

**Vyšší odborná škola, Střední škola,
Centrum odborné přípravy,
Sezimovo Ústí**



ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

**Obráběcí centrum MCU 630V – 5X
firmy MAS Kovosvit a.s.**

Sezimovo Ústí, 2013

Tomáš Popelka

VOŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA, CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY
SEZIMOVO ÚSTÍ, BUDĚJOVICKÁ 421



ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Tomáš Popelka**
Obor studia: **26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy**
Název práce: **Obráběcí centrum MCU 630 firmy MAS Kovosvit a.s.**

Zásady pro vypracování:

1. Charakterizujte CNC stroje a jejich základní vlastnosti.
2. Popište obráběcí centrum MCU 630. Proveďte srovnání centra s obdobným výrobkem konkurence.
3. Vysvětlete průběh výroby centra se zaměřením na montáž a přípravu stroje pro zákazníka.
4. Analyzujte vybrané montážní a zkušební operace použité u centra MCU 630.
5. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.

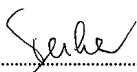
Doporučená literatura:

- [1] MAREK, J.: *Konstrukce obráběcích strojů*. MM Průmyslové spektrum Praha 2006. ISSN 1212-2572.
- [2] Firemní literatura MAS Kovosvit.

Vedoucí práce: Ing. Jan Fuka, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí
Odborný konzultant práce: Ladislav Dostál, MAS Kovosvit a.s., Sezimovo Ústí
Oponent práce: Daniel Krž, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí

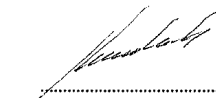
Datum zadání absolventské práce: **3.9.2012**

Datum odevzdání absolventské práce: **30.4.2013**



Ing. Jan Fuka
(vedoucí práce)





Ing. František Kamlach
(ředitel školy)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto absolventskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury uvedené v seznamu, který je součástí této absolventské práce.

V Sezimově Ústí dne 29. 4. 2013

Čapelka
podpis

Poděkování

Absolventská práce byla zpracována v rámci řádného ukončení 3. ročníku studia vyšší odborné školy, oboru 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy. Chtěl bych tímto hlavně poděkovat za odborné vedení Ing. Janu Fukovi a firmě MAS Kovosvit a.s. za získání cenných zkušeností.

Anotace

Tato absolventská práce se zabývá problematikou obráběcího centra. Pro tuto práci byl vybrán stroj MCU 630V – 5X od firmy MAS Kovosvit a.s. Na tomto stroji bude popsána problematika konstrukce, výroby a použití. Dále bude toto obráběcí centrum porovnáno s výrobkem konkurenční firmy.

Annotation

This graduate thesis deals with the problem of the machining center. The machine MCU 630V - 5X was selected for this work from the company MAS Kovosvit a.s. The problem of the design, manufacture and the use of this machine will be described. Next, this machining center will be compared with the product of the competing company.

Obsah

Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	xi
1 Úvod.....	1
2 Základní pojmy	3
2.1 Zkratka CNC	3
2.2 Historie CNC.....	3
2.3 Charakteristika CNC stroje	4
2.4 Druhy řídicích systémů	5
2.4.1 Systémy s příkazovou řádkou	5
2.4.2 Systémy grafické	5
3 Popis MCU 630V-5X.....	7
3.1 Hlavní části stroje.....	8
3.2 Vřeteno	9
3.2.1 Upínání nástrojů	11
3.2.2 Zásobník nástrojů	12
3.3 Pracovní stůl.....	13
3.3.1 Prstencový motor	13
3.3.2 Varianty stolů	15
3.3.3 Velikost obrobku	16
3.4 Osy stroje	17
3.4.1 Lineární osy.....	19
3.4.2 Rotační osy.....	22
3.5 Odměrování.....	23
3.6 Odvod třísek.....	25
3.7 Řízení stroje	26
3.7.1 Technické parametry řídicího systému	27
3.8 Zkoušky stroje.....	29
3.8.1 Geometrická přesnost.....	29

3.8.2 Záběh vřetena	29
3.8.3 Výměna nástroje	29
3.8.4 Silová zkouška	30
3.8.5 Teplotní kompenzace	30
3.8.6 Utěsnění stroje.....	30
3.8.7 Spolehlivost.....	30
3.9 Příprava stroje pro zákazníka.....	31
3.9.1 Přemísťování stroje	31
3.9.2 Skladování stroje.....	32
3.9.3 Kontrola stroje při dodání	32
3.9.4 Instalace stroje.....	32
4 Srovnání centra s konkurencí	33
4.1 Porovnání stolů	33
4.2 Rozjezdy a posuvy	34
4.3 Parametry vřeten	34
4.4 Ostatní parametry	35
4.5 Celkové srovnání.....	36
5 Závěr	37
Literatura	39

Seznam obrázků

Obr. 1: Stroj VKW 100	3
Obr. 2: Schéma CNC stroje	4
Obr. 3: MCU 630V – 5X	7
Obr. 4: Části stroje	8
Obr. 5: Vřeteno SPRINT	10
Obr. 6: Stopka ISO	11
Obr. 7: Stopka HSK	11
Obr. 8: Schéma zásobníku nástrojů	12
Obr. 9: Otočně sklopný stůl	13
Obr. 10: Prstencový motor	14
Obr. 11: Rotační deska	15
Obr. 12: Čtvercová deska	15
Obr. 13: Paletový systém	16
Obr. 14: Velikosti obrobků	17
Obr. 15: Obrábění v 5 osách	18
Obr. 16: Kolejnicové vedení	19
Obr. 17: Princip kolejnicového vedení	20
Obr. 18: Lineární osy	21
Obr. 19: Kuličkový šroub	21
Obr. 20: Rotační osy	22
Obr. 21: Přímé odměřování	23
Obr. 22: Absolutní odměřování	23
Obr. 23: Snímač polohy	24
Obr. 24: Hrablový dopravník	25
Obr. 25: Ovládací panel	26
Obr. 26: Popis tlačítek	28
Obr. 27: Obráběcí centrum Mytrunnion5	33

Seznam tabulek

Tab. 1: Parametry vřeten	9
Tab. 2: Provedení stolů	16
Tab. 3: Parametry lineárních os	20
Tab. 4: Parametry rotačních os	22
Tab. 5: Parametry systému	27
Tab. 5: Porovnání stolů	33
Tab. 6: Rozjezdy a posuvy	34
Tab. 7: Srovnání parametrů vřeten	35
Tab. 8: Rozměry strojů	35

1 Úvod

S CNC technikou se ve strojírenství setkáváme každý den. V posledních letech dosáhla CNC technika velkého pokroku. Proto jsem si pro svou absolventskou práci vybral problematiku obráběcího centra. Obráběcí stroje se neustále vyvíjí s tím, jak se zvyšují požadavky na výrobky a zařízení. V dnešní době je vyžadována přesnost a kvalita obrábění. Časy obrábění se zmenšují, ale požadavky na kvalitu se neustále zvětšují.



Tento obor mě zaujal, když jsem byl na odborné praxi ve firmě MAS Kovosvit a.s. Firma MAS Kovosvit a.s. má dlouholetou tradici ve výrobě a vývoji obráběcích strojů a multifunkční centrum MCU 630V-5X patří k jejím nejdokonalejším strojům.

Cílem této práce je vytvořit popis obráběcího centra MCU 630V – 5X firmy MAS Kovosvit a.s., který bude obsahovat celkový popis centra a analýzu montážních a zkušebních operací.

2 Základní pojmy

2.1 Zkratka CNC

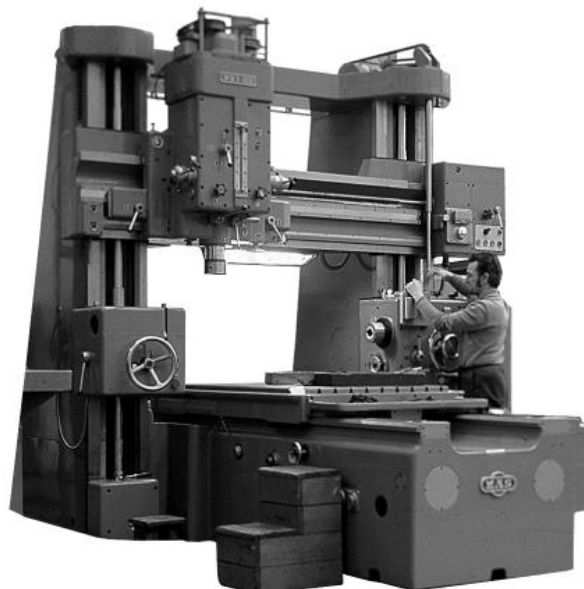
CNC je zkratka Computer Numerical Control. V českém překladu CNC znamená číslicové řízení počítačem. Jedná se o strojní zařízení, která jsou ovládána počítačem.

2.2 Historie CNC

Historie CNC strojů sahá do 20. století, kdy bylo zjištěno, že za pomoci automatizace jsou dosahovány lepší a přesnější tvary. K tomuto zjištění se dospělo, např. při nutnosti vyrobit lopatky rotoru pro vrtulníky. Zde je nutno mít přesný tvar, nicméně tyto tvary jsou dosti složité a jejich výroba byla komplikovaná. S příchodem CNC se vše podstatně zjednodušilo.

CNC stroje pro obrábění zažily boom v 90. letech 20. století, kdy se také dostaly CNC do jiných odvětví. Poté již CNC nebyly využívány pouze při obrábění, ale začaly se využívat také třeba při svařování.

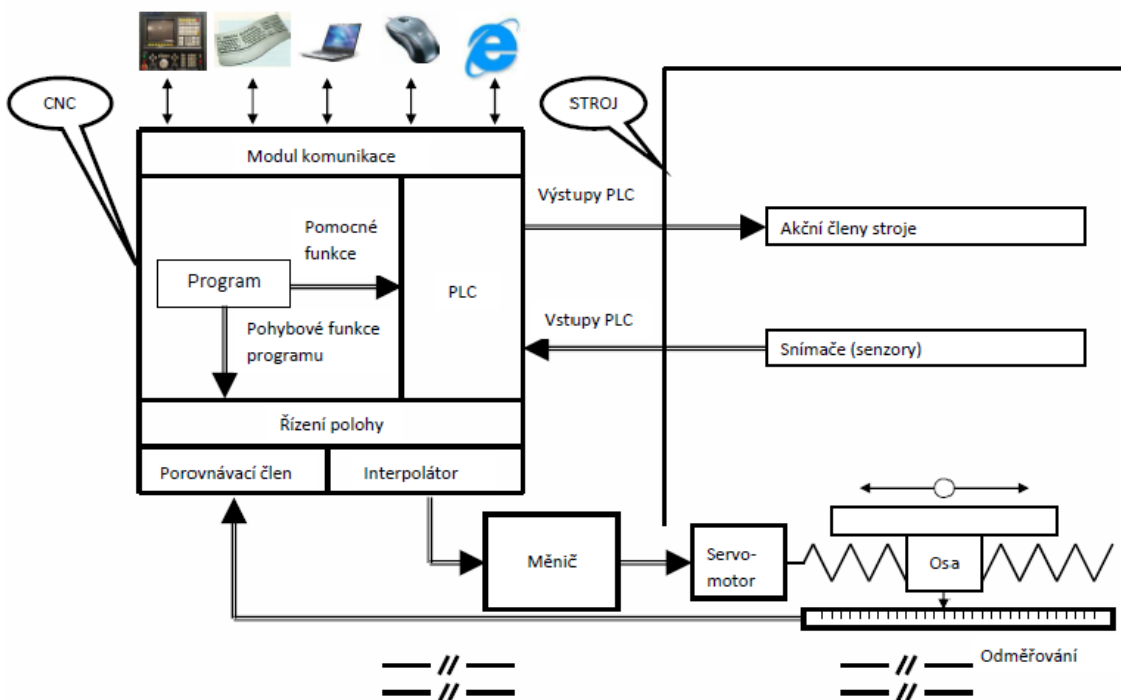
CNC stroje nám umožnily vyrábět větší počet kusů, při nízkých časech a také se snížili náklady na samotnou výrobu součástek. Navíc jsou CNC do značné míry mnohdy univerzálními stroji. Na druhou stranu CNC připravily hodně lidí o práci, protože je zastoupily.



Obrázek 1: Stroj VKW 100

2.3 Charakteristika CNC stroje

Číslicově řízené obráběcí stroje jsou stroje řízené automaticky zadáváním povelů z řídicího počítače podle programu. Program je uložen ve formě alfanumerických znaků, které jsou předepsaným způsobem strukturovány. Samozřejmostí řídicího systému je monitor, který poskytuje komplexní informaci o stavu stroje i programu.



Obrázek 2: Schéma CNC stroje

Řídicí systém vyšle ke stroji příkaz (například „zapni otáčení nástroje“). Může být zadán například stiskem tlačítka na řídicím panelu stroje nebo přímo z programu. Stroj příkaz vykoná a zašle zpět informaci o jeho dokončení. Tato informace se nazývá zpětná vazba. Pak je zadán další příkaz a situace se opakuje.

Aby byl zajištěn automatizovaný chod CNC strojů, musí být stroje vybaveny zařízením, které zajišťuje pohyb nástroje vůči obrobku v jednotlivých souřadných osách. Tato zařízení se jmenují pohony a nejčastěji to jsou krokové motory ve spojení s posuvovými kuličkovými šrouby. Každý pohon ovládá pohyb v jedné souřadné ose. My ale pro řízení pohybu nástroje potřebujeme ještě jednu veličinu. Touto je skutečná poloha nástroje vůči obrobku. U stroje proto najdete odměřovací mechanismus -

odměřování. Odměřování je schopno zjistit hodnotu změny souřadnice nástroje vůči obrobku a umožňuje též tuto změnu převést do zobrazované hodnoty na monitoru řídicího systému.

2.4 Druhy řídicích systémů

V CNC obráběcích strojích je používáno řízení stroje pomocí počítačů. Vzhledem k rychlému rozvoji výpočetní techniky se mění i možnosti řízení CNC strojů těmito počítači. V současné době se setkáváme principiálně se dvěma skupinami řídicích systémů.

2.4.1 Systémy s příkazovou řádkou

Pro přirovnání bych uvedl práci s operačním systémem DOS nebo programováním v Pascalu. Programy jsou čitelné, je možno je editovat. Cena CNC strojů s těmito systémy je podstatně nižší než s grafickými systémy. Připojení ke komunikaci s dalšími počítači nebo zařízeními je například přes sériové rozhraní RS232.

2.4.2 Systémy grafické

Pracují v grafickém režimu (např. Windows XP) a při práci využíváme objektové programování – obdoba Delphi či grafické práce s modely součástí. Příprava programů z navržených modelů je s využitím programů tzv. postprocesorů. Pomocí postprocesoru vygeneruje pro daný řídicí systém a sortiment nářadí program pro výrobu příslušné součásti. Nevýhodou je vysoká cena těchto systémů, výhodou je možnost propojení do počítačových sítí a tím zajištěná komunikace a případně i vzdálená správa k centrálnímu řízení.

Přesnost CNC strojů neovlivňuje použitý řídicí systém, je dána použitými pohony, odměřováním a vlastní přesností výroby stroje.

3 Popis MCU 630V-5X

MCU 630V-5X je stroj pro kontinuální pětiosé obrábění složitých dílců. Svým uspořádáním a vlastnostmi je předurčen pro výrobu tvarově složitých forem a komplexní obrábění dílců z pěti stran. Vysoká tuhost stroje, vycházející z portálové konstrukce, je důležitá pro silové obrábění dílců. Vysoká přesnost stroje MCU 630V-5X rozšiřuje možnosti obrábění v pěti osách a opracování složitých dílců na jedno upnutí.

Stroj má vysokou dynamiku jak v oblasti pohybu nástroje (3 osy), tak v oblasti pohybu obrobku (2 osy), což je zajištěno aplikací přímých pohonů v rotačních osách otočně sklopného stolu a rozdělením pohybů jednotlivých os 3+2.

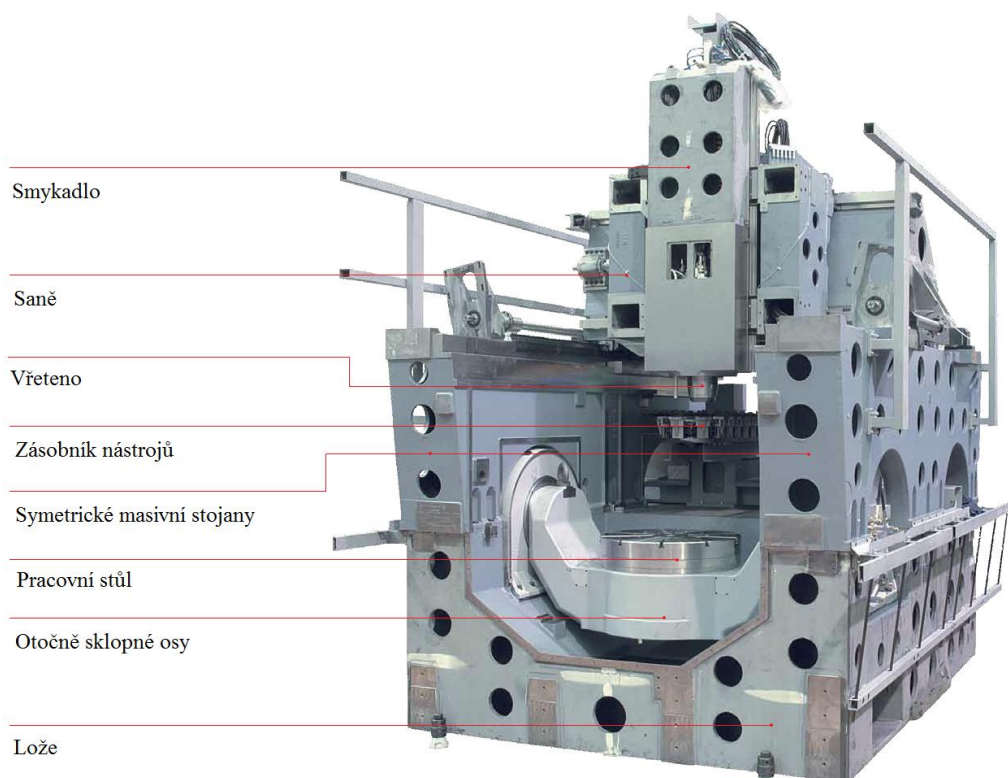
K dominantním přednostem stroje patří portálová koncepce stroje – vysoká tuhost, přesnost a tepelná stabilita. Stabilní a tuhý rám stroje je z šedé a tvárné litiny. Pohyby nástroje ve třech osách zaručují dynamické vlastnosti. Pohon otočně sklopného stolu je uskutečňován přímými pohony. Předností je velký pracovní prostor stroje, velká hmotnost obráběného dílce a široká nabídka příslušenství. Nosná konstrukce stroje je z hlediska statické tuhosti a dynamických vlastností optimalizována metodou konečných prvků.



Obrázek 3: MCU 630V – 5X

3.1 Hlavní části stroje

Všechny hlavní prvky nosné konstrukce jsou vyrobeny z vysoce kvalitní litiny, což zajišťuje výbornou tuhost, vysoké tlumení a teplotní stabilitu. Vertikální portálové multifunkční centrum je typu tzv. „Horní gantry“. To znamená, že vřeteno je uloženo v motorové vřetenové jednotce zabudované ve smykadle.



Obrázek 4: Části stroje

- **Vřeteník** – část stroje skříňovitého tvaru. Je v něm uloženo vřeteno a převodové ústrojí na změnu otáček vřetena.
- **Lože** – část stroje, která spojuje základní části stroje v jeden celek. Na loži jsou dosedací plochy pro uložení dalších částí stroje.
- **Stojan** – jsou na něm vodící a dosedací plochy k umístění dalších částí stroje.
- **Suport** – část stroje sestávající ze soustavy saní, které umožňují nastavení vzájemné polohy nástroje vzhledem k obrobku a jeho pohyb v určeném směru při obrábění.
- **Stůl** – má plochý tvar s vodorovnou upínací plochou, která může mít obdélníkový, čtvercový nebo kruhový tvar podle typu desky.

- **Příčník** – vodorovně uložená část stroje skříňovitého tvaru. Je jedním koncem pohyblivě uložen na stojanech stroje a má na sobě vodící plochy pro uložení saní.[1]

3.2 Vřeteno

Úlohou vřetena je zaručit nástroji otáčivý pohyb. Vřeteno je uloženo do valivých ložisek do dvou radiálních a jednoho axiálního. Konec vřetena, který vyčnívá ze skříně vřeteníku, se nazývá přední konec a je vhodně upraven pro nasazení nástroje. V obráběcím centru MCU 630V - 5X mohou být použity 2 typy vřeten s označením SPRINT nebo POWER.[5]

Tabulka 1: Parametry vřeten

Typ vřetena	-	POWER	SPRINT
Typ pohonu	-	integrováný	integrováný
Převodovka	-	ne	ne
Vřeteno pro soustružnické operace s hydraulickou brzdou	-	ne	ano
Kužel vřetena	-	ISO 50	HSK – A63
Rozsah otáček	[min ⁻¹]	20 – 10000	20 – 18000
Výkon pohonu vřetena S1/S6 (40%ED)	[kW]	20 / 26	25 / 35
Krouticí moment S1/S6 (40%ED)	[Nm]	262 / 340	87 / 130
Jmenovité otáčky	[min ⁻¹]	800	2800
Vzdálenost čela vřetena od otočně sklopného stolu (min – max)	[mm]	110 – 660	150 – 700
Vzdálenost čela vřetena od otočně sklopného stolu s paletovou výměnou (min – max)	[mm]	35 – 585	75 – 625
Způsob výměny nástrojů	-	napichovací	napichovací
Nástrojový držák	-	ISO 7388/150	DIN 69893
Maximální počet nástrojů	-	24 – 48	32 / 64
Maximální průměr nástroje	[mm]	130	80 / 130
Maximální délka nástroje	[mm]	265	320
Max. hmotnost nástroje	[kg]	10	10
Čas výměny sousedního nástroje	[s]	6	6

Vřeteno představuje ve skladbě obráběcího stroje jeden z nejdůležitějších článků. Proto jsou na jeho konstrukci kladeny vysoké požadavky:

- vysoká přesnost chodu – radiální i axiální házení
- dokonalé vedení – vřeteno nesmí měnit polohu v prostoru, mění-li jeho zatížení směr a smysl
- vřeteno musí být dostatečně tuhé
- v uložení vřetena musí být možnost po opotřebení vymezit vůle.



Obrázek 5: Vřeteno SPRINT

Vřeteno CNC obráběcího stroje musí zaručit prostorovou stabilitu osy a přenášet zatížení při velmi vysokých otáčkách. Proto se musí volit dostatečně široká ložiska, která přenášejí zatížení, jejich velikost se určuje výpočtem. Vřetenová ložiska se musí dostatečně mazat plastickým mazivem a olejem, aby se:

- snížilo tření a tím i opotřebení ložiska
- odvádělo teplo od vřetena
- snížila poruchovost stroje

3.2.1 Upínání nástrojů

Pro upnutí nástroje ve vřetenu se používají dva nástrojové držáky s kuželovou stopkou ISO 50 nebo HSK – A63. Pro ISO upínání je hlavním znakem kužel na upínacím trnu s určitým poměrem kuželovitosti. Kužel přenáší krouticí moment z vřetena na trn. Přenos krouticího momentu obstarávají také unášecí kameny, které zapadají do vybrání na trnu. U HSK upínání se krouticí moment přenáší tvarovým stykem a pomocí dvou různě hlubokých upínacích drážek na konci stopky.



Obrázek 6: Stopka ISO

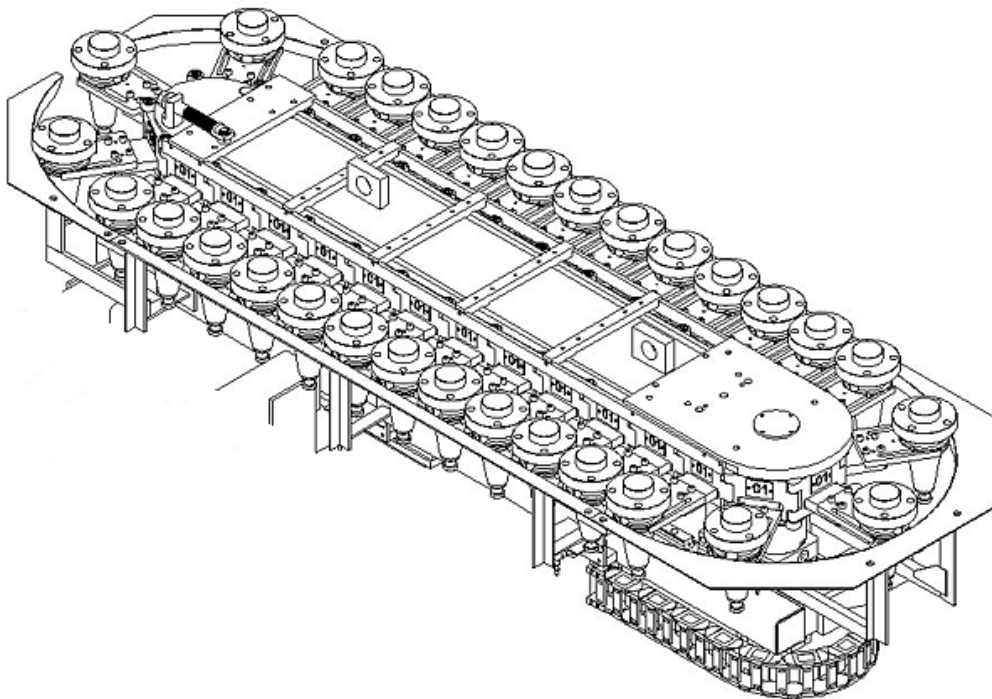


Obrázek 7: Stopka HSK

Základní rozdíl mezi stopkou ISO a stopkou HSK je v tom, že stopka ISO má mezi čelem vřetena a stopkou vůli, zatímco stopka HSK dosedá na čelo vřetena. Výhodou HSK upnutí je, že zvyšující se otáčky způsobují lepší a bezpečnější upnutí nástroje vlivem působení odstředivých sil na kleštinu.

3.2.2 Zásobník nástrojů

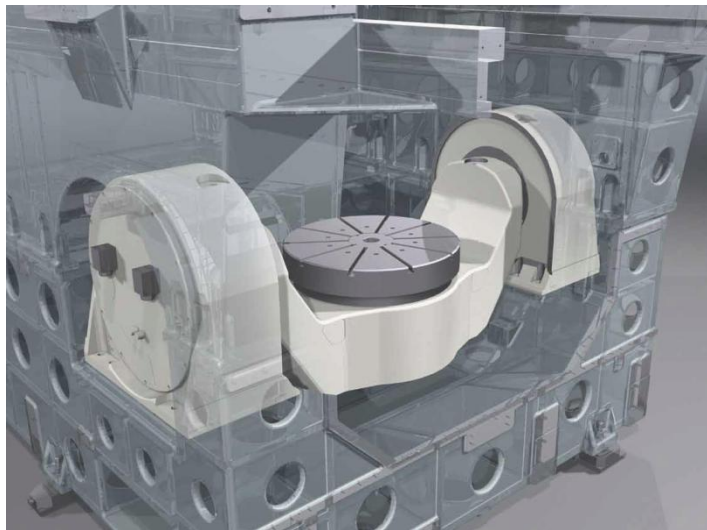
Zásobník nástrojů slouží pro bezpečné uložení a zajištění nástrojů v blízkosti pracovního prostoru a pro dopravu požadovaného nástroje do polohy pro výměnu. V MCU 630V – 5X je použit jeden nebo dva řetězové zásobníky podle potřeby zákazníka. Jeden zásobník má 32 pozic pro nástroje. Uchycení nástroje v zásobníku je mechanické a jako držák nástroje se používají plastové čelisti, které svojí pružností drží nástroj.[5]



Obrázek 8: Schéma zásobníku nástrojů

3.3 Pracovní stůl

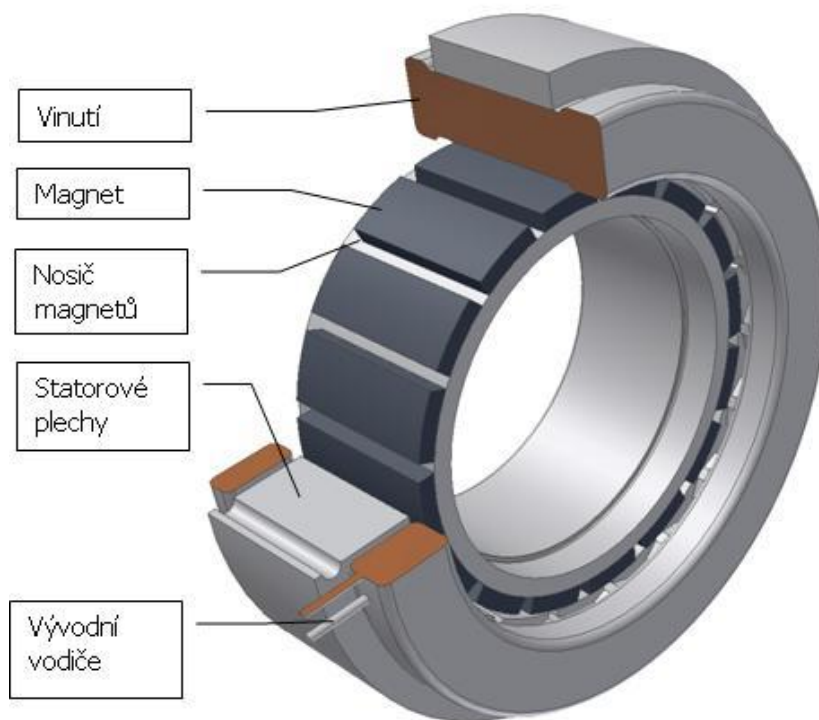
Slouží k upnutí obrobku, který je následně obráběn. V tomto stroji je použita koncepce stůl – stůl – kolébka. Tato konfigurace je velmi podobná kombinaci stůl – stůl. Rozdíl je pouze v uchycení stolu obráběcího stroje, které je realizováno na obou koncích stolu.



Obrázek 9: Otočně sklopný stůl

3.3.1 Prstencový motor

Prstencové motory (nebo též nazývané torque motory) poskytují velký krouticí moment v klidové poloze nebo při malých otáčkách. Jsou vestavěny přímo v konstrukci stolu, čímž snižují zástavbový prostor. Motory se skládají ze statorového vinutí, které je upevněno na vnější konstrukci motoru a rotorového prstence, na jehož vnějším obvodu jsou připevněny permanentní magnety.



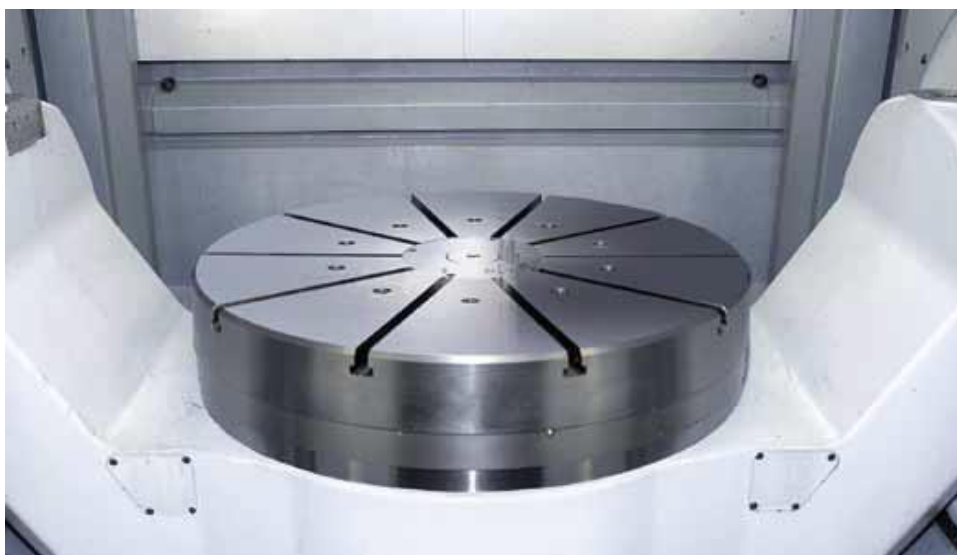
Obrázek 10: Prstencový motor

- Výhody prstencových motorů jsou:
- Vysoké úhlové zrychlení
 - Velká tuhost při polohovém řízení
 - Bezvúlové spojení se strojem
 - Malé hmotnosti a setrvační momenty
 - Přesné polohování
 - Možnost velmi nízkých otáček (1 otáčka za týden)

3.3.2 Varianty stolů

Jsou vyráběny 3 základní varianty stolů, které se liší tvarem a velikostí:

- Rotační kruhová upínací deska s radiálním (dostředným) drážkováním.



Obrázek 11: Kruhová deska

- Čtvercová upínací deska s rovnoběžným drážkováním.



Obrázek 12: Čtvercová deska

- Paletový systém s paletovým zakladačem pro dvě palety s vyvrtanými otvory se závity.



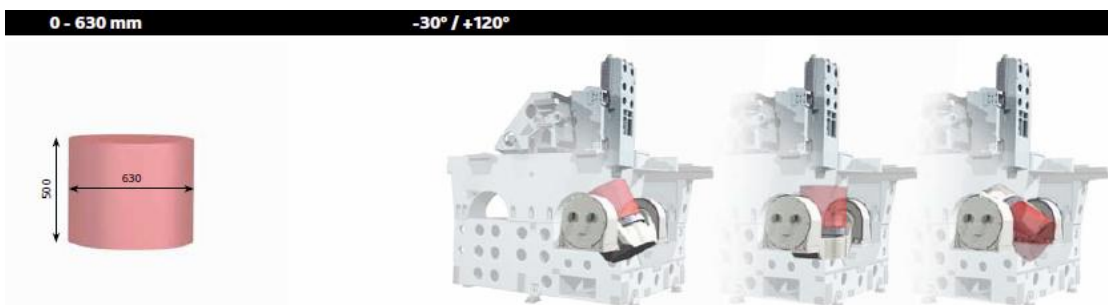
Obrázek 13: Paletový systém

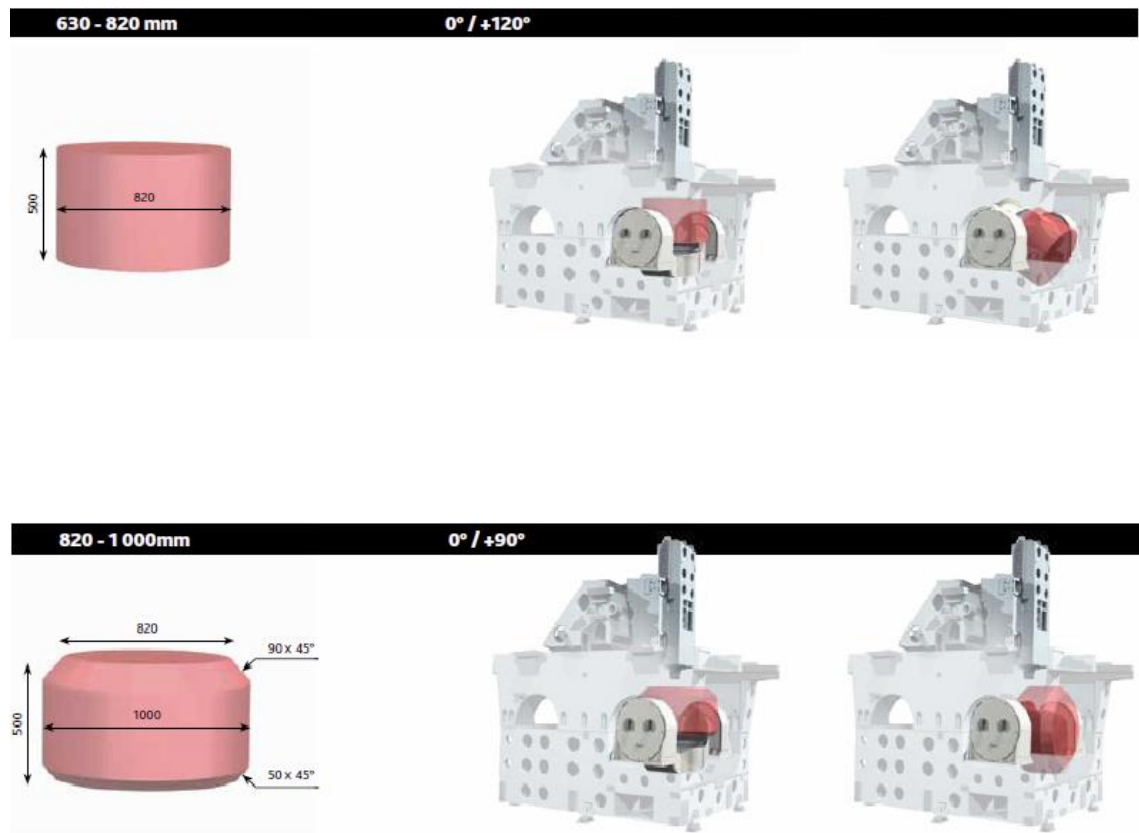
Tabulka 2: Provedení stolů

	Rozměry	Nosnost	Drážky
Jednotky	[mm]	[kg]	[počet x rozměr x rozteč]
Rotační kruhová	Ø 630	850	10 x 14H8 x 36
Rotační kruhová	Ø 800	850	10 x 14H8 x 36
Čtvercová	□ 630	850	7 x 18H8 x 100
Paletový systém	□ 500	400	25 (5 x 5) x M12 x 100

3.3.3 Velikost obrobku

Natočení stolu v ose A je závislé na velikosti obrobku. Čím větší je obrobek, tím se velikost natočení stolu zmenšuje, aby nedošlo ke kolizi.





Obrázek 14: Velikosti obrobků

3.4 Osy stroje

Obrábění pomocí souvislých (nebo také kontinuálních) 5 os umožňuje současný pohyb lineárních i rotačních os obráběcího stroje. Podle kinematiky stroje získáváme v NC programu kromě lineárních os X, Y, Z ještě rotační osy A, C. Zápis 5 osé dráhy do NC programu vypadá následovně:

55 L X-17.826 Y-3.175 Z-2.729 A-15.045 C-58.845

Díky 5 osému souvislému obrábění můžeme obrábět tvary, které jsou v podkosu (nelze je obrobit ve 3 osách) bez nutnosti měnit upnutí obrobku v obráběcím stroji nebo měnit nulový bod obrábění. Osa nástroje se plynule může měnit tak, abychom vždy dosáhli obrobení celého tvaru při zachování požadované kvality povrchu. Také díky vyklonění nástroje lze zkrátit jeho vyložení, což vede k lepší kvalitě povrchu a prodloužení životnosti nástroje.



Obrázek 15: Obrábění v 5 osách

Víceosé souvislé frézování vyžaduje použití CAM systému, který uživateli generuje NC program pro obrobení požadovaného tvaru. Moderní výkonné CAM systémy umožňují nastavit osu nástroje několika odlišnými způsoby, pro perfektní obrobení požadovaného tvaru. Mezi možnosti nastavení osy nástroje v CAM systémech patří pevné nastavení úhlu odklonu nástroje, řízení nástroje podle normály plochy nebo také řízení osy nástroje uživatelskými prvky jako je bod, přímka nebo křivka, které umožňují zcela variabilní nastavení sklonu nástroje i pro tvarově složité modely. Schopný CAM by měl kromě možností nastavení osy nástroje také poskytovat dostatek obráběcích strategií (technologí) pro perfektní obrobení různých částí modelu, aby vždy byla zabezpečena dobrá kvalita povrchu. S tím souvisí možnosti použití tříosých obráběcích strategií i pro 5 osé obrábění nebo převádět již spočítané 3 osé dráhy na víceosé dráhy nástroje. Neméně důležitá je i možnost použití všech typů nástrojů, které nám CAM nabízí i pro 5 osé dráhy nástroje, protože se stále častěji využívají kuželové nebo tvarové nástroje, které zajišťují větší tuhost nástrojové sestavy a lepší řezné podmínky.

V posledních letech také přibývají funkce pro automatický odklon sestavy nástroje v místech, kde by hrozila kolize s obrobkem anebo možnosti pro vyhlazení osy

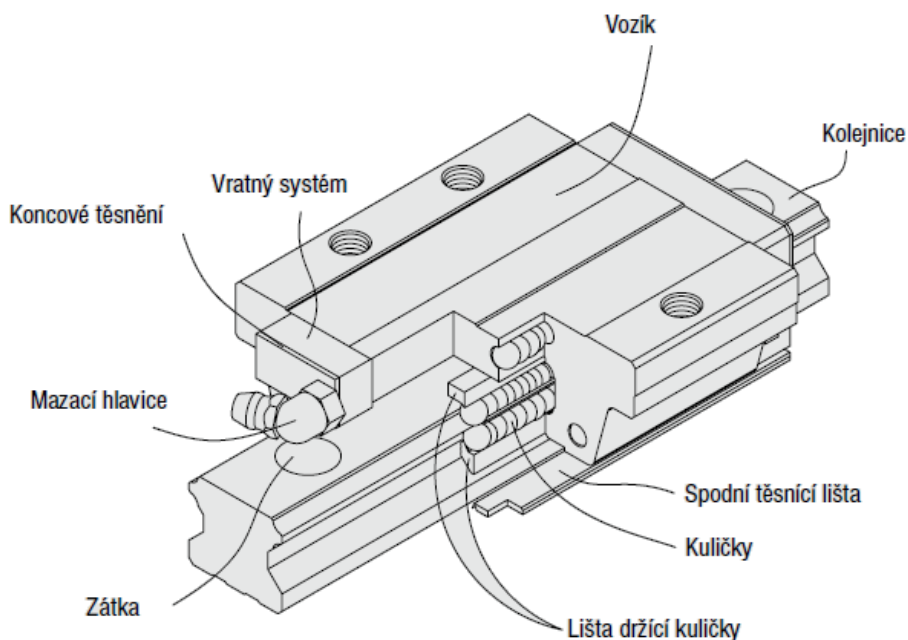
nástroje, které eliminují zbytečné pohyby rotačních os obráběcího stroje, které prodlužují čas obrábění. U některých CAM systémů se také můžeme setkat se specializovanými technologiemi pro obrábění lopatkových kol, turbin nebo uzavřených kanálků. Takovéto funkce velmi zjednodušují a zrychlují celý proces programování 5 os souvisle a umožňují efektivní využití potenciálu obráběcího stroje.[2]

3.4.1 Lineární osy

Lineární kolejnicová vedení umožňují velmi přesný přímočarý pohyb pomocí valivých elementů. Kuličky obíhají v broušených a kalených drahách vozíku a kolejnice. Výhodou je velmi vysoká únosnost a tuhost systému při velmi nízkém valivém odporu.



Obrázek 16: Kolejnicové vedení

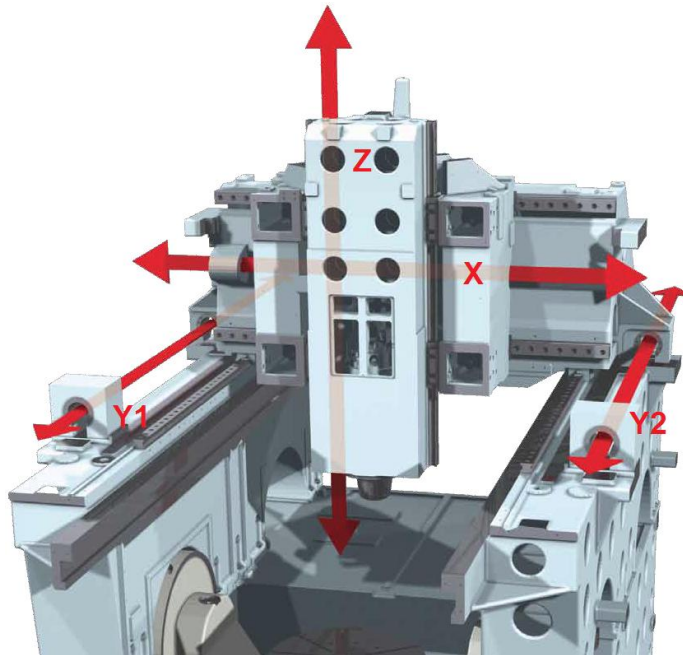


Obrázek 17: Princip kolejnicového vedení

Díky speciální konstrukci a optimalizaci oblouku oběžných drah jsou zachyceny síly působící jak ve vertikálním tak horizontálním směru. Lineární kolejnicová vedení se vyznačují vysokou únosností, přesností pohybu, snadnou montáží a jednoduchým systémem přimazávání. Vozíky lineárního vedení mohou mít pro prašná prostředí přídatná těsnění, případně plechové stěrače proti okujím, šponám a jiným hrubým nečistotám.

Tabulka 3: Parametry lineárních os

	Rozjezdy	Posuvy	Zrychlení	Posuvová síla
Jednotky	[mm]	[mm.min ⁻¹]	[mm.s ⁻²]	[N]
Osa X	700	60000	6500	5000
Osa Y	820	60000	6500	10000 (2 x 5000)
Osa Z	550	60000	6500	5000



Obrázek 18: Lineární osy

Převod rotačního pohybu na přímočarý umožňují kuličkové šrouby, kde mezi závity šroubu a matice obíhají kuličky. Tím se dosahuje mechanické účinnosti až 98%, oproti trapézovým šroubům, které mají účinnost nejvýše 48%.

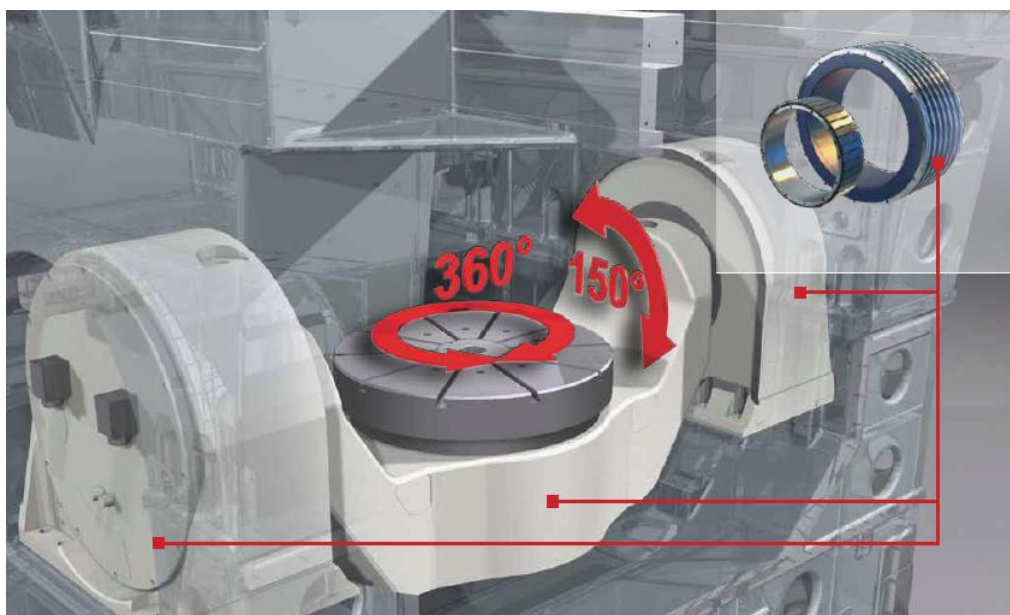
Další výhody oproti trapézovým šroubům jsou kromě vysoké účinnosti také vysoká reverzní účinnost - až 85%, vysoká životnost díky minimálnímu valivému odporu, žádný prokluz, přesné polohování bezvůlovými předepnutými maticemi, vysoká rychlost pohybu a malá spotřeba maziva. Kuličkové šrouby vzhledem ke své vysoké účinnosti nejsou samosvorné, což v některých případech vyžaduje použití brzdy.[3]



Obrázek 19: Kuličkový šroub

3.4.2 Rotační osy

MCU 630V – 5X má dvě rotační osy. Jsou to osy A a C. Tyto osy zajišťují otáčení stolu. Pohyb os zajišťují prstencové servomotory bez převodovek. Pro zpevněné držení pozice stolu se používají hydraulické brzdy na každém pohonu. Pro všechny tyto pohony je použito průtokové chlazení.



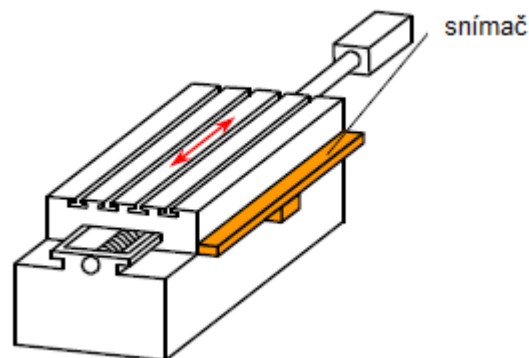
Obrázek 20: Rotační osy

Tabulka 4: Parametry rotačních os

Parametry os	Rozsah otáčení	Rychlost otáčení	Krouticí moment souvislý	Krouticí moment brzdňný
Jednotky	[°]	[min ⁻¹] [°/s]	[Nm]	[Nm]
Osa A	150° (-30° / + 120°)	<u>25</u> 150	2500 (2 x 1250)	5000 (2 x 2250)
Osa C	360° (neomezeně)	<u>100</u> 600	1250	2500

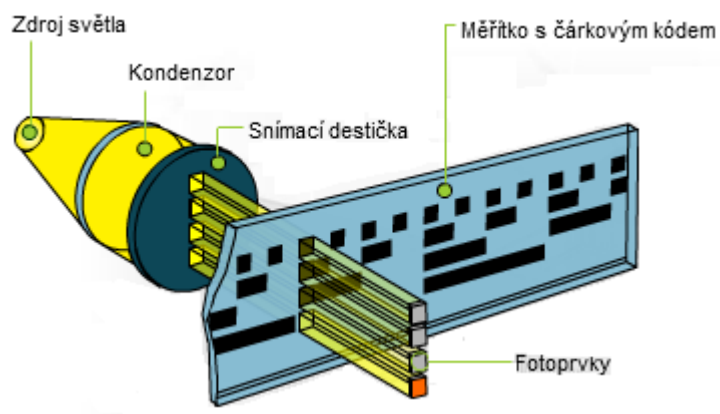
3.5 Odměrování

Odměrování má velký vliv na přesnost obrábění. Na centru MCU je na lineárních i rotačních osách použito odměrování přímé. Odměrovací systémy jsou namontovány přímo na pohybujících se částech stroje. Jsou umístěny co nejbližší k pohybujícímu se nástroji, aby vyloučili teplotní dilatace.



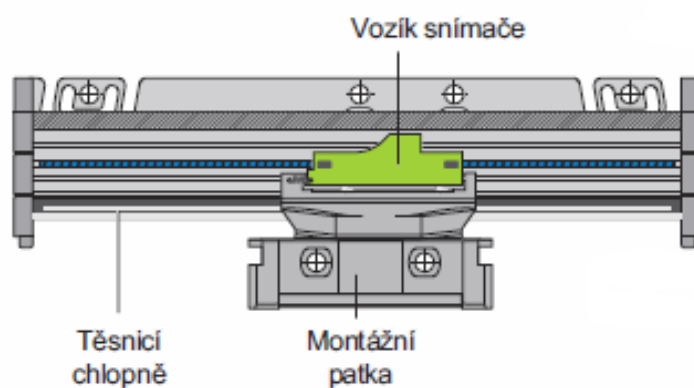
Obrázek 21: Přímé odměrování

Odměrování se dále posuzuje podle druhu signálu, který odměrovací systém poskytuje jako informaci o poloze. V tomto případě se jedná o absolutní odměrování, kdy je pro každou polohu přiřazena jednoznačná digitální poloha.



Obrázek 22: Absolutní odměrování

Použité snímače polohy jsou chráněné před prachem, třískami a stříkající vodou. Snímače mají třídu přesnosti až $\pm 2 \mu\text{m}$ a měřicí kroky až $0,005 \mu\text{m}$. Snímací vozík je veden po měřítku s minimálním třením. Vozík snímače spojuje s montážní patkou spojka, která vyrovnává nevyrovnanost mezi měřítkem a suportem stroje.



Obrázek 23: Snímač polohy

Konečná přesnost polohování os je také ovlivněna konstrukcí stroje, výrobními nepřesnostmi a nepřesnostmi odměřovacích systémů. Pro zlepšení přesnosti stroje se ještě využívá řídicí systém, do kterého jsou zapsány naměřené nepřesnosti, které systém zohledňuje při výpočtu požadované polohy osy.

3.6 Odvod třísek

Pro odvod třísek se používá hrablový dopravník třísek, který je umístěn přímo pod stolem stroje. Hrabla jsou spojena řetězem a poháněna motorem. Dopravník je vodotěsný a stéká do něj chladicí kapalina z pracovního prostoru. Při dosažení nastaveného množství chladicí kapaliny je tekutina přečerpána do externí nádoby. V nádobě je kapalina přefiltrována od nečistot, aby neucpala trysky. Přefiltrovaná kapalina se přečerpává do stroje, kde chladí nástroj a obrobek.



Obrázek 24: Hrablový dopravník

3.7 Řízení stroje

Řízení stroje zajišťuje řídicí systém od firmy Heidenhain iTNC 530. Tento systém se skládá z hlavního počítače, regulátoru a ovládacího panelu. Všechny tyto komponenty jsou vzájemně digitálně propojeny. V tomto systému je použit operační systém HEROS 5. Program pro obrábění může být vytvořen přímo na programovací stanici nebo pomocí návrhového systému. Pomocí rozhraní ethernet je poté nahrán do stanice.[4]









Obrázek 25: Ovládací panel

3.7.1 Technické parametry řídicího systému

Tabulka 5: Parametry systému






Přesnost zadávání a krok zobrazení	Lineární osy: až 0.01 μ m Úhlové osy: až 0.0001°
Rozsah zadávání	Maximálně 99999.999 mm (3937 palců) případně 99999.999°
Interpolace	Lineární v 4 osách Kruhová ve 2 osách Šroubovice: sloučení kruhové dráhy a přímky - Kruh ve 3 osách při naklonené rovině obrábění - Spline: zpracování splinů (polynom 3. řádu) - Lineární v 5 osách
Doba zpracování bloku	0.5 ms (3D přímka bez poloměrové korekce)
Regulace os	Jemnost řízení polohy: perioda signálu snímače polohy/1024 Doba cyklu polohového regulátoru: 200 μ s Doba cyklu otáčkového regulátoru: 200 μ s Doba cyklu proudového regulátoru: 50 μ s
Dráha pojezdu	Max. 100 m (3937“)
Otáčky vřetena	Maximálně 60000 ot/min (se 2 pólpáry)
Kompenzace chyb	Lineární a nelineární chyba osy, mrtvý chod, kvadrantové špičky na kruhové dráze, tepelná roztažnost, statické tření
Datová rozhraní	Po jednom V.24 / RS-232-C a V.11 / RS-422 max. 115 kbit/s Rozšířené datové rozhraní s LSV-2 protokolem pro externí ovládání iTNC 530 přes datové rozhraní pomocí software HEIDENHAIN TNCremoNT nebo TNCremoPlus 2 x Fast-Ethernet rozhraní 100BaseT 2 x USB
Okolní teplota	Provozní: 0 °C až +50 °C Skladovací: -20 °C až +60 °C

Tlačítka na monitoru







	Volba rozdělení monitoru
	Provozní režim stroje nebo programování
	Softklávesy: volba funkce na obrazovce
	Přepínání listů softkláves
	
	

Tlačítka ovládacího panelu

Správce programů/souborů, TNC-funkce

	Organizace programů: spravování a mazání programů
	Přídavné režimy
	Funkce nápovědy
	Zobrazení chybových hlášení
	Kapesní kalkulačka

Strojní provozní režimy

	Ruční režim
	Elektronické ruční kolečko
	Polohování s ručním zadáním
	Chod programu po bloku
	Chod programu plynule
	smarT.NC

Navigace

	
	
	
	
	smarT.NC: další formulář
	smarT.NC: vybere předchozí/další menu
	

Režimy programování

	Uložení a editace programu
	Test programu s grafickou simulací
	Lineární interpolace, úkos
	
	Kruhová interpolace se středem
	
	Kruhová interpolace se zadáním poloměru
	Kruhová dráha s tangenciálním napojením
	Zaoblení rohů
	Najetí a opuštění kontur
	Volné programování kontur
	Zadání polárních souřadnic
	Inkrementální programování
	Nastavení parametrů namísto čísla/definice parametru
	Převzetí skutečné polohy
	Definice a vyvolání nástrojů
	
	Definice a vyvolání cyklů
	
	Označení/vyvolání podprogramů a opakování
	
	Programovatelné vyvolání programu
	Programovatelný stop / přerušení
	Funkce dotykové sondy
	Zvláštní funkce, např. TCPM nebo PLANE

Obrázek 26: Popis tlačítek

3.8 Zkoušky stroje

Zkoušky jsou důležitou součástí výroby. Prověří se při nich všechny části stroje a opraví se případné chyby. O všech zkouškách se vedou pečlivé záznamy pro případ následné analýzy.

3.8.1 Geometrická přesnost

Účelem zkoušky je zjistit geometrickou strukturu stroje, tj. přesnost tvarů, vzájemných poloh a částí, které mohou ovlivnit pracovní přesnost. Stroj musí být ustaven do vodorovné polohy, která se během zkoušky nesmí měnit. Geometrická přesnost je soubor měřicích procedur, jejichž zhodnocením získáme informace o stavu stroje. Do těchto procedur patří: - přímost

- kolmost
- rovnoběžnost
- rovinnost
- souosost
- obvodové házení

3.8.2 Záběh vřetena

Vřeteno je uvedeno do chodu v 5-ti různých rychlostech otáčení. Jsou to rychlosti 1000, 2000, 8000, 10000 a 14000 ot/min. Každý test trvá 5 minut. Při zkoušce jsou měřeny vibrace vřetena, které nesmí přesáhnout předepsanou hodnotu.

3.8.3 Výměna nástroje

Je spuštěn program, který po dobu 2 hodin vyměňuje nástroje. Nástroj je ze zásobníku upnut do vřetena. Poté program spustí pojezd všech os a simulaci obrábění. Nakonec je vřeteno s nástrojem přesunuto do pozice pro výměnu a proběhne další výměna.

3.8.4 Silová zkouška

Tato zkouška simuluje maximální možné zatížení stroje při obrábění. Z obrobku je odfrézováno 15 mm materiálu při vysoké rychlosti posuvu. Kontroluje se upnutí nástroje a kvalita obrobku.

3.8.5 Teplotní kompenzace

Při této zkoušce probíhá měření teplot a teplotních deformací. Okamžitým výsledkem zkoušky jsou průběhy teplot v čase a průběhy deformací v čase při určeném provozním nebo klidovém režimu.

Zkouška tedy určuje:

- chybu vzniklou v důsledku kolísání teploty měření
- tepelné deformace způsobené otáčením vřetena
- tepelné deformace způsobené pohybem v osách

3.8.6 Utěsnění stroje

Je spuštěn program, při kterém je testována těsnost stroje. Tryskami je do pracovního prostoru přiváděna chladicí směs, která je rozstříkována po celém vnitřku stroje. Program má ve smyčce nastaven pohyb všech os, aby byla kapalina rozstříkována po celém pracovním prostoru stroje. Pokud kapalina vytéká z pracovního prostoru, je zkouška přerušena. Po opravení netěsnosti zkouška pokračuje. Zkouška trvá 2 hodiny.

3.8.7 Spolehlivost

Cílem této zkoušky je ověřit spolehlivou činnost všech funkcí zcela zkompletovaného stroje v automatickém cyklu. Stroj je spuštěn ve zkušebním režimu. Po celou dobu zkoušky nesmí nastat žádná porucha. Obsluha nesmí zasahovat do chodu stroje. Pokud dojde k jakékoli poruše, je nezbytně nutné závadu identifikovat, odstranit a celou zkoušku znova opakovat. Celá zkouška trvá 16 hodin.

3.9 Příprava stroje pro zákazníka

Stroj je z výrobního závodu dopravován železniční, silniční nebo lodní dopravou. Všechny části podléhající povětrnostním vlivům jsou chráněny konzervačním prostředkem, zaručujícím ochranu po dobu 12 měsíců. Stroj je podle vzdálenosti a místa určení chráněn buď obalem, nebo impregnovanou plachtou.

3.9.1 Přemísťování stroje

Příprava stroje na transport:

- Zajistit všechny lineární osy
- Zajistit pracovní stůl
- Vypnout stroj hlavním vypínačem na boku elektrické skříně
- Odpojit přívod elektrické energie
- Natřít konzervačním prostředkem všechny plochy, které nejsou chráněny proti korozi
- Všechny dveře a odnímatelné kryty zavřít a zajistit

Zvedání stroje jeřábem:

- Do příčného otvoru vložit transportní tyč, která je součástí závěsného zařízení. Tyč zajistit na zadním konci pomocí šroubu.
- Našroubovat dva závěsné čepy do pracovního prostoru stroje
- Zvedací popruhy zavěsit jedním koncem na hák jeřábu
- Nejdelší dvě oka umístit na pravý a levý závěsný čep
- Nejkratší popruh umístit na konce transportní tyče a zajistit
- Jeřábem pozvolna zvednout stroj
- Vyšroubovat stavěcí šrouby
- Stroj přemístit na transportní podlahu a zajistit proti posunutí

3.9.2 Skladování stroje

Je-li stroj po převímce skladován zákazníkem, musí být po dobu skladování zajištěn proti jakémukoliv poškození vlivem povětrnosti, vnikáním prachu, nevhodností skladovacího prostoru. Opracované plochy musí být chráněny proti korozi vhodným konzervačním prostředkem. Maximální doba k obnovení konzervace je 12 měsíců. Při dlouhodobém skladování je nutná kontrola a repasování vždy po uplynutí dvanáctiměsíční lhůty. Stroj musí být uložen v takové poloze, aby nemohly nastat deformace ovlivňující funkci a přesnost stroje.

3.9.3 Kontrola stroje při dodání

- a) Zkontrolovat, zda obal není porušený, vybalit stroj a překontrolovat jeho stav.
- b) Případné poškození obalu, resp. stroje ihned hlásit příslušnému přepravci.
- c) Překontrolovat zda příslušenství je úplné a odpovídá objednávce.
- d) Nesrovnalosti hlásit ihned dodavateli. Zjevné vady je možné reklamovat do 14 dnů po obdržení dodávky.

3.9.4 Instalace stroje

Před uvedením do provozu je potřebné ze stroje odstranit konzervační hmotu, stroj řádně očistit, promazat, překontrolovat a doplnit všechny olejové náplně podle štítku mazání. Na odstranění konzervační hmoty lze použít např. technický benzín. Dokud není stroj pečlivě očištěn a kluzné i opracované plochy ošetřeny olejem, nesmí být přesouván žádný funkční prvek.

Po připojení stroje k síti je zapotřebí ověřit, zda je stroj připojen na správný sled fází. K tomuto účelu použijeme vhodný měřicí přístroj. V případě nesprávného sledu fází se zamění dva přívodní vodiče na hlavní svorkovnici stroje. Před záměnou přívodních vodičů je nutné zajistit beznapěťový stav přívodního vedení. Dále je nutné zajistit přívod stlačeného vzduchu.[5]

4 Srovnání centra s konkurencí

Pro porovnání centra s konkurenčním výrobkem bylo vybráno obráběcí centrum Mytrunion5 od Japonské firmy Kitamura. Stejně jako u MCU 630V – 5X se jedná o 5 osé obráběcí centrum.



Obrázek 27: Obráběcí centrum Mytrunion5

4.1 Porovnání stolů

Oba stoly mají typ konstrukce: stůl - stůl – kolébka. U obou stolů mohou být použity různé typy desek. Liší se velikostí stolu, hmotností a velikostí obrobku.

Tabulka 6: Porovnání stolů

	Jednotky	MCU 630V – 5X	Mytrunion5
Velikost stolu	[mm]	Ø 800	Ø 630
Maximální zatížení stolu	[kg]	850	400
Maximální velikost obrobku	[mm]	Ø 1000 - 500	Ø 630 - 500

4.2 Rozjezdy a posuvy

Porovnávaná obráběcí centra se liší v konstrukci vedení v osách X, Y, Z. MCU 630V – 5X používá valivé vedení, zatímco Mytrunnion5 používá kluzné vedení. Výhody valivého vedení jsou větší rychlosti rychloposuvů, vysoké zrychlení a brzdění a prakticky žádné opotřebení. Výhody kluzného vedení jsou vyšší únosnost a vyšší radiální i axiální zatížení, lepší tlumení rázů a kmitání.

Tabulka 7: Porovnání rozjezdů a posuvů

	Jednotky	MCU 630V – 5X	Mytrunnion5
Osa X	[mm]	700	815
Osa Y	[mm]	820	745
Osa Z	[mm]	550	500
Osa A (náklon stolu)	[°]	-120 / +30	-120 / +30
Osa C (otáčení stolu)	[°]	neomezeně	neomezeně
Rychloposuv v osách X a Y	[mm.min ⁻¹]	60000	50000
Rychloposuv v ose Z	[mm.min ⁻¹]	60000	25000
Přesnost najíždění souřadnic	[mm]	0,005	0,001

4.3 Parametry vřeten

Porovnávaná centra používají stejnou konstrukci pohonu vřeten. Jedná se o vřetena s integrovaným náhonem. Do MCU 630V – 5X lze namontovat 2 typy vřeten podle potřeby zákazníka. Mytrunnion5 má v nabídce pouze jeden typ vřetena.

Tabulka 8: Porovnání parametrů vřeten

	Jednotky	MCU 630V – 5X		Mytrunion5
Typ vřetena	-	POWER	SPRINT	-
Kužel vřetena	-	ISO 50	HSK - A63	SK 40
Rozsah otáček	[°]	20 - 10000	20 - 18000	20 - 20000
Max. Krouticí moment	[Nm]	340	130	157
Výkon motoru	[kW]	26	35	13
Kapacita zásobníku nástrojů	-	48	64	100
Nástrojový držák	-	ISO 7388/150	DIN 69893	MAS BT 40
Max. průměr nástroje	[mm]	130	130	150
Max. délka nástroje	[mm]	265	320	300
Max hmotnost nástroje	[kg]	10	10	10
Doba výměny nástroje	[s]	6	6	5

4.4 Ostatní parametry

Obráběcí centra se liší v použitých řídicích systémech. MCU 630V – 5X používá systém od firmy Heidenhain a Mytrunion5 systém od firmy Fanuc. Z hlediska rozměrů jsou si centra podobná.

Tabulka 9: Porovnání ostatních parametrů

	Jednotky	MCU 630V – 5X	Mytrunion5
Hmotnost	[kg]	18450	17400
Délka stroje	[mm]	4085	4664
Šířka stroje	[mm]	3460	2428
Výška stroje	[mm]	3528	3276
Příkon stroje	[kVA]	85	45
Řídicí systém	-	Heidenhain	Fanuc

4.5 Celkové srovnání

Oba stroje mají stejný typ konstrukce, která zajišťuje vysokou tuhost a přesnost při obrábění. Vzhledem k použitým vedením je MCU 630V – 5X vhodné hlavně pro hromadnou a sériovou výrobu, zatímco Mytrunnion5 se uplatní hlavně v zakázkové a malosériové výrobě. Rozjezdy souřadných os jsou prakticky shodné, MCU disponuje rychlejšími posuvy, což může přinést zkrácení přípravných časů. Udávaná přesnost stroje Mytrunnion5 0,001 mm budí rozpaky, nevíme však detailně, jak je přesnost u tohoto stroje definována. U stroje MCU lze upnout větší a hmotnější obrobek než u konkurence. Centrum Mytrunnion5 naopak má vyšší maximální otáčky vřetena a zásobník na více nástrojů. Zákazník se při tak pořizování stroje bude rozhodovat podle dalších ukazatelů: cena, rychlost servisu a podpora výrobce a podobně.

5 Závěr

V této absolventské práci se podařilo splnit všechny požadavky zadání. Bylo popsáno a podrobně charakterizováno obráběcí centrum MCU 630V – 5X od firmy MAS Kovosvit a.s. Bylo využito poznatků z odborné praxe ve druhém a třetím ročníku k popisu montáže, zkoušek a přípravě stroje pro zákazníka. Dále bylo vytipováno konkurenční centrum významného výrobce, shromážděna porovnatelná technická data a provedeno srovnání. Práce byla dále doplněna o poznatky nastudované z dokumentace dalších firem.

Literatura

[1] MAREK, J. Konstrukce CNC obráběcích strojů. 2010. ISBN 978-80-254-7980-3.

[2] Frézování - 5 os [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.frezovani-5os.cz/>

[3] Hiwin [online]. 2005 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/>

[4] Heidenhain [online]. 2013 [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: <http://www.heidenhain.cz/>

[5] Firemní literatura MAS Kovosvit a.s.

