



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ROTAČNÍ NÁHONOVÉ SOUSTAVY

ROTARY DRIVE SYSTEM FOR LIVING TOOL

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Matyáš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Marek

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Student: **Ondřej Matyáš**

Studijní program: Strojírenství

Studijní obor: Stavba strojů a zařízení

Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Marek**

Akademický rok: 2017/18

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:

Rotační náhonové soustavy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ve stavbě CNC obráběcích strojů existují dva typy rotačních náhonových soustav podle toho, kterou kinematickou skupinu nahánějí (nástroj, obrobek). Cílem této práce je zpracovat řešerši současného stavu náhonů, jednotlivé typy popsat.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše současného stavu rotační náhonové soustavy.

Návrh náhonu desky otočného stolu.

Technicko - ekonomické zhodnocení návrhu náhonu.

Seznam literatury:

MAREK, Jiří. MM publishing, s.r.o.: Konstrukce CNC obráběcích strojů III, 2014, ISBN 978-80-2-0-6780-1.

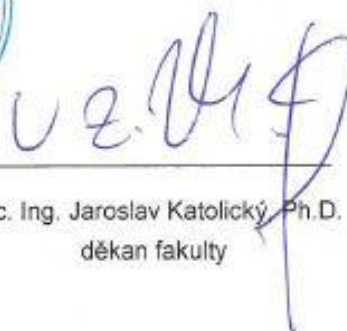
BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. 1. vyd., 1986. 145 s. ISBN 55-600-86

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 1. 11. 2017



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

Daná práce nám ukazuje základní rozdělení rotační náhonové soustavy CNC strojů. První část práce této práce poukazuje na základní rozdělení Rotační náhonové soustavy, tedy nástroj a obrobek. Další částí je rozdělení dle způsobu náhonu, rotační servopohon a přímo poháněné.

ABSTRACT

The work shows us the basic division of the rotary náhonové system of CNC machines. The first part of the work of this thesis refers to the fundamental distribution of the Rotational náhonové system, i.e. tool and workpiece. Another part is the distribution according to the method of drive, the rotary actuator and directly driven.

KLÍČOVÁ SLOVA

Obráběcí centrum, Rotační náhonová soustava, CNC, Motor

KEYWORDS

Machining center, Rotary-powered system, CNC, Engine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATYÁŠ, O. *Rotační náhonové soustavy*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2018, 48 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Marek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto chci poděkovat mé rodině a především panu Ing. Tomáši Markovi za důležité informace a hodiny strávené konzultacemi k zdárnému vypracování mé bakalářské práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25.5.2018

.....

Ondřej Matyáš

ÚVOD.....	11
1 CNC STROJE	13
1.1 3osé obráběcí centrum	14
1.2 4osé obráběcí centrum	15
1.3 5osé obráběcí centrum	16
2 ROZDĚLENÍ ROTAČNÍCH KINEMATICKÝCH DVOJIC	17
2.1 Dvě rotační osy v polohování nástroje.....	17
2.2 Jedna rotační osa v polohování nástroje a jedna rotační osa v polohování obrobku ..	18
2.3 Dvě rotační osy v polohování obrobku	18
3 POPIS VYBRANÝCH PRVKŮ NÁHONOVÉ SOUSTAVY.....	19
3.1 Vedení	19
3.1.1 Valivé vedení.....	20
3.1.2 Hydrostatické vedení	20
3.2 Odměřování Polohy	21
3.2.1 Nepřímé odměřování	21
3.2.2 Přímé odměřování.....	22
3.2.3 Inkrementální odměřování	22
3.2.4 Absolutní odměřování.....	23
3.2.5 Magnetický snímač polohy	23
3.3 Mazání.....	24
3.4 Krytování.....	24
3.5 Elektromotory Motory	24
3.5.1 Asynchronní motory	25
3.5.2 Synchronní motor	25
4 POPIS VYBRANÝCH OS.....	26
4.1 Frézování dvouosou frézovací hlavou	26
4.2 Otočným stolem a naklápěcí hlavou	27
4.3 Otočně sklopné stoly.....	29
4.3.1 Oboustranně uložený sklopný stůl.....	29
4.3.2 Letmě uložené otočné stoly	31
5 NÁVRH OTOČNÉHO STOLU.....	32
5.1 Zadané parametry	32
5.2 Statické hledisko	34
5.3 Dynamické hledisko.....	34
5.4 Kinematické hledisko.....	34
6 ZÁVĚR.....	35
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	37
8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK	41
8.1 Seznam zkratk a symbolů	41
8.2 Seznam obrázků.....	41
8.3 Seznam tabulek.....	42

ÚVOD

Rotační náhonové soustavy jsou nedílnou součástí kteréhokoliv obráběcího stroje, který pomocí rotačního pohybu obrobku nebo nástroje odebírá materiál z obrobku. Stejně jako bez lineárních soustav, které nejčastěji posunují obrobek, tak i bez rotačních náhonových soustav, by se frézky, soustruhy, brusky, vrtačky či vyvrtávací stroje nedokázaly obejít. Náhonové soustavy CNC strojů nejsou pouze elektromotory, které jsou hlavní součástí rotační náhonové soustavy. Ale také náhony, které se rozdělují, dle způsobu přenosu kroutícího momentu z motoru na nástroj či obrobek. Dalším bodem rotační náhonové soustavy, je vedení, ať už se jedná o vedení valivé, hydrostatické či dokonce obě varianty dohromady, tedy kombinované. Přesná výroba CNC strojů je podmíněna přesným odměřováním polohy. Dle způsobu jakým je odměřování prováděno, se dělí na přímé a nepřímé. Abychom předešli zadření stroje je důležité rotační i lineární soustavy jako je například: vedení, ložiska a mnohé další komponenty, řádně mazat. Ve všech směrech strojírenství se pokrok technologií každým rokem zásadně mění, tak ani v tomto směru výrobci nezházejí a vymýšlí stále dokonalejší, rychlejší, bezpečnější a automatizovanější CNC stroje. Hlavní výhodou dnešních strojů, je spektrum materiálů, které v dnešní době dokáží CNC stroje obrábět. Díky modernizaci rotačních náhonových soustav dnes dosahujeme kratších výrobních časů a vyšších přesností na výrobku.

1 CNC STROJE

CNC stroj se často překládá jako počítačem číslicově řízený stroj. Anglicky Computer Numerical Control, jak je již patrné ze zkratky CNC. CNC zařízení je zkonstruováno tak, aby splňovalo podmínky automatického režimu. Předchůdce CNC strojů, byly systémy NC, také číslicově řízené, nikoliv však počítačem řízené stroje. Číslicovým řízením (NC - Numerical Control) je myšleno samočinné řízení samotného stroje pomocí předem vytvořeného programu datového typu. Jejich základním cílem bylo zlepšit přesnost a rychlost výroby plechů pro leteckou dopravu. Základem CNC stroje je vysoká přesnost a tím podmíněná tuhost stroje. Tento stroj dokáže na jedno upnutí zvládat více operací, jako jsou například, frézování, vrtání, vyvrtávání, vystružování a jiné. Jako hlavní výhodu CNC stroje považujeme automatické provozní podmínky, jako je plynulý rozběh vřetene, automatická výměna nástroje či obrobku, automatické chlazení a odstranění třísky, tím pádem nepřetržitou pracovní dobu stroje. Nadskupinou CNC strojů jsou obráběcí centra, které se dále dělí na vertikální obráběcí centra, horizontální obráběcí centra a portálové obráběcí centra. Nesmíme zapomenout na Multifunkční obráběcí centra, které jsou vrcholem třískového obrábění. Rozdíl mezi obráběcím strojem a multifunkčním obráběcím centrem je takový, že multifunkční obráběcí centrum nemají dominantní způsob třískového obrábění, tedy není hlavní, zda je obráběcí centrum určené na soustružení či frézování, jako tomu bylo u obráběcích center určených primárně pro soustružení a sekundárně pro frézování, či naopak. Běžně se u multifunkčních center setkáváme s 5osím či 4osím obráběním, které disponuje možností obrábění na jedno upnutí, tím kratšího času obrobení, tím pádem větší produktivitu výroby. [1]

CNC obráběcí centrum

- Obráběcí stroj s výhodou samostatnosti ve výrobě
- Přesnější výrobek oproti obrábění na klasickém soustruhu, frézce a podobně
- Možnost vykonávání dvou a více technologických operací
- Proces výroby v automatickém režimu
- Obrábění dle předem či na stroji psaném programu



Obr. 1) CNC Obráběcí soustruh [2]

Multifunkční obráběcí centrum

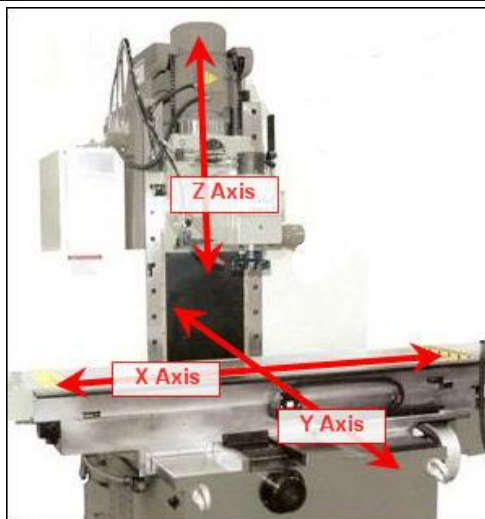
- Umožnění více technologických operací (vrtání, soustružení, frézování a podobně)
- Umožnění automatické výměny nástroje
- Umožnění automatické výměny obrobků
- Umožnění práce v automatickém či dokonce bezobslužném provozu
- Je vybaven měřicími či diagnostickými prvky na kontrolu obrobku
- Obrábění složitých tvarů na jedno upnutí na jednom stroji
- Současné operace, soustružení, frézování, vrtání a podobně [3]



Obr. 2) Obráběcí centrum Mazak [4]

1.1 3osé obráběcí centrum

CNC obráběcí centra se třemi osami stále mají místo v moderní výrobě. Zda je 3osý frézovací stroj správným řešením pro danou výrobu, závisí na nesčetných faktorech týkajících se velikosti výrobního cyklu, vlastností obrobku, požadavků na přesnost a konečnou úpravu, nákladů na materiál, skladových kapacit a tak dále. Firmy vyrábějící obráběcí centra mají odborné znalosti k analýze všech těchto faktorů a zjišťují, zda tříosé obrábění je pro zákazníka dostačující volbou. Pokud ano, je zbytečné, kupovat složitější, dražší víceosá obráběcí centra, které by pro svůj maximální rozsah neměli využít. Pokud, není dostačující volbou tříosé, volí se centrum 4osé či 5osé. [5]

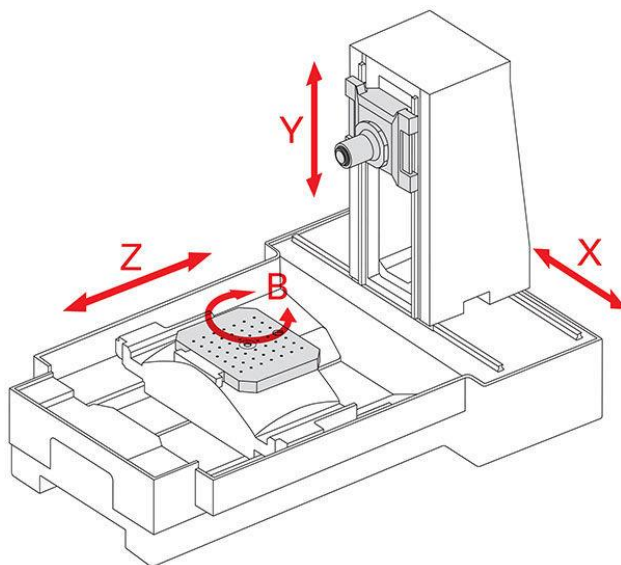


Obr. 3) 3osá CNC frézka [6]

Třiosá CNC fréza se může pohybovat v ose X (podélný posuv stolu s obrobkem), v ose Y (příčný posuv stolu s obrobkem), v ose Z (svislý posuv vřetene s nástrojem). Všechny tyto posuvy mohou probíhat současně, čímž dokážeme frézovat kruhové nálitky a mnohé další tvary.

1.2 4osé obráběcí centrum

Metoda 4osého obrábění se nejčastěji používá v oblasti frézování, konkrétně na frézovacích centrech, které vlastní pouze jednu rotační osu a tedy nelze u nich využít plného 5tiosého frézování. U této metody obrábění, můžeme použít dělicí přístroj, který umožní souvislý pohyb. Centrum má jednu rotační osu. Záleží na rotaci, kolem které osy se otáčí. Pokud se otáčí podle osy X, Y, pak se rotace značí A, B. V některých případech se otáčí dle osy Z, pak se značí C. Souvislého 4osé frézovací centrum, zajišťuje, že v jednom řádku CNC programu, můžeme pohybovat všemi osami současně. [7]



Obr. 4) 4osá CNC frézka [8]

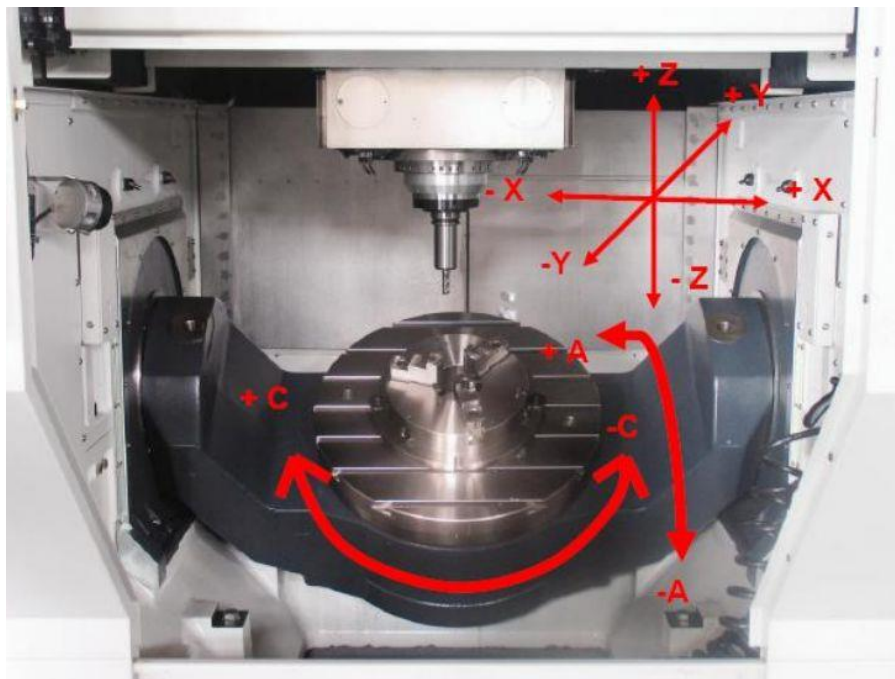
Čtyřosá CNC fréza na (Obr. 4), je schopna obrábět obrobek ve 3 lineárních osách X, Y a Z. A také jednou rotační osou, a to okolo osy Y nazývanou rotační osou B. Osa B je v tomto případě rotační osou otočného stolu, na kterém se nachází obrobek. V ose Y je upnuta fréza.

1.3 5osé obráběcí centrum

Pětiosé obráběcí centrum umožňuje téměř nekonečné možnosti obrábění co do velikosti tak tvaru v závislosti velikosti pojezdu stroje. Na 5osém obráběcím centru se nám pohybuje řezný nástroj okolo os A, B, (nebo C) nýbrž pak lineárně v osách X, Y a Z. Pětiosé technologie posouvají hranice obrábění velmi složitých tvarů a tím možnost nově vyrobitelných složitých součástí na jedno upnutí. [9]

Výhody pětiosého obrábění:

- Zaručuje kratší čas obrábění tvarově složitých dílů
- V závislosti na čase šetří peníze
- Použití kratších nástrojů, které nám umožní vyšší řezné rychlosti nástroje, tím menší vibrace nástroje a celého stroje



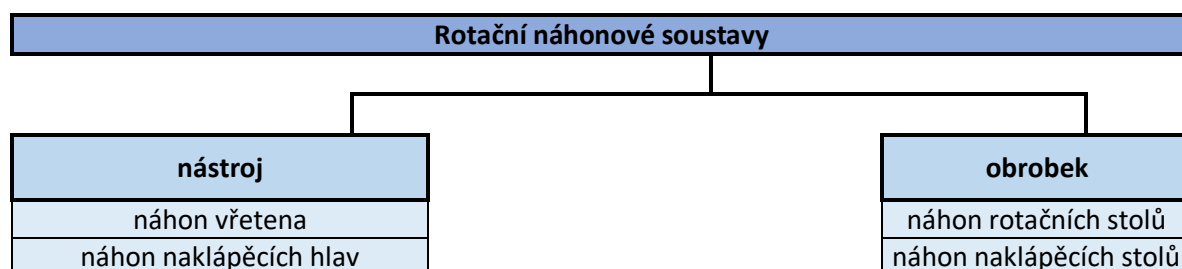
Obr. 5) 5osé obrábění s otočným stolem [10]

Každá lineární osa má svoje rotační osy, které se označují: lineární ose X náleží kolem ní rotační osa A, lineární ose Y náleží kolem ní rotační osa B, kterou v tomto obrázku nemáme, ale je důležité vědět, že existuje. V poslední řadě lineární posuv ve směru osy Z, které náleží kolem ní rotační osa C. Obrobek je uložen na otočném stole, frézovací nástroj (v tomto případě fréza) v ose Z.

2 ROZDĚLENÍ ROTAČNÍCH KINEMATICKÝCH DVOJIC

Rotační náhonovou soustavu můžeme rozdělit na dvě hlavní skupiny a to podle toho, zda je poháněn nástroj či obrobek. Pokud se jedná o pohon nástroje, jsou možné dvě hlavní varianty, a to buď náhon naklápěcích hlav, či druhou variantou, náhonem naklápěcích hlav. Stejně jako u náhonu, který poháněl nástroj, tak i u náhonu pohánějícím obrobek můžeme, rozdělit na dvě odvětví a to na náhon rotačních stolů a také na náhon naklápěcích hlav.

Tab 1) Typy rotačních náhonových soustav [11]

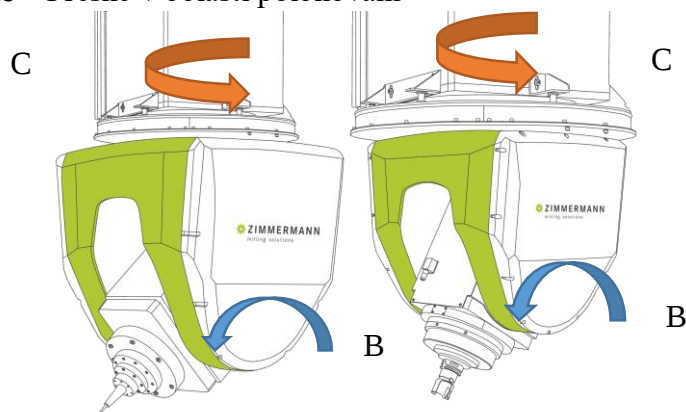


2.1 Dvě rotační osy v polohování nástroje

K pohybu frézovací hlavou ve dvou osách můžeme docílit např. dvěma elektromotory s dostačujícím kroutícím momentem. Pohon jednu osu je ve většině případech poháněn přímo, bez nutnosti převodu. To umožňuje rychlé spojení s úhlovým měřicím systémem s vysokým rozlišením polohování. Frézovací hlavy jsou velmi štíhlé, z důvodu přístupnosti obrábění stoupajících míst. [12]

Frézovací hlavy musí být:

- Tepelně stabilizované
- Optimalizované vůči kmitání
- Dostatečně odtlumené vůči vibracím
- Dostatečně tuhé
- Přesné v oblasti polohování



Obr. 6) Vidlicové obráběcí hlavy Zimmermann [12]

2.2 Jedna rotační osa v polohování nástroje a jedna rotační osa v polohování obrobku

Příkladem tohoto případu jsou jednoosé frézovací hlavy s polohováním 360° kolem hlavní osy vřetene, se využívají především na vysoce výkonové vrtání a frézování. Tělo těchto hlav je vyrobeno z tepelně zpracované hliníkové slitiny. Pohyblivé části z legované oceli uložené ve válečkových ložiscích. Hlava se otáčí v rozmezí od 0° do 360° . Hlavní centrální hřídel má integrovaný kužel, sloužící k maximální tuhosti. Tato hlava je v mnoha případech vyměnitelná a použitelná na více strojích, díky kuželovému upínání.

- Možnost použití na konvenčních strojích
- Vysoce přesné
- Široká škála použití
- Tuhost hlavy

2.3 Dvě rotační osy v polohování obrobku

Do této skupiny můžeme zařadit otočně-sklopný stůl, který se používá ve firmách, které se soustředí ve většině zakázek na obrábění v pěti osách, ale v některých méně častých případech jim stačí využít pouze osy tři, které tak umožní obrábění jednoduchých tvarů, bez nutnosti přeupnutí obrobku. Podstata věci spočívá v montáži otočně-sklopného stolu na pracovní stůl CNC stroje. Čímž vzniká víceosý obráběcí stroj. V mnoha případech dostačuje k obrábění 3osá technologie, a zároveň průměr otočné upínací plochy je příliš malý. Na strojích s vyměnitelnými otočně sklopnými stoly lze pro tento případ jednoduše stůl odebrat a využít upínací plochu v plném rozsahu. [13]

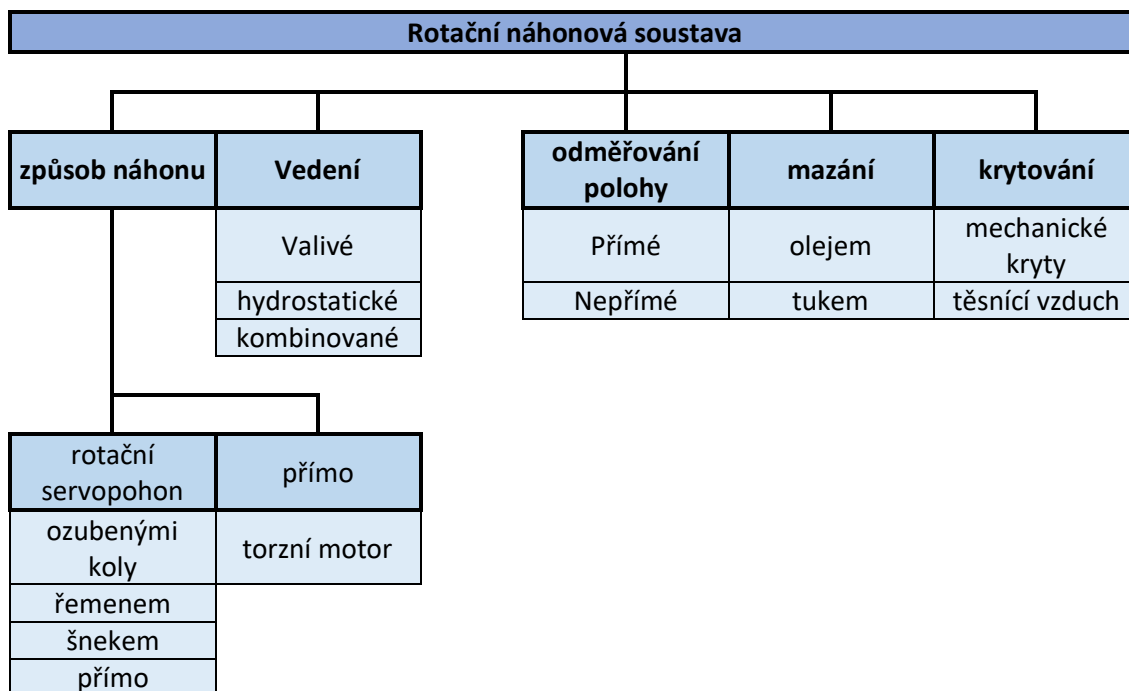


Obr. 7) Otočně-sklopný stůl [14]

Tento otočně sklopný stůl umožňuje rotaci okolo osy C v rozmezí $0-360^\circ$ a v rotační ose A $\pm 75^\circ$, tím pádem ideální podmínky pro frézování velkého spektra obrobků.

3 POPIS VYBRANÝCH PRVKŮ NÁHONOVÉ SOUSTAVY

Tab 2) Monografie rotační náhonové soustavy [11]



3.1 Vedení

Vedení je taková soustava vodících ploch, na kterou se stýkají pohyblivé části s nepohyblivou částí, což zaručuje určitý geometrický pohyb po velmi přesných vodících dráhách. Podle toho, po jakých dráhách se jednotlivé body pohybují, se rozdělují vedení na přímočará, kde se body pohybují po přímkách a dále také kruhová, kde se body pohybují po soustředných kružnicích. Dalším rozdělením je dle druhu tření mezi styčnými plochami. Dělí se na vedení kluzná obyčejná a kluzná hydrostatická, dále pak na valivá. [15]

Požadavky na vedení:

- Vedení musí mít dynamickou i statickou tuhost
- Snaha zachování přesnosti z výroby
- Výroba vedení s velkou přesností, aby odchylky dráhy pohybu od ideálního tvaru, byli co nejmenší, hlavně v požadované toleranci
- Zabránit vnikání nečistot (prachu, třísek, a jiných nečistot) na styčné plochy, zabránit případnému zadření
- Neustálé mazání, k zabránění zadření
- Zaručení tvaru vedení, aby při jednom pohybu, byl pouze jeden stupeň volnosti a vhodné z jedné části na druhou
- Jednoduchý profil vedení s ohledem na výrobu a přesnost vedení.

3.1.1 Valivé vedení

Valivé vedení označováno také jako lineární vedení. Tento způsob vedení se také používá pro dosažení přesných CNC strojů, kde je kolejnice spojena s ložem. Valivé elementy jsou nejčastěji kuličky či válečky, díky kterým se tření mezi kolejnicí a ložem výrazně zmenší. U CNC strojů se často vyskytují dva typy uspořádání kuliček. A to neřízený způsob uspořádání kuliček a na druhé straně řízený, kdy jsou kuličky odděleny klecí, která udržuje mezery mezi kuličkami a tím snižuje jejich tření.



Obr. 8) Schaeffler ložisko pro otočné stoly [16]

3.1.2 Hydrostatické vedení

Hydrostatické vedení se často používá u strojů, kde je podmínkou konat minimální pohyby s vysokou přesností, dále také únosností a v neposlední řadě také tuhostí a tlumením. Podstatou hydrostatického vedení je stálé kapalinné tření s nízkým klidovým součinitelem tření, který stoupá se stoupající rychlostí. V dnešní době se tato vedení používají mimo velkých obráběcích strojích, také hlavně u strojů, kde je kladen vysoký důraz na přesnost či na tvrdé obrábění. [17]



Obr. 9) Hydrostatické vedení CNC stroje [18]

Na tomto obrázku, můžeme vidět po obvodě drážky, ve kterých se při otáčení neustále udržuje olej o tloušťce několika mikrometrů. Olej je přiveden pomocí ocelových trubiček z tlakového čerpadla. Deska a obrobené drážky pro olej musí být vyrobeny dostatečně přesně, aby olej neunikal mezi drážkou a stolem a zároveň, aby se stůl mohl otáčet co s nejmenším třením.

3.2 Odměřování Polohy

Odměřování polohy je tvořeno jednou z nejdůležitější částí stroje co se týče přesnosti obrábění dané součásti. Podstatou celé věci, je že systém porovnává polohu, ve které se nástroj nachází, s hodnotou, kterou jsme mu zadali programem. Tento proces je realizován pomocí zpětné vazby skládající se z řídicího systému, řízeného prvku, senzoru či akčního členu. Odměřování musí splňovat kompaktní požadavky společně s jednoduchostí na prostorových nárocích a konstrukční složitosti. Umístění snímače je jedním z důležitých podstat, kterou klademe na snímač. Vždy se snažíme umístit snímač co nejbližší k pohonu, tím snížíme rezonanci a vyvarujeme se chyb. [19] [20]

3.2.1 Nepřímé odměřování

U tohoto způsobu odměřování se neurčuje přímo poloha polohující se součásti CNC stroje, nýbrž poloha polohového mechanismu, kterým může být úhel natočení kuličkového šroubu, či jiný. S nepřímým způsobem odměřování se setkáváme u málo náročných aplikacích, případně u os s malými zdvihy. Nevýhodou tohoto způsobu je nestálost teplot součástí a také nízká přesnost převodů. Výhody nepřímého vedení, jsou jednoznačně jednodušší způsob odměřování bez nutnosti dalších konstrukčních prvků pro připevnění. [21]



Obr. 10) Optické nepřímé odměřování vřetena [21]

Tento obrázek nám poukazuje na nepřímé měření, kdy měříme pomocí otáčkového snímače, otáčky na řemenici, a přepočítáváme je na otáčky výsledného pohybu. Tento způsob je jednoduchý na konstrukci a stačí nám přesnost na jednu otáčku, tudíž je zde nepřímé odměřování ideálním řešením.

3.2.2 Přímé odměřování

Přímé odměřování nám již z názvu napovídá, že se jedná o způsob, kdy jsou odměřovací systémy připevněny co možná nejbližší k pohyblivému nástroji, čímž se vyhneme teplotní roztažnosti konstrukce. Použití tohoto vedení je oproti nepřímému daleko náročnější, zejména pak na konstrukční uspořádání ve stroji. Tento způsob je tím pádem i mnohem dražší. Velkou výhodou tohoto odměřování, je několika násobně větší přesnost výsledného odměřování. [21]

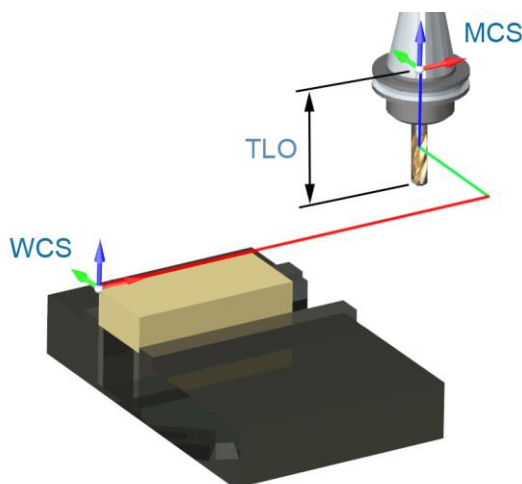


Obr. 11) Přímé magnetické odměřování otočného stolu [21]

V tomto případě potřebujeme přesně změřit polohu natočení stolu CNC obráběcího stroje, a nemůžeme si zde dovolit, nepřesnosti, které by způsobovalo nepřímé měření. Použitím magnetického snímače dosáhneme přesně takové přesnosti, na kterou byl celý stůl konstruován.

3.2.3 Inkrementální odměřování

U této metody odměřování získává řídicí systém informace ve formě impulsů, které na základě předem stanovených ploch či referenční polohy dopočítává. Před zahájením samotného obrábění na stroji, je nejprve potřeba najet referenční body všech os. Tímto úkonem se souřadný systém nastaví a poté je stroj připraven k práci. [21]

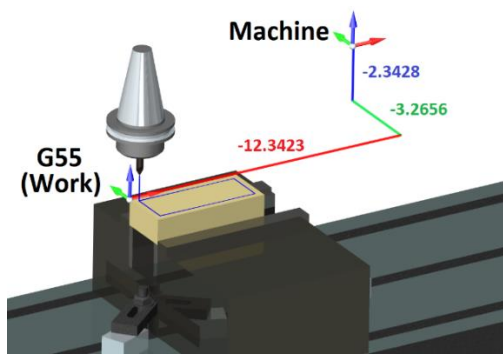


Obr. 12) Inkrementální odměřování [22]

U této metody musí nejprve stroj najet do počáteční polohy stroje, a pak pomocí dopočítávání od referenčního bodu, stále přičítá a odečítá jednotlivé vzdálenosti každé z os zvlášť.

3.2.4 Absolutní odměřování

Toto odměřování na rozdíl od inkrementálního odměřování, umožňuje řídicímu systému aktuálně po zapnutí stroje sdělit informaci o poloze všech měřených os vzhledem k souřadnému systému daného stroje. Díky tomuto způsobu odměřování se zkracuje čas přípravy stroje k samotnému obrábění. Velkou výhodou se stává hlavně u pětiosých strojů, kde umožní lépe obejít kolizní stavy ihned po zapnutí stroje, bez zdlouhavého najíždění do referenčního bodu. [21] [23]



Obr. 13) Absolutní odměřování [24]

Zde na rozdíl do inkrementálního odměřování vidíme na první pohled, že stroj bez nutnosti najetí referenčního bodu ví, kde se nachází, a stačí mu pouze sčítání a odečítání osových souřadnic.

3.2.5 Magnetický snímač polohy

Magnetické snímače se skládají ze dvou základních částí, čip s maticí Hallových sond a malý dvoupólový magnet. Snímače správně fungují jen za předpokladu, kdy je povrch čipu kolmý k měřené ploše. Díky promyšlenému návrhu matice snímače Hallových sond se podařilo omezit velké množství externích magnetických polí a tak je snímač schopen pracovat i v prostřední, ve kterém je vysoká úroveň magnetického rušení. Způsob výroby magnetického čipu umožňuje, že v jednom typu čipu můžeme integrovat analogový, inkrementální či absolutní výstupní formát signálu. [25]

Přínos magnetických snímačů:

- Spolehlivé snímání do hranice otáček až $30\,000\text{ min}^{-1}$
- Nízké náklady na montáž snímače
- Vysoká teplotní odolnost
- Vysoká odolnost vůči prachu, řezným kapalinám či vůči špíně
- Krytí normou až IP68
- Malý moment setrvačnosti, díky tomu, že se pohybuje pouze jeden malý díl



Obr. 14) Magnetický snímač Renishaw [26]

3.3 Mazání

Mazání je jedna z velice důležitých operací, bez které by stroj nedokázal fungovat a nejspíše se hodně rychle zadřel. Při volbě maziva musíme nejprve zohlednit rozsah pracovních teplot stroje k okolním podmínkám. Ze všech zohledněných předpokladů stroje, v dalším kroku volíme jakou metodou budeme CNC stroj mazat. Nejčastějším způsobem mazání, je mazání olejem nebo tukem. [27]

3.4 Krytování

Krytování je nedílnou součástí, každého stroje. Bez krytování bychom nebyli schopni dosáhnout nejvyšší možné kvality pracovního prostředí či v hlavním případě, bezpečnosti obsluhy. Krytování strojů může být použito, jako celkové zakrytí stroje či individuální, pouze na místech nutně potřebných, kde hrozí poškození obrobku či zranění obsluhy nebo dokonce poškození stroje. Zakrytované stroje zvyšují ergonomii pracoviště, dále splňují podmínky zákonů a předpisů pro bezpečnost práce. Krytování také zlepšuje vzhled samotného stroje i samotného pracoviště. [28]

- Zvýšení ergonomie pracoviště
- Dodržování předpisů a zákonů bezpečnosti práce
- Finální vzhled a design pracoviště, především stroje jako takového
- Zvukotěsnost stroje
- Bezpečnost pro obsluhu a okolí



Obr. 15) Zakrytování CNC obráběcího stroje od firmy Imes-Icore [29]

3.5 Elektromotory Motory

Elektromotory můžeme rozdělit v hlavním důsledku na motory synchronní a motory asynchronní. Synchronní motory jsou často používány jako motory posuvové, krokové či lineární motory. V neposlední řadě motory zabudovatelné vřetenové a elektro-vřetenové. Asynchronní motory pro vřetena a zabudovatelné motory, které jsou přímo poháněné.

Asynchronní motor



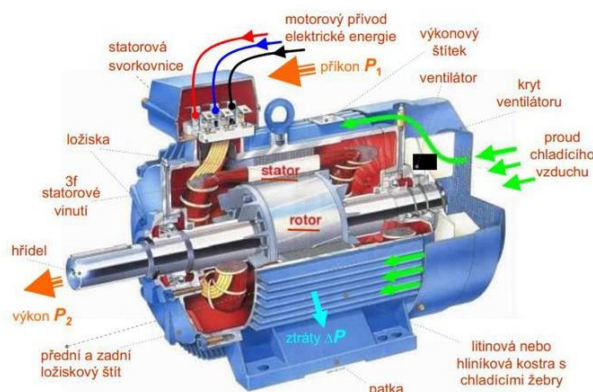
Synchronní motor



Obr. 16) Schéma asynchronního a synchronního elektromotoru [30]

3.5.1 Asynchronní motory

Asynchronní motory patří mezi nejvíce používané elektrické točivé stroje. Tyto motory zvládají pracovat jako motor i jako generátor, tedy stroj, který je schopen elektrickou energii vyrábět. Asynchronní motory se nejčastěji vyskytují jako motory vykonávající točivý pohyb hřídele kolem své osy. Konstrukce těchto motorů obsahuje hlavní část pevně zabudovanou, nazývanou stator a pohyblivou rotor. Stator je nejčastěji odlitý, či svařovaný nebo hliníkový. Ve všech těchto statorech jsou zalisované vzájemně odizolované plechy, které tvoří hlavní část magnetického obvodu motoru. Rotor, hřídel uložena v ložiscích statoru se vzduchovou mezerou, vůlí. Díky této vůli může vznikat magnetický tok. V rotorových i statorových nalisovaných plechách se nachází drážky, v nichž je uloženo vinutí stroje. Jednofázové či častěji třífázové vinutí je vyvedeno ke svorkovnici, odkud je možné motor připojit ke zdroji napětí. Méně častým typem jsou asynchronní motory lineární, tedy posuvové. [31]



Obr. 17) Popis asynchronního elektromotoru [32]

Na obrázku výše vidíme konstrukci asynchronního elektromotoru. Základem každého asynchronního motoru je hliníková či litinová kostra s chladicími žebry. V tomto těle jsou uloženy ložiska, oddělující rotor a stator vzájemně od sebe. Do statorové svorkovnice přivádíme 3fázový elektrický proud. Výsledkem je přeměna elektrické energie (příkon) na kroutící moment hřídele (výkon).

3.5.2 Synchronní motor

Pokud se díváme na synchronní motor z pohledu konstrukce, tak stator je jak pro asynchronní tak pro synchronní motor stejný. U rotoru již změna je, a to dost zásadní. Slisované plechy s vinutím nahradí nejčastěji permanentní magnety u malých motorů či elektromagnety u velkých motorů.

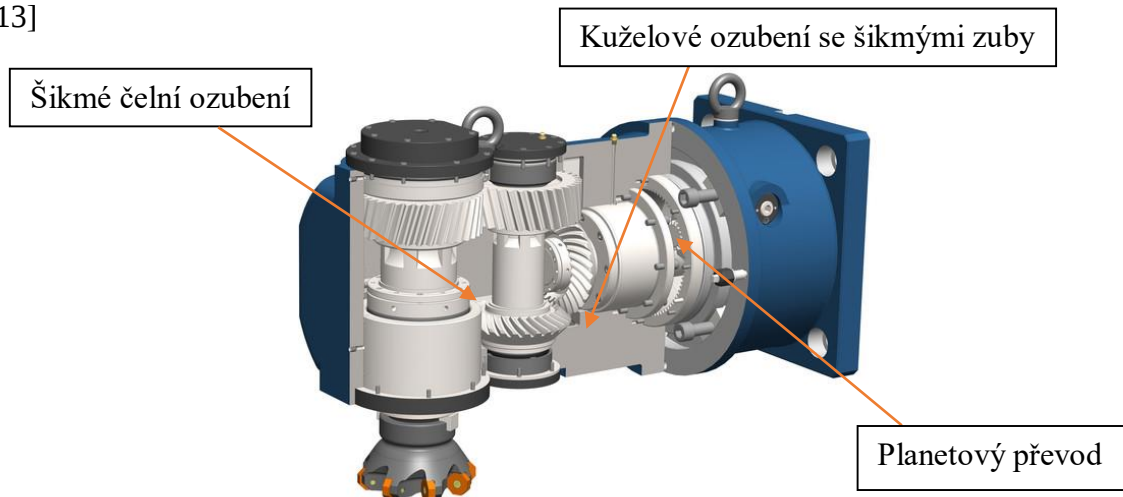


Obr. 18) Synchronní servomotory Siemens řady IFT6 [33]

4 POPIS VYBRANÝCH OS

4.1 Frézování dvouosou frézovací hlavou

Tato varianta je vhodná pro obrábění, který nejčastěji probíhá „shora“, tedy zejména obrábění lisovacích forem, nástrojů či zápuštěk, kde je důležité plně využít velkých pojezdů lineárních os X, Y, Z. U tohoto způsobu lze také obrábět boční stěny obrobku, ale bohužel s omezením, které je potřebné pro frézovací hlavu a nástroj. Tuto variantu nabízí firma Trimill řada strojů VF. [13]



Obr. 19) Dvouosá frézovací hlava [35]

Na (Obr. 20) vidíme dvouosou frézovací hlavu se třemi převodovými soukolími. Spojením od motoru přivádíme krouticí moment na hlavní hřídel, kde je umístěný planetový převod, který je spojený hřídelí s kuželovým šikmým ozubením. Dále je krouticí moment přenášen pomocí přímého šikmého ozubení na osu frézovacího nástroje.

Ozubená kola jsou takové součástky, kterými dokážeme přenést krouticí moment vstupního hřídele na hřídel výstupní, ve většině případech s rozdílným počtem zubů. Tímto způsobem, nejenže spojíme vstupní a výstupní hřídel, ale také docílíme stálého převodového poměru. Ozubená kola jsou nejčastěji zajištěna proti prokluzu těsným perem či drážkováním. U pohonů CNC strojů rozlišujeme, zda je servopohon připojen přes převod s ozubenými koly, k obráběcí hlavě, nebo k otočnému stolu.

4.2 Otočným stolem a naklápěcí hlavou

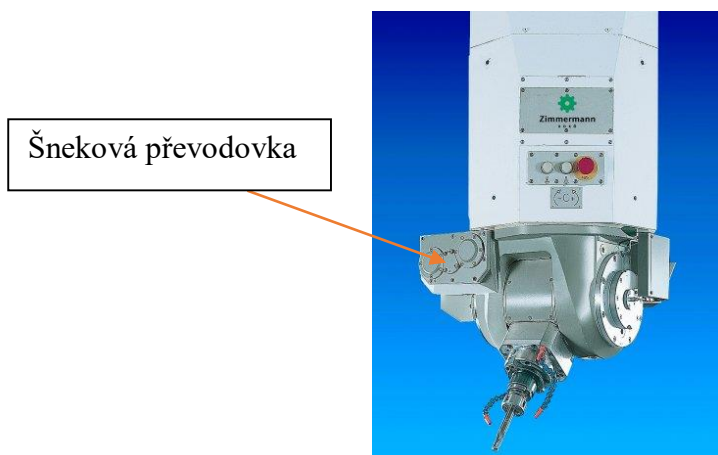
Využití, v případech kdy zákazník potřebuje obrábět často ze stran obrobku. Otočný stůl se neumísťuje do středu podélné osy X, nýbrž je posunut dále od středu pojezdu, čímž vznikne požadovaný prostor u obrobku pro frézování dlouhými nástroji do boku obrobku, případně pro vrtání dlouhých šikmých otvorů. Otočením stolu dosáhneme možnosti obrábění všech bočních stěn obrobku. U největšího portálu s rotačním stolem můžeme obrobit polotovary s průměrem i 3 000 mm. [13]



Obr. 20) Pětiosé portálové centrum s otočným stolem a naklápěcí hlavou [13]



Obr. 21) Pětiosé portálové centrum s dvouosou frézovací hlavou [13]

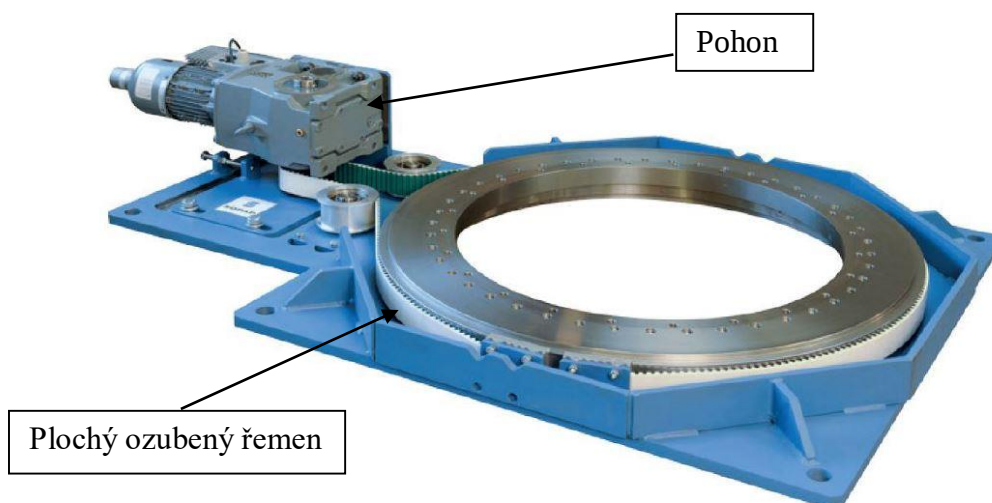


Obr. 22) Vidlicová hlava se šnekovým převodem pohonu [36]

Šneková převodovka se jednoznačně skládá z šnekového kola a samostatný šneku. Šnekové soukolí má největší účinnost ze všech uváděných převodů. Tento způsob může dosáhnou převodového poměru, až 1000. Šnekové soukolí je nejčastěji vyráběno odvalováním, radiálním způsobem či způsobem tangenciálním. Spojení rotačního servopohonu se šnekovou převodovkou umožňuje hladký chod celého stroje. Stejně jako u pohonu servopohonem s ozubenými koly či pomocí řemenu, tak i u servopohonu se šnekovým převodem, je možné tímto způsobem pohánět, jak rotační stůl CNC stroje, tak obráběcí hlavu. Princip funkce je přenést obrovský kroutící moment plynule a bez rázů s vysokou přesností. [37] [38]

Výhody:

- Velký rozsah regulace
- Silné převody
- Malé tření
- Vhodně pro hrubovací proces
- Cenově výhodný

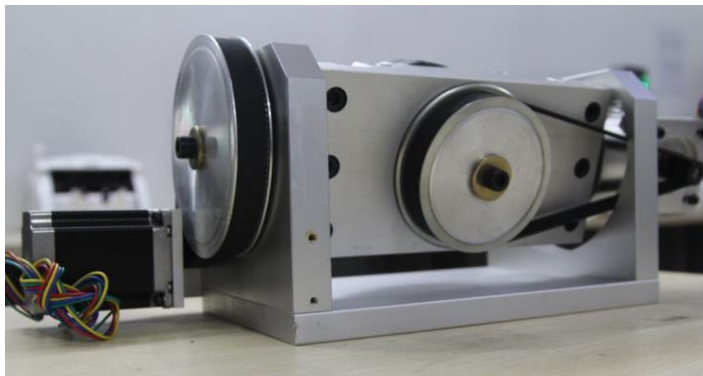


Obr. 23) Náhon rotačního stolu pomocí plochého ozubeného řemenu [39]

Převod pomocí plochého ozubeného řemenu. Ve většině případů se setkáváme s konstrukčním provedením rovnoběžného uspořádání a potřebou přenést kroutící moment z motoru na vřeteno případně na převodovku. Častým řešením je pomocí řemene. Řemeny jsou známé výhodou, kdy při stavu přetížení nastává prokluz a neničí se žádné součástky, jako jsou ozubená kola či šnek. Náklady na případnou výměnu řemenu jsou v porovnání s ozubenými koly minimální. Používá se hlavně z důvodů nízké hlučnosti a bez údržnosti chodu převodu. Přenos kroutícího momentu, ze servopohonu je uskutečněn pomocí plochého řemenu na otočný stůl či na obráběcí hlavu. [11]

4.3 Otočně sklopné stoly

Otočně sklopné stoly se dále dělí dle způsobu uložení na uložení letmé a oboustranné. Letmé se z prostého důvodu, již na první pohled stávají patrným outsiderem.



Obr. 24) Otočně sklopný stůl převodovaný plochým řemenem [40]

4.3.1 Oboustranně uložený sklopný stůl

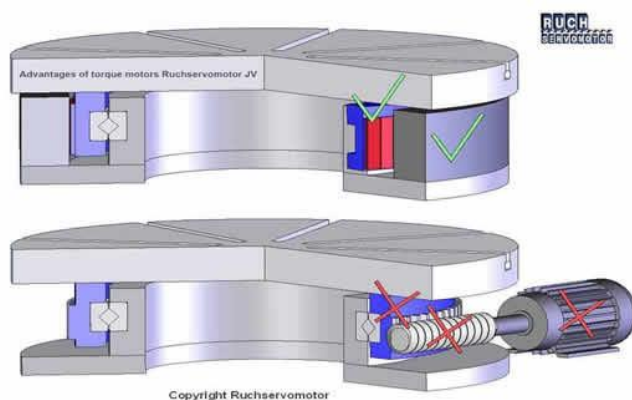


Obr. 25) Oboustranně uložený stůl [41]

U těchto oboustranně uložených sklopných stolů, je velmi častý náhon přímo, bez jakékoliv převodovky. Přímý náhon je jednou z posledních možností jak jednoduše na vstupní hřídel od motoru přímo napojit vřeteno či otočný stůl. Servomotory tohoto typu jsou vybaveny citlivou zpětnou vazbou a díky tomu i vysokému rozlišení či dokonalou bez hřídelovou konstrukcí pohonu, která je přímo uložena v ložiscích motoru a spojena tak s rotorem. Cílem každého CNC stroje je snaha docílit soustavu náhonu stolu či vřetene dostatečně tuhou, spolehlivou a hlavně co nejpresnější. [42]

Výhody tohoto způsobu přenosu kroutícího momentu:

- Vetší kroutící moment, díky nulovým ztrátám v převodu
- Přesnější i citlivější chod celého pohonu, díky nulové vůli
- Zpětná vazba od snímače a tím přesné polohování
- Přímé zatížení motoru

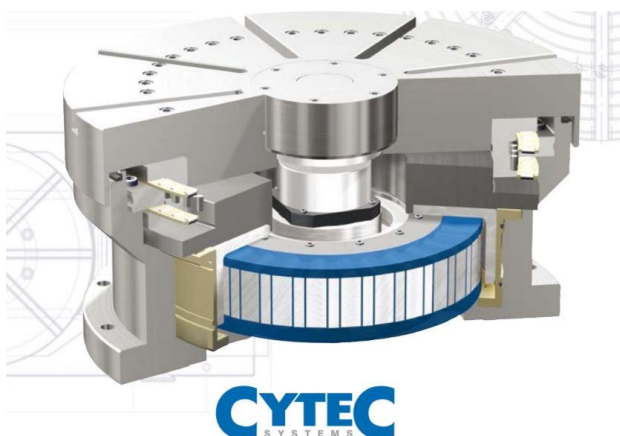


Obr. 26) Pohon rotačním servopohonem na přímo a s převodem [43]

Z tohoto obrázku je patrné, že pohony rotačním servopohonem napřímo nahrazují, dříve často používané servopohony s převodovkami. Každá převodovka má určité ztráty a také vůli, která způsobuje nepřesnosti v polohování.

Pohon torzním motorem je dnes stále častější způsob pohonů. Jsou často označovány jako přímé nebo také momentové motory. Řízení je prováděno stejně jako u servomotorů frekvenčním měničem či dalším nadřazeným systémem. Motory jsou ochlazované nejčastěji vodou či vzduchem. Hlavní výhody pohonu s torzním pohonem jsou velká dynamika motoru a hlavně nepotřebnost převodovky či setrvačnicku nebo dalších mechanických součástí, díky kterým dotáhneme požadovaného krouticího momentu na hřídeli. Některé motory jsou vybaveny resolverem, díky kterému jsou schopny si zapamatovat svoji poslední pozici, také po stavu, kdy došlo k přerušení napájení. [44]

- Vysoká stabilita i tuhost pohonu
- Velmi rychlý rozběh i zastavení motoru
- Stupeň krytí IP 65 (prachu těsný a ochráněn proti ponoření do vody na 30minut do hloubky 1 metr)
- Dodávání motorů s brzdou či dutou hřídelí
- Vodou či vzduchem chlazené



Obr. 27) Pohon torzním motorem v řezu [45]

4.3.2 Letmě uložené otočné stoly



Obr. 28) Servopohon s převodem ozubených kol, pohánějící otočný stůl [46]

Na (Obr. 29) můžeme vidět servopohon s převodem ozubenými koly, který otáčí letmo uloženým rotačním stolem. Již z obrázku je patrné, že pokud se zde nachází ozubení jsou tu zjevné vůle.

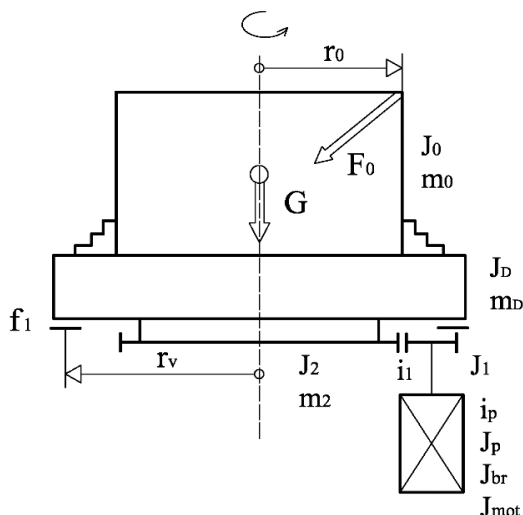
Obecně letmo uložené stoly mají problém s uložením ložisek, které jsou velmi namáhána. Dalším problémem je namáhání stroje vznikem dalšího momentu čímž má kolébka velmi omezenou nosnost obrobku. I přes všechny tyto nevýhody mají letmo uložené stoly uplatnění a to v oblasti lékařských nástrojů, výrobě krytů hodinek či dokonce zubních implantátů. [47]



Obr. 29) Letmo uložený stůl firmy Lehmann [48]

5 NÁVRH OTOČNÉHO STOLU

5.1 Zadané parametry



F_0 – obvodová (tangenciální) řezná síla [N]

J_{mot} – moment setrvačnosti kotvy rotoru AC servopohonu [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

J_{br} – moment setrvačnosti brzdě AC servopohonu [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

J_p – moment setrvačnosti vložené převodovky [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

J_1 – moment setrvačnosti hnacího pastorku [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

J_2 – moment setrvačnosti hnaného kola (věnce) [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

J_D – moment setrvačnosti desky stolu [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

J_o – moment obrobku [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$]

i_p – převodový poměr vložené převodovky [–], pro přímý náhon $i_p = 1$

i_1 – převodový poměr vloženého převodu [–], pro přímý náhon $i_1 = 1$

m_2 – hmotnost věnce [kg]

m_D – hmotnost desky stolu [kg]

m_o – hmotnost obrobku [kg]

r_o – působíště řezné síly [m]

r_v – působíště pasivních odporů [m]

f_1 – součinitel tření ve vodicích plochách [–]

Obr. 30) Výpočtový model náhonu desky otočného stolu [11]

Tab 3) Tabulka zadaných hodnot

Parametr	Zkratka	Hodnota	Jednotka
Obvodová (tangenciální) řezná síla	F_0	10 000	N
Počet zubů pastorku	Z_1	19	-
Počet zubů kola	Z_2	204	-
Modul	m	10	-
Korekční konstanta	k_{kor}	1,3	-
Působíště řezné síly	r_o	1	m
Převodový poměr vloženého převodu	i_p	1	-

Tab 4) Tabulka pro účinnosti

Parametr	Zkratka	Hodnota	Jednotka
Účinnost převodové skříně	η_p	0,9	-
Účinnost vloženého kola převodu pro ozubená kola	η_l	0,96	-
Účinnost vedení desky stolu	η_v	-	-
Výpočet celkové účinnosti	η_c	-	-
Frekvence	f	50	Hz

Při použití součinitele η_v (pro kluzné vedení 0,8), (pro valivé vedení 0,98), (pro hydrostatické vedení 0,99)

Volím hydrostatické vedení, tudíž $\eta_v=0,99$

$$\eta_c = \eta_p \cdot \eta_l \cdot \eta_v = 0,855 \quad (1)$$

Výpočet převodového poměru:

$$i_l = \frac{z_2}{z_1} = 10,737 \quad (2)$$

Výpočet kroutícího momentu:

$$M_n = \frac{F_o \cdot r_o}{i_p \cdot i_l \cdot \eta_c} = 1089,309 \text{ Nm} \quad (3)$$

Výpočet korigovaného kroutícího momentu

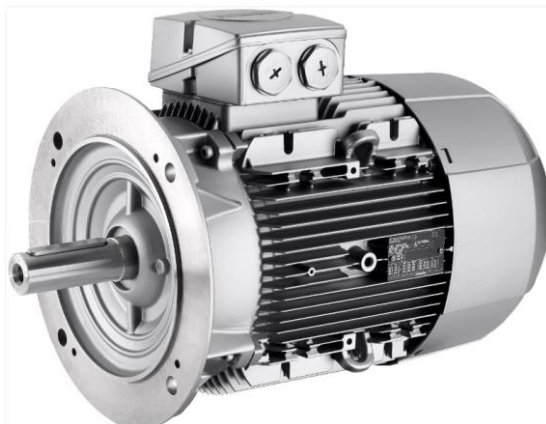
$$M = \left(\frac{F_o \cdot r_o}{i_p \cdot i_l \cdot \eta_c} \right) \cdot k_{kor} = 1416,101 \text{ Nm} \quad (4)$$

Výpočet výkonu elektromotoru

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot M \cdot f}{60} = 7414,69 \text{ W} \quad (5)$$

Zvolení motoru: Elektromotor SIEMENS 1LE1002-1Ca63-4xxx (11kW)

Dle vypočteného výkonu, jsem zvolil elektromotor značky Siemens třídy 1LE, která od roku 2007 nahrazuje základní řadu 1LA7 od hodnoty osově výšky 160mm sestupně až na hodnotu osově výšky 63mm. Jedná se o asynchronní třífázový motor s hliníkovým tělem, určený především k pohonu průmyslových zařízení, zejména pak obráběcích strojů, lisů, ventilátorů apod. Vhodné pro použití v prostředí mírného klimatu, případně ve speciálních provedeních i v jiných klimatických podmínkách.



Obr. 31) Elektromotor SIEMENS 11kW [49]

Tab 3) Tabulka parametrů motoru

Parametr	Zkratka	Hodnota	Jednotka
Minimální výkon motoru	P	0,18	kW
Maximální výkon motoru	P	11	kW
Otáčky motoru	n	2920	min ⁻¹
Osová výška hřídele	h	132	mm
Počet pólů	p	2, 4, 6, 8	-
Frekvence	f	50/60	Hz
Barva motoru	RAL	7030	-
Rozsah teplot prostředí	T	-30 až 40	°C

5.2 Statické hledisko

Toto hledisko bylo zadání použito v mém daném zadání, kde bylo třeba vypočítat potřebný výkon elektromotoru. Ze statického vyvození lze zjistit požadovaný krouticí moment, závislý na pasivních odporech. [11]

5.3 Dynamické hledisko

Momentové rovnice upřesňující potřebný moment motoru při konstantním momentu zátěže redukováném na hřídeli motoru a konstantním momentu setrvačnosti. Jednu z hlavních rolí dynamického hlediska celková hmotnost, kterou rozbíháme soustavu. Dále je důležité nezapomenout na poměr působíště pasivních odporů vedení a v neposlední řadě na součinitel tření. Z tohoto důvodu je důležitý druh vedení. [11]

5.4 Kinematické hledisko

Pojednává o zrychlení nebo naopak o zpomalení desky stolu. K výpočtu kinematického hlediska je nutné znát, úhlovou rychlost desky stolu v jednotkách radiánů za sekundu. Dále čas rozběhu desky stolu a čas zpoždění desky stolu v sekundách. [11]

6 ZÁVĚR

Tématem této bakalářské práce byly rotační náhonové soustavy CNC strojů. Cílem první části této práce bylo provedení rešerše aktuálního stavu rotačních náhonových soustav CNC strojů. Tato oblast je velmi rozsáhlá. Strojírenství jako takové, za poslední roky udělalo velké kroky, k čím dál více přesným obráběcím strojům, což vede k hlavní myšlence této bakalářské práce. Dalším bodem rešerše bylo nutné popsat princip a funkci asynchronních, synchronních a momentových elektromotorů. Dále bylo cílem práce nezapomenout na další prvky, bez kterých by nedokázal CNC stroj pracovat přesně, a tedy popsat jaké existují možnosti vedení, k čemu je dobré mazání, krytování CNC strojů. Následoval podrobný popis jednotlivých obráběcích hlav či rotačních stolů.

Druhým cílem bakalářské práce bylo zvolit si elektromotor, který by dokázal pohánět rotační náhonovou soustavu se zadanými hodnotami. Nejprve bylo nutné vypočítat, velikost statického momentu, který byl zadán odstředivou silou rotačního stolu. Tento moment byl následně potřeba zkorigovat. Dalším krokem bylo vypočítat výkon, potřebný k dosažení kroutícího momentu, dle kterého jsem zvolil elektromotor, s dostatečným výkonem a doporučením od výrobce, že motor splňuje zadané požadavky a splní s dostatečnou bezpečností daný úkol.

Posledním bodem mé bakalářské práce, bylo srovnat a vyhodnotit použitý elektromotor. Z jakého důvodu byl motor zvolen. Zda je tento motor ideálním řešením pro tuto situaci.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Factory Automation* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/cnc-obrabeci-stroje-7-veci-ktere-o-nich-musite-vedet/>
- [2] *Prosper* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://cz.prospercnc.org/automatic-cnc-metal-spinning-machine/2018-machine-for-cnc-metal-forming-cnc-metal.html>
- [3] *Mmspektrum* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/content/file/CNC_ukazky_Cz/4.3.pdf
- [4] *Techmagazin* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/109>
- [5] *Geo Kingsbury* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.geokingsbury.com/products/cnc-milling-machines/3-axis-cnc/>
- [6] *Pro CNC* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: http://procnc.com/resources/newsletter/overview_of_cnc_machines_and_the_parts_they_make_part_1/
- [7] *CNC Macho* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.cnc-macho.com/4-ose-obrabeni/4-ose-souvisle-obrabeni>
- [8] *IMG Directindustry* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: http://img.directindustry.com/images_di/photo-g/122219-6194733.jpg
- [9] *Mazak EU* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.mazakeu.cz/cs/strojni-technologie/produkty/5-osa-obrabeci-centra/>
- [10] *Adate* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <http://www.adate.cz/images/mcg-5x/MCG-CNC-03.jpg>
- [11] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN ISBN978-80-260-6780-1.
- [12] *Zimmermann* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.f-zimmermann.com/us/milling-machines/>
- [13] *Mmspektrum* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/petiose-frezovani-na-portalovych-strojich.html>
- [14] *Masmachinetools* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: http://www.masmachinetools.com/storage/1_314_rotacni-osy.jpg
- [15] BRENÍK, Přemysl a Josef PÍČ. *Obráběcí stroje: konstrukce a výpočty*. 2., opr. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [16] *Schaeffler* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: https://www.schaeffler.de/remotemedien/media/_shared_media_rwd/05_products_services_1/industrial_products_services/rolling_and_plain_bearings/rotary_table_bearings/0001871A_16_9-schaeffler-produkte-axial-radiallager_rwd_1200.jpg
- [17] *CNC Konstrukce* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/hydrostaticka-vedeni-obrabecich-stroju.html>
- [18] *Hilgert* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.hilgert.ch/en/service-list/hydraulics-and-hydrostatic>
- [19] *CNC* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.cnc.estranky.cz/clanky/odmerovani-cnc-stroju.html>
- [20] *Mmspektrum* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/snimace-polohy-pro-vyrobní-stroje.html>

- [21] *Mmspektrum* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/odmerovaci-systemy-a-jejich-vliv-na-presnost.html>
- [22] *Cad Cam Info* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://cadcaminfo.wordpress.com/cnc-machining/offsets/>
- [23] *Renishaw* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/casto-kladene-otazky-o-optickych-snimacich--34674>
- [24] *Manufacturinget* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.manufacturinget.org/home/4476-computer-aided-manufacturing/writing-a-cnc-program/>
- [25] *Mmspektrum* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/magneticke-snimace-polohy-2.html>
- [26] *Rls* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.rls.si/en/aksim-off-axis-rotary-absolute-encoder>
- [27] *Hiwin* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/mazani>
- [28] *Ventos* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.ventos.cz/krytovani-stroju>
- [29] *Imes-Icore* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: http://www.imes-icore.de/media/catalog/product/cache/80/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/c/o/compac_350_cnc-milling_machine.jpg
- [30] *DocPlayer* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: http://docplayer.cz/docs-images/40/9356336/images/page_3.jpg
- [31] *Oenergetice* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/asynchronni-stroje-konstrukce-princip-funkce-a-rizeni/>
- [32] *Slider Player* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/12017125/68/images/5/Konstrukce+3+f%C3%A1z%C3%A9ho+asynchronn%C3%ADho+motoru.jpg>
- [33] *Elektromotory* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.cz/produkty/elektromotory/ostatni-motory>
- [34] *Fanuc CZ* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/cnc/pohonn%C3%A9-syst%C3%A9my/motory>
- [35] *Grab CAD* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/milling-head-2>
- [36] *Mmspektrum* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/multimedia/image/25/2597_big.jpg
- [37] *Tea Technik* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/snekova-soukoli/>
- [38] *CNC Konstrukce* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/snekova-soukoli-prevody.html>
- [39] *Routech* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.routech.cz/files/files/Ke-stazeni/UZIMEX-katalog-mini.pdf>
- [40] *I Pinimg* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://i.pinimg.com/originals/3b/b1/69/3bb169b461e45684f5f6cde581ca581c.jpg>
- [41] *Wiktori* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.wiktori.cz/cs/43-oto%C4%8Dno-sklopn%C3%A9-stoly-%C5%99ady-par-130-351.html>
- [42] *Raveo* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/aktualita-ddr-motory>

[43] *Rusch Servomotor* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z:
http://ruchservomotor.com/html/picture/rotary_direct_drive.jpg

[44] *Bibus* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://www.bibus.cz/prehled-produktu/mechatronika/servopohony-a-krokovaci-mechanismy/rotacni-motory-s-primym-pohonem-ckd-absodex-ddr/>

[45] *Cytec-Systems* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: http://cytec-systems.fr/outillage/tables_rotatives_pivotantes/nc_plateaux_rotatifs.pdf

[46] *Geo Kingsbury* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z:
<http://www.geokingsbury.com/wp-content/uploads/2013/12/Hermle-C22-Brochure.pdf>

[47] *Lehmann Rotary Tables* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.lehmann-rotary-tables.com/en/products/tf-rotaryTables/?oid=1521&lang=en>

[48] *Lehmann Rotary Tables* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://www.lehmann-rotary-tables.com/image/bildergalerie/bildergalerie/medium/TF-510520LL-vario-1000px.png>

[49] *Elektromotory-SIEMENS* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z:
<http://www.elektromotory-siemens.cz/obchod/elektromotory-siemens-rady-1la9/elektromotor-siemens-1le1002-1ca63-4xxx-11kw.html>

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam zkratek a symbolů

η_p	-	účinnost převodové skříně
η_l	-	účinnost vloženého kola převodu pro ozubená kola
η_v	-	účinnost vedení desky stolu
η_c	-	celková účinnost náhonové soustavy
F_o	N	obvodová (tangenciální) řezná síla
r_o	m	působíště řezné síly
i_p	-	převodový poměr vložené převodovky
i_l	-	převodový poměr vloženého převodu
k_{kor}	-	korekční konstanta
P	W	výkon
n	min^{-1}	otáčky motoru
h	mm	osová výška hřídele
p	-	počet pólů motoru
f	Hz	frekvence
RAL	-	barva motoru
T	$^{\circ}\text{C}$	rozsah teplot prostředí

8.2 Seznam obrázků

Obr. 1)	CNC Obráběcí soustruh [2].....	13
Obr. 2)	Obráběcí centrum Mazak [4].....	14
Obr. 3)	3osá CNC frézka [6].....	15
Obr. 4)	4osá CNC frézka [8].....	15
Obr. 5)	5osé obrábění s otočným stolem [10].....	16
Obr. 6)	Vidlicové obráběcí hlavy Zimmermann [12]	17
Obr. 7)	Otočně-sklopný stůl [14].....	18
Obr. 8)	Schaeffler ložisko pro otočné stoly [16]	20
Obr. 9)	Hydrostatické vedení CNC stroje [18]	20
Obr. 10)	Optické nepřímé odměřování vřetena [21].....	21
Obr. 11)	Přímé magnetické odměřování otočného stolu [21].....	22
Obr. 12)	Inkrementální odměřování [22]	22
Obr. 13)	Absolutní odměřování [24].....	23
Obr. 14)	Magnetický snímač Renishaw [26].....	23
Obr. 15)	Zakrytování CNC obráběcího stroje od firmy Imes-Icore [29]	24

Obr. 16)	<i>Schéma asynchronního synchronního elektromotoru [30]</i>	24
Obr. 17)	<i>Popis asynchronního elektromotoru [32]</i>	25
Obr. 18)	<i>Synchronní servomotory Siemens řady 1FT6 [33]</i>	25
Obr. 19)	<i>Vřetenový motor Fanuc [34]</i> Chyba! Záložka není definována.	
Obr. 20)	<i>Dvouosá frézovací hlava [35]</i>	26
Obr. 21)	<i>Pětiosé portálové centrum s otočným stolem a naklápěcí hlavou [13]</i>	27
Obr. 22)	<i>Pětiosé portálové centrum s dvouosou frézovací hlavou [13]</i>	27
Obr. 23)	<i>Vidlicová hlava se šnekovým převodem pohonu [36]</i>	27
Obr. 24)	<i>Náhon rotačního stolu pomocí plochého ozubeného řemenu [39]</i>	28
Obr. 25)	<i>Otočně sklopný stůl převodovaný plochým řemenem [40]</i>	29
Obr. 26)	<i>Oboustranně uložený stůl [41]</i>	29
Obr. 27)	<i>Pohon rotačním servopohonem na přímo a s převodem [43]</i>	30
Obr. 28)	<i>Pohon torzním motorem v řezu [45]</i>	30
Obr. 29)	<i>Servopohon s převodem ozubených kol, pohánějící otočný stůl [46]</i>	31
Obr. 30)	<i>Letmo uložený stůl firmy Lehmann [48]</i>	31
Obr. 31)	<i>Výpočtový model náhonu desky otočného stolu [11]</i>	32
Obr. 32)	<i>Elektromotor SIEMENS 11kW [49]</i>	34

8.3 Seznam tabulek

Tab 1)	Typy rotačních náhonových soustav [11].....	17
Tab 2)	Monografie rotační náhonové soustavy [11]	19
Tab 3)	Tabulka zadaných hodnot.....	32
Tab 4)	Tabulka pro účinnosti.....	32