

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

KONSTRUKCE JEDNOÚČELOVÉHO STROJE DESIGN OF SINGLE-PURPOSE MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAELA TEJCHMANOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

Abstrakt

Tato práce se zabývá konstrukcí jednoúčelové portálové frézky určené k výrobě drážek na hřídeli. Práce je rozdělena na rešeršní a výpočtovou část. Součástí práce je 3D model stroje.

Summary

This thesis is concerned with the construction of single-purpose milling machine designed for production grooves on the shaft. The thesis is divided into research part and calculation part. 3D model of the machine is enclosed.

Klíčová slova

obrábění, frézka, konstrukce, robot, vřeteno

Keywords

machining, milling, design, robot, spindle

TEJCHMANOVÁ, M. *Konstrukce jednoúčelového stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 34 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D..

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím vlastních znalostí a odborné literatury uvedené v seznamu použitých zdrojů.

Michaela Tejchmanová

Děkuji vedoucímu této práce doc. Ing. Petru Blechovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky. Dále děkuji firmám CUTTER Systems spol. s r.o. a N-ROTE Mechanical spol. s r.o., zejména Janu Nezvalovi za předání svých rozsáhlých zkušeností a Ing. Martinu Řezáčovi za poskytnutí neocenitelné praxe v oboru.

Michaela Tejchmanová

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michaela Tejchmanová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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 bakalářské práce:

Konstrukce jednoúčelového stroje

v anglickém jazyce:

Design of single-purpose machine

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student provede návrh jednoúčelového stroje pro frézování drážek a vrtání otvorů na hřídelích. Otvor má průměr 2,3 mm a šířka drážek je 6 mm. Drážky jsou od otvoru natočeny o 115° a mezi sebou o 130°. Stroj bude uzpůsoben pro robotickou manipulaci s polotovarem a obrobkem. Student dále provede základní konstrukční výpočty a vlastní konstrukci jednoúčelového stroje v 3D modelu.

Součástí bakalářské práce bude výkres sestavy jednoúčelového stroje a v elektronické příloze 3D model stroje.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti vyvíjeného jednoúčelového stroje a manipulace s polotovarem/obrobkem

Volba technických parametrů konstruovaného stroje.

Kontrolní konstrukční výpočty.

Zjednodušený konstrukční návrh zvoleného stroje.

Součástí bakalářské práce bude výkres sestavy jednoúčelového stroje a v elektronické příloze 3D model stroje.

Seznam odborné literatury:

Marek, J. a kol; Konstrukce CNC obráběcích strojů, ISBN 978-80-254-7980-3

Borský, V.; Obráběcí stroje, ISBN 80-214-0470-1

Borský, V.; Základy stavby obráběcích strojů, VUT Brno

[www stránky výrobců komponent obráběcích strojů](http://www.stranky.vyrobcu.komponent.obrabecich.strojů)

www.infozdroje.cz

www.mmspektrum.com

www.kovosvit.cz

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

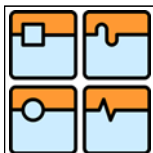
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 19.11.2013

L.S.

Obsah

1	Úvod	2
2	Konstrukce a použití stroje	3
2.1	Portálová frézka	3
2.2	Základní konstrukční prvky SPMM frézky	4
2.2.1	Upínání obrobku	4
2.2.2	Portál	5
2.2.3	Posuvné mechanismy	5
2.2.4	Robot	6
2.2.5	Vřeteno	10
2.2.6	Komunikace a řízení komponent stroje	11
3	Technické parametry stroje	13
3.1	Volba nástroje	13
3.1.1	Fréza	13
3.1.2	Vrták	13
3.2	Volba vřetena	14
3.2.1	Výpočty pro frézovací vřeteno	15
3.2.2	Výpočty pro vrtací vřeteno	17
3.2.3	Vřetena	18
3.3	Volba servomotorů	19
3.3.1	Výpočet pohonu v ose Y	19
3.3.2	Výpočet pohonu frézovacích vřeten v ose Z	19
3.3.3	Výpočet pohonu vrtacího vřetene v ose Z	20
3.3.4	Volba motoru	20
3.4	Kontrola kuličkových šroubů	20
3.4.1	Kontrola maximálních otáček a vzpěrné tuhosti v ose Y	20
3.4.2	Kontrola maximálních otáček a vzpěrné tuhosti pro frézovací vřeteno v ose Z	22
3.4.3	Kontrola maximálních otáček a vzpěrné tuhosti pro vrtací vřeteno v ose Z	24
4	Tvorba 3D modelu	26
5	Závěr	29
6	Seznam použitých zkratk a symbolů	32
7	Seznam příloh	34



1. Úvod

Tato bakalářská práce byla původně zamýšlena jako firemní projekt pro zákazníka. Zákazník zadal požadavek na jednoúčelový stroj, který bude frézovat drážky do konkrétních typů jím vyráběných hřídelí. Zakázka byla nakonec přerušena, předmět bakalářské práce je tedy jednoúčelový stroj, virtuálně navržený pouze pro studijní účely, zjednodušený oproti původním požadavkům, které by přesáhly rozsah standardní bakalářské práce.

Jednoúčelový stroj je nazván *SPMM frézka – Single Purpose Milling Machine*.

Stroj je navržen pro třisměnný provoz v automatickém režimu bez nutnosti přítomnosti obsluhy. V případě reálného nasazení stroje by bylo nutné vyřešit praktické problémy, které v práci nejsou zmíněny, například implementace měření vylomení břitu nástroje. Bakalářská práce se věnuje i robotům určeným k manipulaci s obrobky. V případě nasazení manipulačních robotů je nutné splnit bezpečnostní požadavky - oplocení, bezpečnostní světelné závory, aj. Téma bezpečnosti je velmi komplexní a často se mu věnují specialisté s příslušným vzděláním, práce se proto bezpečností stroje příliš nezabývá. Práce je zaměřena na volbu důležitých konstrukčních prvků, provedení základních výpočtů a vyhotovení zjednodušeného 3D modelu.

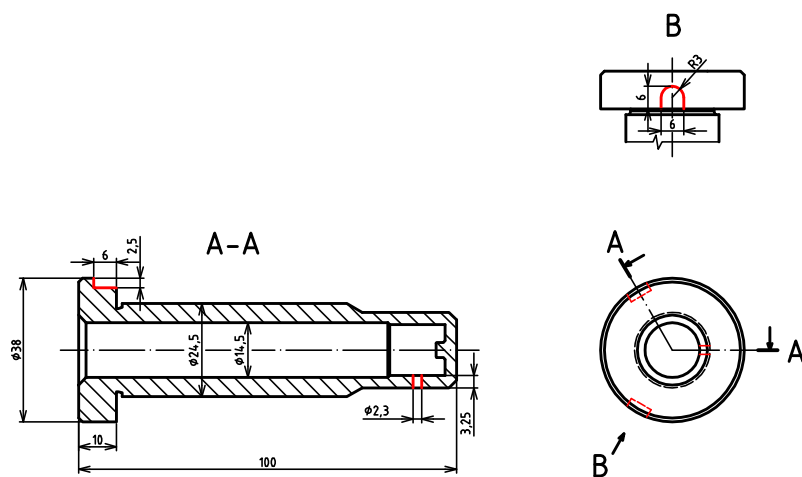
V případě reálného návrhu stroje pro zákazníka je velmi významným parametrem pořizovací cena. Tento parametr by bylo nutné zohlednit především při volbě vřeten, která svojí cenou výrazně ovlivňují výslednou cenu stroje. Stejně tak by bylo nutné parametr ceny zohlednit i při výběru dalších součástí - lineárních vedení, servomotorů, obráběcích nástrojů, elektroniky, atd. U virtuálního návrhu stroje lze parametr ceny zanedbat a je možné si dovolit do návrhu zahrnout kvalitnější – a zároveň dražší – výrobce.

Práce je rozdělena do tří částí. V první části je provedena rešerše jednotlivých komponent portálových frézek a jsou navrženy konkrétní komponenty pro SPMM frézku. Jedna kapitola je vyčleněna výběru robota určeného pro manipulaci s obrobky. V druhé části jsou provedeny výpočty technických parametrů. Na základě volby nástrojů jsou vypočteny parametry pohonů vřeten a lineárních vedení. Jsou provedeny i kontrolní výpočty dalších komponent stroje. Třetí část práce je věnována zjednodušenému 3D modelu stroje. Na závěr je provedeno hodnocení splnění zadaných cílů definovaných v zadání práce.



2. Konstrukce a použití stroje

SPMM frézka je jednoúčelový obráběcí stroj patřící do kategorie portálových frézek. Slouží k frézování drážek na horní straně duté hřídele. Tyto drážky souží k pozdější kompletaci hřídele s protikusem pomocí utahovacího klíče, který do těchto drážek zapadne. Další funkce frézky je vyvrtat otvor na dolní straně hřídele, který slouží k doplňování maziva do hřídele. Obě obráběcí operace probíhají současně, frézka tedy obsahuje celkem tři frézovací vřetena. Obráběné plochy a rozměry hřídele jsou zakresleny na Obrázku 2.1. Ve dvou horních vřetenech bude umístěna fréza, ve spodním vřetenu je umístěn vrták. Součástí stroje je také robot pro manipulaci s hřídelemi. Čas vymezený na obrábění jedné hřídele je 30 s včetně manipulace. SPMM frézka bude ukotvena k podlaze. Její rozměry jsou cca 700×800×1200 mm. Stroj je konstruován na třísměnný nepřetržitý provoz bez nutnosti lidské obsluhy.



Obrázek 2.1: Výkres obráběné hřídele

2.1. Portálová frézka

Portálové frézky spadají do kategorie *rovinných frézek*. Rovinné frézky se používají především pro obrábění vodorovných, šikmých a svislých ploch větších rozměrů. Jejich použití je vhodné pro operace vyžadující velký výkon a tuhost. [4]



Portálové frézky se od ostatních typů frézek odlišují důležitým konstrukčním prvkem – portálem. Portál je složen ze dvou svislých stojanů upevněných k loži a příčnicku, který stojany spojuje. Portál je obvykle nehybný. Na příčnicku je umístěn vřeteník. Vřeteník je pohyblivý v jedné vodorovné ose (osa X). Ve svislém směru (osa Z) se pohybuje vřetení s nástrojem. Dalším konstrukčním prvkem portálové frézky je stůl pohyblivý v ose Y. V některých případech je frézka konstruována tak, že se pohybuje portál a stůl je nehybný.

SPMM frézka je navržena jako portálová frézka z důvodu jednoduché a ekonomické konstrukce. V případě SPMM frézky vykonává pohyb v ose Y portál. Pohyb v ose Z vykonává vřeteník. Pohyb v ose X není realizován.



Obrázek 2.2: Portálová frézka firmy Kekeisen [5]

2.2. Základní konstrukční prvky SPMM frézky

Mezi nezbytné prvky univerzální portálové frézky patří stůl, stojan, příčník, vřeteník s vřetenem, posuvný mechanismus. Frézky mohou obsahovat také doplňkové prvky, například chladicí systém, systém pro odvod třísek, elektronický řídicí systém aj. SPMM frézka některé z uvedených prvků postrádá, protože k určené aplikaci nejsou potřebné, naopak je doplněna o další specifické prvky. V následujících kapitolách je provedena rešerše v oblasti jednotlivých konstrukčních prvků portálových frézek. Je zde naznačena i konstrukce SPMM frézky, podrobnější popis jednotlivých komponent SPMM frézky je uveden v Kapitole 3.2.

2.2.1. Upínání obrobku

V případě SPMM frézky je obrobek uchycen pomocí upínacího hrotu¹ a pneumatického třibodového chapadla od firmy FESTO. Upínací hrot slouží k vystředění obrobku do přesně definované polohy. Hrot je posuvný ve vodorovném směru pomocí pneumatické pístnice, která zabraňuje nežádoucímu pohybu hrotu během obrábění. Pístnice zároveň umožňuje hrotu se vysunout, aby bylo možné vyjmout obrobek. Pneumatické chapadlo

¹Upínání pomocí upínacího hrotu se používá například u soustruhu.



obrobek po vystředění uchopí tak, aby nedošlo k jeho posunutí a zabraňuje protáčení obrobku.



Obrázek 2.3: 3-bodové pneumatické chapadlo firmy FESTO [7]

2.2.2. Portál

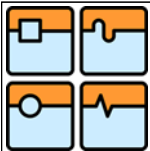
Jak již bylo řečeno na začátku kapitoly, portál je nezbytná komponenta portálové frézky. Na stojany s příčником je kladen požadavek vysoké tuhosti, proto se tyto součásti nejčastěji vyrábí jako odlitky. Portál SPMM frézky je vyroben jako plechový výpalek tloušťky 20 mm. Součástí portálu jsou vhodně umístěná žebra, která zvyšují jeho tuhost a snižují prohnutí plechu.

2.2.3. Posuvné mechanismy

Posuvný pohyb v osách X, Y a Z je realizován pomocí kuličkového šroubu s maticí od firmy TBI Motion Technology. Z důvodu co nejvyšší tuhosti je vhodnější použít dvojistou matici s vytvořeným předpětím. V ose Y jsou pro uložení jednoho konce (bližšího motoru) kuličkového šroubu použita dvě kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, která jsou schopná zachytit radiální i axiální síly. Na druhém konci je šroub uložen v radiálním kuličkovém ložisku. Šrouby pro vedení vřeten v ose Z mají oba konce uložené v kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem. Kuličkový šroub s maticí je častý způsob transformace rotačního pohybu na translační pohyb v obráběcích strojích. K matici je pomocí plechového výpalku připojeno lineární vedení – vozík. Vozík se pohybuje po kolejnici pomocí kuliček umístěných v drážkách vozíku (viz Obrázek 4.6).

Otáčení kuličkového šroubu je řízeno hybridními servomotory od firmy Leadshine Technology Co., Ltd. Hybridní servomotor je krokový motor, který je schopen otáčet výstupní hřídeli do přesně definované polohy pomocí vstupních pulsů. Na rozdíl od obyčejných krokových motorů obsahuje hybridní servomotor navíc zpětnou vazbu – enkodér, který snímá polohu hřídele, hybridní servomotor tedy při přetížení neztrácí kroky. K hybridnímu servomotoru je připojen driver, který do motoru přináší pulsy definující natočení hřídele. Driver je zapojen do PLC (viz Kapitola 2.2.6). Parametry servomotorů jsou vypočteny v kapitole 3.3.

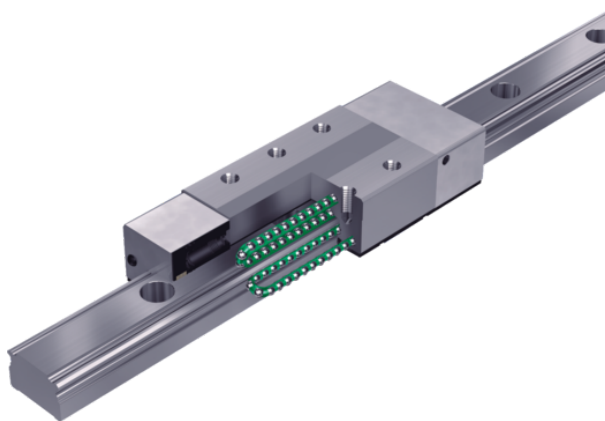
Další možnost jak u obráběcích strojů zajistit transformaci z rotačního pohybu na pohyb translační je použití ozubeného pastorku a hřebene. Tato možnost je však prosto-



Obrázek 2.4: Dvojitá pře-
depnutá matice kuličkového
šroubu [6]



Obrázek 2.5: Lineární vozík
s kolejnicí [6]



Obrázek 2.6: Průřez lineárním vozíkem [8]



Obrázek 2.7: Servomotor firmy Leadshine Technology [6]

rově náročnější než kuličkový šroub s maticí. Pastorek a hřeben jsou vhodnější pro velké posuvy, mají menší tuhost a lepší účinnost [2].

2.2.4. Robot

Bez manipulačních robotů se dnes již neobejde téměř žádný větší podnik zaměřený na průmyslovou výrobu. Roboty dokáží zefektivnit výrobu a snížit náklady. Roboty jsou využívány především v automobilovém průmyslu, uplatnění nacházejí ve svařovnách, mon-



tázních halách, na výrobních linkách aj. Mezi největší výrobce robotů patří firmy ABB, KUKA, FANUC. Často jsou ve výrobě využívány také roboty firmy Universal Robots. V případě SPMM frézky je robot podstatnou součástí automatizace výrobního procesu. Robot je využíván pro umístování hřídele do stroje a pro následnou manipulaci obrobene hřídele do výstupní palety (která není součástí návrhu stroje). Prioritou pro výběr robota je co nejmenší zastavěná plocha, nízké pořizovací náklady a jednoduchá a snadná údržba. V následujících odstavcích jsou uvedené konkrétní modely robotů od každé jmenované firmy a následně je vybrán nejvhodnější robot pro SPMM frézku. Všechny uvedené roboty mají 6 stupňů volnosti (tedy jsou pohyblivé v šesti osách).

KUKA Roboter GmbH

Kuka je německá firma a patří mezi největší výrobce robotů v Evropě. Zastoupení má i v České Republice. Portfolio firmy zahrnuje roboty nejrůznějších velikostí a nosností, od precizních malých robotů s nosností 5 kg až po velké a těžké průmyslové roboty s nosností 1300 kg. Robot vhodný pro SPMM frézku nese označení KR 5 ARC. Robot váží 127 kg a jeho nosnost je 5 kg. Jeho dosah je 1412 mm. [11] Roboty firmy KUKA jsou typické výraznou oranžovou barvou.



Obrázek 2.8: Robot KUKA KR 5 ARC [11]

ABB

Firma ABB je švédsko-švýcarská nadnárodní korporace zaměřená převážně na automatizaci a energetiku. Firma se mimo jiné věnuje i výrobě průmyslových robotů s nejrůznějším průmyslovým využitím. Robot vhodný pro SPMM frézku nese označení IRB 140. Hmotnost robota je 98 kg, nosnost je 6 kg a dosah 810 mm. [12]

FANUC Robotics

Fanuc je původem japonská firma zabývající se automatizací a robotikou. Firma má pobočky po celém světě včetně České republiky (FANUC Czech s r. o.) a patří mezi uznávané výrobce průmyslových robotů. Robot vhodný pro SPMM frézku nese označení



Obrázek 2.9: Robot ABB IRB 140 [12]

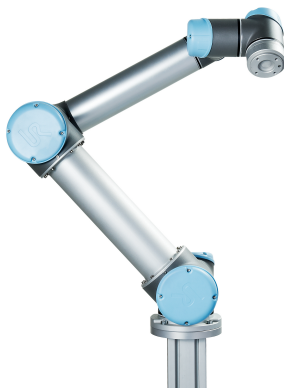
LR Mate 200iD. Robot váží 25 kg, má nosnost 7 kg a dosah 717 mm. [13] Roboty firmy FANUC se odlišují svojí výraznou žlutou barvou.



Obrázek 2.10: Robot FANUC LR Mate 200iD [13]

Universal Robots

Firma Universal Robots se zabývá výrobou lehkých a jednoduše ovladatelných a programovatelných robotů. V portfoliu firmy se nacházejí dva typy robotů s označením UR5 a UR10. Robot s označením UR5 váží 18 kg a je schopný unést zátěž 5 kg. Dosah má 850 mm. Roboty firmy Universal Robots jsou jedinými roboty na trhu, které jsou certifikovány na provoz s lidmi. Jejich provoz může probíhat i bez ochranných prvků (zábran, světelných závor aj.) v souladu s normou ISO 10218-1:2011 [9]. Tato vlastnost je důležitá především pro menší podniky, které jsou limitované provozními prostory a cenou. Robot se dodává s jednoduše programovatelným ovládacím programem.



Obrázek 2.11: Robot UR5 firmy Universal Robots [9]

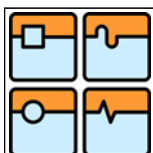


Obrázek 2.12: Robot UR5 v provozu firmy BJ Gear [9]

Volba robota

V Tabulce 2.1 je uvedeno srovnání základních parametrů uvedených typů robotů.

Pro SPMM frézku volím robot UR5 od firmy Universal Robots. Hlavním důvodem je možnost provozu robota bez dodatečných bezpečnostních prvků, které navyšují výslednou cenu projektu a jsou náročné na velikost zastavěné plochy. Obzvláště v malých výrobních podnicích je tento aspekt velmi důležitý.



Typ robota	Hmotnost [kg]	Dosah [mm]	Nosnost [kg]
KUKA KR 5 ARC	127	1412	5
ABB IRB 140	98	810	6
FANUC LR Mate 200iD	25	717	7
Universal Robots UR5	18	850	5

Tabulka 2.1: Srovnání základních parametrů vybraných robotů

Koncový efektor robota je tvořen pneumatickým dvoubodovým chapadlem od firmy FESTO. Součástí efektoru jsou indukční čidla sloužící k detekci správně uchopeného obrobku. Efektor je tvořen svařenými plechovými výpalky, které se s koncovou částí robotického ramene spojí pomocí šroubů.

2.2.5. Vřeteno

Vřeteno zajišťuje rotační pohyb nástroje. Tuhost uložení vřetena se významnou měrou podílí na přesnosti obrábění. Vřeteno je uloženo ve valivých ložiskách, výjimečně v ložiskách hydrostatických. Nejčastěji se používají kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, která jsou schopna zachycovat radiální i axiální síly. Pro zvýšení příznivých parametrů vřetene používají někteří výrobci na vyžádání ložiska *hybridní*. Hybridní ložiska mají valivé elementy vyrobeny z keramiky. Tato ložiska nacházejí uplatnění při operacích vyžadujících vysoké otáčky, protože lépe odolávají vibračním a vysokým teplotám. Jsou však dražší, pro účely SPM frézky stačí ložiska ocelová.



Obrázek 2.13: Hybridní ložisko firmy SKF [15]

Vřeteno volím od výrobce GMN s označením TSEV. Vřetena firmy GMN patří mezi dražší, avšak kvalitní a spolehlivá vřetena s životností 6–8 let. Vřeteno TSEV je poháněno přímým elektromotorem, hřídel je uložena v ocelových kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem. Motor je chlazen vzduchem. Tukové mazání je zajištěno po celou dobu životnosti vřetene. Podrobnější parametry vřetene jsou vypočteny níže v Kapitole 3.2.

Konec vřetene je uzpůsoben pro upínání nástroje pomocí kleštiny a upínací matice se závitem. Kleštiny jsou odstupňovány podle velikosti. Pro frézu je vhodná kleština s označením ER 16/6. Číslo **16** označuje vnější průměr kleštiny, číslo **6** označuje průměr použitého nástroje. Kleština pro vrták je velikosti ER 16/2. Upínací matice se dotahuje ručně pomocí nástrčného klíče.



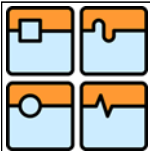
Obrázek 2.14: Vřeteno TSEV firmy GMN [14]

Obrázek 2.15: Kleština ER
16/6 [18]Obrázek 2.16: Upínací ma-
tice pro kleštinu ER 16 [18]

2.2.6. Komunikace a řízení komponent stroje

SPMM frézka obsahuje prvky, u kterých je nezbytná vzájemná komunikace a zpětná vazba. Mezi tyto prvky patří například robot, hybridní servomotory a pneumatické prvky. Součástí stroje jsou také čidla (indukční, laserová), která poskytují informace o umístění objektů, případně slouží k zajištění bezpečnosti. Tyto komponenty spolu vzájemně komunikují přes PLC (*Programmable Logic Controller*) automat. PLC automat se spolu s dalšími elektrickými komponentami umísťuje do rozvaděče. Důležitou elektronickou součástí jsou drivery hybridních servomotorů. Drivery jsou rovněž umístěny v rozvaděči. Drivery tvoří rozhraní mezi motory a PLC automatem nebo počítačem. PLC posílá driveru dva údaje – *Dir* (informaci o směru otáčení) a *Step* (velikost kroku, tedy velikost pootočení výstupní hřídele motoru). Drivery posílají PLC automatu výstupní informace o ztrátě kroku, přetížení motoru nebo limitu dojezdu.

Pro snímání polohy pohybujících se částí stroje se velmi často využívají indukční čidla. Indukční čidla fungují na principu změny impedance cívky uvnitř čidla a jsou schopná zachytit vodivý objekt většinou na vzdálenost několika mm. Indukční čidla jsou opatřena jemným metrickým závitem a maticemi s vějířovou podložkou, je možné je instalovat do průchozí díry v plechu. Využívají se všude, kde je potřeba detekovat přítomnost pohybující se součásti stroje. V případě SPMM frézky se čidla nacházejí v koncovém efektoru



Obrázek 2.17: Driver firmy Leadshine Technology [6]

robota, v koncových polohách lineárního vedení portálu a vřeten a v blízkosti upínacího hrotu.



Obrázek 2.18: Indukční čidlo [6]



3. Technické parametry stroje

Technické parametry stroje je potřeba vybrat pečlivě a uvážlivě. Špatně zvolené parametry mohou výrazně snižovat trvanlivost komponent stroje a tím zvyšovat náklady na údržbu. Nejdříve je nutné zvolit vhodný obráběcí nástroj. Podle parametrů nástroje je možné spočítat potřebný výkon a vybrat dostatečně výkonné vřeteno. Při obráběcích operacích vznikají řezné síly, které se promítají do posuvů stroje, je tedy nutné velikost těchto sil spočítat a vybrat servomotory s dostatečným momentem. Tato kapitola je zaměřená na výpočty a na zvolení konkrétních komponent SPMM frézky, které budou mít dostatečné parametry pro spolehlivou konstrukci stroje.

3.1. Volba nástroje

Volba nástroje závisí na vlastnostech obráběného materiálu. SPMM frézka je využívána pro obrábění hřídelí z materiálu 11SMn30 [26] (norma ČSN tuto ocel značí číslem 11 109, norma DIN číslem 9SMn28). Materiál spadá do kategorie tzv. *automatových ocelí* a vyznačuje se dobrou obrobiteľností. Materiálové charakteristiky jsou uvedeny v Tabulce 3.1.

Mez pevnosti	$R_m = 510 - 810$ [MPa]
Tvrdość	110 - 170 [HB]

Tabulka 3.1: Tabulka materiálových charakteristik oceli 11 109 [25]

Výrobci nástrojů na svých webových stránkách uvádí doporučenou řeznou rychlost a posuv na zub nástroje. Dodržení těchto parametrů se doporučuje pro zachování vysoké životnosti nástroje a dosažení kvalitního povrchu obráběné plochy. Na přání zákazníka výrobci opatřují nástroje speciálními povlaky, které zlepšují vlastnosti nástrojů. Pro SPMM frézku volím nástroje s povlaky.

3.1.1. Fréza

Mám velmi dobré zkušenosti s frézami od zlínské firmy ZPS-FN a. s. Pro účely stroje – frézování drážek šířky 6 mm – je vhodná drážkovací fréza z firemního katalogu s označením 220417 (viz Obrázek 3.1). Fréza je vyrobena z materiálu s označením HSSE-PM, což je rychlořezná ocel vyrobená pomocí práškové metalurgie. Struktura oceli se vyznačuje vyšší trvanlivostí nástroje a rozměrovou stálostí břítu. Tyto frézy výrobce dodává standardně s AlTiN povlakem. Povlak snižuje přenos tepla do nástroje, snižuje koeficient tření a zvyšuje odolnost nástroje proti otěru. [10]

3.1.2. Vrták


Vrták volím od firmy Nástroje CZ, s r. o., která se zaměřuje na výrobu vrtáků do kovu. V jejich sortimentu se nachází vrtáky mnoha velikostí, na přání zákazníka lze



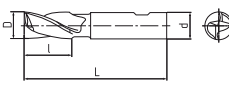
2204

DIN 327
ISO 1641
-PN 222192

FRÉZY PRO DRÁŽKY PER – KRÁTKÉ, nesouměrné, dvouzubé
SLOT DRILLS – SHORT, centre cutting, 2 – fluted
FRAISE HELICOIDALE – COURT, coupe au centre, 2 cannelures
ФРЕЗЫ ШПОНОЧНЫЕ – КОРОТКИЕ, несимметричные, двузубые



www.zps-fn.com





DIN 327
λ=25°
γ=12°

typ
N

HSS-PM
AlTiN

z=2





Použití / Usage / Domaines d'application / Употребление

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

D e 8	I	L	d h 6	CODE
2	4	48	6	220417.020
3	5	49	6	220417.030
4	7	51	6	220417.040
5	8	52	6	220417.050
6	8	52	6	220417.060
7	10	60	10	220417.070
8	11	61	10	220417.080
9	11	61	10	220417.090
10	13	63	10	220417.100
12	16	73	12	220417.120
14	16	73	12	220417.140
16	19	79	16	220417.160
18	19	79	16	220417.180
20	22	88	20	220417.200
22	22	88	20	220417.220
25	26	102	25	220417.250
28	26	102	25	220417.280

1
2
 3
 4
 5
 6
 7
 8

Příklad objednávky / Example of order / Exemple de commande / Пример заказа: **220417.020**

Obrázek 3.1: Drážkovací fréza firmy ZPS-FN [10]

vyrobit vrtáky s povrchovou úpravou nebo s povlakem. Vrták vhodný pro SPMM frézku s označením 338RNHSS má odpovídající rozměry a je vhodný na vrtání do oceli. Je vyrobený z materiálu HSS, což je rychlořezná ocel vhodná pro lehce obrobitelné materiály. Povrch nástroje je opatřen TiAlN povlakem, který zlepšuje jeho řezné vlastnosti, zvyšuje životnost nástroje a umožňuje obrábění i bez chlazení. [16]

3.2. Volba vřetena

V této kapitole jsou na základě hodnot řezné rychlosti a posuvu, daných výrobcem nástroje, spočítány řezné síly, moment a potřebný výkon vřetena. Výpočty jsou provedeny zvlášť pro frézu a vrták, neboť řezné podmínky a vzorce se při těchto obráběcích operacích liší.



3.2.1. Výpočty pro frézovací vřeteno

Na Obrázku 3.2 a 3.3 je uvedena doporučená řezná rychlost a posuv na zub v závislosti na průměru nástroje a materiálu obrobku. Tyto hodnoty jsou uvedeny také v Tabulce 3.2. Hodnoty závislé na geometrii obrábění a hodnota měrné řezné síly jsou uvedeny v Tabulce 3.3. Hodnota měrné řezné síly je závislá na materiálu (viz Obrázek 3.4).

Skupina Group Catég. Группа	Materiál Material Matériel Материал	Pevnost Strength Résistance Твердость	Příklad Example Exemple Пример	v (m/min)			
				HSS	HSSE HSS Co5	HSS Co8	HSSE-PM +AlTiN
1	Automatové a konstrukční oceli Free-cutting steels, general construction steels / Aciers automatiques, Aciers de construction d'usage général Автоматные и конструкционные стали	≤ 600 MPa	DIN 1.0037 DIN 1.0050 11 109 11 500	30	37,5	45	76

Obrázek 3.2: Doporučená řezná rychlost frézy [10]

Průměr Diameter Diamètre Диаметр [mm]	Posuv na zub f_z Feed/tooth Avance/Dent f_z Подача на зуб [mm]		Posuv na zub f_z Feed/tooth Avance/Dent f_z Подача на зуб [mm]	
	Nepovlakované Uncoated Non revêtu Без покрытия	Povlakované Coated Revêtu С покрытием	Nepovlakované Uncoated Non revêtu Без покрытия	Povlakované Coated Revêtu С покрытием
	2	0,003	0,003	0,006
3	0,006	0,007	0,009	0,010
4	0,008	0,009	0,013	0,014
5	0,011	0,012	0,016	0,018
6	0,015	0,017	0,022	0,024
8	0,021	0,023	0,029	0,032

Obrázek 3.3: Doporučený posuv na zub frézy [10]

Průměr nástroje	$D = 6$ [mm]
Počet efektivních břitů nástroje	$z_{ef} = 2$ [-]
Řezná rychlost	$v_c = 76$ [mm · min ⁻¹]
Posuv na zub	$f_z = 0,024$ [mm]
Úhel čela	$\gamma = 12^\circ$

Tabulka 3.2: Tabulka hodnot daných výrobcem [10]



Šířka záběru	$a_e = 6$ [mm]
Hloubka záběru	$a_p = 2,5$ [mm]
Měrná řezná síla	$k_{c1} = 1\,180$ [MPa]
Nárůst měrné řezné síly	$m_c = 0,21$ [-]

Tabulka 3.3: Tabulka volených hodnot

MC kód	Materiálová skupina	Materiálová podskupina	Způsob výroby	Tepelné zpracování	nom.	Měrná řezná síla, k_{c1} (N/mm ²)	m_c	
P1.1.Z.AN	1	1	Z kované/válcované/ tvářené za studena/ tažené	AN žhané	125 HB	1500	0.25	
P1.1.Z.HT				HT kalené+popuštěné	190 HB	1770	0.25	
P1.2.Z.AN		2	Z kované/válcované/ tvářené za studena/ tažené	AN žhané	190 HB	1700	0.25	
P1.2.Z.HT				HT kalené+popuštěné	210 HB	1820	0.25	
P1.3.Z.AN		3	3 vysoký obsah uhlíku, >0.55% C	Z kované/válcované/ tvářené za studena/ tažené	AN žhané	190 HB	1750	0.25
P1.3.Z.HT					HT kalené+popuštěné	300 HB	2000	0.25
P1.4.Z.AN		4	4 automatová ocel	Z kované/válcované/ tažené za studena	AN žhané	220 HB	1180	0.21
P1.5.C.HT					HT v původním stavu	150 HB	1400	0.25
P1.5.C.AN					C odlévání	AN kalené+popuštěné	300 HB	2880

Obrázek 3.4: Hodnoty měrné řezné síly pro oceli [17]

Otáčky

$$n = \frac{v_c \cdot 1\,000}{D \cdot \pi} = \frac{76 \cdot 1000}{6 \cdot \pi} = 4\,031,92 \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (3.1)$$

Posuv

$$v_f = f_z \cdot z_{ef} \cdot n = 0,024 \cdot 2 \cdot 4\,031,92 = 193,53 \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}\text{]} \quad (3.2)$$

Průměrná tloušťka třísky

$$h_m = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} = 0,024 \cdot \sqrt{\frac{6}{6}} = 0,024 \text{ [mm]} \quad (3.3)$$

Specifická řezná síla

$$k_c = h_m^{-m_c} \cdot k_{c1} \cdot \left(1 - \frac{\gamma}{100}\right) = 0,024^{-0,21} \cdot 1\,180 \cdot \left(1 - \frac{12}{100}\right) = 2\,272,58 \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-1}\text{]} \quad (3.4)$$

Řezná síla

$$F_c = k_c \cdot a_p \cdot h_m = 2\,272,58 \cdot 2,5 \cdot 0,024 = 136,35 \text{ [N]} \quad (3.5)$$



Moment vřetene

$$M = F_c \cdot r = 136,35 \cdot 6 = 0,82 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (3.6)$$

Výkon vřetene

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60} = \frac{136,35 \cdot 76}{60} = 0,17 \text{ [kW]} \quad (3.7)$$

3.2.2. Výpočty pro vrtací vřeteno

Na Obrázku 3.5 je doporučená řezná rychlost a posuv na otáčku v závislosti na průměru nástroje a materiálu obrobku. Tyto hodnoty jsou uvedeny také v Tabulce 3.4. Posuv na otáčku je nutné přepočítat podle vzorce 3.8 na posuv na zub. Hodnota měrné řezné síly je určena materiálem obrobku. Tato hodnota je uvedena v předchozím odstavci v Tabulce 3.3 a na Obrázku 3.4.

Obráběný materiál Working material Bearbeitenden Werkstoffe	KÓD - CODE			v (m/min)	Ø D (mm)				
	standard	special			2	4	6	9	12
Automatová ocel 350-500 MPa Free-cutting steel 350-500 MPa Automatenstahl 350-500 MPa	338RNHSS	338RCZ001 HSSAX 338RGT50HSS	E	30-40	0,05	0,1	0,125	0,16	0,2
Automatová ocel 500-900 MPa Free-cutting steel 500-900 MPa Automatenstahl 500-900 MPa	338RNHSS	338RCZ001 HSSAXTiN	E	25-30	0,04	0,08	0,1	0,125	0,16

Obrázek 3.5: Doporučená řezné podmínky pro vrták [16]

Průměr nástroje	$D = 2,3 \text{ [mm]}$
Počet efektivních břitů nástroje	$z_{ef} = 2 \text{ [-]}$
Řezná rychlost	$v_c = 30 \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}\text{]}$
Posuv na otáčku	$f_o = 0,04 \text{ [mm]}$

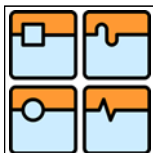
Tabulka 3.4: Tabulka hodnot daných výrobcem [16]

Posuv na zub

$$f_z = \frac{f_o}{2} = \frac{0,04}{2} = 0,02 \text{ [mm]} \quad (3.8)$$

Otáčky

$$n = \frac{v_c \cdot 1\,000}{D \cdot \pi} = \frac{30 \cdot 1\,000}{2,3 \cdot \pi} = 4\,151,87 \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (3.9)$$

**Posuv**

$$v_f = f_z \cdot z_{ef} \cdot n = 0,02 \cdot 2 \cdot 4151,87 = 166,07 \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.10)$$

Průřez třísky

$$h_m = \frac{f_z \cdot D}{4} = \frac{0,02 \cdot 2,3}{4} = 0,012 \text{ [mm]} \quad (3.11)$$

Specifická řezná síla

$$k_c = h_m^{-m_c} \cdot k_{c1} = 0,012^{-0,21} \cdot 1\,180 = 2\,987,13 \text{ [N} \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (3.12)$$

Řezná síla

$$F_c = \frac{f_z \cdot D \cdot k_c}{4} = \frac{0,02 \cdot 2,3 \cdot 2\,987,13}{4} = 34,35 \text{ [N]} \quad (3.13)$$

Moment vřetene

$$M = F_c \cdot r = 34,35 \cdot 1,15 = 0,04 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (3.14)$$

Výkon vřetene

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60} = \frac{34,35 \cdot 30}{60} = 0,02 \text{ [kW]} \quad (3.15)$$

3.2.3. Vřetena

Po konzultaci výše vypočtených parametrů s ředitelem české pobočky firmy ISO-TECH (výhradní český prodejce vřeten společnosti GMN) Ing. Petrem Šetkou mi bylo doporučeno pro frézu i vrták vřeteno s označením TSEV50x200. Tento typ vřetena disponuje výkonem 0,55 kW, vřetena s menším výkonem firma GMN nevyrábí. Ačkoliv je výkon vřetene vyšší, než je pro SPM frézku potřebné, vyšší dimenze výkonu je vhodná pro případ, že by došlo ke změně obráběcích parametrů v budoucnosti – například změna šířky drážky hřídele nebo změna průměru nástroje. Otáčky vřetena jsou v rozsahu 3000 - 4800 min⁻¹. Vřeteno je napájeno standardním třífázovým napětím 3×230 V AC / 50 Hz. Cena vřetena je 5 260 EUR – podle současného kurzu cca 142 000 Kč. Technický výkres vřetena je umístěn v Příloze 1.



3.3. Volba servomotorů

V této kapitole jsou provedeny potřebné výpočty pro volbu servomotorů, které pohánějí kuličkové šrouby. Nejdůležitějším parametrem servomotoru je jeho moment, na kterém závisí, jakou silou budou poháněny posuvné části stroje. Servomotory jsou v případě SPM frézky použity na posuv vřeten ve svislém směru (osa Z) a portálu ve vodorovném směru (osa Y). Frézovací vřetena jsou nakloněna pod úhlem 30° , avšak tento úhel by na výpočet neměl zásadní vliv, vřetena jsou proto pro zjednodušení výpočtů uvažována jako svisle umístěná. V Tabulce 3.5 jsou uvedeny potřebné hodnoty. Hodnota řezné síly je z důvodu vyšší bezpečnosti zvolena mnohokrát vyšší, než je skutečná hodnota řezné síly vypočtená v Kapitole 3.2.

Řezná síla frézy	$F_{cf} = 1\,000$ [N]
Řezná síla vrtáku	$F_{cv} = 500$ [N]
Hmotnost vřetene	$m_v = 15$ [kg]
Hmotnost portálu	$m_p = 100$ [kg]
Stoupání šroubovice kuličkového šroubu	$P = 5$ [-]
Účinnost kuličkového šroubu	$\eta = 0,9$ [-]
Koeficient tření v kuličkovém šroubu	$\mu = 0,003$ [-]

Tabulka 3.5: Tabulka hodnot pro výpočet servomotoru [21]

3.3.1. Výpočet pohonu v ose Y

Axiální síla

$$F_{ay} = 2 \cdot F_{cf} + \mu \cdot (2 \cdot m_v + m_p) \cdot 9,81 = 2 \cdot 1\,000 + 0,003 \cdot (2 \cdot 15 + 30) \cdot 9,81 = 2\,003,83$$
 [N] (3.16)

Moment pohonu

$$M_y = \frac{F_{ay} \cdot P}{2\,000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{2\,003,83 \cdot 5}{2\,000 \cdot \pi \cdot 0,9} = 1,77$$
 [N · m] (3.17)

3.3.2. Výpočet pohonu frézovacích vřeten v ose Z

Axiální síla

$$F_{az} = F_{cv} \cdot \mu + m_v \cdot 9,81 = 1\,000 \cdot 0,003 + 15 \cdot 9,81 = 441,45$$
 [N] (3.18)



Moment pohonu

$$M_z = \frac{F_{az} \cdot P}{2\,000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{441,45 \cdot 5}{2\,000 \cdot \pi \cdot 0,9} = 0,39 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (3.19)$$

3.3.3. Výpočet pohonu vrtacího vřetene v ose Z

Axiální síla

$$F_{az} = F_{cv} + \mu \cdot m_v \cdot 9,81 = 500 + 0,003 \cdot 15 \cdot 9,81 = 500,45 \text{ [N]} \quad (3.20)$$

Moment pohonu

$$M_z = \frac{F_{az} \cdot P}{2\,000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{500,45 \cdot 5}{2\,000 \cdot \pi \cdot 0,9} = 0,44 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (3.21)$$

3.3.4. Volba motoru

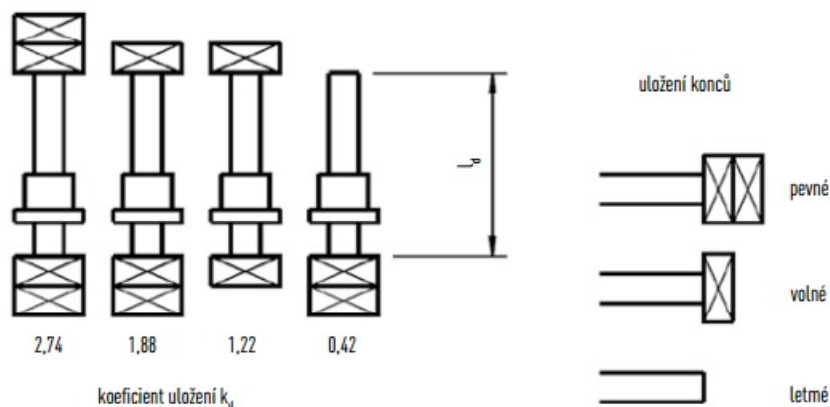
Hodnota momentu pro pohon portálu v ose Y byla vypočtena 1,77 N·m. Jelikož budou portál pohánět dva motory (každý na jedné straně), potřebný moment má poloviční hodnotu, tedy 0,89 N·m. Pro pohon osy Y jsem zvolila motor s označením ES-M32320 od firmy Leadshine Technology Co.,Ltd. Moment motoru je 2 N·m. Pro pohon jednotlivých vřeten v ose Z jsem zvolila motor s označením 573S09-EC-1000 od stejné firmy. Moment motoru je 0,9 N·m.

3.4. Kontrola kuličkových šroubů

V této kapitole je provedena kontrola kritických otáček a kritické síly pro kuličkové šrouby. Jak je uvedeno v Kapitole 2.2.3, kuličkový šroub v ose Y je na jednom konci uložen v kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem (*pevné* uložení), na druhém konci je uložen v radiálním kuličkovém ložisku (*volné* uložení). Kuličkové šrouby pro svislé vedení v ose Z jsou na obou koncích uloženy v kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem (*pevné uložení*). U kuličkových šroubů je nutné spočítat otáčkový faktor, který pro válcované šrouby nesmí přesáhnout hodnotu 70 000 – viz Obrázek 3.7. V případě vzpěrné tuhosti nesmí axiální síla přenášená šroubem překročit vypočtenou maximální hodnotu.

3.4.1. Kontrola maximálních otáček a vzpěrné tuhosti v ose Y

V Tabulce 3.6 jsou uvedeny hodnoty uvedené výrobcem šroubu, které jsou potřebné pro výpočty. Jsou zde pro větší přehlednost vypsány i hodnoty spočtené v minulých kapitolách.



Obrázek 3.6: Uložení konců kuličkového šroubu [22]

Typ kuličkového šroubu	Maximální otáčkový faktor
Válcovaný	70 000
Válcovaný s vymezenou vůlí	90 000
Okružovaný a broušený	90 000

Obrázek 3.7: Maximální otáčkový faktor [22]

Průměr šroubu	$d_k = 20$ [mm]
Koeficient uložení pro otáčky	$k_n = 1,88$ [-]
Koeficient uložení pro zatížení	$k_k = 2,05$ [-]
Délka šroubu mezi podpěrami	$l_d = 500$ [mm]
Axiální síla v ose Y	$F_{ay} = 2\,003,83$ [N]
Posuv	$v_f = 193,53$ [mm]

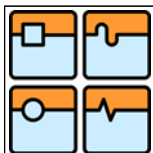
Tabulka 3.6: Tabulka hodnot pro výpočet kuličkového šroubu [22]

Kritické otáčky

$$n_k = k_n \cdot \frac{d_k}{l_d^2} \cdot 10^7 = 1,88 \cdot \frac{20}{500^2} \cdot 10^7 = 1\,504 \text{ [1} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.22)$$

Provozní otáčky

$$n_p = \frac{v_f}{P} = \frac{193,53}{5} = 38,71 \text{ [1} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.23)$$

**Kontrola maximálních otáček**

$$n_{max} = n_k \cdot 0,8 = 1\,504 \cdot 0,8 = 1\,203 [1 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.24)$$

$$n_p < n_{max}$$

Kontrola otáčkového faktoru

$$D_n = n_{max} \cdot d_k = 1\,203 \cdot 20 = 24\,064 [-] \quad (3.25)$$

$$D_n < 70\,000$$

Přípustné zatížení

$$F_k = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_d^2} \cdot 10^5 = 2,05 \cdot \frac{20^4}{500^2} \cdot 10^5 = 131\,200 [\text{N}] \quad (3.26)$$

Kontrola maximálního zatížení

$$F_{max} = F_k \cdot 0,5 = 131\,200 \cdot 0,5 = 65\,600 [\text{N}] \quad (3.27)$$

$$F_{ay} < F_{max}$$

Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že provozní otáčky i zatížení nepřekračují maximální povolenou hodnotu. Otáčkový faktor je také menší než maximální povolená hodnota. Šroub uvedených parametrů lze bezpečně použít.

3.4.2. Kontrola maximálních otáček a vzpěrné tuhosti pro frézovací vřeteno v ose Z

V Tabulce 3.7 jsou uvedeny hodnoty uvedené výrobcem šroubu, které jsou potřebné pro výpočty. Jsou zde pro větší přehlednost vypsány i hodnoty spočtené v minulých kapitolách.

Kritické otáčky

$$n_k = k_n \cdot \frac{d_k}{l_d} \cdot 10^7 = 2,74 \cdot \frac{20}{500} \cdot 10^7 = 2\,129 [1 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.28)$$



Průměr šroubu	$d_k = 20$ [mm]
Koeficient uložení pro otáčky	$k_n = 2,74$ [-]
Koeficient uložení pro zatížení	$k_k = 4,06$ [-]
Délka šroubu mezi podpěrami	$l_d = 500$ [mm]
Axiální síla v ose Z	$F_{az} = 441,45$ [N]
Posuv (rychloupusuv – volím)	$v_f = 500$ [mm]

Tabulka 3.7: Tabulka hodnot pro výpočet kuličkového šroubu [22]

Provozní otáčky

$$n_p = \frac{v_f}{P} = \frac{500}{5} = 100 [1 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.29)$$

Kontrola maximálních otáček

$$n_{max} = n_k \cdot 0,8 = 2\,129 \cdot 0,8 = 1\,753,6 [1 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.30)$$

$$n_p < n_{max}$$

Kontrola otáčkového faktoru

$$D_n = n_{max} \cdot d_k = 2\,129 \cdot 20 = 35\,072 [-] \quad (3.31)$$

$$D_n < 70\,000$$

Přípustné zatížení

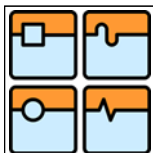
$$F_k = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_d^2} \cdot 10^5 = 4,06 \cdot \frac{20^4}{500^2} \cdot 10^5 = 259 [\text{kN}] \quad (3.32)$$

Kontrola maximálního zatížení

$$F_{max} = F_k \cdot 0,5 = 259 \cdot 0,5 = 130 [\text{kN}] \quad (3.33)$$

$$F_{ay} < F_{max}$$

Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že provozní otáčky i zatížení nepřekračují maximální povolenou hodnotu. Otáčkový faktor je také menší než maximální povolená hodnota. Šroub uvedených parametrů lze bezpečně použít.



3.4.3. Kontrola maximálních otáček a vzpěrné tuhosti pro vrtací vřeteno v ose Z

V Tabulce 3.8 jsou uvedeny hodnoty uvedené výrobcem šroubu, které jsou potřebné pro výpočty. Jsou zde pro větší přehlednost vypsány i hodnoty spočtené v minulých kapitolách.

Průměr šroubu	$d_k = 20$ [mm]
Koeficient uložení pro otáčky	$k_n = 2,74$ [-]
Koeficient uložení pro zatížení	$k_k = 4,06$ [-]
Délka šroubu mezi podpěrami	$l_d = 500$ [mm]
Axiální síla v ose Z	$F_{az} = 500,45$ [N]
Posuv	$v_f = 166,07$ [mm]

Tabulka 3.8: Tabulka hodnot pro výpočet kuličkového šroubu [22]

Kritické otáčky

$$n_k = k_n \cdot \frac{d_k}{l_d^2} \cdot 10^7 = 2,74 \cdot \frac{20}{500^2} \cdot 10^7 = 2\,129 \text{ [1} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.34)$$

Provozní otáčky

$$n_p = \frac{v_f}{P} = \frac{166,07}{5} = 33,21 \text{ [1} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.35)$$

Kontrola maximálních otáček

$$n_{max} = n_k \cdot 0,8 = 2\,129 \cdot 0,8 = 1\,753,6 \text{ [1} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (3.36)$$

$$n_p < n_{max}$$

Kontrola otáčkového faktoru

$$D_n = n_{max} \cdot d_k = 1\,753,6 \cdot 20 = 35\,072 \text{ [-]} \quad (3.37)$$

$$D_n < 70\,000$$

**Přípustné zatížení**

$$F_k = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_d^2} \cdot 10^5 = 4,06 \cdot \frac{20^4}{500^2} \cdot 10^5 = 259 \text{ [kN]} \quad (3.38)$$

Kontrola maximálního zatížení

$$F_{max} = F_k \cdot 0,5 = 259 \cdot 0,5 = 130 \text{ [kN]} \quad (3.39)$$

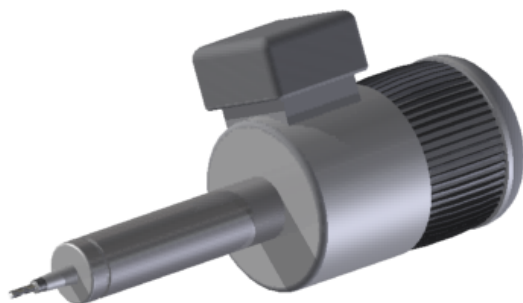
$$F_{ay} < F_{max}$$

Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že provozní otáčky i zatížení nepřekračují maximální povolenou hodnotu. Otáčkový faktor je také menší než maximální povolená hodnota. Šroub uvedených parametrů lze bezpečně použít.



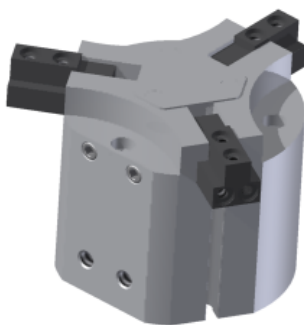
4. Tvorba 3D modelu

Výsledný model se skládá z mnoha jednotlivých komponent. Modely některých komponent jsou vlastní výroby, například kuličkový šroub, vřeteno, nosná konstrukce, plechové výpalky a držáky.



Obrázek 4.1: Vřeteno TSEV50

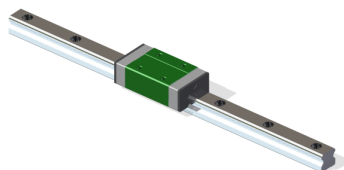
Pneumatické komponenty jsou po registraci dostupné z webových stránek firmy Festo [7].



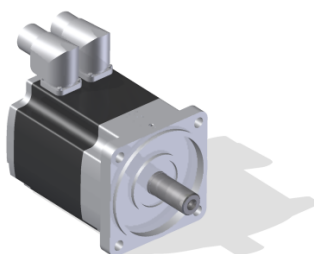
Obrázek 4.2: Chapadlo firmy Festo



Některé komponenty, například motory nebo lineární vedení jsou volně dostupné na webové stránce Traceparts [24]

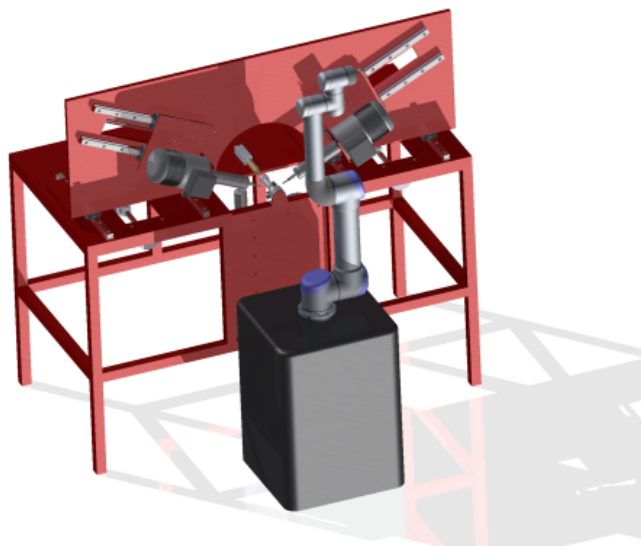


Obrázek 4.3: Lineární vozík s kolejničí

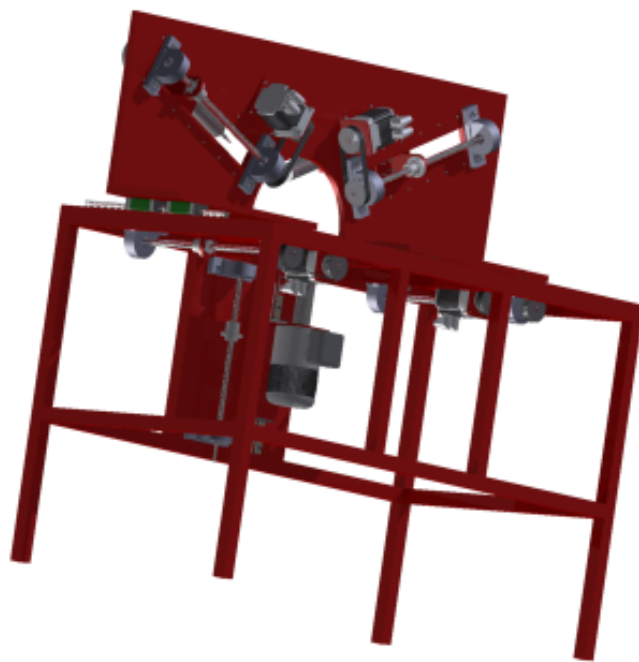


Obrázek 4.4: Hybridní servomotor

Výsledný model SPMM frézky:



Obrázek 4.5: SPMM frézka – přední pohled



Obrázek 4.6: SPMM frézka – zadní pohled bez robota



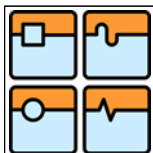
5. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout jednoúčelový stroj určený k frézování drážek a vrtání otvoru do hřídele.

První polovina práce byla věnována rešerši v oblasti konstrukce portálových frézek. Byla zde provedena i rešerše a následná volba konkrétního modelu v oblasti šestiosých manipulačních robotů. Pro SPMM frézku byl vybrán model s označením UR5 od firmy Universal Robots.

V druhé části práce jsem se věnovala výpočtům a výběru konkrétních komponent SPMM frézky. Zvolila jsem vhodné nástroje pro obrábění. Spočítala jsem potřebný výkon pro obráběcí vřeteno a následně pro všechny obráběcí operace vybrala vřeteno s označením TSEV50 od firmy GMN. Další výpočty se týkaly výběru vhodných servomotorů pro pohon kuličkových šroubů a byla provedena kontrola těchto šroubů. Kontrolní výpočty ukázaly, že komponenty uvedených parametrů lze bezpečně použít. V případě reálného návrhu by bylo potřeba spočítat mnohem více parametrů (životnost komponent, bezpečnost vzhledem k statickému a dynamickému zatížení aj.) Z praxe mám však poznatek že se mnoho z těchto výpočtů vůbec neprovádí a záměrně se volí komponenty s mnohem vyššími parametry než je skutečně třeba.

Pro výrobu 3D modelu a výkresu sestavy jsem použila Autodesk Inventor 2014 a Autodesk AutoCAD 2014. Bakalářská práce byla vytvořena v sázecím programu L^AT_EX.

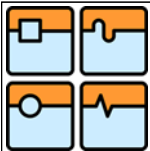


Literatura

- [1] MIKULOVÁ, M. Frézovací stroje současné produkce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 34 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Blecha, Ph.D.
- [2] Marek, J. a kol; Konstrukce CNC obráběcích strojů. MM Speciál. Praha: MM publishing, s.r. o, 2010. 420 s.
- [3] MRÁZ, P. Průmyslové roboty v praxi. ČVUT (Praha), 2008. 14 s. Referát. České vysoké učení technické Praha, Fakulta strojní, Ústav konstruování a částí strojů
- [4] HUMÁR, A. Technologie 1: Základní metody obrábění - 1. část. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 17 s.
- [5] TH. KEKEISEN GMBH [online] <http://www.kekeisen.de>
- [6] CNCshop [online] <http://www.cncshop.cz/>
- [7] FESTO [online] <http://www.festo.com>
- [8] Hennlich [online] <http://www.hennlich.cz/produkty/linearni-vedeni-valiva-motory-a-pohony-linearni-vedeni-valive-linearni-vedeni-s-kulickotyp-svs.html>
- [9] Universal Robots a.s. [online] <http://www.universal-robots.com>
- [10] ZPS-FN a.s. [online] <http://www.zps-fn.cz/>
- [11] KUKA Roboter GmbH [online] <http://www.kuka-robotics.com/>
- [12] ABB [online] <http://www.abb.com/product/cz/9aac100735.aspx>
- [13] FANUC Czech, s r. o. [online] <http://www.fanucrobotics.cz>
- [14] GMN TSE spindle [online] <http://www.gmn.de/en/spindles/products/direct-motorized-spindles-air-cooled/spindles-with-direct-drive.html>
- [15] SKF hybridní ložiska [online] <http://www.skf.com/cz/industry-solutions/electric-motors/electric-motors-for-e-powertrain/requirements/long-service-life/skf-hybrid-bearings-for-high-speed-electric-motors/index.html>
- [16] Nástroje CZ, s r. o. [online] <http://www.nastrojecz.cz/>
- [17] Sandvik Coromant [online] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/iso_p_steel/pages/default.aspx



- [18] kovonastroje [online] <http://www.kovonastroje.cz/Nastroje-pro-kovoobrabeni/Frezovani/Klestinove-upinace-a-klestiny/Klestiny-do-klestin-upinacu/>
- [19] Rittal Czech, s r. o. [online] <http://www.rittal.com/cz-cs/content/cs/produkty/schaltschraenke/schaltschraenke.jsp>
- [20] Linhartronik [online] <http://www.linhartronik.cz/file.php?nid=3507&oid=427527>
- [21] THK [online] https://tech.thk.com/en/products/pdf/en_b15_006.pdf
- [22] Hiwin s r. o. [online] http://www.hiwin.cz/media/files/02_Kulickove_srouby.pdf
- [23] TAEGU TEC [online] http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka_obrabeni_341.pdf
- [24] Traceparts [online] <http://www.tracepartsonline.net/>
- [25] European steel and alloy grades [online] http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=155
- [26] EN 10277-3
- [27] ČSN 41 1109

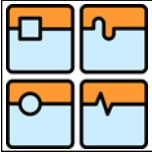


6. Seznam použitých zkratk a symbolů

a_e	šířka záběru
a_p	hloubka záběru
d_k	průměr kuličkového šroubu
D	průměr nástroje
D_n	otáčkový faktor
F_{ay}	axiální síla v ose Y
F_{az}	axiální síla v ose Z
F_c	řezná síla
$F_{c.f}$	volená řezná síla frézy
$F_{c.v}$	volená řezná síla vrtáku
F_k	přípustné zatížení
F_{max}	maximální zatížení
f_o	posuv na otáčku
f_z	posuv na zub
h_m	průměrná tloušťka třísky
k_c	specifická řezná síla
k_{c1}	měrná řezná síla
k_k	koeficient uložení pro zatížení
k_n	koeficient uložení pro otáčky
l_d	délka šroubu mezi podpěrami
M	moment vřetene
m_c	nárůst měrné řezné síly
m_p	hmotnost portálu
m_v	hmotnost vřetene
M_y	moment motoru v ose Y



M_z	moment motoru v ose Z
n	otáčky
n_k	kritické otáčky
n_{max}	maximální otáčky
n_p	provozní otáčky
P	stoupání kuličkového šroubu
P_c	výkon vřetene
R_m	mez pevnosti
v_c	řezná rychlost
v_f	posuv
z_{ef}	počet efektivních břitů nástroje
γ	úhel čela
μ	koefficient tření v kuličkovém šroubu
η	účinnost kuličkového šroubu



7. Seznam příloh

Příloha 1 - Technický výkres včetně TSEV50 [A3]

Příloha 2 - Výkres sestavy SPMM frézky [A1]

Příloha 3 - CD s 3D modelem SPMM frézky