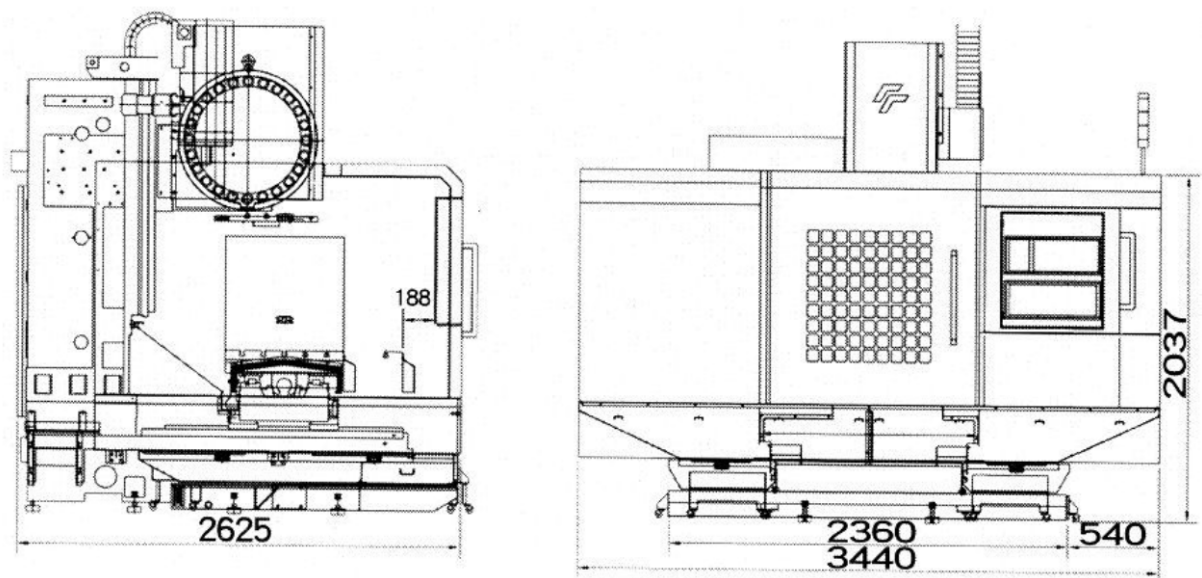
Obrázek 12 - VMP-45S

Na obrázku 14 je možno vidět hlavní rozměry a to posuvy v ose x, y a z. Maximální zdvih vřetena je 600 mm. Další posuvy stolu v ose x jsou 1100 mm a v ose y 700 mm. Obrobek je upevněn na stole s T drážky, které jsou definovány na obrázku 15. Standartním vybavením tohoto stroje je karuselový zásobník na 22 pozic a bubnový zásobník nástrojů s výměnnou rukou na 24 pozic. Pro uchycení nástroje se používá upínací kužel ISO, ve volitelném vybavení je možno použít HSK. Kuličkové šrouby a vedení v loži a stojanu je použitý automatický systém mazání.

Tabulka 3 - Parametry stroje VMP-45s

Rozměry stroje	Výška pracovního stolu	
	Délka pracovního stolu	1300 mm
	Šířka pracovního stolu	700 mm
	Podélný pohyb – osa X	1100 mm
	Křížový suport – osa Y	700 mm
	Vertikální pohyb vřeteníku – osa Z	600 mm

	Maximální zatížení stolu	1000 kg
Vřeteno – upínací kužel	Maximální otáčky vřetene s upínacím kuželem č.40	10 000 ot / min (ve volitelné verzi až 15000 ot / min)
	Maximální výkon	11 kW
Posuv	Maximální pracovní stůl	24 m / min
	Zrychlení	Není udáno
Zásobník	Počet míst v zásobníku	22 ks
	Čas výměny nástroje	7,1 s
	Maximální délka	250 mm
	Maximální průměr sousedních nástrojů	150 mm
Stroj	Půdorys stroje – šířka	2630 mm
	Bokorys – výška	2925 mm
	Hmotnost stroje	7700 kg
	Půdorys stroje – délka	3440 mm

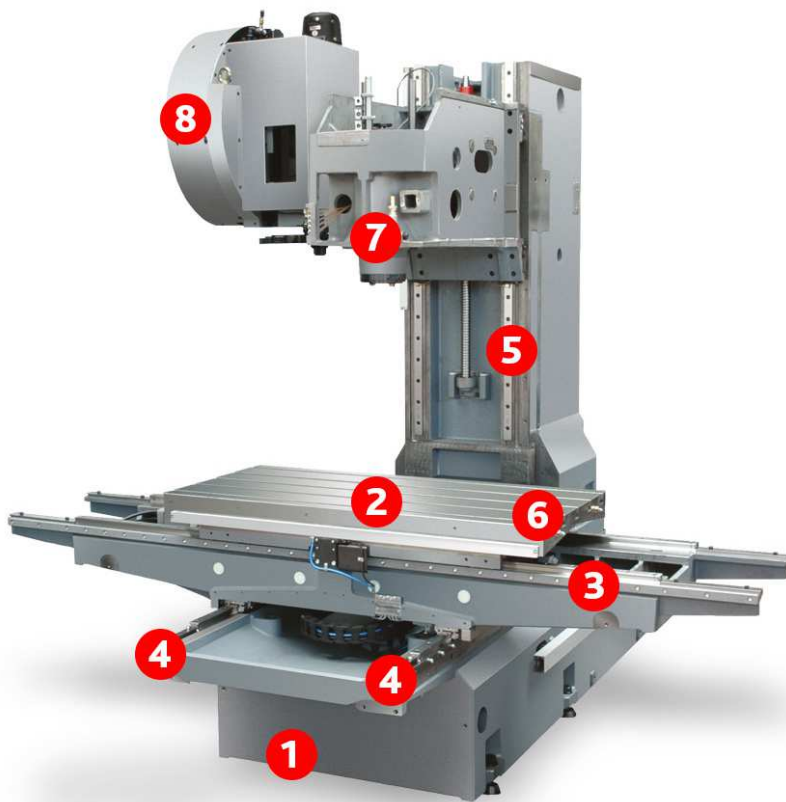


Obrázek 13 - Rozměry stroje VMP-45S

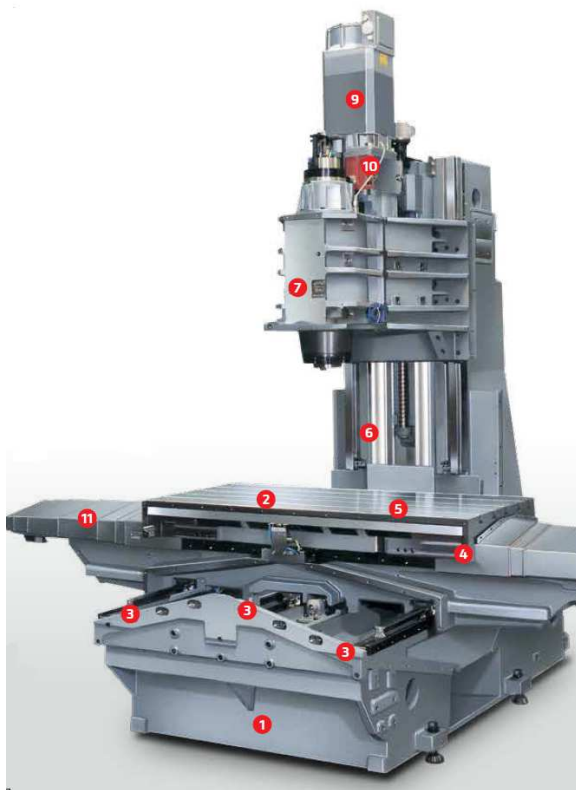
2.4 MCV 754 QUICK

Dalším obráběcím vertikálním strojem, která je vhodná pro použití do této diplomové práce, je firma Kovosvit MAS. Firma má 77letou tradici ve výrobě a vývoji obráběcích strojů. Firma nabízí frézovací, soustružnické a multifunkční stroje. Vybral jsem stroj MCV 754 QUICK, protože má zdvih v ose Z 550 mm. Na obrázku 17 je vidět vertikální složení stroje. Základní koncepce stroje – 1. Lože stroje, 2. Upínací plocha stolu 1000x500 mm, 3. Lineární valivé vedení osa X (754 mm), 4. Lineární valivé vedení osa Y (500 mm), 5. Lineární vedení osa Z (550 mm), 6. Maximální zatížení stolu 400 kg, 7. Vřeteník, 8. Zásobník nástrojů s mechanickou rukou, 9. Motor vřetena, 10. Dvoustupňová převodovka, 11. Teleskopické krytování. Řada strojů MCV je postavena na nosném rámu ve tvaru C. Tvar a uspořádání nosného rámu strojů je optimalizován s ohledem na vysokou stabilitu a tuhost.

Na obrázku 14 je vidět rozložení stroje MCV 754.[3][9]



Obrázek 14 - Koncepce stroje MCV 754 QUICK



Obrázek 15 - Koncepce stroje MCV 754 QUICK

Tabulka 4 - Parametry MCV 754 QUICK

Rozměry stroje	Výška pracovního stolu	Není udána
	Délka pracovního stolu	1000 mm
	Šířka pracovního stolu	500 mm
	Podélný pohyb – osa X	754 mm
	Křížový suport – osa Y	500 mm
	Vertikální pohyb vřeteníku – osa Z	550 mm
	Maximální zatížení stolu	400 kg
Vřeteno – upínací kužel	Maximální otáčky vřetene	10 000 ot / min
	Maximální výkon	13 kW
Posuv	Maximální posuv	30 m / min
	Zrychlení	Není udáno
Zásobník	Počet míst v zásobníku	24 ks
	Čas výměny nástroje	3 s
	Maximální délka nástroje	250 mm

	Maximální průměr sousedních nástrojů	120 mm
Stroj	Půdorys stroje – šířka	2560 mm
	Bokorys – výška	2590 mm
	Hmotnost stroje	4000 kg
	Půdorys stroje – délka	2320 mm

Obráběcí stroje díky svému lineárnímu valivému vedení v osách X,Y,Z zajišťuje stroji dlouhodobě vysokou pracovní přesnost a dynamiku při obrábění. MCV 754 používá rychlé a přesné přímé odměřování a využívá velký pracovní rozsah svému zástavbovému rozměru. Firma Kovosvit Mas ke svému stroji nabízí možnost přidání k základnímu 3-osému obrábění další osy obrábění do natáčecího stolu. Pro lepší ochranu proti odletujícím třískám je na stroji zabudováno vodotěsné kabinové zakrytí pracovního prostoru s levými bočními prosklenými dveřmi a účinné odstranění třísek z pracovního prostoru. Pro lepší přístup do pracovního prostoru se zajišťuje pomocí posuvných krytů, které dovolují díky otevření celého rohu jednoduše vložit rozměrný obrobek.

2.5 Hyundai WIA Hi-MOLD6500

Hyundai WIA je divize Hyundai Motor Group jeho sídlo je v Soulu v Jižní Korei. Má velkou škálu produktů jako jsou CNC obráběcí stroje, roboty, průmyslové stroje, součásti automobilového průmyslu a díly letadel.

Hyundai WIA Hi-MODL6500 je vysokorychlostní dvouřadý obráběcí centrum vhodné zejména pro přesné obrábění díky své vysoké tuhosti a nízké provozní teploty. Hlavní pohyb je v ose Z a dále se pohybuje v ose X. Za účelem odstranit tepelný nárůst během obrábění, Hyundai WIA přijala nový stabilizační systém tepelných deformací. Všechny osy jsou poháněny vysoce přesným dvojitým kuličkovým šroubem, který je vybaven vnitřním chlazením. Dvojitá konstrukce předpětí poskytuje vynikající polohy a opakovatelnost s téměř nulovým nárůstem. Všechny kuličkové šrouby jsou připojeny přímo na servo hnacího motorů bez ozubených kol nebo pásů. To zajišťuje vymezení vůle. Hlavní vřeteno je navrženo pro vysokou rychlost a přesné obrábění při otáčkách 15000 ot/min. Pro ultra přesné zrychlení a zpomalení jsou využita uhlová ložiska. Konstrukce vestavěného vřetena zajišťuje malý hluk a vibrace a to při nejvyšších otáčkách, která zaručují mimořádné stabilní obrábění s minimalizací přenosu tepla na hlavní vřeteno. Skrz vřeteno proudí chladicí kapalina, která

zvyšuje životnost nástroje a snížení tepla vznikající při obrábění způsobené vysokorychlostním obráběním. Boční montáž automatické výměny nástrojů a zásobník jsou odděleny od sebe roletovým systémem, který se uzavírá během obrábění. Když je požadována výměna nástrojů, obrábění se zastaví, otevře se závěrka, vymění se nástroj zavře se klapka a obrábění znovu pokračuje. Zásobník má možnost až 30 nástrojů a čas výměny nástroje činí zhruba 2 sekundy.



Obrázek 16 - Vestavěné vřeteno

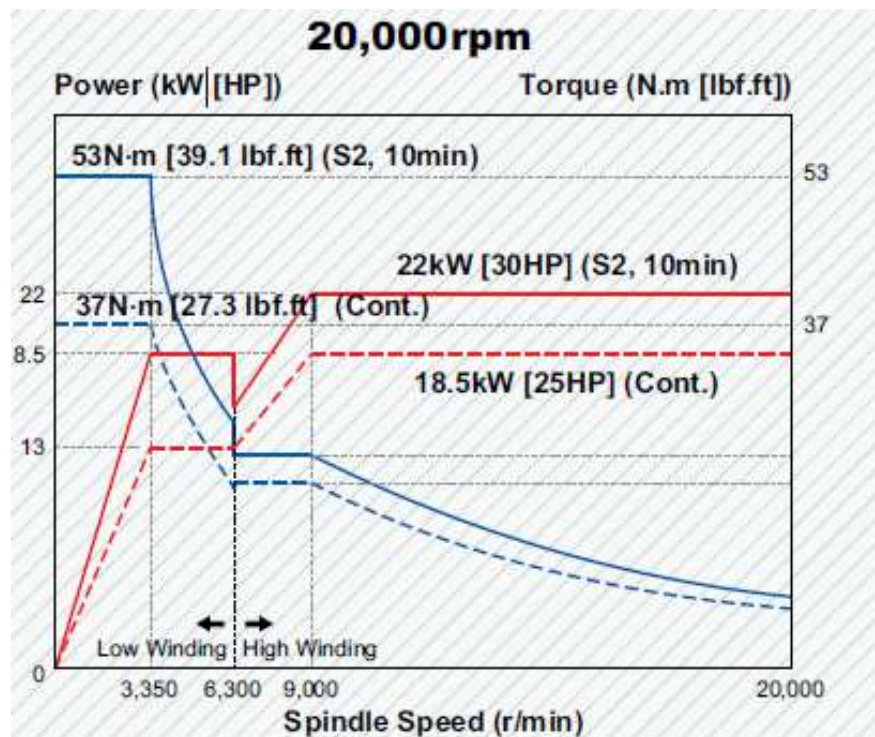


Obrázek 17 - Hyundai WIA Hi-MOLD 6500

Rozměry stroje	Výška pracovního stolu	Není udána
	Délka pracovního stolu	1200 mm
	Šířka pracovního stolu	650 mm
	Podélný pohyb – osa X	1100 mm
	Křížový suport – osa Y	650 mm
	Vertikální pohyb vřeteníku – osa Z	550 mm
	Maximální zatížení stolu	1000 kg
Vřeteno – upínací kužel	Maximální otáčky vřetene s upínacím kuželem č.40	20 000ot / min (ve volitelné verzi až 24000 ot / min)
	Výkon vřetene	18,5 kW
Posuv	Maximální pracovní stůl	40 m / min

	Zrychlení	Není udáno
Zásobník	Počet míst v zásobníku	30 ks
	Čas výměny nástroje	2 s
	Maximální délka	250 mm
	Maximální průměr sousedních nástrojů	150 mm
Stroj	Půdorys stroje – šířka	2955 mm
	Bokorys – výška	3030 mm
	Hmotnost stroje	11 000 kg
	Půdorys stroje – délka	3365 mm

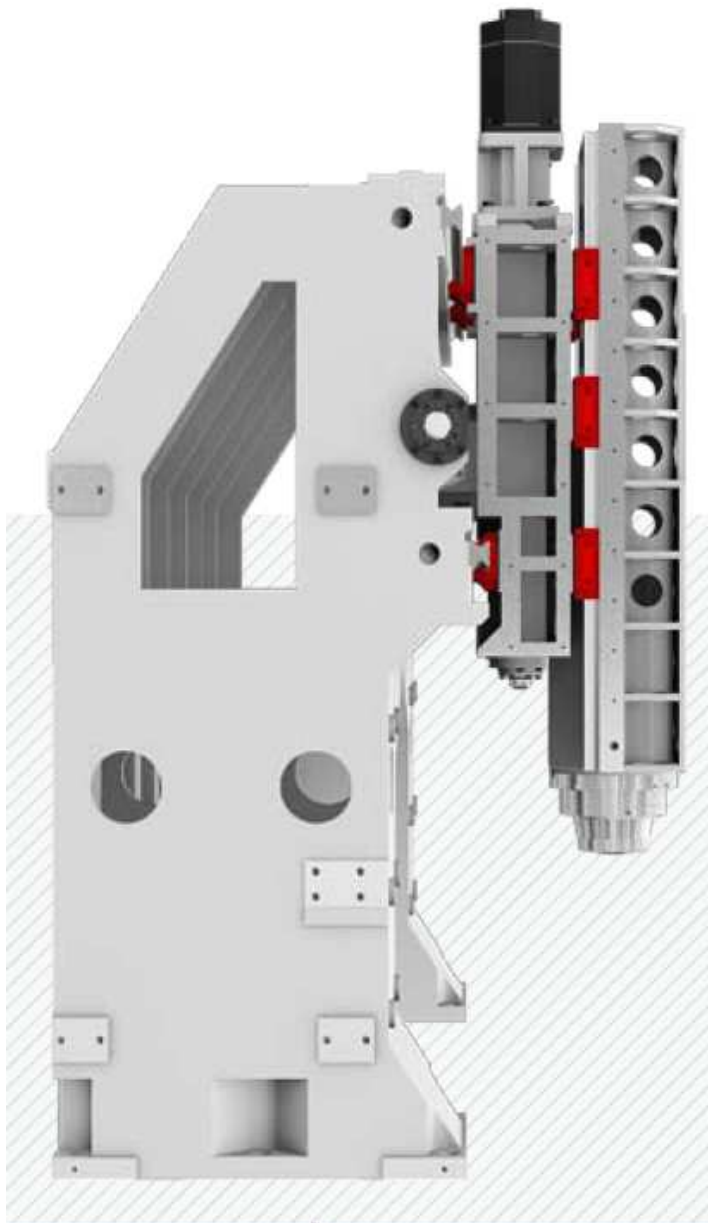
Na obrázku 20 je vidět vestavěné vřeteno, které dosahuje při volitelném výběru až 24 ot/min s velmi přesným zrychlením a zpomalením.



Obrázek 18 - Vlastnosti vřetene

Osa příčného nosníku byla konstruována s ohledem na snížení zatížení, které dochází na přední straně při opracování produktu. Dále byla zvýšena stabilita optimalizací sloupu.

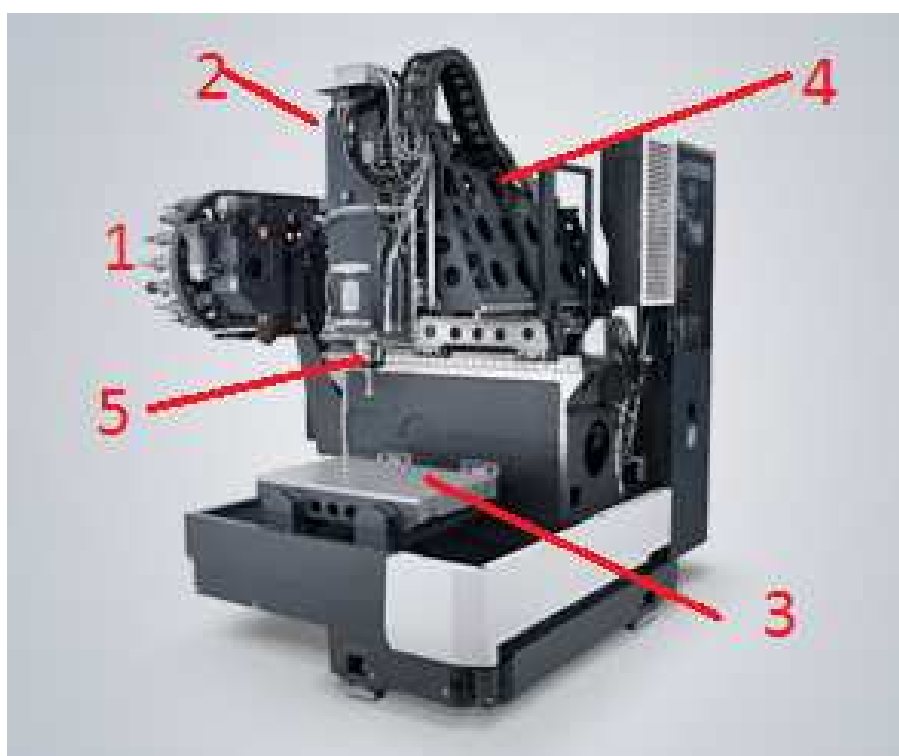
Vzhledem k tomu, že se mazivo rozstříkuje jak pro vodící blok a kuličkový šroub matice, tak byla přijata metoda mazání tukem, která snižuje spotřebu maziva 33 krát ve srovnání s metodou mazacího oleje.



Obrázek 19 - Konstrukce rámu

2.6 DMC 650 V

Koncepce stroje třetí generace vertikálního obráběcího centra od Deckel Maho s komplexním zlepšením 3-osého obrábění. Základem těchto vylepšení výkonu je stabilní osazení lože. Ve srovnání s předchozí verzí stroje, nabízí kužel větší upínací plochu a také přijímá vyšší maximální zatížení. Stroj může obrábět kusy až 2000 kg těžké, ale to je pouze u DMC-1450. Stroj má k dispozici vřetena, která jsou dimenzována až na 14 000ot / min a 121Nm. Nebo s použitím s SK-50 může mít ve volitelných vlastnostech až 24 000 ot / min a 303 Nm točivého momentu může poskytnout přesnost i v těžkém obrábění. Zásobník může pojmout v základní verzi stroje 20 kusů, ale při volitelných vlastnostech může mít až 60 nástrojů.



Obrázek 20 - DMC 650 V

Na obrázku 21 je možno vidět stroje bez krytování.

- 1) Zásobník nástrojů,
- 2) Vřeteno pohybující se v ose Z;
- 3) Nepohyblivý stůl,
- 4) Kostrucke stroje pohybující se v ose X a Y,
- 5) Nástroj uchycen ve vřeteni pomocí upínacího kužele.

Tabulka 5 - Parametry stroje DMC 650 V

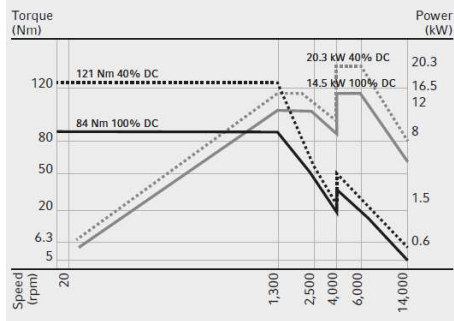
Rozměry stroje	Výška pracovního stolu	800 mm
	Délka pracovního stolu	900 mm
	Šířka pracovního stolu	570 mm
	Podélný pohyb – osa X	650 mm
	Křížový suport – osa Y	520 mm
	Vertikální pohyb vřeteníku – osa Z	475 mm
	Maximální zatížení stolu	800 kg
Výkon	Maximální výkon vřetene	14,5 kW
Vřeteno – upínací kužel	Maximální otáčky vřetene s upínacím HSK100	14 000 ot / min (ve volitelné verzi až 24000 ot / min)
Posuv	Maximální pracovní stůl	42 m / min
	Zrychlení	5 m/s ²
Zásobník	Počet míst v zásobníku	20 ks (volitelně 30 ks, 60ks,)
	Čas výměny nástroje	2,2 s
	Maximální délka	300 mm
	Maximální průměr sousedních nástrojů	130 mm
Stroj	Půdorys stroje – šířka	2308 mm
	Bokorys – výška	2670 mm
	Hmotnost stroje	11 000 kg
	Půdorys stroje – délka	3288 mm

Obrázek 22 a obrázek 23 porovnává výkony a točivé momenty vřetene. Obrázek 22 zobrazuje standartní verzi vřetene. Vřeteno je připojeno k motoru. Při použití upínacího kužele HSK-A63 může dosahovat otáček až 14 000 ot / min a točivého momentu 121 Nm. Kdežto elektrovřeteno (obrázek23) s maximálním výkonem 24 kW může dosahovat až 24 000 ot / min a točivého momentu 100 Nm. Ale elektrovřeteno výrobce udává pouze ve volitelné verzi a za příplatek.



Inline spindle SK40 / HSK-A63

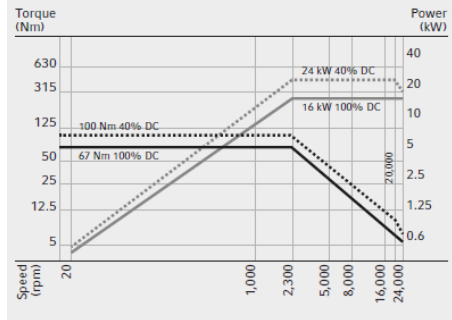
14,000 rpm / 20.3 kW / 121 Nm



Obrázek 21 - Výkon vřetene

Motor spindle HSK-A63

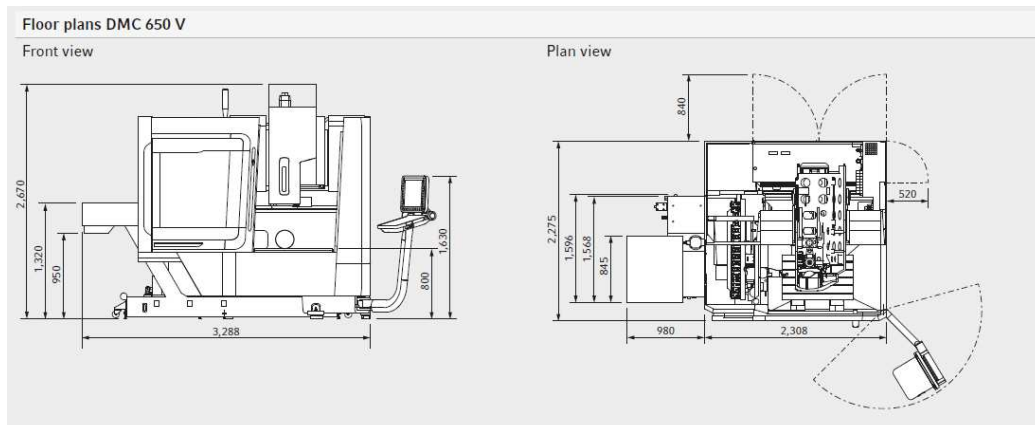
24,000 rpm / 24 kW / 100 Nm



Obrázek 22 - Výkon vřetene pro maximální otáčky



Obrázek 23 - DMC V 650

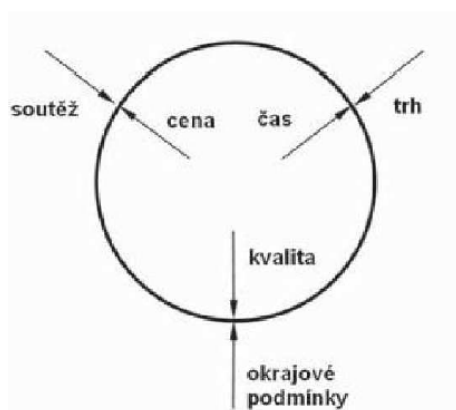


Obrázek 24 - Rozměry stroje

Na obrázku 25 jsou celkové zástavbové rozměry stroje. Toto rozložení je důležité pro umístění stroje ve firmě.

3 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

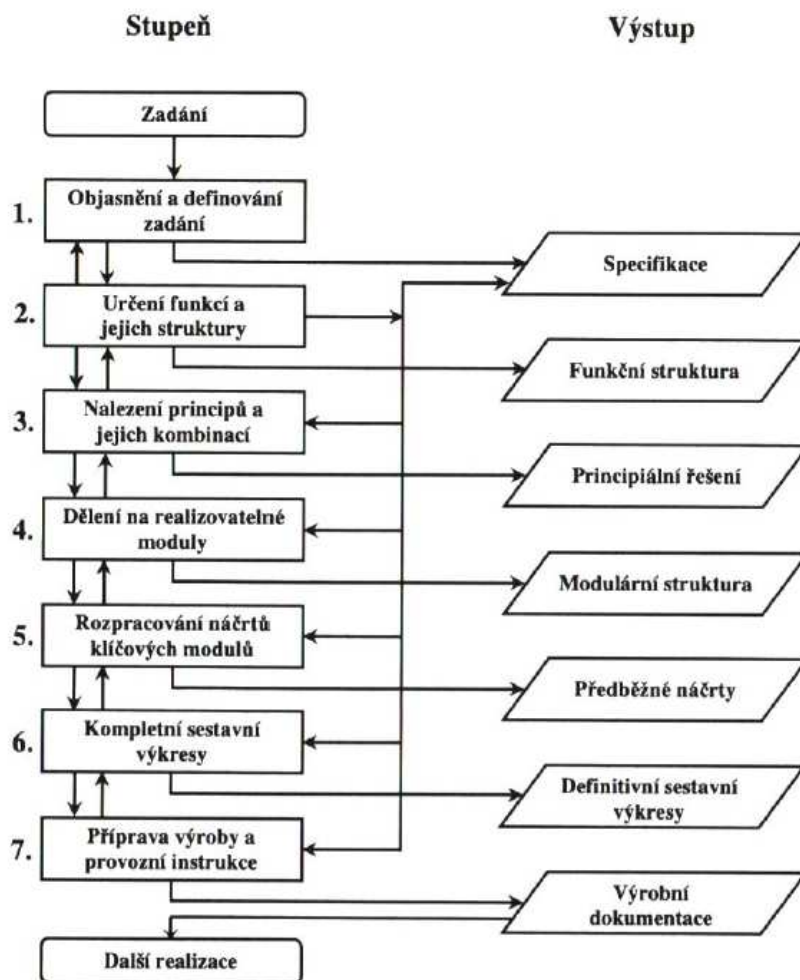
Pro návrh stroje se dá postupovat více způsoby. Výrobek dle marketingu by měl být co nejlevnější a co nejlepší. Nutnou podmínkou bývá kvalita a náklady a také čas. Tyto faktory jsou důležité pro proces výroby obráběcího stroje. Je jakási soustava rovnovážného stavu, kde z vnějšku působí samotné vlivy. Čas, cena a kvalita si firma může ovlivnit systémovým přístupem či převzetím odpovědnosti za jakost v jednotlivých etapách.



Obrázek 25 - Vliv vnějších a vnitřních faktorů

Dnešní způsob konstruování se navrhuje na základě intuice. To ale může mít za následek, že ve výsledku bude obráběcí stroj vypadat náročný a bude ztrácet jednoduchost a účelnost. Proto je důležité vyvíjení inženýrských algoritmů a metod systematického konstruování. Konstrukční proces musí být členěn logicky a přehledně.

Obrázek 28 znázorňuje použitý metodický postup od prvního stupně, který určuje analýzu a poznávání problému. Dále se rozkládá na dílčí problémy a jejich řešení a vede až k celkovému řešení. Každý výrobce strojů využívá zavedené či doporučené vztahy, kde se uplatňuje metoda konečných prvků. Metoda konečných prvků se využívá k zjištění zatížení vozíků lineárních vedení stroje a také k výpočtu deformací hlavních konstrukčních uzlů. Tato moderní výpočtová metoda urychluje výpočty pro stroj, a také slouží k výpočtu deformace na jednotlivých uzlech a jejich napětí, které by bylo nemožné spočítat analytickými vzorci a vztahy. Související výpočty ovlivňují konstrukční iterační proces.



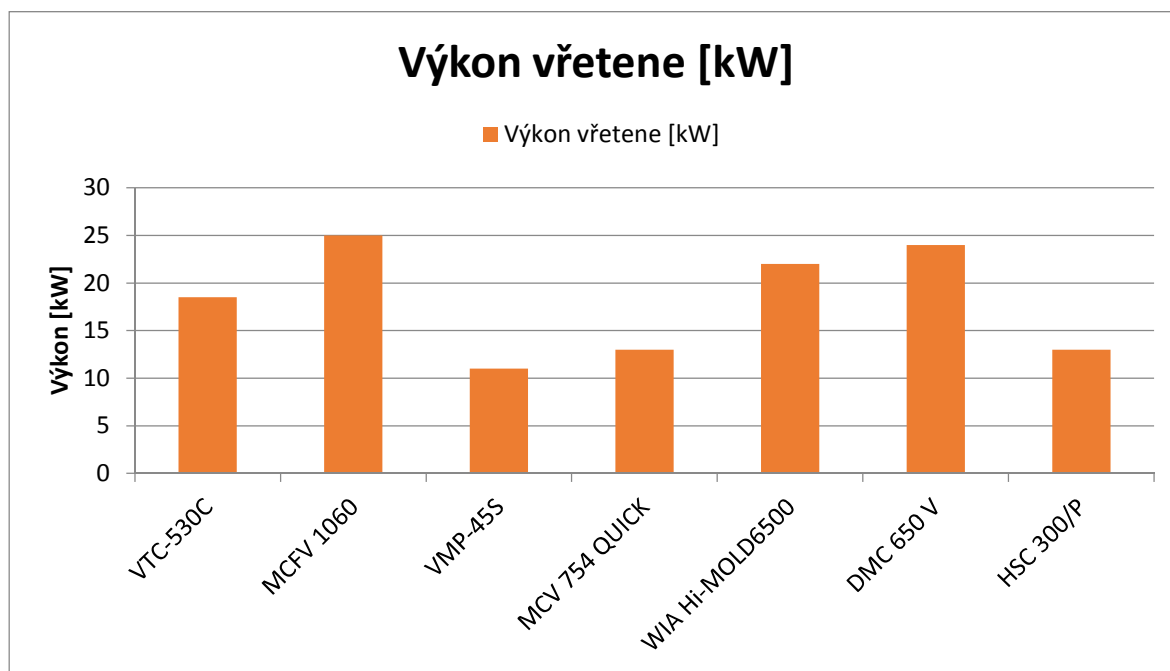
Obrázek 26 - konstrukční proces dle VDI 2221

Je závislý na parametrech s mnoha vzorci a vztahy, které se v průběhu procesu můžou upravovat. Proto se nedá jednoznačně určit posloupnost návrhu stroje a je nutné kontrolovat i předešlé návrhy s právě změněnými vztahy či vzorci. Většina analytických výpočtů je řešena takzvaných tabulkových hodnot. Pro tyto výpočty se používá Excel. Je to program, který se dá propojit s parametrickými CAD softwary. Toto se dá vypočítat například u kuličkového šroubu při výpočtu maximálních otáček kuličkového šroubu. Možnost propojení s parametrickým CAD softwarem má výhodu rychlejšího návrhu konstruktéra či rychlejšího vymodelování. [32][28]

4 VOLBA TYPU STROJE

U každého typu stroje bylo nutné porovnat jednotlivě parametry stroje. Každý parametr není ideální a nemusí být vhodný, ale z ergonomického hlediska a z hlediska cenového by se měl porovnat.

Díky předcházející analýze trhu jsem porovnal různé druhy strojů dle jednotlivých konstrukcí. Nejdůležitější je výběr jednotlivých vlastností stroje. U některých strojů nebyly parametry udány. Hlavním nejdůležitějším parametrem, jaký jsem zvolil, je výkon motoru pro pohon vřetene. Pro přehlednější porovnání jsem veškerá data posbíraná od jednotlivých výrobců sesumarizoval a vložil do grafu. Největší výkon vřetene je pro stroj MCFV 1060, kde se při maximálně volitelných parametrech se vyšplhaly až k 25kW. Kdežto nejnižší výkon vřetene byl použit u obráběcího stroje VMP-45S a to 11kW.



Obrázek 27 - Výkon vřetene jednotlivých strojů

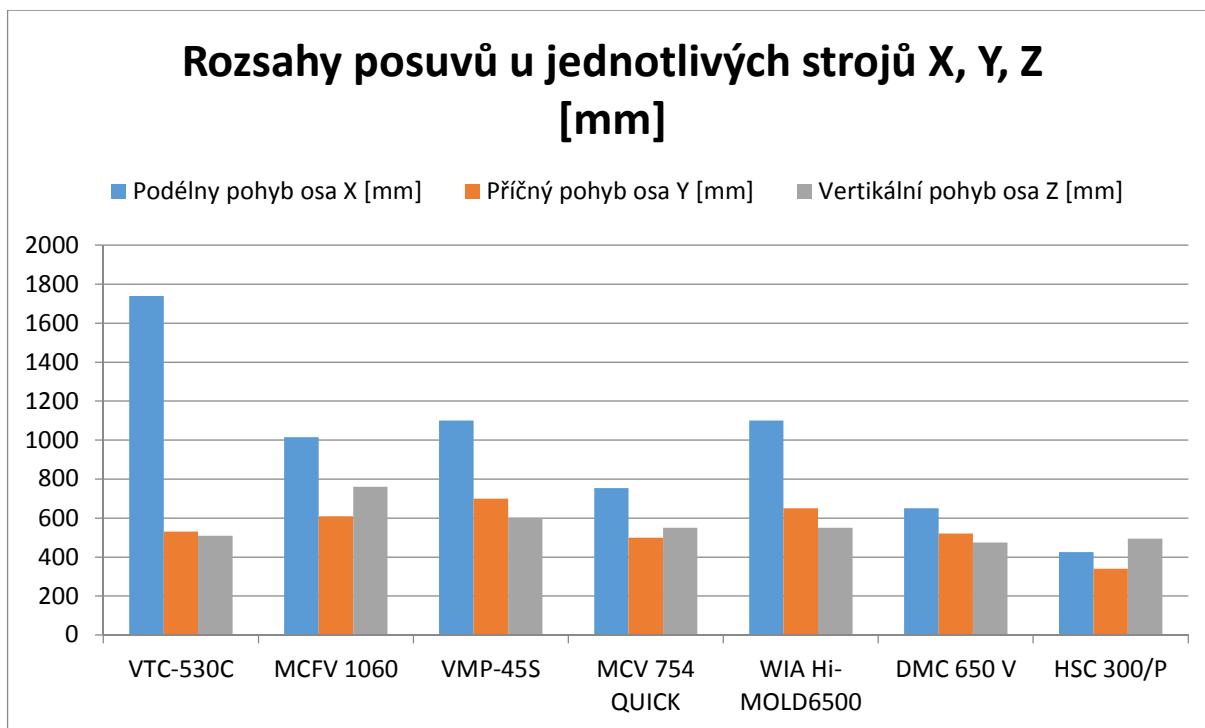
K dalším parametrům, které jsem porovnával, jsou rozsahy posuvů a v dalším grafu jsem porovnal rozměry stolů. V grafu je možno vidět, že v podélném pohybu v ose X na tom nejlépe vyšel VTC-530C, díky své konstrukci. V této diplomové práci bylo nutno porovnat spíše pohyb ve vertikální ose Z. Obráběcí stroje, který se ve vertikální ose může pohybovat nejvíce je MCFV 1060. Hodnota posuvu činí 760mm. Avšak úkolem bylo porovnat spíše stroje, který mají posuvy v ose Z okolo 500mm. Z těchto kritérií jsem vyloučil dva obráběcí stroje, který přesahovaly hodnotu 500mm více. Jednalo se o stroje MCFV 1060 a VMP-45S.

V porovnávací tabulce jsou stroje, které by mohly být vhodným obráběcím strojem, označil světle oranžovou barvou.

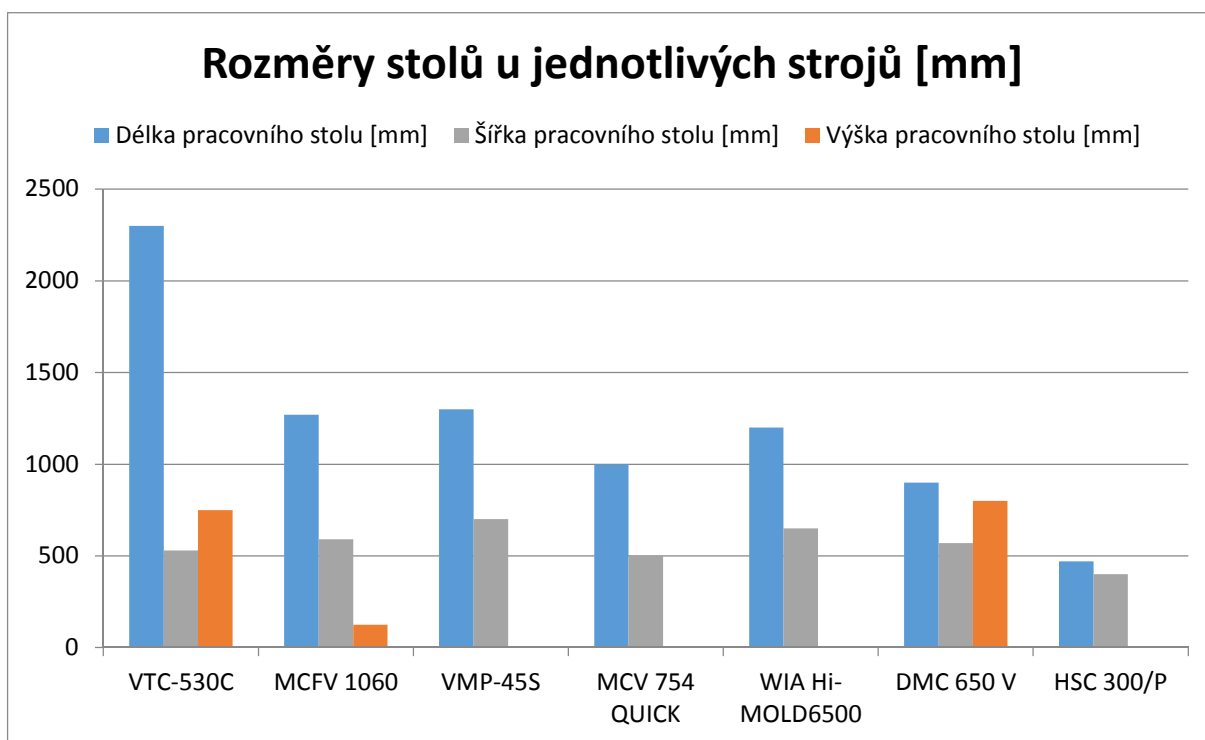
Tabulka 6 - Jednotlivé parametry stroje

Parametry stroje	Jednotky	VTC-530C	VMP-45S	MCV 754 QUICK	WIA Hi-MOLD6500	DMC 650 V	HSC 300/P	Navrhovaný stroj
Výška pracovního stolu	[mm]	750				800		
Délka pracovního stolu	[mm]	2300	1300	1000	1200	900	470	600
Šířka pracovního stolu	[mm]	530	700	500	650	570	400	400
Podélný pohyb osa X	[mm]	1740	1100	754	1100	650	425	794
Příčný pohyb osa Y	[mm]	530	700	500	650	520	340	704
Vertikální pohyb osa Z	[mm]	510	600	550	550	475	495	614
Maximální otáčky vřetene	[ot / min]	12000	15000	10000	24000	24000	42000	30000
Výkon vřetene	[kW]	18,5	11	13	22	24	13	26
Maximální rychloposuv	[m / min]	42	24	30	40	42		
Zrychlení	[m / s ²]					5	6	5
Počet kusů v zásobníku	[ks]	30	22	24	30	60	20	20
Čas výměny	[sekund]	4,4	7,1	3	2	2,2		

Na obrázcích je možno vidět jednotlivé rozsahy posuvů v grafu pro větší přehlednost. S velikostí rychloposuvu jde i spolu rozsahy posuvů a velikosti stolů. Z těchto porovnaní nejlépe vychází dva stroje. Jsou to obráběcí stroje od firmy Hyundai stroj WIA Hi-MOLD6500 a obráběcí stroje od firmy DMG Mori DMC 650V. Jejich vertikální pohyb je okolo 500mm viz tabulka.



Obrázek 28 - Rozsahy posuvů strojů



Obrázek 29 - Rozměry stolu strojů

5 NÁVRH KONSTRUKCE OBRÁBĚCÍHO CENTRA

Samotná konstrukce nového obráběcího centra bude využívána za podpory 3D programu CREO 2.0. Tento stroj by měl zvládnout obrábění do velikosti posuvu v ose Z a to jak do odlitku, tak do oceli. Obrobek by spíše měl být menších rozměrů, aby na větších strojích nezabíral prostor pro menší kusy. Dále také závisí na jeho zástavbových rozměrech, aby nezabíral hodně místa na hale. Pro návrh stroje jsem zvolil tyto parametry, které jsou zobrazeny v tabulce.

Tabulka 7 - Specifikace stroje

Specifikace	Velikost	Jednotky
Výkon motoru vřetene	26	[kW]
Rychloposuv	25	[m / min]
Rozsah posuvu osa X	794	[mm]
Rozsah posuvu osa Y	704	[mm]
Rozsah posuvu osa Z	614	[mm]
Délka pracovního stolu	600	[mm]
Šířka pracovního stolu	400	[mm]

5.1 Výpočty od obrábění pro materiál s měrnou řeznou silou 1800 MPa

Při výpočtech pro jednotlivé uzly je nutné definovat velikost obráběcích sil, které působí od jednotlivých nástrojů na obrobek. Tento výpočet musí být počítán pro materiál s nejvyšším řezným odporem. Tím je určeno, že stroj může obrábět materiály s nižším řezným odporem. V tabulce jsou zobrazeny vlastnosti materiálu pro ocel.

Tabulka 8 - Vlastnosti materiálu

Parametry materiálu	Hodnota	Jednotky
Tvrdost	180	[HB]
Měrná řezná síla	1800	[MPa]
Nárůst měrné řezné síly na tloušťce třísky	0,25	[-]

5.2 Volba nástroje pro čelní drážkování

Pro následující výpočet byl použit nástroj od firmy SECO nástroj s označením R217.69-1212.0-06-2AN. Nástroj, který se používá pro frézování rohu a drážkování. Jednotlivé parametry jsou převzaty z katalogu firmy SECO a jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 9 - Vlastnosti nástroje

Nástroj	rozměr	jednotky
Průměr nástroje	12	[mm]
Počet zubů nástroje	2	[-]
Nástrojový úhel	90	[°]
Nástrojový úhel čela	10	[°]
Řezná rychlost	180	[m*min ⁻¹]
Posuv na zub	0,05	[mm*zub ⁻¹]
Hloubka záběru	5	[mm]
Šířka záběru	12	[mm]

5.2.1 Výpočet sil od čelního frézování

Otáčky nástroje:

$$n_n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_n \cdot \pi} = \frac{180 \cdot 1000}{12 \cdot \pi} = 4774,6 \text{ min}^{-1} \quad 5-1$$

Kde

n_n [min⁻¹] otáčky nástroje,

v_c [m·min⁻¹] řezná rychlost,

D_n [mm] průměr nástroje.

Rychlost posuvu:

$$v_f = n \cdot z_n \cdot f_z = 4774,6 \cdot 2 \cdot 0,05 = 477,46 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad 5-2$$

Kde

V_f [mm·min⁻¹] rychlost posuvu,

F_z [mm·z⁻¹] rychlost posuvu na jeden břit,

z_n [-] počet břitů nástroje.

Úhly zubů v záběru pro i-tý břit:

$$\Phi_{z1} = 30^\circ,$$

$$\Phi_{z1} = 150^\circ,$$

Kde

Φ_{zi} [°] je úhel břiti v záběru.

Jmenovitá tloušťka třísky h_{Di} pro i-tý břit v záběru:

$$h_{Di} = f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \sin \varphi_{z1} = 0,05 \cdot \sin 90^\circ \cdot \sin 30^\circ = 0,025 \text{ mm} \quad 5-3$$

$$h_{Di} = f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \sin \varphi_{z1} = 0,05 \cdot \sin 90^\circ \cdot \sin 150^\circ = 0,025 \text{ mm}$$

5-4

Kde

h_{Di} [mm] jmenovitá tloušťka třísky pro i-tý břit v záběru,

κ_r [°] nástrojový úhel pro hlavní břit.

Jmenovitý průřez třísky A_{Di} pro i-tý břit v záběru:

$$A_{Di} = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_{z1} = 0,05 \cdot 5 \cdot \sin 30^\circ = 0,125 \text{ mm}^2$$

5-5

$$A_{Di} = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_{z1} = 0,05 \cdot 5 \cdot \sin 150^\circ = 0,125 \text{ mm}^2$$

5-6

Kde

A_{Di} [mm²] jmenovitý průřez třísky pro i-tý břit v záběru,

a_p [mm] hloubka záběru.

Měrná řezná síla při obrábění k_{ci} pro i-tý břit:

$$k_{c1} = \frac{k_{cI}}{h_{D1}^{m_c}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{1800}{0,025^{0,125}} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 2569,05 \text{ MPa}$$

5-7

$$k_{c2} = \frac{k_{cI}}{h_{D1}^{m_c}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{1800}{0,025^{0,125}} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 2569,05 \text{ MPa}$$

5-8

Kde

k_{cI} [MPa] měrná řezná síla v MPa,

k_{cI} [MPa] měrná řezná síla v MPa vztažená na 1mm²,

m_c [-] nárůst měrné řezné síly,

γ_0 [°] nástrojový ortogonální úhel čela.

Řezná síla F_{Ci} pro i-tý břit v záběru:

$$F_{C1} = A_{D1} \cdot k_{c1} = 0,125 \cdot 2569,05 = 321,1 \text{ N}$$

5-9

$$F_{C2} = A_{D2} \cdot k_{c2} = 0,125 \cdot 2569,05 = 321,1 \text{ N}$$

5-10

Kde

F_{ci} [N] řezná síla pro i-tý zub.

Celková řezná síla:

$$F_C = F_{C1} + F_{C2} = 321,1 + 321,1 = 642,26N \quad 5-11$$

Kroutící moment na nástroji:

$$M_{Kn} = F_C \cdot \frac{D_n}{2 \cdot 1000} = 642,26 \cdot \frac{12}{2 \cdot 1000} = 3,854N \cdot m \quad 5-12$$

Kde

M_k [Nm] kroutící moment v nástroji.

Řezný výkon:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} = \frac{642,26 \cdot 180}{6 \cdot 10^4} = 1,93kW \quad 5-13$$

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} = \frac{642,26 \cdot 180}{6 \cdot 10^4} = 1,93kW \quad 5-14$$

5.2.2 Vrtání

Pro výpočet určený sil od vrtání byl použit nástroj SECO Feedmax SD203 s geometrií M a vnějším průměrem 10mm. Vrták s touto geometrií je povlakován titanem a používá se pro materiály s vysokou tvrdostí a malým třením.

Tabulka 10 - Vlastnosti vrtáku

Nástroj	rozměr	jednotky
Průměr nástroje	10	[mm]
Počet zubů nástroje	2	[-]
Nástrojový úhel	140	[°]
Nástrojový úhel čela	30	[°]
Řezná rychlost	70	[m*min-1]
Posuv na zub	0,16	[mm/ot]
Hloubka záběru	3xD	[mm]
Šířka záběru	10	[mm]

5.2.3 Výpočet sil od od vrtání

Otáčky nástroje:

$$n_n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_n \cdot \pi} = \frac{70 \cdot 1000}{10 \cdot \pi} = 4456,4 \text{ min}^{-1} \quad 5-15$$

Kde

n_n [min-1] otáčky nástroje,

v_c [m·min-1] řezná rychlost,

D_n [mm] průměr nástroje.

Posuv na břit pro vrtání:

$$f_z = \frac{f_n}{Z_n} = \frac{0,16}{2} = 0,08 \quad 5-16$$

kde

f_n [mm] posuv otáčky na zub

Z_n [mm] počet zubů vrtáku.

Jmenovitá tloušťka třísky h_D při vrtání:

$$h_D = f_z \cdot \sin \kappa_r = 0,08 \cdot \sin 140^\circ = 0,051 \text{ mm} \quad 5-17$$

Kde

h_D [mm] jmenovitá tloušťka třísky pro i-tý břit v záběru,

κ_r [°] nástrojový úhel pro hlavní břit.

Jmenovitá šířka třísky h_D při vrtání:

$$b_D = \frac{D_n}{2 \cdot \sin \kappa_r} = \frac{10}{2 \cdot \sin 140} = 7,7786 \text{ mm} \quad 5-18$$

Jmenovitý průřez třísky:

$$A_D = h_d \cdot b_d = 0,051 \cdot 7,7786 = 0,3967 \text{ mm} \quad 5-19$$

Měrná řezná síla:

$$k_c = \frac{k_{cl}}{h_D^{mc}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{1800}{0,051^{0,25}} \cdot \left(1 - \frac{30}{100}\right) = 2651,42 \text{ MPa} \quad 5-20$$

Celková vrtací síla:

$$F_C = k_c \cdot A_D = 2651,42 \cdot 0,3967 = 1051,82 \text{ N} \quad 5-21$$

Síla vrtacího posuvu:

$$F_f = 0,5 \cdot k_c \cdot \frac{D_n}{2} \cdot f_n \cdot \sin \kappa_r = 0,5 \cdot 2651,42 \cdot \frac{10}{2} \cdot 0,16 \cdot \sin 140 = 681,72 \text{ N} \quad 5-22$$

Nástrojový kroutící moment:

$$M_k = 2 \cdot \frac{F_c}{2} \cdot \frac{D_n}{4 \cdot 1000} = 2 \cdot \frac{1051,82}{2} \cdot \frac{10}{4 \cdot 1000} = 2,63 Nm \quad 5-23$$

Řezný výkon:

$$P_c = \frac{Mk_n \cdot n_n}{9,55 \cdot 1000} = \frac{2,63 \cdot 4456,4}{9,55 \cdot 1000} = 1,23 kW \quad 5-24$$

5.3 Technické výpočty od obrábění

V tabulce jsou zobrazeny vlastnosti materiálu pro oceli s měrnou řeznou silou 1800MPa.

Tabulka 11 - Vlastnosti materiálu

Parametry materiálu	Hodnota	Jednotky
Tvrдость	180	[HB]
Měrná řezná síla	1800	[MPa]
Nárůst měrné řezné síly na tloušťce třísky	0,25	[-]

5.4 Volba nástroje pro čelní drážkování

Pro následující výpočet bypo pužit nástroj od firmy SECO nástroj s označením R217.53-C5-063-12-5A. Nástroj, který se používá pro frézování rohu a drážkování. Jednotlivé parametry jsou převzaty z katalogu firmy SECO a jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 12 - Vlastnosti nástroje

Nástroj	rozměr	jednotky
Průměr nástroje	63	[mm]
Počet břitů nástroje	5	[-]
Nástrojový úhel	45	[°]
Nástrojový úhel čela	10	[°]
Řezná rychlost	265	[m*min ⁻¹]
Posuv na zub	0,1	[mm*zub ⁻¹]
Hloubka záběru	4,5	[mm]
Šířka záběru	80	[mm]

5.4.1 Výpočet sil od čelního frézování

Otáčky nástroje:

$$n_n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_n \cdot \pi} = \frac{265 \cdot 1000}{63 \cdot \pi} = 1338,92 \text{ min}^{-1} \quad 5-25$$

Kde

n_n [min⁻¹] otáčky nástroje,

v_c [m·min⁻¹] řezná rychlost,

D_n [mm] průměr nástroje.

Rychlost posuvu:

$$v_f = n \cdot z_n \cdot f_z = 1338,92 \cdot 5 \cdot 0,1 = 669,46 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad 5-26$$

Kde

V_f [mm·min⁻¹] rychlost posuvu,

F_z [mm·z⁻¹] rychlost posuvu na jeden břit,

z_n [-] počet břitů nástroje.

Úhly zubů v záběru pro i-tý břit:

$$\Phi_{z1} = 30^\circ,$$

$$\Phi_{z1} = 150^\circ,$$

Kde

Φ_{zi} [°] je úhel břít v záběru.

Jmenovitá tloušťka třísky h_{Di} pro i-tý břit v záběru:

$$h_{Di} = f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \sin \varphi_{z1} = 0,1 \cdot \sin 90^\circ \cdot \sin 30^\circ = 0,05 \text{ mm} \quad 5-27$$

$$h_{Di} = f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \sin \varphi_{z1} = 0,1 \cdot \sin 90^\circ \cdot \sin 150^\circ = 0,05 \text{ mm} \quad 5-28$$

Kde

h_{Di} [mm] jmenovitá tloušťka třísky pro i-tý břit v záběru,

κ_r [°] nástrojový úhel pro hlavní břit.

Jmenovitý průřez třísky A_{Di} pro i-tý břit v záběru:

$$A_{Di} = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_{z1} = 0,1 \cdot 4,5 \cdot \sin 30^\circ = 0,225 \text{ mm}^2 \quad 5-29$$

$$A_{Di} = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_{z1} = 0,1 \cdot 4,5 \cdot \sin 150^\circ = 0,225 \text{ mm}^2 \quad 5-30$$

Kde

A_{Di} [mm²] jmenovitý průřez třísky pro i-tý břit v záběru,

a_p [mm] hloubka záběru.

Měrná řezná síla při obrábění kci pro i-tý břit:

$$k_{c1} = \frac{k_{cl}}{h_{D1}^{mc}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{1800}{0,05^{0,225}} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 3178,68 \text{MPa} \quad 5-31$$

$$k_{c2} = \frac{k_{cl}}{h_{D1}^{mc}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{1800}{0,05^{0,225}} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 3178,68 \text{MPa} \quad 5-32$$

Kde

k_{cl} [MPa] měrná řezná síla v MPa,

k_{cl} [MPa] měrná řezná síla v Mpa vztažená na 1mm²,

m_c [-] nárůst měrné řezné síly.

γ_0 [°] nástrojový ortogonální úhel čela.

Řezná síla F_{Ci} pro i-tý břit v záběru:

$$F_{C1} = A_{D1} \cdot k_{c1} = 0,225 \cdot 3178,68 = 715,2 \text{N} \quad 5-33$$

$$F_{C2} = A_{D2} \cdot k_{c2} = 0,225 \cdot 3178,68 = 715,2 \text{N} \quad 5-34$$

Kde

F_{ci} [N] řezná síla pro i-tý zub.

Celková řezná síla:

$$F_C = F_{C1} + F_{C2} = 715,2 + 715,2 = 1430,40 \text{N} \quad 5-35$$

Kroutící moment na nástroji:

$$M_{Kn} = F_C \cdot \frac{D_n}{2 \cdot 1000} = 1430,40 \cdot \frac{63}{2 \cdot 1000} = 45,05 \text{N} \cdot \text{m} \quad 5-36$$

Kde

M_k [Nm] kroutící moment v nástroji.

Řezný výkon:

$$P_c = \frac{F_C \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} = \frac{1712,94 \cdot 265}{6 \cdot 10^4} = 6,318 \text{kW} \quad 5-37$$

5.4.2 Vrtání

Pro výpočet určený sil od vrtání byl použit nástroj SECO Feedmax SD203 s geometrií M a vnějším průměrem 16mm. Vrták s touto geometrií je povlakován titanem a používá se pro materiály s vysokou tvrdostí a malým třením.

Tabulka 13 - Vlastnosti vrtáku

Nástroj	rozměr	jednotky
Průměr nástroje	16	[mm]
Počet zubů nástroje	2	[-]
Nástrojový úhel	140	[°]
Nástrojový úhel čela	30	[°]
Řezná rychlost	120	[m*min-1]
Posuv na zub	0,36	[mm/ot]
Hloubka záběru	3xD	[mm]
Šířka záběru	16	[mm]

5.4.3 Výpočet sil od vrtání

Otáčky nástroje:

$$n_n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_n \cdot \pi} = \frac{120 \cdot 1000}{16 \cdot \pi} = 2387,3 \text{ min}^{-1} \quad 5-38$$

Kde

n_n [min-1] otáčky nástroje,

v_c [m·min-1] řezná rychlost,

D_n [mm] průměr nástroje.

Posuv na břit pro vrtání:

$$f_z = \frac{f_n}{Z_n} = \frac{0,36}{2} = 0,18 \quad 5-39$$

kde

f_n [mm] posuv otáčky na zub

Z_n [mm] počet zubů vrtáku.

Jmenovitá tloušťka třísky h_D při vrtání:

$$h_D = f_z \cdot \sin \kappa_r = 0,18 \cdot \sin 140^\circ = 0,115 \text{ mm} \quad 5-40$$

Kde

h_D [mm] jmenovitá tloušťka třísky pro i-tý břit v záběru,

κ_r [°] nástrojový úhel pro hlavní břit.

Jmenovitá šířka třísky h_D při vrtání:

$$b_D = \frac{D_n}{2 \cdot \sin \kappa_r} = \frac{16}{2 \cdot \sin 140} = 12,445 \text{ mm} \quad 5-41$$

Jmenovitý průřez třísky:

$$A_D = h_d \cdot b_d = 0,115 \cdot 12,445 = 1,43 \text{ mm} \quad 5-42$$

Měrná řezná síla:

$$k_c = \frac{k_{cl}}{h_D^{m_c}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{1800}{0,115^{0,25}} \cdot \left(1 - \frac{30}{100}\right) = 2163,69 \text{ MPa} \quad 5-43$$

Celková vrtací síla:

$$F_C = k_c \cdot A_D = 2163,69 \cdot 1,43 = 3094,084 \text{ N} \quad 5-44$$

Síla vrtacího posuvu:

$$F_f = 0,5 \cdot k_c \cdot \frac{D_n}{2} \cdot f_n \cdot \sin \kappa_r = 0,5 \cdot 2163,69 \cdot \frac{16}{2} \cdot 0,36 \cdot \sin 140 = 2002,7 \text{ N} \quad 5-45$$

Nástrojový kroučící moment:

$$M_k = 2 \cdot \frac{F_C}{2} \cdot \frac{D_n}{4 \cdot 1000} = 2 \cdot \frac{3094,084}{2} \cdot \frac{16}{4 \cdot 1000} = 12,376 \text{ Nm} \quad 5-46$$

Řezný výkon:

$$P_c = \frac{M k_n \cdot n_n}{9,55 \cdot 1000} = \frac{12,376 \cdot 2387,3}{9,55 \cdot 1000} = 3,09 \text{ kW} \quad 5-47$$

5.5 Výpočty od obrábění pro materiál s měrnou řeznou silou 700 MPa

Při výpočtech pro jednotlivé uzly je nutné definovat velikost obráběcích sil, které působí od jednotlivých nástrojů na obrobek. Tento výpočet musí být počítán pro materiál ze slitin hliníku. Tím je určeno, že stroj může obrábět materiály s nižším řezným odporem. V tabulce jsou zobrazeny vlastnosti materiálu pro ocel.

Tabulka 14 - Vlastnosti materiálu

Parametry materiálu	Hodnota	Jednotky
Tvrдость	130	[HB]
Měrná řezná síla	700	[MPa]
Nárůst měrné řezné síly na tloušťce třísky	0,25	[-]

5.6 Volba nástroje pro čelní drážkování

Pro následující výpočet byl použit nástroj od firmy SECO nástroj s označením R217.69-1212.0-06-2AN. Nástroj, který se používá pro frézování rohu a drážkování. Jednotlivé parametry jsou převzaty z katalogu firmy SECO a jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 15 - Vlastnosti nástroje

Nástroj	rozměr	jednotky
Průměr nástroje	12	[mm]
Počet zubů nástroje	2	[-]
Nástrojový úhel	90	[°]
Nástrojový úhel čela	10	[°]
Řezná rychlost	805	[m*min ⁻¹]
Posuv na zub	0,14	[mm*zub ⁻¹]
Hloubka záběru	6	[mm]
Šířka záběru	12	[mm]

5.6.1 Výpočet sil od čelního frézování

Otáčky nástroje:

$$n_n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_n \cdot \pi} = \frac{805 \cdot 1000}{12 \cdot \pi} = 21353,6 \text{ min}^{-1} \quad 5-48$$

Kde

n_n [min-1] otáčky nástroje,

v_c [m·min-1] řezná rychlost,

D_n [mm] průměr nástroje.

Rychlost posuvu:

$$v_f = n \cdot z_n \cdot f_z = 21353,6 \cdot 2 \cdot 0,14 = 5978,92 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad 5-49$$

Kde

V_f [mm·min⁻¹] rychlost posuvu,

F_z [mm·z⁻¹] rychlost posuvu na jeden břit,

z_n [-] počet břitů nástroje.

Úhly zubů v záběru pro i-tý břit:

$$\Phi_{z1}=30^\circ,$$

$$\Phi_{z1}=150^\circ,$$

Kde

Φ_{zi} [°] je úhel břit v záběru.

Jmenovitá tloušťka třísky h_{Di} pro i-tý břit v záběru:

$$h_{Di} = f_z \cdot \sin\kappa_r \cdot \sin\varphi_{z1} = 0,14 \cdot \sin90^\circ \cdot \sin30^\circ = 0,07mm \quad 5-50$$

$$h_{Di} = f_z \cdot \sin\kappa_r \cdot \sin\varphi_{z1} = 0,14 \cdot \sin90^\circ \cdot \sin150^\circ = 0,07mm \quad 5-51$$

Kde

h_{Di} [mm] jmenovitá tloušťka třísky pro i-tý břit v záběru,

κ_r [°] nástrojový úhel pro hlavní břit.

Jmenovitý průřez třísky A_{Di} pro i-tý břit v záběru:

$$A_{Di} = f_z \cdot a_p \cdot \sin\varphi_{z1} = 0,14 \cdot 6 \cdot \sin30^\circ = 0,42mm^2 \quad 5-52$$

$$A_{Di} = f_z \cdot a_p \cdot \sin\varphi_{z1} = 0,14 \cdot 6 \cdot \sin150^\circ = 0,42mm^2 \quad 5-53$$

Kde

A_{Di} [mm²] jmenovitý průřez třísky pro i-tý břit v záběru,

a_p [mm] hloubka záběru.

Měrná řezná síla při obrábění kci pro i-tý břit:

$$k_{c1} = \frac{k_{c1}}{h_{D1}^{mc}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{700}{0,07^{0,42}} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 1924,86MPa \quad 5-54$$

$$k_{c2} = \frac{k_{c1}}{h_{D1}^{m_c}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{700}{0,025^{0,125}} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 1924,86 \text{ MPa}$$

5-55

Kde

k_{c1} [MPa] měrná řezná síla v MPa,

k_{c1} [MPa] měrná řezná síla v MPa vztažená na 1 mm^2 ,

m_c [-] nárůst měrné řezné síly,

γ_0 [°] nástrojový ortogonální úhel čela.

Řezná síla F_{Ci} pro i -tý břit v záběru:

$$F_{C1} = A_{D1} \cdot k_{c1} = 0,42 \cdot 1924,86 = 808,44 \text{ N} \quad 5-56$$

$$F_{C2} = A_{D2} \cdot k_{c2} = 0,42 \cdot 1924,86 = 808,44 \text{ N} \quad 5-57$$

Kde

F_{ci} [N] řezná síla pro i -tý zub.

Celková řezná síla:

$$F_C = F_{C1} + F_{C2} = 808,44 + 808,44 = 1616,88 \text{ N} \quad 5-58$$

Kroutící moment na nástroji:

$$M_{Kn} = F_C \cdot \frac{D_n}{2 \cdot 1000} = 1616,88 \cdot \frac{12}{2 \cdot 1000} = 9,70 \text{ N} \cdot \text{m} \quad 5-59$$

Kde

M_k [Nm] kroutící moment v nástroji.

Řezný výkon:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} = \frac{1616,88 \cdot 805}{6 \cdot 10^4} = 21,69 \text{ kW} \quad 5-60$$

5.6.2 Vrtání

Pro výpočet určený sil od vrtání byl použit nástroj SECO Feedmax SD203 s geometrií M a vnějším průměrem 10mm. Vrták s touto geometrií je povlakován titanem a používá se pro materiály s vysokou tvrdostí a malým třením.

Tabulka 16 - Vlastnosti vrtáku

Nástroj	rozměr	jednotky
Průměr nástroje	10	[mm]
Počet zubů nástroje	2	[-]
Nástrojový úhel	140	[°]
Nástrojový úhel čela	30	[°]
Řezná rychlost	160	[m*min-1]
Posuv na zub	0,32	[mm/ot]
Hloubka záběru	3xD	[mm]
Šířka záběru	10	[mm]

5.6.3 Výpočet sil od vrtání

Otáčky nástroje:

$$n_n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_n \cdot \pi} = \frac{160 \cdot 1000}{10 \cdot \pi} = 5092,96 \text{min}^{-1} \quad 5-61$$

Kde

n_n [min-1] otáčky nástroje,
 v_c [m·min-1] řezná rychlost,
 D_n [mm] průměr nástroje.

Posuv na břit pro vrtání:

$$f_z = \frac{f_n}{Z_n} = \frac{0,32}{2} = 0,16 \quad 5-62$$

kde

f_n [mm] posuv otáčky na zub
 Z_n [mm] počet zubů vrtáku.

Jmenovitá tloušťka třísky h_D při vrtání:

$$h_D = f_z \cdot \sin \kappa_r = 0,16 \cdot \sin 140^\circ = 0,08 \text{mm} \quad 5-63$$

Kde

h_D [mm] jmenovitá tloušťka třísky pro i-tý břit v záběru,

κ_r [°] nástrojový úhel pro hlavní břit.

Jmenovitá šířka třísky h_D při vrtání:

$$b_D = \frac{D_n}{2 \cdot \sin \kappa_r} = \frac{10}{2 \cdot \sin 140} = 7,7786 \text{ mm} \quad 5-64$$

Jmenovitý průřez třísky:

$$A_D = h_d \cdot b_d = 0,08 \cdot 7,7786 = 0,622 \text{ mm} \quad 5-65$$

Měrná řezná síla:

$$k_c = \frac{k_{cl}}{h_D^{mc}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{700}{0,08^{0,16}} \cdot \left(1 - \frac{30}{100}\right) = 734,01 \text{ MPa} \quad 5-66$$

Celková vrtací síla:

$$F_c = k_c \cdot A_D = 734,01 \cdot 0,622 = 456,55 \text{ N} \quad 5-67$$

Síla vrtacího posuvu:

$$F_f = 0,5 \cdot k_c \cdot \frac{D_n}{2} \cdot f_n \cdot \sin \kappa_r = 0,5 \cdot 734,01 \cdot \frac{10}{2} \cdot 0,32 \cdot \sin 140 = 377,45 \text{ N} \quad 5-68$$

Nástrojový krouticí moment:

$$M_k = 2 \cdot \frac{F_c}{2} \cdot \frac{D_n}{4 \cdot 1000} = 2 \cdot \frac{456,55}{2} \cdot \frac{10}{4 \cdot 1000} = 1,14 \text{ Nm} \quad 5-69$$

Řezný výkon:

$$P_c = \frac{Mk_n \cdot n_n}{9,55 \cdot 1000} = \frac{1,14 \cdot 5092,96}{9,55 \cdot 1000} = 0,61 \text{ kW} \quad 5-70$$

5.7 Technické výpočty od obrábění

V tabulce jsou zobrazeny vlastnosti materiálu pro oceli s měrnou řeznou silou 700MPa.

Tabulka 17 - Vlastnosti materiálu

Parametry materiálu	Hodnota	Jednotky
Tvrdost	130	[HB]
Měrná řezná síla	700	[MPa]
Nárůst měrné řezné síly na tloušťce třísky	0,25	[-]

5.8 Volba nástroje pro čelní drážkování

Pro následující výpočet byl použit nástroj od firmy SECO nástroj s označením R217.53-C5-063-12-5A. Nástroj, který se používá pro frézování rohu a drážkování. Jednotlivé parametry jsou převzaty z katalogu firmy SECO a jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 18 - Vlastnosti nástroje

Nástroj	rozměr	jednotky
Průměr nástroje	63	[mm]
Počet břitů nástroje	5	[-]
Nástrojový úhel	45	[°]
Nástrojový úhel čela	10	[°]
Řezná rychlost	870	[m*min ⁻¹]
Posuv na zub	0,16	[mm*zub ⁻¹]
Hloubka záběru	4,5	[mm]
Šířka záběru	63	[mm]

5.8.1 Výpočet sil od čelního frézování

Otáčky nástroje:

$$n_n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_n \cdot \pi} = \frac{870 \cdot 1000}{63 \cdot \pi} = 4395,70 \text{min}^{-1}$$

5-71

Kde

n_n [min⁻¹] otáčky nástroje,

v_c [m·min⁻¹] řezná rychlost,

D_n [mm] průměr nástroje.



Rychlost posuvu:

$$v_f = n \cdot z_n \cdot f_z = 4395,70 \cdot 5 \cdot 0,16 = 3516,57 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

5-72

Kde

V_f [mm·min⁻¹] rychlost posuvu,

F_z [mm·z⁻¹] rychlost posuvu na jeden břit,

z_n [-] počet břitů nástroje.

Úhly zubů v záběru pro i-tý břit:

$$\Phi_{z1}=30^\circ,$$

$$\Phi_{z1}=150^\circ,$$

Kde

Φ_{zi} [°] je úhel břit v záběru.

Jmenovitá tloušťka třísky h_{Di} pro i-tý břit v záběru:

$$h_{Di} = f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \sin \varphi_{z1} = 0,16 \cdot \sin 90^\circ \cdot \sin 30^\circ = 0,08 \text{ mm}$$

5-73

$$h_{Di} = f_z \cdot \sin \kappa_r \cdot \sin \varphi_{z1} = 0,16 \cdot \sin 90^\circ \cdot \sin 150^\circ = 0,08 \text{ mm}$$

5-74

Kde

h_{Di} [mm] jmenovitá tloušťka třísky pro i-tý břit v záběru,

κ_r [°] nástrojový úhel pro hlavní břit.

Jmenovitý průřez třísky A_{Di} pro i-tý břit v záběru:

$$A_{Di} = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_{z1} = 0,16 \cdot 4,5 \cdot \sin 30^\circ = 0,36 \text{ mm}^2$$

5-75

$$A_{Di} = f_z \cdot a_p \cdot \sin \varphi_{z1} = 0,16 \cdot 4,5 \cdot \sin 150^\circ = 0,36 \text{ mm}^2$$

5-76

Kde

A_{Di} [mm²] jmenovitý průřez třísky pro i-tý břit v záběru,

a_p [mm] hloubka záběru.

Měrná řezná síla při obrábění k_{ci} pro i-tý břit:

$$k_{c1} = \frac{k_{cI}}{h_{D1}^{mc}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{700}{0,08^{0,36}} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 1563,97 \text{MPa} \quad 5-77$$

$$k_{c2} = \frac{k_{cI}}{h_{D1}^{mc}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{700}{0,08^{0,36}} \cdot \left(1 - \frac{10}{100}\right) = 1563,97 \text{MPa} \quad 5-78$$

Kde

k_{cI} [MPa] měrná řezná síla v MPa,

k_{cI} [MPa] měrná řezná síla v MPa vztažená na 1mm^2 ,

m_c [-] nárůst měrné řezné síly.

γ_0 [°] nástrojový ortogonální úhel čela.

Řezná síla F_{Ci} pro i -tý břit v záběru:

$$F_{C1} = A_{D1} \cdot k_{c1} = 0,36 \cdot 1563,97 = 563,03 \text{N} \quad 5-79$$

$$F_{C2} = A_{D2} \cdot k_{c2} = 0,36 \cdot 1563,97 = 563,03 \text{N} \quad 5-80$$

Kde

F_{ci} [N] řezná síla pro i -tý zub.

Celková řezná síla:

$$F_C = F_{C1} + F_{C2} = 563,03 + 563,03 = 1126,05 \text{N} \quad 5-81$$

Kroutící moment na nástroji:

$$M_{Kn} = F_C \cdot \frac{D_n}{2 \cdot 1000} = 1126,05 \cdot \frac{63}{2 \cdot 1000} = 35,47 \text{N} \cdot \text{m} \quad 5-82$$

Kde

M_k [Nm] kroutící moment v nástroji.

Řezný výkon:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} = \frac{1712,94 \cdot 265}{6 \cdot 10^4} = 16,33 \text{kW} \quad 5-83$$

5.8.2 Vrtání

Pro výpočet určený sil od vrtání byl použit nástroj SECO Feedmax SD203 s geometrií M a vnějším průměrem 16mm. Vrták s touto geometrií je povlakován titanem a používá se pro materiály s vysokou tvrdostí a malým třením.

Tabulka 19 - Vlastnosti vrtáku

Nástroj	rozměr	jednotky
Průměr nástroje	16	[mm]
Počet zubů nástroje	2	[-]
Nástrojový úhel	140	[°]
Nástrojový úhel čela	30	[°]
Řezná rychlost	160	[m*min-1]
Posuv na zub	0,51	[mm/ot]
Hloubka záběru	3xD	[mm]
Šířka záběru	16	[mm]

5.8.3 Výpočet sil od vrtání

Otáčky nástroje:

$$n_n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_n \cdot \pi} = \frac{160 \cdot 1000}{16 \cdot \pi} = 3183,10 \text{ min}^{-1} \quad 5-84$$

Kde

n_n [min-1] otáčky nástroje,

v_c [m·min-1] řezná rychlost,

D_n [mm] průměr nástroje.

Posuv na břit pro vrtání:

$$f_z = \frac{f_n}{Z_n} = \frac{0,51}{2} = 0,255 \quad 5-85$$

kde

f_n [mm] posuv otáčky na zub

Z_n [mm] počet zubů vrtáku.

Jmenovitá tloušťka třísky h_D při vrtání:

$$h_d = f_z \cdot \sin \kappa_r = 0,255 \cdot \sin 140^\circ = 0,164 \text{ mm} \quad 5-86$$

Kde

H_d [mm] jmenovitá tloušťka třísky pro i-tý břit v záběru,

κ_r [°] nástrojový úhel pro hlavní břit.

Jmenovitá šířka třísky h_d při vrtání:

$$b_D = \frac{D_n}{2 \cdot \sin \kappa_r} = \frac{16}{2 \cdot \sin 140} = 12,445 \text{ mm} \quad 5-87$$

Jmenovitý průřez třísky:

$$A_D = h_d \cdot b_d = 0,164 \cdot 12,445 = 2,04 \text{ mm} \quad 5-88$$

Měrná řezná síla:

$$k_c = \frac{k_{cl}}{h_D^{m_c}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{700}{0,164^{0,255}} \cdot \left(1 - \frac{30}{100}\right) = 776,98 \text{ MPa} \quad 5-89$$

Celková vrtací síla:

$$F_C = k_c \cdot A_D = 776,98 \cdot 2,04 = 1585,043 \text{ N} \quad 5-90$$

Síla vrtacího posuvu:

$$F_f = 0,5 \cdot k_c \cdot \frac{D_n}{2} \cdot f_n \cdot \sin \kappa_r = 0,5 \cdot 776,98 \cdot \frac{16}{2} \cdot 0,51 \cdot \sin 140 = 1018,84 \text{ N} \quad 5-91$$

Nástrojový krouticí moment:

$$M_k = 2 \cdot \frac{F_C}{2} \cdot \frac{D_n}{4 \cdot 1000} = 2 \cdot \frac{1585,043}{2} \cdot \frac{16}{4 \cdot 1000} = 6,34 \text{ Nm} \quad 5-92$$

Řezný výkon:

$$P_c = \frac{M_k \cdot n_n}{9,55 \cdot 1000} = \frac{6,34 \cdot 3183,10}{9,55 \cdot 1000} = 2,11 \text{ kW} \quad 5-93$$

5.9 Výběr vřetena

Pro výběr vřetena je důležité určit jakým pohonem a převodem bude poháněn. Dále je nutné zjistit, jaká bude zástavba vřetena, upínací kužel a těsnění. Vřeteno je jedním z nejdůležitějších prvků na celém stroji, jelikož jsou od něj udávána kvalita výrobků.



Obrázek 30 - Vřeteno obráběcího stroje

Do této diplomové práce bylo použito elektrovřeteno od firmy GMN HV-P 150 - 30000/26. V jehož názvu jsou jednotlivé parametry. Průměr vřetena je 150mm, maximální otáčky 30000/min a výkonem krátkodobým 26kW. Toto elektrovřeteno využívá upínací kužel HSK-C 63.

Tabulka 20 - Parametry elektrovřetena HV-P 150-30000/23

Parametry elektrovřetena	Jednotky	HV-P 150 - 30000/23
Vnější průměr	[mm]	150
Maximální otáčky vřetene	[ot / min]	30000
Průměr předního ložiska	[mm]	45
Upínací kužel		HSK-C 63
Frekvence	[Hz]	1000
Nominální napětí	[V]	350
Výkon	[kW]	23
Kroutící moment	[Nm]	14,6
...při	[ot / min]	15000
Proud	[A]	60
Axiální tuhost	[N/μm]	121
Radiální tuhost	[N/μm]	197

5.10 Výběr a výpočet lineárního vedení

Jako lineární vedení bude použito valivé lineární vedení s valivými elementy od firmy THK. Toto valivé vedení se využívá pro menší odvalovací odpory mezi kuličkami a klecí oproti kluznému vedení. Při rozbězích a nízkých otáčkách může docházet u kluzného vedení k trhavým pohybům, což může ovlivnit kvalitu výrobku. Vedení s valivými elementy dosahuje větším vibracím oproti kluznému vedení, ale na druhou stranu má delší životnost a jsou levnější na výrobu. Profilové lineární vedení obsahuje oběžné řady kuliček je určeno pro aplikace s vysokými požadavky na tuhost a únosnost. Lineární vedení obsahuje vozík, kde jsou umístěny 4 řady oběžných řad s kuličkami, a kolejnici s dotykem 45°.

Hlavní součást celého stroje je lineární vedení. Je potřeba pro něj stanovit výpočet na návrh stroje a dále si vybrat akceptující typ lineárního vedení. Důležité pro výpočet lineárního vedení musí být počítáno s extrémními podmínkami, i když ve skutečných podmínkách nenastane. Frézovací maximální síla, která odpovídá hodnotě 1616,88N, není stálá a nemusí úplně odpovídat této hodnotě. Závisí také na počtu břitů se kterými se počítá. Zde byl použit nástroj s dvěma břity po 120°. Vypočítaná hodnota může být přibližná, ale dle mých výpočtů by neměla být překročena. Obráběcí centrum je určeno pro obrábění obrobků z lehkých slitin hliníku a taky pro obrábění konstrukčních ocelí, je potřeba určit maximální hodnoty životnosti lineárního vedení pro maximální zatížení pracovního stolu až do celkové váhy 1500 kg. Výpočet závisí na maximální dynamické síle, která působí na jednotlivé vozíky. Vozíky nejsou zatěžovány nejvyšším statickým krouticím momentem a statickou silou. Pro následující výpočet byly použity maximální hodnoty statického krouticího momentu a maximální statické síly.

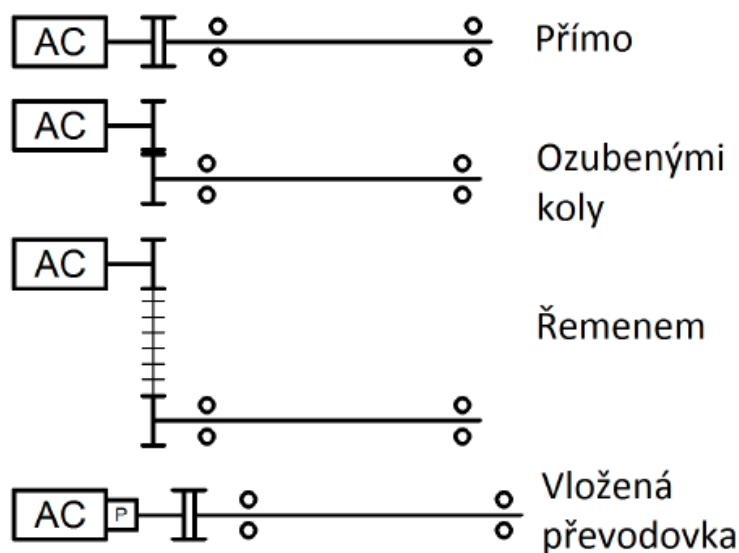
Hodnoty pro navrhovaný stroj jsou uvedeny v tabulce. S tím, že u zrychlení jsem uvedl hodnotu co se používá u porovnávacích strojů.

Tabulka 21 - Parametry maximálních hodnot obrábění

Maximální	Jednotky	Hodnota
Zrychlení	m/s ²	5
Síla od frézování	N	1616,32
Krouticí moment frézování	Nm	45,05
Síla od vrtání	N	3094,084
Krouticí moment od vrtání	Nm	12,376
Rychloposuv	m/min	40

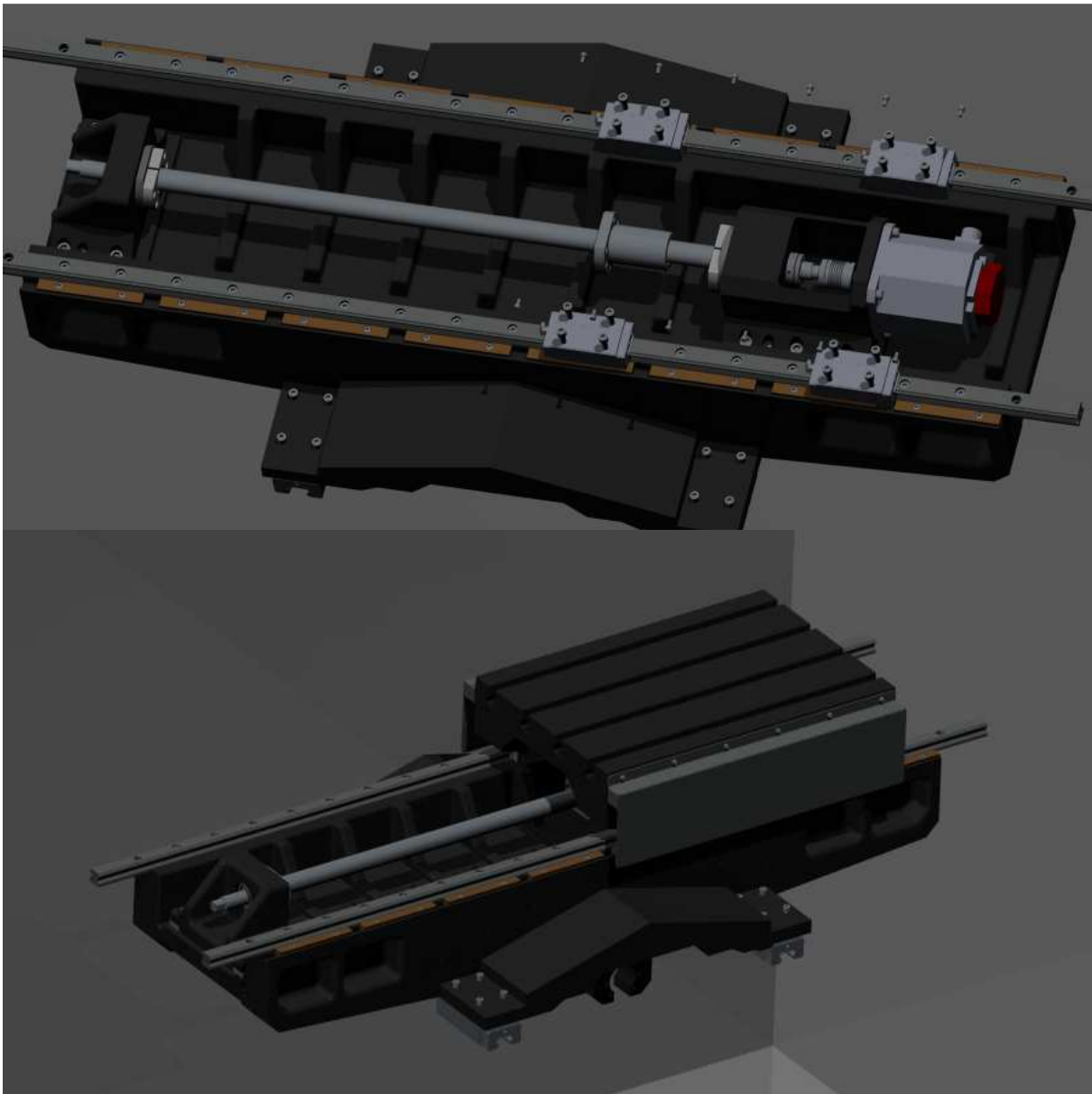
5.11 Výpočet lineárního vedení pro křížový stůl

Tento parametr je důležitý z hlediska pohybu osy, jejichž základními složkami jsou posuvová rychlost, zrychlení, velikosti sil od obrábění. Pro navrhovaný stroj bude navržen přímý pohon s kuličkovým šroubem. Pro detailnější přehled přenosu krouticího momentu od motoru ukazuje následující obrázek.



Obrázek 31 - Způsoby přenosu kroutícího momentu

Na stroji je použito přímého zapojení od motoru. Jako pohon slouží motor od firmy Fanuc Beta IS 8. Otáčky motoru 3000 ot/min. Vysokootáčkový motor s vysoce přesným servořízením. Pro přenos kroutícího momentu z motoru byla použita spojka Rotex od firmy KTR, která zvládne přenést až 15000 ot/min s kroutícím momentem 12Nm. Spojka je vyrobena z nerezové oceli. Dále jsou zde radiální ložiska s kosoúhlým stykem a maticí. Tato matice drží vnitřní kroužek ložisek a z druhé strany je druhá matice, která zadržuje vnější kroužek ložiska. Pro posuv stolu je zajištěno pomocí lineárního vedení od firmy THK. Na každém lineárním vedení jsou 2 vozíky. Tyto vozíky jsou mazány tukem, čili na každé z nich jsou přívodní maznice pro vtlačení tuku.



Obrázek 32 - Osa X navrhovaného stroje

Tabulka 22 - Vstupní údaje pro výpočet únosnosti

Zatížení vozíků	Hodnota	Jednotky
Statická maximální síla	21,625	kN
Statický maximální moment	1,58	kNm

U výpočtů statické únosnosti, kde základní veličinou je statická maximální síla, je potřeba uvést statický faktor zatížení. Tento faktor je zobrazen v následující tabulce.

Tabulka 23 - Faktor zatížení

Statický bezpečnostní faktor	f
Normální zatížení	1,25 - 3,00
Zatížení s rázy	3,00 - 5,00

Následující výpočet spočítá potřebnou statickou únosnost a potřebný statický moment. Do výpočtu je zahrnut i koeficient zatížení s hodnotou 4, kde zatížení je i s rázy a vibracemi.

$$C_{0P} = P_s \cdot 4 = 21625 \cdot 4 = 86500N \quad 5-94$$

$$M_{0P} = M_s \cdot 4 = 1580 \cdot 4 = 6320Nm \quad 5-95$$

kde

f	-	Statický bezpečností faktor
C_{0P}	N	Statická únosnost
P_s	N	Statická maximální síla
M_s	Nm	Statický maximální moment
M_{0P}	Nm	Statický moment

Bylo zvoleno lineární vedení HSR 30LR. Základní statické zatížení na vozík je 91,7 kN a maximální přípustný moment udávaný THK je 7,13 kNm pro použití dvou vozíku a dynamické zatížení vozíku je 65 kN.

Výpočet životnosti lineárního vedení je počítán na maximální hodnoty.

$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{P}\right)^3 \cdot 50000 = \left(\frac{65000}{21625}\right)^3 \cdot 50000 = 1357818,51m \quad 5-96$$

kde

L	M	Nominální životnost
C_{dyn}	N	Dynamická únosnost
P	N	Dynamická ekvivalentní zatížení
50000	-	Hodnota pro válečkové vedení

Pro přesnější výpočet životnosti musí být vzat v úvahu ještě další faktory, který ovlivňují životnost. Faktor, který dle mého názoru by mohl nejvíce ovlivnit životnost, je faktor zatížení. Tento faktor ovlivňuje statická a dynamická únosnost. Dalšími faktory jsou faktor teploty a faktor tvrdosti. Faktor teploty ovlivňuje vedení od teplot vyšších než 100°C.

$$L = \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot C_{dyn}}{f_w \cdot P} \right)^3 \cdot 50000 = \left(\frac{1 \cdot 1 \cdot 65000}{1,5 \cdot 21625} \right)^3 \cdot 50000 = 402316,59m$$

L	M	Nominální životnost
C _{dyn}	N	Dynamická únosnost
P	N	Dynamická ekvivalentní zatížení
f _w	-	Faktor zatížení
f _T	-	Faktor teploty
f _H	-	Faktor tvrdosti

Typ zatížení	Pojezdová rychlost	f _w
žádné rázy a vibrace	V < 15 m/min	1,0-1,2
malé rázy	15 m/min < V < 60 m/min	1,2-1,5
normální zatížení	60 m/min < V < 120 m/min	1,5-2,0
s rázy a vibracemi	V > 120 m/min	2,0-3,5

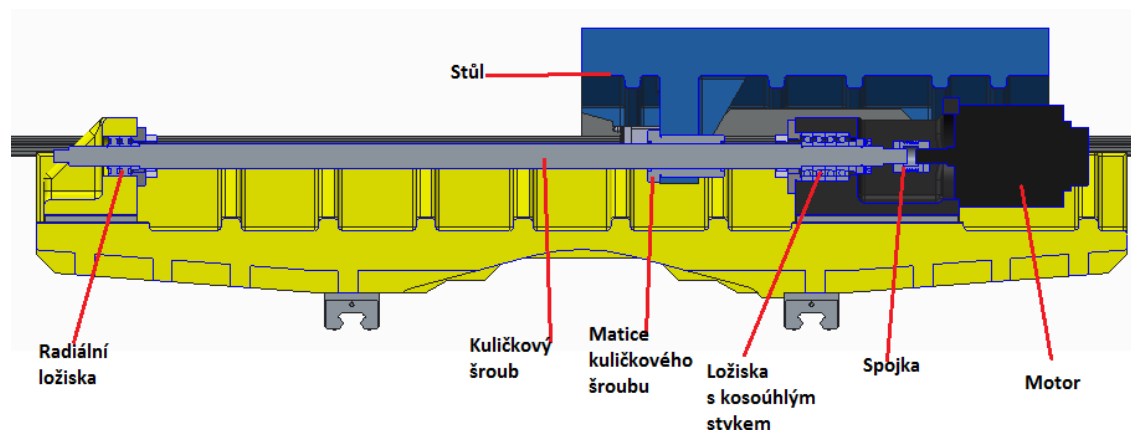
Obrázek 33 - Faktor zatížení

Dále je nutné spočítat životnost lineárního vedení. S ohledem na rychlost posuvu, která zatím nelze určit, bude rychlost posuvu pracovního stolu určena později. Nyní bude počítáno s rychlostí posuvu 20 m/min. V následující rovnici vyšla životnost velmi nízká, je to z důvodu, že bylo počítáno s největším zatížením. Největší zatížení však na stroji nebude celou dobu chodu.

$$L_h = \frac{L}{v \cdot 60} = \left(\frac{C_{dyn}}{P} \right)^3 \cdot \frac{50000}{20 \cdot 60} = \left(\frac{65000}{21625} \right)^3 \cdot \frac{50000}{20 \cdot 60} = 1131,51h$$

5.12 Výpočet pohonu pro kuličkový šroub

Pohony pro kuličkové šrouby os X, Y a Z musí být navrženy tak, aby při všech řezných operacích byly splněny požadavky. Jako nejvhodnější a nejvíce používaný způsob je kuličkový šroub s předepnutou maticí. Kuličkový šroub byl vybrán od firmy THK. U výběru dále hrálo roli způsob přenosu krouticího momentu od motoru. Nejvíce používaný přenos krouticího momentu je přenos napřímo viz následující obrázek.



Obrázek 34 - Posun stolu

Byl vybrán kuličkový šroub o průměru 32mm a stoupáním 12 mm s označením DIK 321-4. Tato matice byla vybrána z důvodu konstrukce a zástavbových rozměrů a statické a dynamické únosnosti. Konstrukce má vnitřní dráhu se 4 body dotyku. V důsledku nedochází k žádné diferenciálnímu skluzu nebo protáčení a minimalizuje krouticí moment a generování tepla. Díky tomu má vysokou přesnost po dlouho dobu. Pro výpočet životnosti bylo nutné zvolit akceleraci kuličkového šroubu. Jelikož mnoho výrobců neuvádí tuto hodnotu vzal jsem průměrnou hodnotu akcelerace 5 m/s^2 .

Tabulka 24 - Parametry pro výpočet kuličkového šroubu

Parametry pro výpočet životnosti kuličkového šroubu	Hodnota	Jednotky
Rychlost pracovního stolu osy x	20	mmin-1
Jmenovitý průměr kuličkového šroubu THK	32	mm
Průměr hřídele kuličkového šroubu	26,4	mm
Stoupání závitu šroubu	12	mm

Vzdálenost mezi podpěrnými body kuličkového šroubu	844	mm
Koeficient uložení	1,88	-
Koeficient závislosti na uložení	2,05	-
Maximální otáčkový faktor	90000	-
Dynamická únosnost matice	40400	N
Maximální axiální síla působící na kuličkový šroub	86500	N
Maximální síla působící na kuličkový šroub dynamická	21625	N

Kuličkové šrouby nesmějí pracovat v oblastech kritických otáček. Kritické otáčky jsou závislé na délce mezi ložisky, průměru kuličkového šroubu a uložení konců. Maximální otáčky kuličkového šroubu by se měly pohybovat do 80% kritických otáček. Pro přepočítání maximálních otáček po čítání s posuvem 20 m min^{-1} .

$$n = \frac{v}{s} = \frac{20}{0,012} = 1666,67 \text{ min}^{-1} \quad 5-99$$

kde

n min^{-1} Rychlost posuvu

s m Stoupání

V katalogu výrobce HIWIN byl vybrán koeficient uložení kuličkového šroubu. Který je potřebný pro výpočet životnosti a kritických otáček.

Potřebný výpočet kritických otáček kuličkového šroubu

$$n_k = k_d \cdot \frac{d_k}{l_k^2} \cdot 10^8 = 1,88 \cdot \frac{26,4}{844^2} \cdot 10^8 \quad 5-100$$

$$= 6967,49 \text{ ot}$$

kde

n_k min^{-1} Kritické otáčky

k_d - Koeficient uložení kuličkového šroubu

d_k mm Průměr hřídele kuličkového šroubu

l_k mm Vzdálenost mezi podpěrnými body kuličkového šroubu

Maximální dovolené otáčky se pohybují do 80% kritických otáček.

$$n_{max} = 0,8 \cdot n_k = 0,8 \cdot 6967,49 = 5573,99 \text{ min}^{-1} \quad 5-101$$

Při kontrole kuličkového šroubu je patrné, že kuličkový šroub vyhovuje.

$$n_{max} \geq n$$

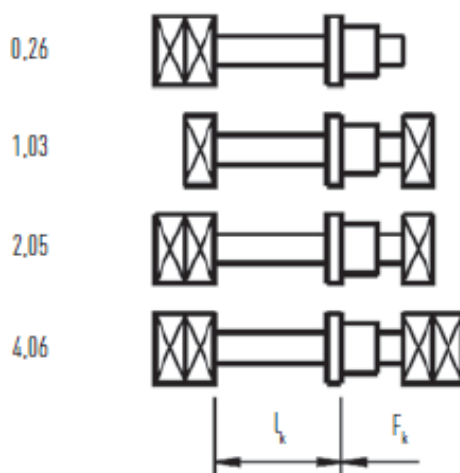
Pro kontrolu je nutné spočítat maximální velikost otáčkového faktoru. Tento faktor ovlivňuje obíhavost kuliček v kanálech matice.

$$D_n = d_j \cdot n = 32 \cdot 1666,67 = 53333,44 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad 5-102$$

$$Dn_{max} \geq Dn$$

$$90000 \geq 53333,44 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Aby nedošlo k deformaci kuličkového šroubu, musí být spočítána teoretická maximální axiální síla. Bude záležet na vzdálenosti mezi podpěrnými body, průměru a způsobu uložení kuličkového šroubu. Avšak maximální síla se pohybuje v 50% teoretické kritické síly.



Obrázek 35 - Koeficient uložení konců kuličkového šroubu

$$F_k = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_k^2} \cdot 10^5 = 2,05 \cdot \frac{26,4^4}{844^2} \cdot 10^5 = 139792,75 \text{ N} \quad 5-103$$

kde

k_k - Koeficient uložení konců kuličkového šroubu

Maximální zatížení na kuličkový šroub.

$$F_{kmax} = 0,5 \cdot F_k = 69896,38 \text{ N} \quad 5-104$$

5.13 Výpočet pohonu pro kuličkový šroub

5.13.1 Statické hledisko

Jeho životnost je závislá na spektru jeho zatížení v čase, plynulosti chodu, na vibracích při obrábění, na pracovní teplotě. Proto tento výpočet se spíše bude počítat na stroji finálním.

Tabulka 25 - Jednotlivé parametry pro statické, kinematické a dynamické hledisko

Parametry pro pohon motoru	Hodnota	Jednotky
Rychlost pracovního stolu osy x	20	m·min ⁻¹
Hmotnost pohyblivých os a obrobku	1500	kg
Maximální zrychlení	5	m·s ⁻²
Gravitační zrychlení	9,82	m·s ⁻²
Úhel sklonu vedení	0	°
Stoupání závitu KŠ	12	mm
Součinitel vodících ploch	0,005	-
Průměr hřídele pro ložiska	25	mm
Účinnost kuličkového šroubu	0,92	-
Součinitel KŠM	0,003	N
Střední průměr KŠM	29,2	mm
Moment setrvačnosti rotoru servomotoru	19100	kg·mm ²
Moment setrvačnosti pružné spojky	8600	kg·mm ²
Moment setrvačnosti KŠM	3913,7	kg·mm ²
Počet valivých ložisek	5	-

Pro zjištění statického krouticího momentu od servomotoru, který je nutné zjistit maximální možné zatížení.

Statický moment zatížení od tíhové složky vyjde nulová, protože sklonění je nulové.

$$M_G = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_c} = 0 \text{ N} \cdot \text{m} \quad 5-105$$

Výpočet momentu zátěže od třecích sil.

$$M_{GT} = \frac{m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot \eta_s} = \frac{1500 \cdot 9,82 \cdot 0,005 \cdot \cos 0 \cdot 0,012}{2 \cdot \pi \cdot 0,92} = 0,1529 \text{ N} \cdot \text{m} \quad 5-106$$

kde

M_{GT} Nm Moment zátěže od třecích sil

f - Součinitel tření valivého vedení

Výpočet momentu zátěže od třecích sil v ložisku a předepnutí kuličkového šroubu. Pro tento výpočet nebyl brán ohled na třecí momenty, konstrukce ložiska nebo například od maziva.

$$M_L = \frac{0,5 \cdot (F_A + m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_L \cdot f_3}{i} =$$

5-107

$$= \frac{0,5 \cdot (3094,084 + 1500 \cdot 9,82 \cdot \cos 1 \cdot 0,005) \cdot 0,025 \cdot 0,003}{1} = 0,1188 N \cdot m$$

kde

M_L	Nm	Moment zátěže od třecích sil v ložisku
f_3	-	Součinitel tření redukováný na poloměr čepu
d_l	mm	Průměr hřídele ložiska

Síla pro předepnutí matice kuličkového šroubu

$$F_{PM} = 0,35 \cdot F_A = 0,35 \cdot 3094,084 = 1082,9 N$$

5-108

$$M_{K\check{S}M} = \frac{F_{PM} \cdot S}{2 \cdot \pi} \cdot (1 - \eta_s^2) + \frac{0,5 \cdot (F_A + m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_s \cdot f_3}{i \cdot \eta_P \cdot \eta_L} =$$

$$= \frac{1082,9 \cdot 0,012}{2 \cdot \pi} \cdot (1 - 0,92) +$$

$$+ \frac{0,5 \cdot (3094,084 + 1500 \cdot 9,82 \cdot \cos 1 \cdot 0,005) \cdot 0,0292 \cdot 0,003}{1} = 0,317628 + 0,139$$

$$M_{K\check{S}M} = 0,4567 N \cdot m$$

kde

$M_{K\check{S}M}$	Nm	Moment od zátěže kuličkové šroubu
η_s	-	Účinnost KŠM
d_s	mm	Střední průměr hřídele kuličkového šroubu
f_2	-	Ekvivalentní součinitel tření v KŠM redukováný na poloměr

Celkový statický moment zátěže redukováný na hřídel servomotoru:

$$M_{ZSRHM} = M_G + M_{GT} + M_L + M_{K\check{S}M} = 0 + 0,1529 + 0,1188 + 0,4567$$

5-109

$$M_{ZSRHM} = 0,7284 N \cdot m$$

Potřebný moment servomotoru z hlediska statického:

$$M_{MS} = \frac{F_A \cdot S}{2 \cdot \pi \cdot \eta} + M_{ZSRHM} = \frac{3094,084 \cdot 0,012}{2 \cdot \pi} + 0,7284 = 6,637 N \cdot m$$

5-110

5.13.2 Kinematické hledisko

Kinematické hledisko se počítá z důvodu úhlového zrychlení servomotoru. Je to důležité hledisko dynamiky stroje. Také z hlediska maximální časů na rozběh je důležité spočítat za jakou vzdálenost se rozběhne na určité zrychlení.

Čas pro dosažení navrhované rychlosti pohybu osy při zrychlení 5ms^{-2} .

$$t_{r1} = \frac{v}{a_x} = \frac{20}{5} = 0,066\text{s} \quad 5-111$$

Čas pro rozběh při rychlosti 20m/s je 0,066s, pokud by bylo možné, zvýšení rychlosti na 25m/s.

$$t_{r1} = \frac{v}{a_x} = \frac{25}{5} = 0,0833\text{s} \quad 5-112$$

Při tomto porovnání je možné zvýšit rychlosti pohybu os na 25m/s, kdy čas rozběhu by byl 0,0833s.

Dráha při maximální rychlosti 20m/s.

$$s_{r1} = \frac{1}{2} \cdot a_x \cdot t_r^2 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 0,066^2 = 0,0109\text{m} \quad 5-113$$

Dráha při maximální rychlosti 25m/s.

$$s_{r1} = \frac{1}{2} \cdot a_x \cdot t_r^2 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 0,0833^2 = 0,0139\text{m} \quad 5-114$$

Úhlové zrychlení KŠM a motoru:

$$\varepsilon_s = \frac{a_x \cdot 2 \cdot \pi}{s} = \frac{5 \cdot 2 \cdot \pi}{0,012} = 2617,994\text{rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad 5-115$$

5.13.3 Dynamické hledisko

Dynamické hledisko se počítá pro případ setrvačnosti jednotlivých os s obrobkem. Pro výpočet celkového dynamického momentu je potřeba spočítat úhlové zrychlení servomotoru, a celkový dynamický moment zátěže. Dále je nutné zkontrolovat u vybraného servomotoru poměr motoru kotvy a redukovaného setrvačného momentu na hřídel servomotoru.

Celkový dynamický moment

$$M_{ZDRHM} = M_G + M_{GT} + M_{K\check{S}M} = 0 + 0,1529 + 0,4567 = 0,6096\text{N} \cdot \text{m} \quad 5-116$$

Redukovaný moment setrvačnosti posuvných hmot:

$$J_m = m \cdot \left(\frac{s}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 1500 \cdot \left(\frac{0,012}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 0,005471 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad 5-117$$

Celkový moment setrvačnosti redukovaný na hřídel servomotoru:

$$J_{RHM} = J_{MOT} + \frac{J_{SP}}{I_P^2} + \frac{J_S}{I_P^2} + \frac{J_m}{I_P^2} = 0,0191 + \frac{0,0086}{1^2} + \frac{0,003913}{1^2} + \frac{0,005471}{1^2} \quad 5-118$$

$$J_{RHM} = 0,0371 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

kde

J_{MOT}	Moment setrvačnosti servomotoru	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
J_{SP}	Moment setrvačnosti pružné spojky	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
J_m	Redukovaný moment setrvačnosti	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
J_S	Moment setrvačnosti KŠM	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$

Z dynamického hlediska je nutný krouticí moment servomotoru:

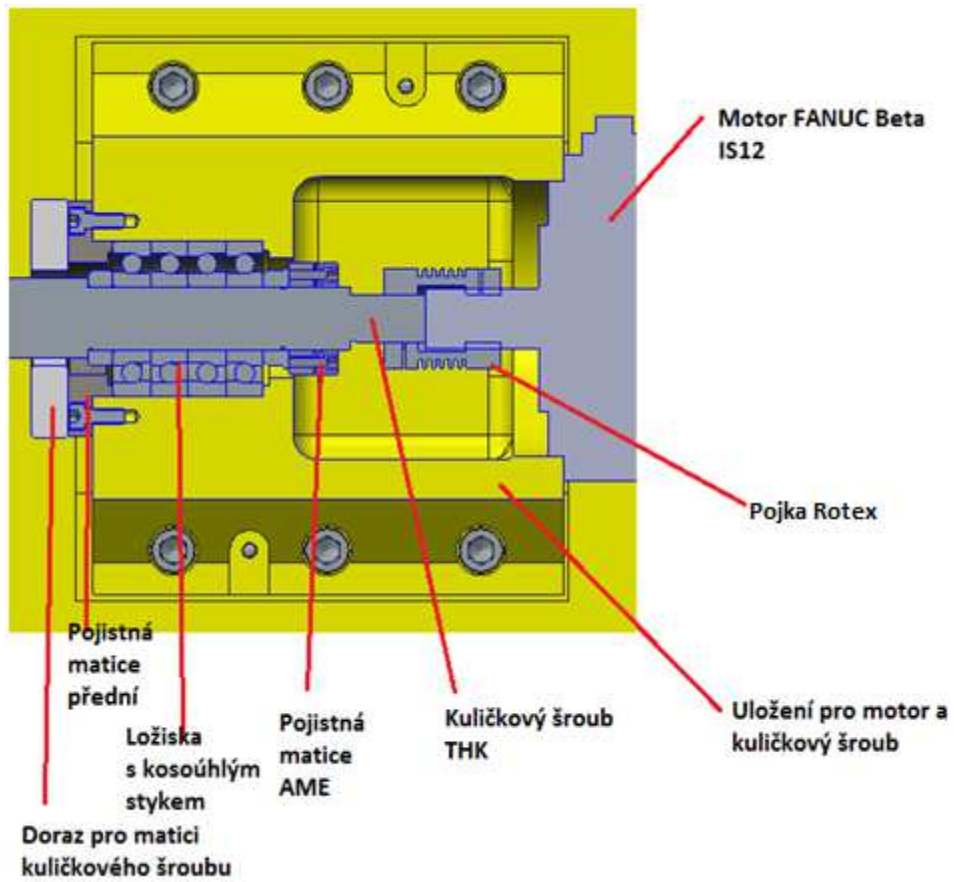
$$M_m = J_{rhm} \cdot \varepsilon_m + M_{ZDRHM} = 0,0371 \cdot 2617,994 + 0,6096 = 97,69 \text{ N} \cdot \text{m} \quad 5-119$$

Dále je nutné zkontrolovat poměry momentů setrvačnosti motoru a celkového momentu setrvačnosti.

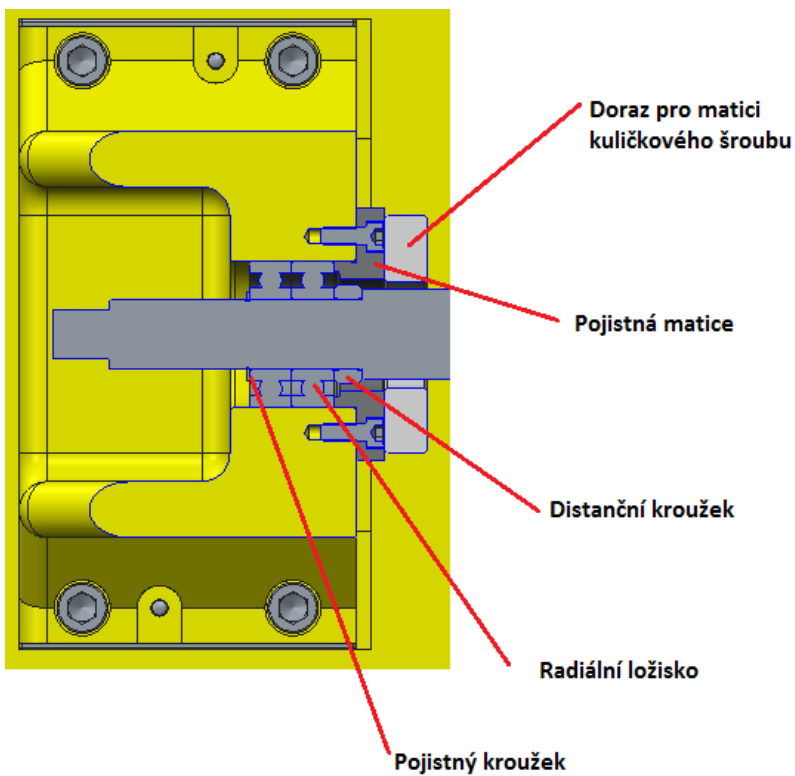
$$\Delta_{dyn} = \frac{J_{RHM}}{J_{MOT}} = \frac{0,0371}{0,0191} = 1,94 \quad 5-120$$

5.13.4 Uložení kuličkového šroubu

Firma THK nenabízí domečky pro uložení, proto byl navrhnut vlastní. NA následujícím obrázku je vidět uspořádání na straně motoru. Motor přenášející krouticí výkon je přišroubován 4 šrouby k domečku. Pro přenos krouticího momentu je použita spojka od firmy Ringfeder. Je namontována na výstupní hřídel motoru a na hřídel kuličkového šroubu pomocí upínacích nábojů. Pomocí pojistné matice od firmy AME drží vnitřní kroužky ložisek v axiálním směru a z opačné strany je namontována pojistná matice, která drží vnější kroužky ložisek. Na této pojistné matici je přišroubován kroužek pro doraz matice kuličkového šroubu. Na druhé straně je použit pojistný kroužek pro hřídele pro zachycení vnitřního kroužku ložiska. Dále je použito ložisko radiální ložisko od firmy Schaeffler a pojistná matice. Pro radiální je nutné spočítat životnost.



Obrázek 36 - Uspořádání na straně motoru



Obrázek 37 - Uspořádání na druhé straně KŠM

5.13.5 Výpočet životnosti radiálního ložiska

Pro životnost byla použita maximální síla z vypočtených operací. Výpočet byl proveden dle SKF s kontrolou výpočtů od FAG.

Tabulka 26 - Hodnoty pro výpočet životnosti radiálních ložisek

Výpočet radiálních ložisek	Hodnota	Jednotky
Dynamická únosnost ložisek	26000	N
Maximální síla obráběcích operací	3094,084	N
Počet radiálních ložisek	2	-
Střední otáčky KŠM	833	ot/min

$$P = \frac{F_A}{i} = \frac{3094,084}{2} = 1547,042N \quad 5-121$$

kde

F_A N Ztěžující síla na ložiska

i - Počet radiálních ložisek

$$L_h = \frac{16666}{n} \cdot \left(\frac{C_{dyn}}{P}\right)^3 = \frac{16666}{833} \cdot \left(\frac{26000}{1547,042}\right)^3 = 94972,99h \quad 5-122$$

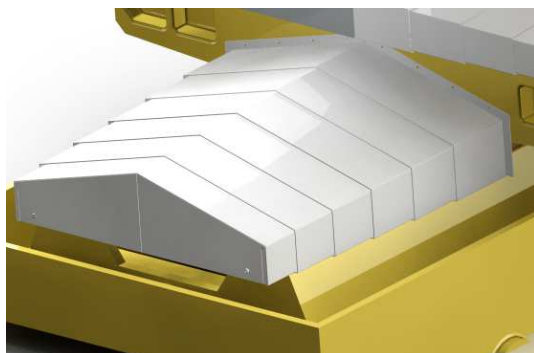
kde

L_H h Životnost ložiska

C_{dyn} N Dynamické zatížení na ložisko

5.14 Krytování pohyblivých částí

Firma HENNING prodává kompletní ocelové kryty poháněné pantografem a skloněné, aby třísky nezůstávali na krytech. Kde první plech je přišroubován k pohyblivému stolu a druhý konec je uchycen k nepohyblivému loži.



Obrázek 38 - Krytování

5.15 Lože

Lože základní část celého stroje. Závisí na tuhosti, odolnosti proti opotřebení vodících ploch, dynamické stabilitě a také ovlivňuje přesnost obrábění. Při konstrukci lože byl brán zřetel následující požadavky:

- Kvalita materiálu rámu,
- Dobrá statická tuhost,
- Dynamická a tepelná stabilita,
- Jednoduchá výroba,
- Snadná manipulovatelnost,
- Dobré uložení na základ.

Materiály pro nosné konstrukce obráběcích strojů se dělí do čtyř skupin.

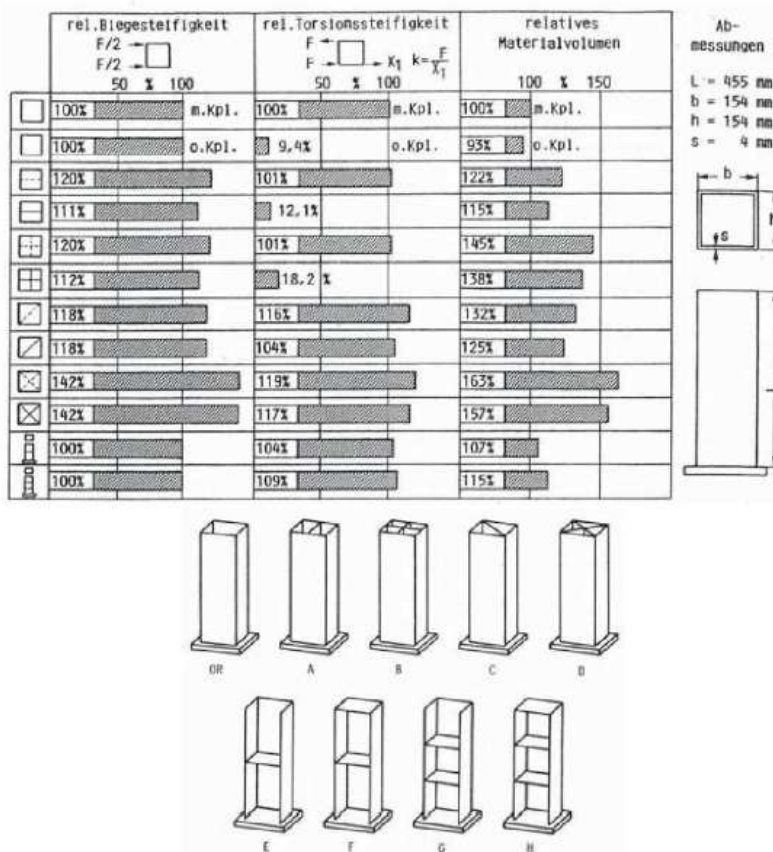
- Kovové – litina, ocelolitina, ocel (svarky, odlitky),
- Nekovové – hydrobeton, plastobeton, kompozitní materiály,
- Kombinované – ocelový svarek a výplň tlumícím materiálem,
- Kámen – žula

V dnešní době se využívají nejčastěji konvenční materiály např. svařovaná ocel a šedá litina z ekonomického důvodu a díky konstrukčním vlastnostem.

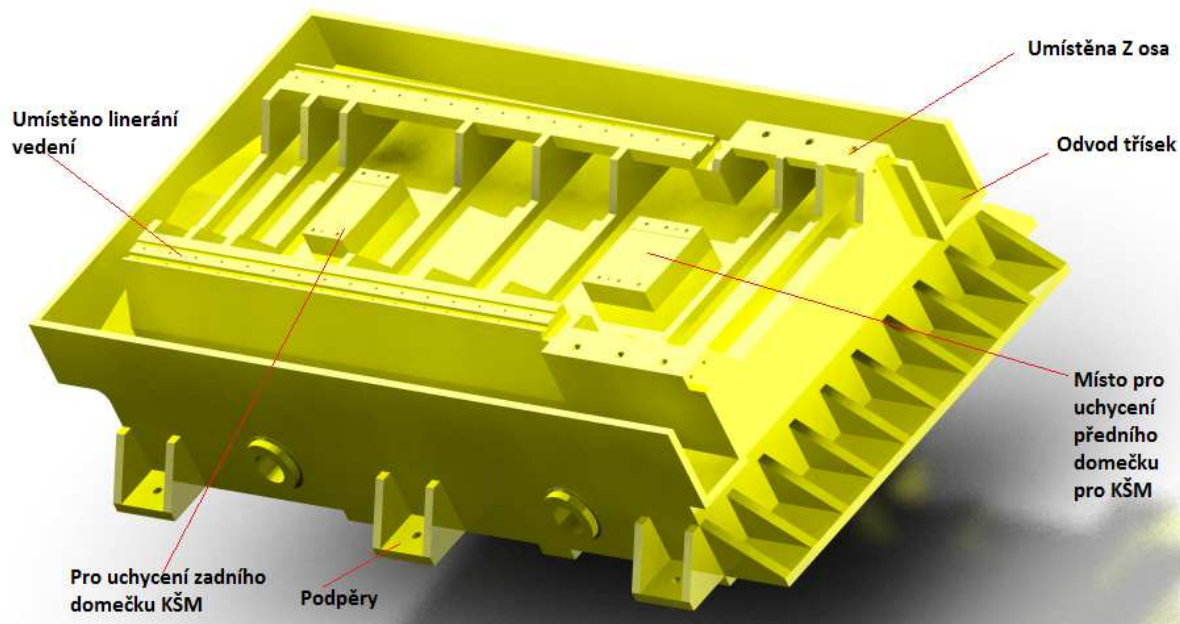
- Levná výroba prototypů,
- Tlumení u šedé litiny,
- Lehčí konstrukce u svařovaného rámu.

U konstrukce nosných částí stroje potřeba dosáhnout co největší tuhosti. Dosáhnutím co největší tuhosti rámu, lože nebo stojanu se dosáhne pomocnými žebry. Přidáním žebrováním se zvýší odolnost proti krutu a ohybu, které jsou nejčastějších prvkem deformace.[28][29][32]

Na lože jsou připojeny hlavní části vertikálního stroje. Na obrázku je možné vidět uspořádání jaké bylo zvoleno pro vertikální obráběcí centrum. U návrhu stolu byl brán zřetel výšku lože s ohledem na práci na něm. Na loži také umístěny otvory pro jednoduchý pohyb s ním. Celý lože je vyrobeno ze svařence o tloušťce 25 mm. Na loži byly přidány žebra pro vyšší tuhost a lepší odvod teploty. Po obvodu je celého lože zkosená plocha pro odvod třísek a chladící kapaliny.



Obrázek 39 - Žebra v nosné konstrukci

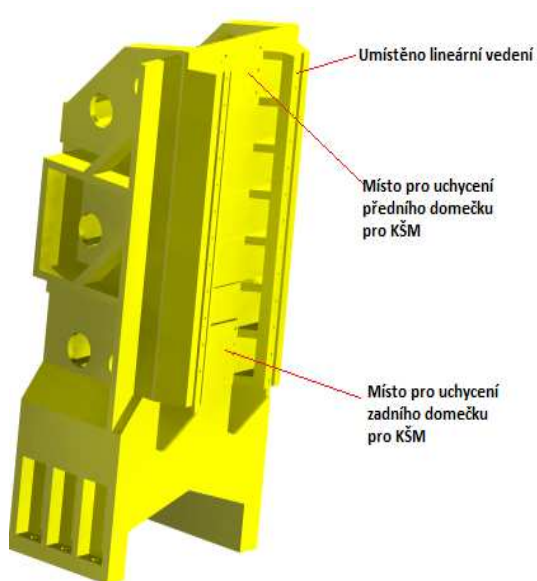


Obrázek 40 - Konstrukce lože a její uspořádání

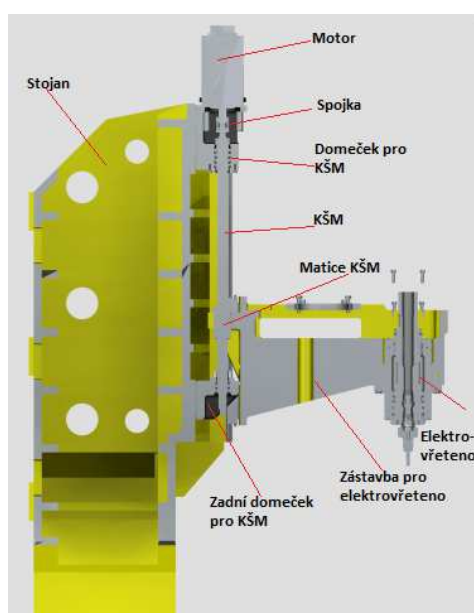
5.16 Stojan vertikální osy Z

Na tomto stojanu je umístěno nepohyblivě, který je připojeno k loži obráběcího stroje. Na dalším obrázku je možno vidět složení vertikální osy Z. Základ stojanu je svařen z

profilových plechů o tloušťce 20 mm a 25 mm z důvodu větší tuhosti. Spodní část stojanu slouží k upevnění k loži pomocí šroubů. Stojan by s tímto žebry měl umožnit i těžší součásti, které jsou na něm umístěny. Na okrajích jsou umístěny drážky pro kolejnice, na kterých jsou umístěny 2 vozíky. Na tyto vozíky je připevněn úchyt pro zástavbu, do které je umístěno elektrovřetenno. Tuto zástavbu ve vertikálním směru pohání motor od firmy Fanuc Beta IS 12. Vnější strana stojanu je připravena pro umístění kotouče na automatickou výměnu nástrojů. Na vertikální ose Z je obdobné uspořádání jako na ose X a Y. V horní části stojanu je umístěn domeček, kde je upevněn motor. Od motoru je přenášen kroutící moment na kuličkový šroub přes spojku ROTEX od firmy KTR. V předním domečku jsou umístěny 4 ložiska s kosoúhlým stykem.



Obrázek 41 - Stojan navrhovaného stroje



Obrázek 42 - Rozložení vertikální osy Z

5.16.1 Výpočet pohonu

U výpočtu pohodu pro vertikální osu je postupováno obdobně jako u výpočtů pohonu pro křížový stůl. Při návrhu vertikálního kuličkového šroubu byla zvolena stejná varianta kuličkového šroubu. Bylo vybrán kuličkový šroub od firmy THK s průměrem 32 mm a stoupání 12 mm. Kuličkový šroub je uložen v předním domečku čtyřmi ložisky s kosoúhlým stykem. Rozměry ložiska jsou od firmy FAG s rozměry 25 x 52 x 15 mm. Druhý konec kuličkového šroubu je uložen v domečku, kde se nachází 2 radiální ložiska. Ložisko je taktěž

od firmy FAG o rozměrech 25 x 52 x 15 mm. Kuličkový šroub je v obou koncích předeprnut, což má za výhodu, že kuličkový šroub je tužší. Tento způsob je nejvíce využíván.

5.16.2 Výpočet kuličkového šroubu

Výpočet kuličkového vychází dle doporučení od firmy HIWIN. U toho výpočtu bude potřeba zohlednit i váhu zástavby pro elektrovřetenou jak v pohybu svislém dolů tak ve směru nahoru. U této malé vertikální frézy není uvažováno s vyvažováním. Tento kuličkový šroub nebude tolik zatěžován, protože nenese tak velké zatížení jako křížový stůl.

Parametry pro výpočet životnosti kuličkového šroubu	Hodnota	Jednotky
Rychlost pracovního stolu osy x	30	mm ⁻¹
Jmenovitý průměr kul. Šroubu THK	32	mm
Průměr hřídele kuličkového šroubu	26,4	mm
Stoupání závitu šroubu	12	mm
Vzdálenost mezi podpěrnými body kuličkového šroubu	654	mm
Koeficient uložení	2,74	-
Koeficient závislosti na uložení	4,06	-
Maximální otáčkový faktor	90000	-
Dynamická únosnost matice	18,8	kN
Maximální axiální síla působící na kuličkový šroub	86500	N
Maximální síla působící na kuličkový šroub dynamická	21625	N

. Pro přepočtení maximálních otáček po čítáno s posuvem 30 m min⁻¹.

$$n = \frac{v}{s} = \frac{30}{0,012} = 2500 \text{ min}^{-1} \quad 5-123$$

kde

n min⁻¹ Rychlost posuvu

s m Stoupání

V katalogu výrobce HIWIN byl vybrán koeficient uložení kuličkového šroubu. Který je potřebný pro výpočet životnosti a kritických otáček.

Potřebný výpočet kritických otáček kuličkového šroubu

$$n_k = k_d \cdot \frac{d_k}{l_k^2} \cdot 10^8 = 2,74 \cdot \frac{26,4}{654^2} \cdot 10^8 = 16912,15 \text{ot} \quad 5-124$$

kde

n_k	min^{-1}	Kritické otáčky
k_d	-	Koeficient uložení kuličkového šroubu
d_k	mm	Průměr hřídele kuličkového šroubu
l_k	mm	Vzdálenost mezi podpěrnými body kuličkového šroubu

Maximální dovolené otáčky se pohybují do 80% kritických otáček.

$$n_{max} = 0,8 \cdot n_k = 0,8 \cdot 16912,15 = 13529,73 \text{min}^{-1} \quad 5-125$$

Při kontrole kuličkového šroubu je patrné, že kuličkový šroub vyhovuje.

$$n_{max} \geq n \quad 5-126$$

$$13529,73 \geq 2500 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Pro kontrolu je nutné spočítat maximální velikost otáčkového faktoru. Tento faktor ovlivňuje obíhání kuliček v matici.

$$D_n = d_j \cdot n = 32 \cdot 2500 = 80000 \text{mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad 5-127$$

$$Dn_{max} \geq Dn$$

$$90000 \geq 80000 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Výpočet maximálního zatížení na kuličkový šroub:

$$F_k = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_k^2} \cdot 10^5 = 2,05 \cdot \frac{26,4^4}{654^2} \cdot 10^5 = 232816,7 \text{N} \quad 5-128$$

kde

k_k	-	Koeficient uložení konců kuličkového šroubu
-------	---	---

Maximální zatížení na kuličkový šroub.

$$F_{kmax} = 0,5 \cdot F_k = 116405,3 \text{N} \quad 5-129$$

Pro výpočet životnosti kuličkového šroubu je nutné spočítat střední pracovní otáčky kuličkového šroubu. Z neznalosti budoucího obráběcího procesu se počítá s maximální silou od technologie. Je to z důvodu, že stroj nebude nikdy obrábět na maximální sílu od obráběcího procesu, ale v nějakém časovém interval pracovní doby.

Výpočet středních otáček KŠM:

$$n_m = \sum_{i=1}^x n_i \cdot \frac{t_i}{100} = 5000 \text{ min}^{-1} \quad 5-130$$

kde

t_i min-1 Čas provozu kuličkového šroubu v procentech

x - Počet proměnných cyklů

Výpočet středního zatížení KŠM při konstantním zatížení:

$$F_m = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^x F_i^3 \cdot \frac{t_i}{100}} = 1194 \text{ N} \quad 5-131$$

Výpočet středního zatížení při proměnlivém zatížení:

$$F_m = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^3 F_i^3 \cdot \frac{n_i \cdot t_i}{n_m \cdot 100}} = 649,3 \text{ N} \quad 5-132$$

Výpočet životnosti kuličkového šroubu:

$$L_o = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m}\right)^3 \cdot 10^6 = \left(\frac{18800}{1194}\right)^3 \cdot 10^6 = 3903557378 \text{ ot} \quad 5-133$$

Výpočet kuličkového šroubu v hodinách:

$$L_h = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_m \cdot 60} = \left(\frac{18800}{1194}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{5000 \cdot 60} = 13011,579 \text{ h} \quad 5-134$$

5.16.3 Statický výpočet servomotoru pro pohon kuličkového šroubu

Pro výpočet servomotoru jsou potřeba následující hodnoty.

Parametry pro pohon motoru	Hodnota	Jednotky
Rychlost pracovního stolu osy x	20	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
Hmotnost pohyblivých os a obrobku	205	kg
Maximální zrychlení	5	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Gravitační zrychlení	9,82	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Úhel sklonu vedení	0	°
Stoupání závitu KŠ	12	mm
Součinitel vodících ploch	0,005	-
Průměr hřídele pro ložiska	25	mm
Účinnost kuličkového šroubu	0,92	-
Součinitel KŠM	0,003	N

Střední průměr KŠM	29,2	mm
Moment setrvačnosti rotoru servomotoru	23000	kg·mm ²
Moment setrvačnosti pružné spojky	8600	kg·mm ²
Moment setrvačnosti KŠM	3913,7	kg·mm ²
Počet valivých ložisek	5	-

Pro zjištění statického kroutícího momentu od servomotoru, který je nutné zjistit maximální možné zatížení.

$$M_G = \frac{m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_c} = \frac{205 \cdot 9,82 \cdot \sin 90 \cdot 0,012}{2 \cdot \pi} = 3,84 N \cdot m \quad 5-135$$

Výpočet momentu zátěže od třecích sil.

$$M_{GT} = \frac{m \cdot g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot \eta_s} = \frac{205 \cdot 9,82 \cdot 0,005 \cdot \cos 90 \cdot 0,012}{2 \cdot \pi \cdot 0,92} = 0 \cdot m \quad 5-136$$

kde

M_{GT} Nm Moment zátěže od třecích sil
 f - Součinitel tření valivého vedení

Výpočet momentu zátěže od třecích sil v ložisku a předepnutí kuličkového šroubu. Pro tento výpočet nebyl brán ohled na třecí momenty, konstrukce ložiska nebo například od maziva.

$$M_L = \frac{0,5 \cdot (F_A + m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_L \cdot f_3}{i} = \quad 5-137$$

$$= \frac{0,5 \cdot (2340 + 186 \cdot 9,82 \cdot \cos 1 \cdot 0,005) \cdot 0,025 \cdot 0,003}{1} = 0,156 N \cdot m$$

kde

M_L Nm Moment zátěže od třecích sil v ložisku
 f_3 - Součinitel tření redukováný na poloměr čepu
 d_l mm Průměr hřídele ložiska

Síla pro předepnutí matice kuličkového šroubu

$$F_{PM} = 0,35 \cdot F_A = 0,35 \cdot 2340 = 819 N \quad 5-138$$

$$M_{KŠM} = \frac{F_{PM} \cdot S}{2 \cdot \pi} \cdot (1 - \eta_s^2) + \frac{0,5 \cdot (F_A + m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_S \cdot f_3}{i \cdot \eta_P \cdot \eta_L} = \quad 5-139$$

$$= \frac{819 \cdot 0,012}{2 \cdot \pi} \cdot (1 - 0,92) +$$

$$+ \frac{0,5 \cdot (2340 + 186 \cdot 9,82 \cdot \cos 1 \cdot 0,005) \cdot 0,0292 \cdot 0,003}{1} = 0,125 + 0,11$$

$$M_{K\dot{S}M} = 0,235N \cdot m$$

kde

$M_{K\dot{S}M}$	Nm	Moment od zátěže kuličkové šroubu
n_s	-	Účinnost KŠM
d_s	mm	Střední průměr hřídele kuličkového šroubu
f_2	-	Ekvivalentní součinitel tření v KŠM redukováný na poloměr

Celkový statický moment zátěže redukováný na hřídel servomotoru:

$$M_{ZSRHM} = M_G + M_{GT} + M_L + M_{K\dot{S}M} = 3,84 + 0 + 0,156 + 0,235 \quad 5-140$$

$$M_{ZSRHM} = 4,231N \cdot m$$

Potřebný moment servomotoru z hlediska statického:

$$M_{MS} = \frac{F_A \cdot S}{2 \cdot \pi \cdot \eta} + M_{ZSRHM} = \frac{2340 \cdot 0,012}{2 \cdot \pi} + 4,231 = 8,7N \cdot m \quad 5-141$$

5.16.4 Kinematický výpočet

Kinematické hledisko se počítá z důvodu úhlového zrychlení servomotoru.

Čas pro dosažení navrhované rychlosti pohybu osy při zrychlení 5ms^{-2} .

$$t_{r1} = \frac{v}{a_x} = \frac{20}{5} = 0,066s \quad 5-142$$

Při tomto porovnání je možné zvýšit rychlosti pohybu os na 25m/s, kdy čas rozběhu by byl 0,0833s.

Dráha při maximální rychlosti 20m/s.

$$s_{r1} = \frac{1}{2} \cdot a_z \cdot t_r^2 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 0,066^2 = 0,0109m \quad 5-143$$

Dráha při maximální rychlosti 25m/s.

$$s_{r1} = \frac{1}{2} \cdot a_z \cdot t_r^2 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 0,0833^2 = 0,0139m \quad 5-144$$

Úhlové zrychlení KŠM a motoru:

$$\varepsilon_s = \frac{a_z \cdot 2 \cdot \pi}{s} = \frac{5 \cdot 2 \cdot \pi}{0,012} = 2617,994 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

5-145

5.16.5 Dynamický výpočet

Dynamické hledisko se počítá pro případ setrvačnosti jednotlivých os s obrobkem. Dále je nutné zkontrolovat u vybraného servomotoru poměr motoru kotvy a redukováného setrvačného momentu na hřídel servomotoru.

Celkový dynamický moment

$$M_{ZDRHM} = M_G + M_{GT} + M_{K\check{S}M} = 3,84 + 0 + 0,235 = 4,075 \text{ N} \cdot \text{m}$$

5-146

Redukovaný moment setrvačnosti posuvných hmot:

$$J_m = m \cdot \left(\frac{s}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 205 \cdot \left(\frac{0,012}{2 \cdot \pi} \right)^2 = 0,000748 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

5-147

Celkový moment setrvačnosti redukováný na hřídel servomotoru:

$$J_{RHM} = J_{MOT} + \frac{J_{SP}}{I_p^2} + \frac{J_S}{I_p^2} + \frac{J_m}{I_p^2} = 0,023 + \frac{0,0086}{1^2} + \frac{0,003913}{1^2} + \frac{0,000748}{1^2}$$

5-148

$$J_{RHM} = 0,036 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

kde

J_{MOT}	Moment setrvačnosti servomotoru	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
J_{SP}	Moment setrvačnosti pružné spojky	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
J_m	Redukovaný moment setrvačnosti	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
J_S	Moment setrvačnosti KŠM	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$

Z dynamického hlediska je nutný kroutící moment servomotoru:

$$M_m = J_{rhm} \cdot \varepsilon_m + M_{ZDRHM} = 0,036 \cdot 2617,994 + 4,075 = 98,32 \text{ N} \cdot \text{m}$$

5-149

Dále je nutné zkontrolovat poměry momentů setrvačnosti motoru a celkového momentu setrvačnosti.

$$\Delta_{dyn} = \frac{J_{RHM}}{J_{MOT}} = \frac{0,036}{0,023} = 1,57$$

5-150

$$1,5 \leq \Delta_{dyn} \leq 3 \rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Z výpočtu statického a dynamického je motor od firmy FANUC Beta IS 12 vhodný pro použití na tento navrhovaný obráběcí stroj. Ostatní specifikace motoru jsou obsaženy v příloze.

5.16.6 Výpočet životnosti radiálního ložiska

Životnost radiálního ložiska kuličkového šroubu se počítá obdobně jako u křížového stolu.

Tabulka 27 - Parametr pro výpočet životnosti

Výpočet radiálních ložisek	Hodnota	Jednotky
Dynamická únosnost ložisek	26000	N
Maximální síla obráběcích operací	2340	N
Počet radiálních ložisek	2	-
Střední otáčky KŠM	5000	ot/min

$$P = \frac{F_A}{i} = \frac{2340}{2} = 1170N$$

5-151

kde

F_A N Zátěžná síla na ložiska
 i - Počet radiálních ložisek

$$L_h = \frac{16666}{n} \cdot \left(\frac{C_{dyn}}{P}\right)^3 = \frac{16666}{5000} \cdot \left(\frac{26000}{1170}\right)^3 = 36578,99h$$

5-152

kde

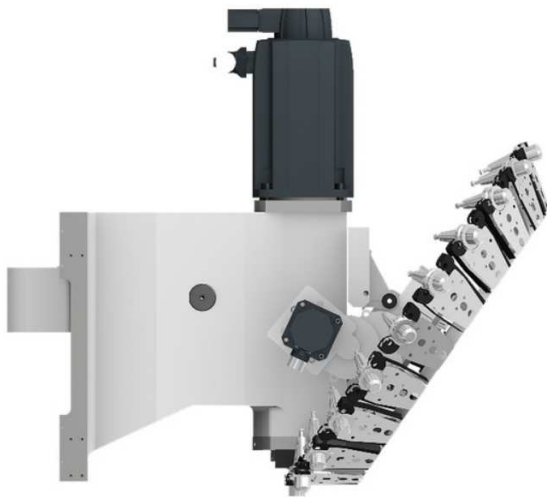
L_H h Životnost ložiska
 C_{dyn} N Dynamické zatížení na ložisko

5.17 Zásobník nástrojů

Pro automatickou výměnu nástrojů se zohledňují tyto aspekty:

- Snížení časů na výměnu nástrojů,
- Vysoká spolehlivost,
- Optimální kapacita zásobníku,
- Úsporně prostorové řešení,
- Odolnost proti odletujícím třískám či odstříkující chladicí kapalině.

Zásobník nástrojů u této diplomové práce nebyl řešen do detailu. Firma Hyundai u svého stroje to má řešené pomocí kotoučového zásobníku. Zásobník je umístěn na pohybovou konstrukci nad elektrovřetenem. Zásobník nástrojů je ve tvaru kruhovém a může být použit pro 10 a více nástrojů. V zásobníku je užíván elektropohon pro otočení kotouče s nástroji.



Obrázek 43 - Zásobník nástrojů

5.18 Krytování obráběcího stroje

Krytování obráběcího stroje se dělí do dvou skupin – vnitřní a vnější. Důvodem tohoto krytování je oddělit část kde se nachází pracovní proces a část okolního prostředí. Vnější krytování chrání obsluhu stroje od odlétávajících třísek a chladicí kapaliny. Toto vnější krytování se vyrábí z tenkostěnných ocelových plechů s okny pro kontrolu pracovního prostoru. Pro výpočet tloušťky stěny plechů se kontroluje pomocí normy ČSN EN 12417 + A2 Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů – Obráběcí centra. Avšak ve výsledku se krytování stroje předimenzuje z důvodu bezpečnosti.

U vnitřního krytování jsou chráněny pohyblivé části stroje od nepohyblivých částí. Je to například kuličkový šroub, lineární vedení. Pokud by na kuličkovém šroubu zůstala tříska od obrobků, mohlo by to způsobit nepřesnost v řezném procesu.

U krytování pracovního prostoru znamená nižší viditelnost při řezném procesu. Do pracovního prostoru se většinou používají led diody, které mají nižší energii a podobnou svítivost s žárovkami. Jsou odolné vůči kapalině a vibracím.

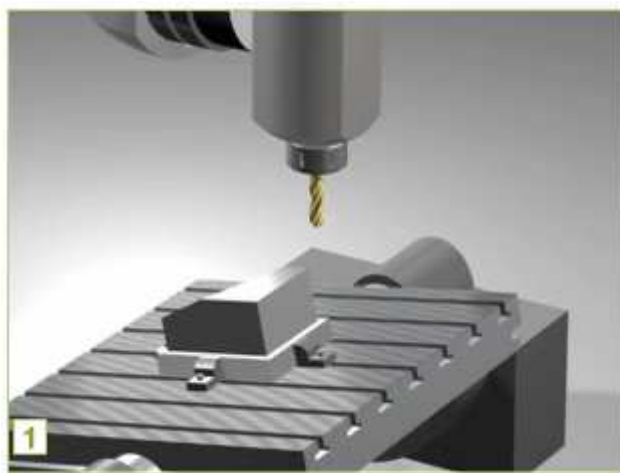
S krytovaním stroje také souvisí odvod třísek. Při odvodu třísek může z pracovního prostoru pomocí kontejnerů, které vždy obsluha musí vyprázdnit. Nebo pomocí šnekových dopravníků, které využívají magnetismu.

5.19 Chladicí kapalina

Chladicí kapalina se využívá pro snížení teploty v nástroji a na obráběné součásti. Většinou se užívá chladicí kapalina přiváděná přímo na místo styku nástroje s obráběnou součástí. Tato kapalina je vedena pomocí plastových hadic, které mají dobrou rozměrovou stálost, vysokou pevnost a odolnost proti opotřebení. Navržení chladicí kapaliny u této diplomové práce je přivedeno z externího zdroje. Z tohoto důvodu není zrealizován.

5.20 Volitelné příslušenství

Obráběcí stroj lze doplnit natáčením čtvrté a páté osy. Tento naklápěcí stůl nabízí externí firmy. Tyto naklápěcí stoly jsou kompatibilní s navrhovaným strojem.[54]



Obrázek 44 - Naklápěcí stůl - volitelné příslušenství

U volitelného příslušenství je možnost doplnit obráběcí stroj dodatečným řízením, než jaké nabízí firma Fanuc. Na trhu je mnoho výrobců řídicích systémů. Nejpopulárnějšími firmami je například Fanuc, Hyundai, Heidenhain a Siemens. Řídicí systém se skládá z části hardwarové a softwarové. Tyto jednotky se vyrábějí od varianty standard až po variantu profesionální, u kterých je velký cenový rozdíl. Například firma Fanuc nabízí kompletní řešení řízení pohybu Power motion. Je to alternativa systému PLC. Má vysoce odolný hardware pro náročné provozní prostředí. V dnešní době má nespočet výhod, například řízení možno připojit přes ethernet. Toto řízení bylo použito v diplomové práci, jelikož byly vybrány pohony od firmy Fanuc. [16]

Firma Heidenhain nabízí také mnoho produktů CNC řízení TNC-640. Řízení je vhodné pro frézovací obráběcí centra, vysokorychlostní frézování s možností od 3-osého

obrábění až po ovládání 18-ti os. Má optimalizované řízení pohybu, krátké časy zpracování, dotykový displej. [55]

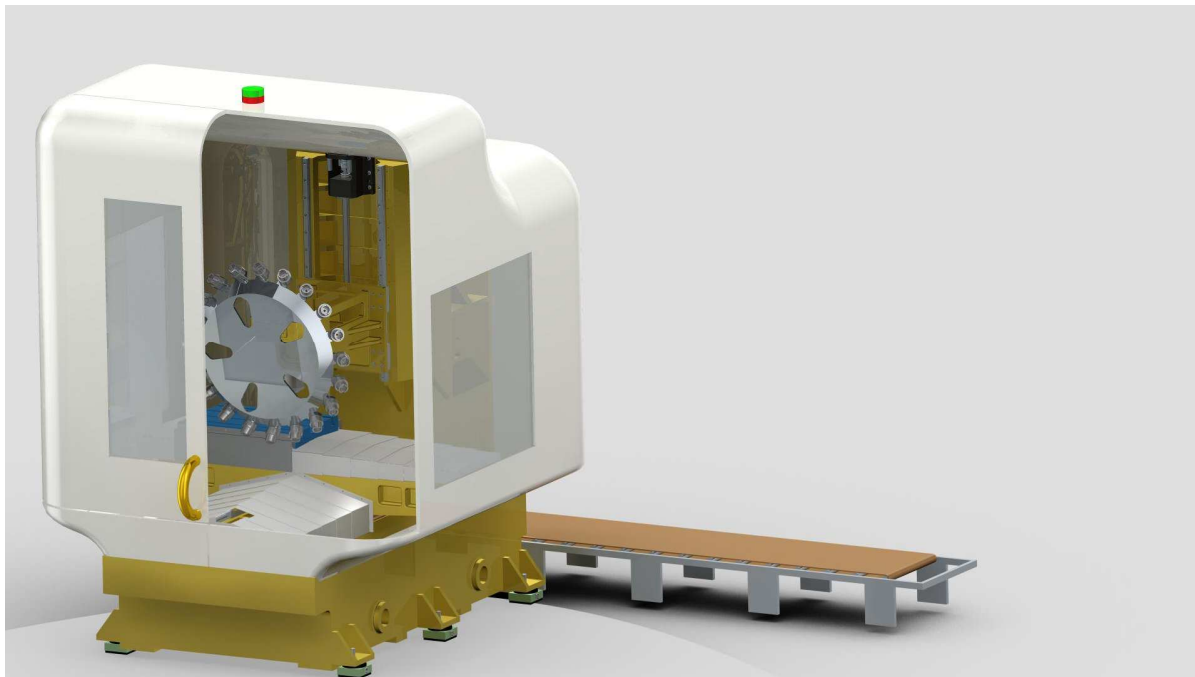


Obrázek 45 - Řízení od firmy Fanuc

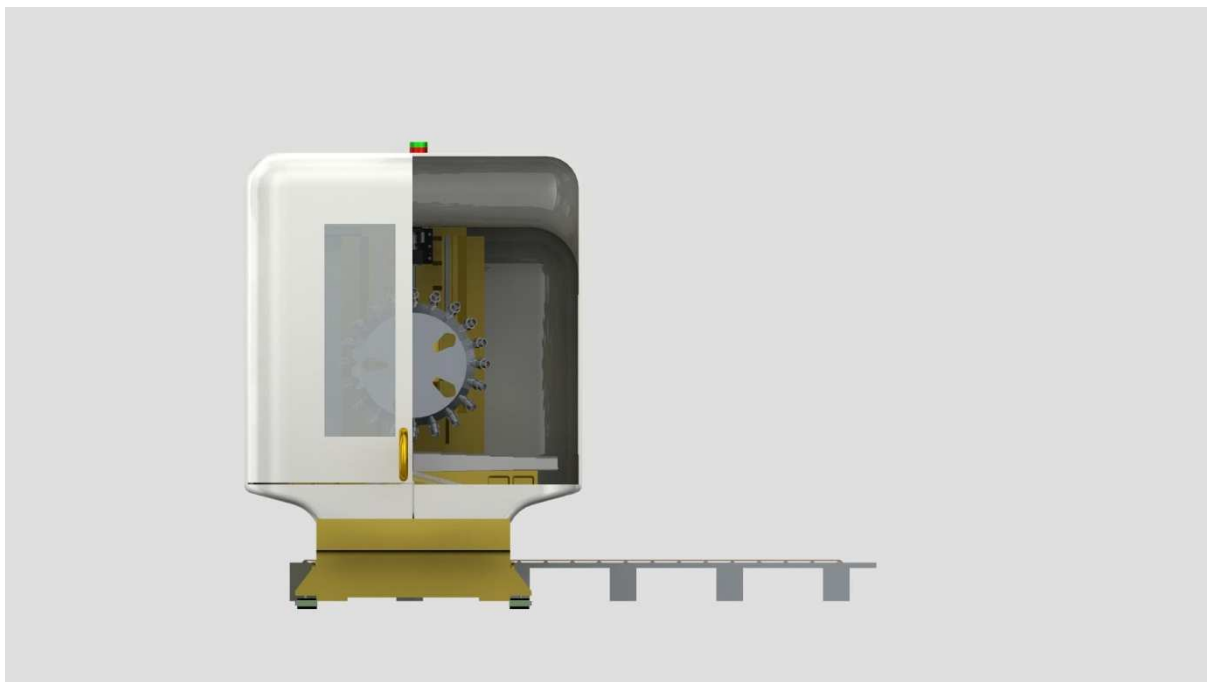


Obrázek 46 - Řízení od firmy Heidenhain

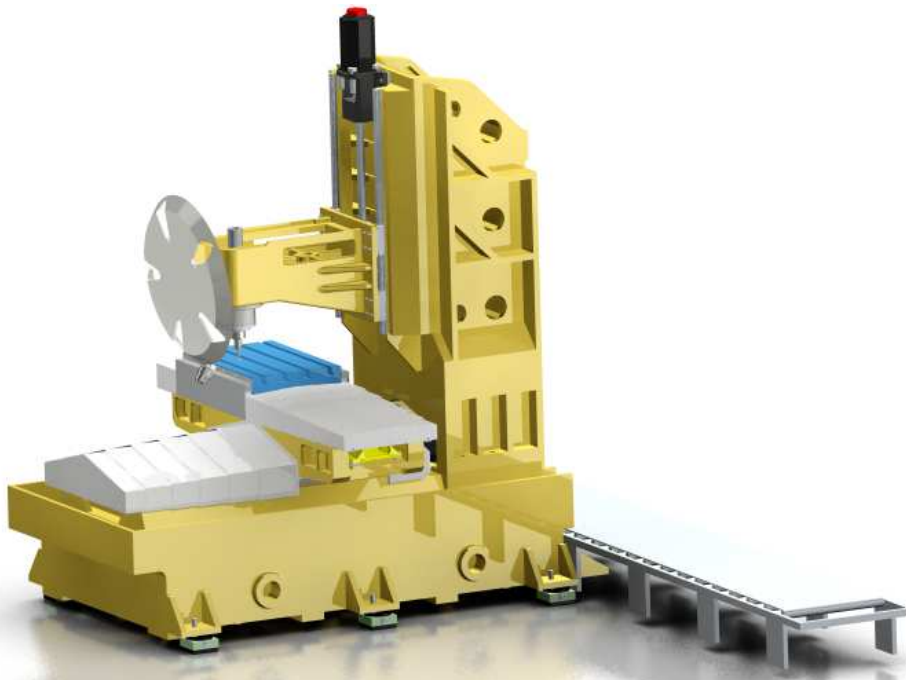
6 GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ NAVRHOVANÉHO STROJE A JEHO PARAMETRY



Obrázek 47 - Celkový pohled navrhovaného stroje



Obrázek 48 - Přední pohled stroje



Obrázek 49 - Pohled bez vnějšího krytování

	Délka pracovního stolu	600 mm
	Šířka pracovního stolu	400 mm
	Podélný pohyb – osa X	794 mm
	Křížový suport – osa Y	704 mm
	Vertikální pohyb vřeteníku – osa Z	614 mm
Vřeteno – upínací kužel	Maximální otáčky vřetene s upínacím kuželem HSK-C63	26000 ot / min
	Výkon vřetene	26 kW
Posuv	Maximální pracovní stůl	25 m / min
	Zrychlení	5 m / s ²
	Počet míst v zásobníku	30 ks
	Maximální celková hmotnost	8300 kg
	Půdorys stroje – délka	2500 mm
	Půdorys stroje – šířka	2000 mm
	Bokorys – výška	2750 mm

7 ZÁVĚR

Tato diplomová práce měla zvoleno několik cílů, kterých bylo dosaženo. Hlavními cíli této diplomové práce byla analýza problematiky, návrh možných variant řešení, koncepční řešení variant, konstrukční výpočty a výkresovou dokumentaci vybrané části stroje.

V této diplomové práci bylo dosaženo všech cílů. V první části byl prozkoumávány vertikální obráběcí centra, která se vyskytují na dnešním trhu. V této první části bylo vybráno 5 obráběcích vertikálních center s jejich vlastnostmi, který výrobce udával. U některých parametrů stroje nebyly doplněny, jelikož je výrobce neudával. Hlavními parametry stroje byl posuv v osách X, Y, Z. Dalšími parametry byly výkonu motorů, konstrukce celého stroje a rychlosti a zrychlení stolů.

Dalším krokem bylo postupné porovnání jednotlivých strojů a vyhodnocení z celkového hlediska a jeho vlastnostmi. Při tomto kroku bylo nutné najít nástroje, se kterými by se dalo na navrhovaném stroji pracovat. Při volbě nástroje byl brán v potaz, že vertikální obráběcí centrum nebude pracovat s materiály titanu, ale s obrobky z konstrukční oceli St.52.3 či slitin hliníku. Proto bylo nutné zvolit co a jakým průměrem se bude na stroji pracovat. Po těchto výpočtech, kde vyšly maximální hodnoty kroutícího momentu a jednotlivých zatížení od nástroje, bylo potřeba určit elektrovřetenou. U toho bodu jsem řešil otázku, zda-li bude výhodnější elektrovřetenou nebo pohon nástroje pomocí vloženého převodového poměru. Nejčastější způsob bývá pohon nástroje pomocí motoru a řemene s podélným drážkováním. Tato varianta by mohl způsobit proklouznutí nástroje nebo v nejhorším případě zaseknutí nástroje do obrobku. Po tomto kroku pokračovalo určení pohybu křížového stolu a jeho pohonu. Při výpočtech životnosti kuličkového šroubu se muselo určit uložení kuličkového šroubu a matice, maximální hodnotu zatížení a hlavně určení průměru a stoupání kuličkového šroubu. Po kontrole statického, kinematického a dynamického výpočtu začalo samotné konstruování lože a potřebných konstrukčních prvků. Tento podobný postup byl aplikován i na vertikální ose, kde je podobné uspořádání jako na křížovém stole. Samotná konstrukce vertikální osy se nachází v příloze.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Hurco Small CNC Machines. *Machine specification* [online]. Indianapolis: HURCO, 2005 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.hurco.com/en-us/cnc-machine-tools/machining-centers/vertical/pages/general-purpose-small-cnc-machines.aspx>
- [2] MU-500VII. *MU-V OKUMA* [online]. West Hall Drive, USA: OKUMA, 2005 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.okuma.com/stuff/contentmgr/files/0/3c47ba6bcf0631e008c4c8cdcd6e76a0/specs/mu_v_series_full_specs__formatted_.pdf
- [3] MCV 754 QUICK. *MCV 754 QUICK* [online]. Sezimovo Ústí: Kovosvit MAS, 2007 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-754-quick-p3.html#technicaldata>
- [4] MCFV1060. *Vertikální obráběcí centrum* [online]. Zlín: Tajmac-ZPS, 2005 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.tajmac-zps.cz/sites/tajmac-zps-2.os.zps/files/mcfv1060_cz.pdf
- [5] Vertical Center Smart 530C. *MAZAKEU.CZ* [online]. Japan: Yamazaki Mazak, 2001 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/machines/vertical-center-smart-530c/>
- [6] TMV850. *Moostrading* [online]. Lipník nad Bečvou: Moostrading, neúvedeno [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.moostrading.cz/vertikalni-obrabeci-centrum-tmv-850-1050.pdf>
- [7] Vertikální obráběcí centra Tongtai. *CZMOOS Trading* [online]. Lipník nad Bečvou: Moostrading, neúvedeno [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.moostrading.cz/vertikalni-obrabeci-centra.html>
- [8] Vertikální obráběcí centra. *Stránský a Petržík* [online]. Bílá Třemešná: Stránský a Petržík, 2003 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.stranskyapetrzik.cz/stroje/feeler/vmc/>
- [9] Vertikální obráběcí centra - MCV line. *Kovosvit MAS* [online]. Sezimovo Ústí: Kovosvit Mas, 2005 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.kovosvit.cz/obrabeci-stroje/frezovaci-stroje/vertikalni-obrabeci-centra-mcv-line.html>
- [10] Linerání valivá a lineární kluzná vedení. *Schaeffler* [online]. není uvedeno: Schaeffler, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.schaeffler.cz/content.schaeffler.cz/cs/products_services/linear_products/index.jsp
- [11] Lineární kluzná vedení. *Hennlich* [online]. Litoměřice: Hennlich, neúvedeno [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/kluzna-pouzdra-a-vedeni-linearni-kluzna-vedeni-44.html>
- [12] Křížové stoly. *HIWIN* [online]. Brno: HIWIN, neúvedeno [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/produkty/polohovaci-systemy/krizove-stoly>
- [13] Křížový stůl CRLM-SA1. *HIWIN* [online]. Brno: HIWIN, neúvedeno [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.hiwin.cz/cz/produkty/polohovaci-systemy/krizove-stoly/180_krizovy-stul-crlm-sa1-sa11
- [14] Spindles. *GMN* [online]. Nurnberg: GMN, neúvedeno [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.gmn.de/en/spindles/products/high-frequency-spindles-for-manual-tool-change/grinding-spindles.html#hsp>
- [15] Spindles HVP/HVX. *GMN* [online]. Nurnberg: GMN, neúveden [cit. 2017-05-20]. Dostupné z:

http://www.gmn.de/upload/30_Spindles/PDFs/Manueller_WZW_Typenreihen_HV-X-__HV-P-__HV-XS_HV-X__HV-XS_HV-P_Reihe_e.pdf

[16] Fanuc - Product brochures. *FANUC* [online]. Japan: Fanuc, není uvedeno [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://fanuc.co.jp/en/product/catalog/index.html>

[17] Fanuc Beta series. *Fanuc* [online]. Japan: Fanuc, není uvedeno [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: [http://fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/servo/Servo_alphai\(E\)-19.pdf](http://fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/servo/Servo_alphai(E)-19.pdf)

[18] Fanuc AC spindle motor. *Fanuc* [online]. Japan: Fanuc, není uvedeno [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.fanuc.co.jp/en/product/servo/f_acsm_bi.html

[19] Coupling DKN. *Ringfeder* [online]. není uvedeno: Ringfeder, není Ball screw Assemblies. *Rexroth* [online]. German: Bosch rexroth, 2005 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.linearni-vedeni.com/data/web/katalogy-linear/kulickove-srouby-a-matrice.pdf>

[20] uvedeno [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.ringfeder.com/en/international/products/ringfeder/Product/?p=266>

[21] Precision Ball screw. *THK.COM* [online]. Tokio: THK, 2005 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_a15_174.pdf

[22] Products line-up. *THK.COM* [online]. Tokio: THK, 2005 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: https://tech.thk.com/index_en.php

[23] Lineární vedení. *THK.COM* [online]. Tokio: THK, 2005 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: https://tech.thk.com/en/products/pdfs/en_a01_190.pdf

[24] Static permissible moment. *THK.COM* [online]. Tokio: THK, 2005 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_b18_013.pdf

[25] Permissible moment. *SKF.COM* [online]. USA: SKF, 2000 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.skf.com/us/products/bearings-units-housings/super-precision-bearings/axial-radial-crb/permissible-moment-load/index.html>

[26] Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska. *SKF.COM* [online]. USA: SKF, není uvedeno [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/selecting-bearing-size/dynamic-bearing-loads/equivalent-dynamic-bearing-load/index.html>

[27] Trvanlivost ložiska. *Skf.com* [online]. usa: skf, 2003 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/super-precision-bearings/principles/bearing-life-and-load-ratings/dynamic-bearing-loads-and-life/index.html>

[28] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.

[29] BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje*. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0470-1.

[30] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

[31] ŠVÁBENSKÝ, Mojmír. *Stavovské listiny, 1212-1847: katalog : AI*. Brno: Státní archiv v Brně, 1965. Inventáře a katalogy fondů Státního archivu v Brně, č. 22. ISBN 1212-2572.

[32] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III: revue littéraire mensuelle*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

[33] KOLÍBAL, Zdeněk. *Technologičnost konstrukce a retrofitting výrobních strojů*. V Brně: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-3765-4.

- [34] BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. Brno: VUT, 1991. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0361-6.
- [35] Návrh a konstrukce pohonu posuvu vřeteníku. *STC CVUT* [online]. Praha: ČVUT, 2012 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://stc.fs.cvut.cz/pdf13/2599.pdf>
- [36] General description THK. *Catalog of THK products* [online]. tokio: THK, 2000 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.thk.com/sites/default/files/documents/uk_pdf/product/general/a/ee_A_general.pdf
- [37] SYSTÉMY KULIČKOVÝCH ŠROUBŮ. *HABERKORN* [online]. MOKRÉ LÁZNĚ: HABERKORN, 2000 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/files/file/system-hlinikovych-profilu/linearni-vedeni/linearni-vedeni-s-kulickovym-sroubem/kulickovy-sroub.pdf>
- [38] BALLSCREWS. *HIWIN* [online]. BRNO: HIWIN, 2016 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: [http://www.hiwin.tw/download/tech_doc/bs/Ballscrew-\(E\).pdf](http://www.hiwin.tw/download/tech_doc/bs/Ballscrew-(E).pdf)
- [39] BALL BEARINGS. *MEDIAS SCHAEFFLER* [online]. DEUTSCHLAND: SCHAEFFLER, 2010 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.ec/1_R*0*F*3
- [40] BALL BEARINGS 62205-2RSR. *MEDIAS SCHAEFFLER* [online]. DEUTSCHLAND: SCHAEFFLER, 2010 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://medias.schaeffler.de/medias/en!hp.ec.br.pr/622.-2RSR*62205-2RSR
- [41] TELESKOPICKÉ OCELOVÉ KRYTY. *HENNIG* [online]. MACHESNEY PARK: HENNIG, 2013 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.hennig-inc.com/docs/manuals/telescopic-steel/MTSA_Czech.pdf
- [42] ODMĚŘOVACÍ SYSTÉMY. *MMSPEKTRUM* [online]. neuvedeno: MMSPEKTRUM, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/odmerovaci-systemy-a-jejich-vliv-na-presnost.html>
- [43] HIGH FREQUENCY SPINDLES. *GMN.DE* [online]. NURNBERG: GMN, 2016 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.gmnusa.com/upload/products/2508_0310_e.pdf
- [44] TOOL HOLDER. *TACROFORD* [online]. USA: TACREOFORD, 2001 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://tacrockford.com/pdf/639.563/639563-hsk-c63-to-100-tool-holder-blanks.pdf>
- [45] SCHUNK TOOL HOLDER. *TOOL HOLDER* [online]. USA: SCHUNK, 2001 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: https://schunk.partcommunity.com/3d-cad-models/sdf-hsk-c-40-50-63-din-69-882-7-hsk-c-schunk/?info=schunk%2Fspanntechnik_neu%2Fbearbeitungszentrum%2Fwerkzeughalter_neu_01%2Ftendo_hydrodehnspannfutter_neu%2Ftendo_neu_01%2Ftendo_sdf_hsk_c.prj
- [46] TOOL SECO. *SECO* [online]. JIČÍN: SECO, 2015 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: https://www.secotools.com/#article/p_02745059
- [47] HVP-150 SPINDLE. *GMN* [online]. NURNBERG: GMN, 2015 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.gmn.de/upload/30_Spindles/PDFs/Manueller_WZW_Typenreihen_HV-X-__HV-P-__HV-XS_HV-X__HV-XS_HV-P_Reihe_e.pdf
- [48] EKVIVALENTNÍ ZATÍŽENÍ. *ZKL SRO* [online]. BRNO: ZKL, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/5-urceni-velikosti-loziska>
- [49] EKVIVALENTNÍ ZATÍŽENÍ LOŽISKA. *SKF.COM* [online]. BRNO: SKF, 2009 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units->

housings/super-precision-bearings/angular-contact-thrust-ball-bearings-for-screw-
 drives/equivalentbearingloads/index.html

[50] SPINDLE MOTORS. *MITSUBISHI ELECTRIC* [online]. JAPAN: MITSUBISHI
 ELECTRIC, 2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z:
 <http://www.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/cnc/pmerit/spindle/index.html>

[51] Řešení automatizace a pohony. *SIEMENS* [online]. Brno: Siemens, 2010 [cit. 2017-05-
 20]. Dostupné z:
 <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=c867a16a4a&ctxp=home>

[52]

[53] Výrobní program. *HEIDENHAIN* [online]. PRAHA: HEIDENHAIN, 2016 [cit. 2017-
 05-20]. Dostupné z: [http://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/350457-
 C3_V%C3%BDrobn%C3%AD_program.pdf](http://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/350457-C3_V%C3%BDrobn%C3%AD_program.pdf)

[54] Konstrukční formy naklápečí zařízení. *HeidenHain* [online]. Německo: HeidenHain,
 2009 [cit. 2017-05-24]. Dostupné z:
 [http://content.heidenhain.de/presentation/elearning/CZ/index/1271254390533/127125439053
 5/1271254390541/1271254390541.html](http://content.heidenhain.de/presentation/elearning/CZ/index/1271254390533/1271254390535/1271254390541/1271254390541.html)

[55] TNC 640 – The Contouring Control for Milling and Milling/Turning Machines.
 Heidenhain [online]. Praha: Heidenhain, 2010 [cit. 2017-05-25]. Dostupné z:
 http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-rizeni/tnc-640/

9 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

9.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rozdělení frézovacích strojů.....	11
Obrázek 2 - Rozdělení frézovacích center.....	12
Obrázek 3 - Obráběcí centrum na nerotační součásti - horizontální.....	12
Obrázek 4 - Obráběcí centrum na nerotační součásti - vertikální.....	12
Obrázek 5 – VTC-530C.....	13
Obrázek 6 - vertikální obráběcí centrum MCFV 1060.....	15
Obrázek 7 - Konstrukce stroje MCFV 1060.....	16
Obrázek 8 - Maximální posuvy stroje MCFV 1060.....	16
Obrázek 9 - Volitelné provedení pro otočnou 4. a 5. Osu.....	16
Obrázek 10 - Zástavbové rozměry stroje.....	17
Obrázek 11 - Obráběcí vertikální centrum VMP-45S.....	19
Obrázek 12 - VMP-45S.....	20
Obrázek 13 - Rozměry stroje VMP-45S.....	21
Obrázek 14 - Koncepce stroje MCV 754 QUICK.....	22
Obrázek 15 - Koncepce stroje MCV 754 QUICK.....	23
Obrázek 16 - Vestavěné vřeteno.....	25
Obrázek 17 - Hyundai WIA Hi-MOLD 6500.....	26
Obrázek 18 - Vlastnosti vřetene.....	27
Obrázek 19 - Konstrukce rámu.....	28
Obrázek 20 - DMC 650 V.....	29
Obrázek 21 - Výkon vřetene.....	31
Obrázek 22 - Výkon vřetene pro maximální otáčky.....	31
Obrázek 23 - DMC V 650.....	31
Obrázek 24 - Rozměry stroje.....	31
Obrázek 25 - Vliv vnějších a vnitřních faktorů.....	32
Obrázek 26 - konstrukční proces dle VDI 2221.....	33
Obrázek 27 - Výkon vřetene jednotlivých strojů.....	34
Obrázek 28 - Rozsahy posuvů strojů.....	36
Obrázek 29 - Rozměry stolu strojů.....	36

Obrázek 30 - Vřeteno obráběcího stroje	57
Obrázek 31 - Způsoby přenosu kroutícího momentu.....	59
Obrázek 32 - Osa X navrhovaného stroje	60
Obrázek 33 - Faktor zatížení	62
Obrázek 34 - Posun stolu	63
Obrázek 35 - Koeficient uložení konců kuličkového šroubu.....	65
Obrázek 36 - Uspořádání na straně motoru.....	70
Obrázek 37 - Uspořádání na druhé straně KŠM	70
Obrázek 38 - Krytování.....	71
Obrázek 39 - Žebra v nosné konstrukci	73
Obrázek 40 - Konstrukce lože a její uspořádání	73
Obrázek 41 - Stojan navrhovaného stroje	74
Obrázek 42 - Rozložení vertikální osy Z	74
Obrázek 43 - Zásobník nástrojů	82
Obrázek 44 - Naklápěcí stůl - volitelné příslušenství	83
Obrázek 45 - Řízení od firmy Fanuc.....	84
Obrázek 46 - Řízení od firmy Heidenhain	84
Obrázek 47 - Celkový pohled navrhovaného stroje.....	85
Obrázek 48 - Přední pohled stroje.....	85
Obrázek 49 - Pohled bez vnějšího krytování	86

9.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 - VTC-530C	14
Tabulka 2 - Základní parametry MCFV 1060.....	18
Tabulka 3 - Parametry stroje VMP-45s	20
Tabulka 4 - Parametry MCV 754 QUICK	23
Tabulka 5 - Parametry stroje DMC 650 V	30
Tabulka 6 - Jednotlivé parametry stroje.....	35
Tabulka 7 - Specifikace stroje.....	37
Tabulka 8 - Vlastnosti materiálu	37
Tabulka 9 - Vlastnosti nástroje	38
Tabulka 10 - Vlastnosti vrtáku.....	40
Tabulka 11 - Vlastnosti materiálu	42
Tabulka 12 - Vlastnosti nástroje	42

Tabulka 13 - Vlastnosti vrtáku.....	45
Tabulka 14 - Vlastnosti materiálu.....	47
Tabulka 15 - Vlastnosti nástroje	47
Tabulka 16 - Vlastnosti vrtáku.....	50
Tabulka 17 - Vlastnosti materiálu.....	52
Tabulka 18 - Vlastnosti nástroje	52
Tabulka 19 - Vlastnosti vrtáku.....	55
Tabulka 20 - Parametry elektrovřetena HV-P 150-30000/23.....	57
Tabulka 21 - Parametry maximálních hodnot obrábění.....	58
Tabulka 22 - Vstupní údaje pro výpočet únosnosti	60
Tabulka 23 - Faktor zatížení	60
Tabulka 24 - Parametry pro výpočet kuličkového šroubu	63
Tabulka 25 - Jednotlivé parametry pro statické, kinematické a dynamické hledisko ..	66
Tabulka 26 - Hodnoty pro výpočet životnosti radiálních ložisek.....	71
Tabulka 27 - Parametr pro výpočet životnosti.....	81

9.3 Seznam zkratk

KŠM - kuličkový šroub a matice

10 SEZNAM PŘÍLOH

CD

3D model ve formátu step

Výkres stolu

Výkres sestavy

Katalogový list motoru Fanuc

Katalogový list GMN elektrovřeten

PŘÍLOHY