



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## MODERNÍ CNC OBRÁBĚCÍ STROJE A JEJICH VÝVOJ

MODERN CNC MACHINES AND THEIR DEVELOPMENT

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Simona Vašíková

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2019

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	<b>Simona Vašíková</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Milan Kalivoda</b>
Akademický rok:	2018/19

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:

## **Moderní CNC obráběcí stroje a jejich vývoj**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Obráběcí procesy prodělaly dlouhodobý vývoj. Rozvoj digitalizace přinesl řadu nových situací. Zadané téma předkládá víceméně pohled na jednotlivé vývojové etapy.

### **Cíle bakalářské práce:**

- Počátky digitalizace u obráběcích strojů
- Následující vývojové etapy až po současnost
- Názorná ukázka vytipovaných CNC strojů
- Sortiment obráběných součástí na CNC strojích
- Zhodnocení nasazení CNC strojů ve výrobě

### **Seznam doporučené literatury:**

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

KARPÍŠEK, Zdeněk. Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost. 3. vyd. Olomučany: CERM, s. r. o., 2007. 170 s. ISBN 978-80-241-3380-9.

Kompletní program pro manipulaci a skladování nebezpečných látek. Strakonice: DENIOS, s. r. o., 2005. 180 s.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-704-639-4.

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd edition. New York: McGRAW-HILL, 2006. p. 730. ISBN 0-07-146271-6.

ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-21-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na počátky obráběcích NC a CNC strojů z pohledu historických letopočtů, kde jsou zařazeny i všeobecné informace a konstrukce nejznámějších těchto strojů z historie. Dále je zachycen jejich další vývoj včetně výrobců řídicích systémů a jejich stručné historie a zmínka o výrobě těchto strojů z pohledu České republiky. Částí práce je i rozdělení současných CNC strojů dle typu obráběných výrobků i použité technologie současně se vzorovou ukázkou 2 vybraných CNC strojů. Je provedeno rozdělení sortimentu obráběných součástí na CNC strojích a zhodnocení používání CNC strojů ve výrobě. Zde jsou uvedeny výhody CNC strojů, jejich příslušenství a vytvořen vzorový NC program včetně výkresu smyšleného výrobku. Diskuze se pak zabývá současnými technologiemi v průmyslu, logistice i stavebnictví a zhodnocením současného stavu a pokusem o predikci budoucího vývoje.

### **Klíčová slova**

NC stroje, CNC stroje, historie, obráběné součásti, řídicí systém, NC program

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis is focused on the beginnings of NC and CNC machines from the perspective of historical years, where are included also general information and construction of the most famous machines from history. Also there is their further development, including control system manufacturers and their brief history. The mention of the production of these machines from the perspective of the Czech Republic is included. Part of the thesis is also the division of the current CNC machines according to the type of machined products and the technology together with a sample of 2 selected CNC machines. There is a division of CNC machined parts and evaluation of the use of CNC machines in production. There are the advantages of CNC machines, their accessories and a simple NC program including a product drawing. In discussion there are current technologies in industry, logistics and construction, as well as the current state and attempts to predict future developments.

### **Keywords**

NC machines, CNC machines, history, machined parts, control system, NC program

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VAŠÍKOVÁ, Simona. *Moderní CNC obráběcí stroje a jejich vývoj*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 45 s., 17 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Moderní CNC obráběcí stroje a jejich vývoj** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Simona Vašíková

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Poděkování patří i mé rodinně za podporu při vypracovávání této bakalářské práce.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ .....	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	10
1 POČÁTKY DIGITALIZACE U OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....	11
1.1 Historické etapy a letopočty digitalizace obráběcích strojů .....	11
1.2 Konstrukce vybraných (C)NC strojů z historie .....	13
1.2.1 John T. Parsons: První patent.....	13
1.2.2 MIT: Cincinnati Hydro-Tel.....	14
1.2.3 Kearney & Trecker: Milwaukee-Matic II .....	15
2 NÁSLEDUJÍCÍ VÝVOJOVÉ ETAPY AŽ PO SOUČASNOST .....	16
2.1 Příklady výrobců řídicích systémů a jejich stručná historie .....	16
2.1.1 Fanuc .....	16
2.1.2 Siemens .....	17
2.1.3 Heidenhain .....	19
2.2 Výroba obráběcích strojů a řídicích systémů u nás .....	20
3 VZOROVÁ UKÁZKA VYTIPOVANÝCH STROJŮ.....	22
3.1 Rozdělení současných CNC obráběcích strojů.....	22
3.1.1 CNC obráběcí centra pro výrobu rotačních součástí.....	22
3.1.2 CNC obráběcí centra nerotačních součástí .....	22
3.1.3 CNC multifunkční obráběcí centra .....	23
3.1.4 CNC vrtací stroje.....	24
3.1.5 CNC vyvrtávací stroje.....	24
3.1.6 CNC brousicí stroje.....	24
3.1.7 CNC obráběcí stroje na ozubení .....	25
3.1.8 Těžké obráběcí stroje .....	25
3.1.9 Stroje pro vysokorychlostní obrábění .....	25
3.1.10 Obráběcí centra s nekonvenční kinematickou strukturou .....	27
3.1.11 Nákladově optimalizované CNC obráběcí stroje.....	29
3.1.12 Automatizované výrobní soustavy .....	29
3.2 Vytipované stroje.....	30
3.2.1 Nakamura Tome WT-100 .....	30
3.2.2 Walter Helitronic Micro .....	31

4	SORTIMENT OBRÁBĚNÝCH SOUČÁSTÍ NA CNC STROJÍCH.....	32
4.1	Jednoduché výrobky.....	32
4.2	Středně náročné výrobky.....	32
4.3	Složité výrobky.....	32
5	ZHODNOCENÍ NASAZENÍ CNC STROJŮ VE VÝROBĚ.....	33
5.1	Výhody CNC strojů.....	33
5.2	Příslušenství CNC strojů .....	33
5.2.1	Zařízení pro odvod třísek .....	33
5.2.2	Kryty strojů .....	33
5.2.3	Systémy chlazení a mazání .....	34
5.2.4	Upínače polotovarů .....	34
5.2.5	Systémy automatické výměny nástrojů.....	34
5.2.6	Systémy automatické výměny obrobků .....	34
5.3	Vzorový NC program .....	34
6	DISKUZE .....	35
6.1	Průmysl 4.0.....	35
6.2	Logistika 4.0.....	36
6.3	Stavba 4.0 .....	36
6.4	Shrnutí a budoucí vývoj.....	37
	ZÁVĚR .....	38
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	39
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	42
	SEZNAM tabulek .....	44
	SEZNAM obrázků .....	44
	SEZNAM PŘÍLOH.....	45

## ÚVOD

Lidé se již od počátků snažili ulehčit si práci různými vynálezy, jako je například páka, kolo nebo kladka. Později konstruovali i potřebné stroje, které byly zpočátku dřevěné (například hrnčířský kruh, kladkostroj nebo tkalcovský stav) a mohly být vyráběny ručně s pohonem jednoduchými mechanizmy nebo vodou.

Nároky na výrobu se stále zvětšovaly, a proto vznikla potřeba využívat k pohonu strojů výkonný motor. Ke konci 18. století nabídl řešení James Watt svým parním strojem. Jeho kovové součásti, které měly rotační plochy (píst, válec a čepy), se ručně nedaly vyrábět dostatečně přesně. Vznikly tak první obráběcí stroje, což vedlo ke vzniku prvních průmyslových firem. Ty vyráběly převážně kusové výrobky na zakázku [1, s. 5 - 6].

Rozvoj šel stále kupředu a trendem se v 19. a 20. století stala sériová a hromadná výroba namísto kusové. Zde se používaly jednoúčelové stroje přizpůsobované parametrům daného výrobku. Při změně výroby se stroje musely předělat nebo nahradit novými. To vedlo ke vzniku stavebnicové struktury strojů v 1. polovině 20. století [1, s. 7, 13].

Velkosériová a hromadná výroba si žádala automatizaci výrobních operací s cílem nahradit opakovanou lidskou práci stroji a zlepšit výrobní procesy zvýšenou rychlostí i kvalitou výroby. Vznikaly poloautomatické a automatické stroje i automatizované výrobní linky [1, s. 15].

Řízení těchto strojů se nejprve provádělo mechanicky hřídelí s vačkami a křivkami, později elektromechanicky pomocí kupříkladu koncových vypínačů a hydraulicky se servomotory. Programové řízení se začalo využívat od 60. let 20. století. Byly to číslicově řízené stroje, jejichž program byl zaznamenán na děrných štítcích a páskách. Později se využívaly i magnetické pásky. Od 80. let se stroje začaly řídit počítači [1, s. 15].

Vývoj technologií jde neustále kupředu a potřeba uspokojovat stále náročnější zákazníky s nejrůznějšími technologiemi, rychlostí a kvalitou výroby roste. V současné době se ve firmách hojně využívají univerzální počítačem řízené stroje se svým řídicím systémem, které zvládnou několik různých výrobních operací. Často jsou zařazeny i roboty a manipulátory ke kooperaci s těmito stroji místo lidské síly.

## 1 POČÁTKY DIGITALIZACE U OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Obrábění se až do 18. století týkalo především dřeva. Obrábění kovů nebylo tolik rozšířené a navíc až do 19. století se opracovávaly hlavně kovářským způsobem. To se změnilo s příchodem parního stroje a následně elektromotoru, s čímž je spojen první mechanický pohon strojů [2, s. 2 - 5].

Obráběcí stroje se původně začaly automatizovaně řídit pomocí vaček podobně jako hudební skříně či složitější kukačkové hodiny. Automatizace založená na vačkách již dosáhla velmi pokročilé úrovně už za první světové války. Vačka však nemůže být abstraktně programována. Potřebné informace se k vačce dostávají ručně vyřezáváním nebo obráběním, což je hlavní rozdíl mezi číslicovým řízením a vačkovými mechanismy [3].

Během 19. století probíhal v Evropě i Americe velký rozvoj výroby a strojů. V tomto směru lze vděčit hlavně výrobcům zbraní, kteří si stroje konstruovali dle vlastních potřeb a se standardizovanými rozměry pro snadnou výměnu náhradních dílů. V polovině 19. století byly k dispozici univerzální frézovací a brousicí stroje. Zároveň se již objevily i kopírovací soustruhy (*Thomas Blanchard, 1820 – 1830*) a revolverový systém na závitý (*Christopher Miner Spencer, 1870*) u soustružení k rychlé výměně nástrojů a automatizaci výroby. Již v průběhu 19. a na začátku 20. století lze tedy hovořit o nejrůznějších vývojových novinkách a inovacích, které se týkají právě obráběcích strojů [2, s. 2 - 5], [3].

### 1.1 Historické etapy a letopočty digitalizace obráběcích strojů

Základy (C)NC obrábění byly položeny již na konci druhé světové války. V té době měly americké ozbrojené síly (*U. S. Force*) zpracované projekty pro letectví a raketové zbraně. Ty však nemohly být vyráběny standardním obráběcím procesem, protože bylo nutné dodržovat přesnost rozměrů, flexibilní obráběcí procesy a maximalizovat výrobu. Proto se v roce 1952 spojily se společností pana Parsonse (*Parsons Corporation*), kde pracoval jeho syn John T. Parsons jako mechanik a obchodník, a Technologickým institutem v Massachusetts (*MIT*), čímž započal vývoj počítačem řízeného systému pro obráběcí stroje [4, s. 132], [5].

Vše ale začalo o něco dříve. Je možné říci, že právě John T. Parsons proměnil nepřesnou průmyslovou výrobu v přesnou vědu a tím vytvořil jakousi druhou průmyslovou revoluci. Sám však nakonec smutně konstatoval: „*Koncepce NC byla pro výrobce cizí a pomalá na to, aby se uchýtila, takže armáda USA nakonec musela sama postavit 120 NC strojů a pronajmout je různým výrobcům, aby se začalo popularizovat užívání NC.*“ Za důležité jsou považovány tyto historické milníky jdoucí postupně až po současnost [4, s. 132 - 135], [5], [6], [7], [8], [9]:

**1942** *Parsons se od Billa Stouta, bývalého vedoucího výroby společnosti Ford Trimotor, dovídá o nových možnostech portfolia výroby pro helikoptéry, spojil se proto s firmou Sikorsky Aircraft.*

**1946** *John Parsons má problém s přesností tvarů vyřezávaných kovových součástí, z toho důvodu kontaktuje Franka Stulena, pracovníka společnosti Wright Field. Ten pro něj také v tomto roce začíná pracovat.*

**1947** *Pánové Parsons a Stulen pracují na vývoji řídicího systému, který by pomocí děrných štítků dokázal nasměrovat vřetenem na řadu bodů za sebou a řezat tak mezi*

stanovenými jednotlivými body. K tomuto jsou zapotřebí 2 operátoři - jeden pro osu X, druhý pro osu Y. Tomuto postupu se říkalo „metoda podle čísel“.

**1948** *John T. Parsons* nabídl návrh automatizované frézy pro výrobu kovových vazníků pomocí děrných štítků firmě *Lockheed*. Ta však o návrh neměla zájem a nakoupila 5osé šablonové kopírovací stroje a drahý řezací stroj i přes to, že tímto způsobem *Parsons* předpovídal velmi nepřesnou výrobu a měl pravdu.

**1949** Americké letectví vyčlenilo pro *Parsonse* finanční prostředky k výrobě jeho vlastních strojů. Systém přímého pohonu od motoru se však rovněž ukázal jako nepřesný. *Parsons* se proto obrátil na *Laboratoř servomechanismů* institutu *MIT*, kde dospěli k vylepšení současného návrhu tím, že by se nástroj řízený počítačem pohyboval mezi body plynule a vytvářel tak hladký obrys.

**1949 – 1950** Trvání oficiálního projektu o „Automatických frézách s kartami a vývoji výrobního systému“ mezi *Parsonsem* a *MIT* schválený americkým letectvím.

**1950** *MIT* koupil frézku od firmy *Cincinnati Milling Machine Company* a uzavřel smlouvu přímo s americkým letectvím, což úplně vyloučilo účast *Parsonse*.

**1952** *MIT* představil první tříosý číselně řízený stroj systémem 7stopových děrných pásek, který měl 250 elektronek, 280 kontrolky a 175 relé.

**1952 – 1956** Využívání systému *MIT* na frézách pro různé letecké společnosti. Systém se ukázal jako málo spolehlivý kvůli množství pohyblivých částí a také byl na svou dobu velmi drahý.

**1953** Vyčerpány finanční prostředky amerického letectví na tento projekt, vývoj převzala společnost *Giddings and Lewis Machine Tool Co*.

**1954** Zveřejnění oznámení o NC systémech.

**1955** Odchod mnoha členů týmu *MIT*, kteří v zájmu firmy *Giddings* založili *Concord Controls*, což byla komerční společnost pro číselné řízení a začali vyrábět řídicí jednotky *Numericord*. Projekt byl sice podobný tomu od *MIT*, ale děrné pásky byly nahrazeny čtečkou magnetické pásky od firmy *General Electric*. Tato páska měla velké množství signálů a přehrávala se konstantní rychlostí. Výhodou byla její univerzální využití pro kterýkoliv stroj v dílně.

Vyvinut systém *Numericord* „NC 5“ k výrobě velmi přesných lisovacích nástrojů pro seřezávací lisy v leteckém průmyslu pro závod *G&L* ve Fond du Lac v americkém Wisconsinu.

Konání veletrhu „*Chicago Machine Tool*“, kde byl mimo jiné představen NC řízený soustruh od firmy *Monarch Machine Tool*. Dále zde byl například stroj *Milwaukee-Matic II* od společnosti *Kearney & Trecker* s možností výměny řezných nástrojů pomocí NC řízení.

**1957** Doručování a instalace prvních vyrobených NC strojů.

**1958** *John Parsons* obdržel patent na „Motoricky ovládané zařízení pro polohování obráběcího stroje“ a jeho společnost prodala výhradní licenci firmám *Bendix*, *IBM*, *Fujitsu* a *General Electric*.

*MIT* zveřejnil zprávu o ekonomické stránce NC. Zjistil, že stroje jsou sice schopné konkurovat lidem, ale přesouvá se čas od obrábění ke tvorbě pásek.

*MIT* používal programovací jazyk, ze kterého se později vyvinul „*G – kód*“, jak ho známe v současné době.

**1959** Firma *Kearney & Trecker* uvedla na trh svůj stroj *Milwaukee-Matic II*, který se tak stal prvním komerčně nabízeným strojem s automatickou výměnou nástrojů.

**1960** Americká organizace *Electronic Industry Alliance (EIA)* standardizovala známý „*G – kód*“ používaný i v současné době k programování CNC strojů.

**1960 – 1970** CNC výroba poskytovala potřebnou pevnou technologickou základnu a začala vytrvale vyvažovat starší technologie, jako jsou hydraulické značkovače a ruční obrábění. Americké firmy se však soustředily pouze na vysokou cenu.

Počátky nahrazování papírových výkresů systémy CAD. Trh byl poměrně decentní a objevovaly se zde americké firmy jako například *Intergraph* z Alabamy (koupil jej švédský *Hexagon* v roce 2010) nebo *Computer vision* z Massachusetts (koupěna v roce 1998 firmou *PTC - Parametric Technology Corporation*).

**1979** Němci si jako první všimli možnosti snížení cen CNC technologií a v tomto roce prodali více strojů než americké společnosti.

**1980** Stejný vzorec převzatý od Němců aplikovali i Japonci a v tomto roce vzali vedení v prodeji CNC strojů a technologií právě Německu.

**2000** S příchodem mikroprocesorů byly CNC řídicí systémy ještě levnější, což zpřístupnilo tyto technologie například i pro hobby trhy. Projekt rozšíření počítačových programů pro řízení strojů (*Enhanced Machine Controller project- EMC*) od Národního institutu standardů a technologií (*National Institute of Standards and Technology – NIST*) se týkal zavedení volně dostupného NC programu *EMC* pro operační systém *Linux*. Kolem roku 2000 byl tento projekt zveřejněn a následně zaveden.

**2001** *Art Fenerty*, založil společnosti *Artsoft*, kde vyvinul systém *Mach 3* jako odnož dřívějších verzí *EMC*, který byl dostupný pro operační systém *Windows* namísto *Linuxu*. To tyto systémy ještě více zpřístupnilo CNC trhům.

Zajímavostí je, že obě softwarová řešení pro CNC, tedy *EMC 2* i *Mach 3* jsou v současné době stále používány a prosperují jako obdobné CNC technologie.

## **1.2 Konstrukce vybraných (C)NC strojů z historie**

Zde jsou detailněji rozebrány některé důležité stroje a vynálezy z historického pohledu, které vedly k dalšímu vývoji CNC strojů známých v současné době.

### **1.2.1 John T. Parsons: První patent**

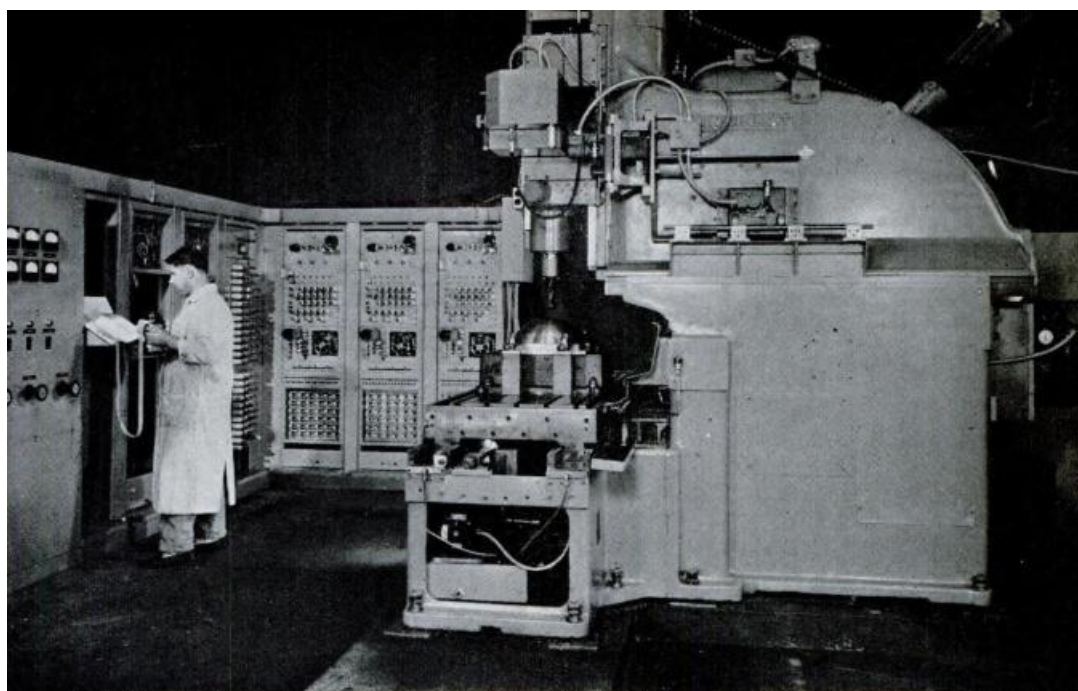
Společnost *Parsons Corporation* se věnovala obrábění různých výrobků, v této době především pro letecký průmysl. *John Parsons* uvažoval o přesné a automatizované výrobě už delší dobu. Vedla ho k tomu úvaha o využívání kovových vazníků pro rotory letadel místo dřevěných, které by bylo možné lisovat a ne lepit, což by vedlo ke zjednodušení a zkvalitnění výroby. Problém byl však v přesné výrobě tvaru daných kovových součástí. Kolem roku 1946 se setkal s pracovníkem společnosti *Wright Field, Frankem Stulenem*, který pro *Parsonse* v tomto roce začal také pracovat. Bratr *Franka Stulena* pracoval pro firmu *Curtiss Wright Propeller* a zmínil, že používají pro technické výpočty kalkulačky s děrnými štítky. To *Parsonse* přivedlo k myšlence, že by takové zařízení šlo využít pro relativně přesný a hladký tvar kovového vazníku [4,s. 132 - 133].

To ale nestačilo. *John Parsons* dále snil o plně automatizované výrobě. Neměl však finanční prostředky, a tak nabídl návrh automatizované frézy pro výrobu kovových vazníků pomocí děrných štítků pro jednoho operátora v ose X a druhého v ose Y, což tvořilo řezy mezi jednotlivými body, firmě *Lockheed*. Firma však o návrh neměla zájem a nakoupila pětiosé šablonové kopírovací stroje a drahý řezací stroj, i přes to, že tímto způsobem *Parsons* předpovídal velmi nepřesnou výrobu a měl pravdu. V roce 1949 proto americké letectví vyčlenilo pro *Parsonse* finanční prostředky k výrobě jeho vlastních strojů. Systém přímého pohonu od motoru se však rovněž ukázal jako nepřesný. *Parsons* se proto obrátil na *Laboratoř servomechanismů* institutu MIT, kde dospěli k vylepšení současného návrhu tím, že by se nástroj pohyboval mezi body plynule a vytvářel tak hladký obrys. Spolupráce pokračovala do té doby, než MIT koupil frézku od firmy *Cincinnati Milling Machine Company* a uzavřel smlouvu přímo s americkým letectvím, což úplně vyloučilo účast *Parsonse*. V roce 1952 proto *Parsons* podal žádost o patent na svůj vynález s názvem „*Motoricky ovládané zařízení pro polohování obráběcího stroje*“ [4, s. 132 - 134]. Náhled první strany na ukázkou je v příloze č. 1 [10].

### 1.2.2 MIT: Cincinnati Hydro-Tel

Dle kapitoly 1.1 stál v padesátých letech 19. století v *Laboratoři servomechanismů* Technologického institutu v Cambridge v americkém státě Massachusetts frézovací stroj, který byl ovládán pomocí malé ruličky pásky. Tímto strojem byla vertikální 28“ frézka *Cincinnati Hydro-Tel* od firmy *Cincinnati Milling Machine Company*, která je na obrázku č. 1. Pásky vytvářeli operátoři na klasických telegrafních strojích pomocí kódů, které přetvářely na znaky typu děr [11, s. 106 - 109].

K řízení obrábění sloužila čtečka těchto pásek, která znaky četla pomocí jehel. V místě, kde byla v pásce díra, jehla prošla páskou skrz a uzavřela elektrický obvod, což vyslalo kódovaný signál. Stroj byl skříňové konstrukce a společně s jeho řídicím centrem zabíral velkou plochu, kterou lze přirovnat k prvním sálovým počítačům [11, s. 106 - 109].



Obrázek č. 1: Frézovací stroj Cincinnati Hydro-Tel [11, s. 107]

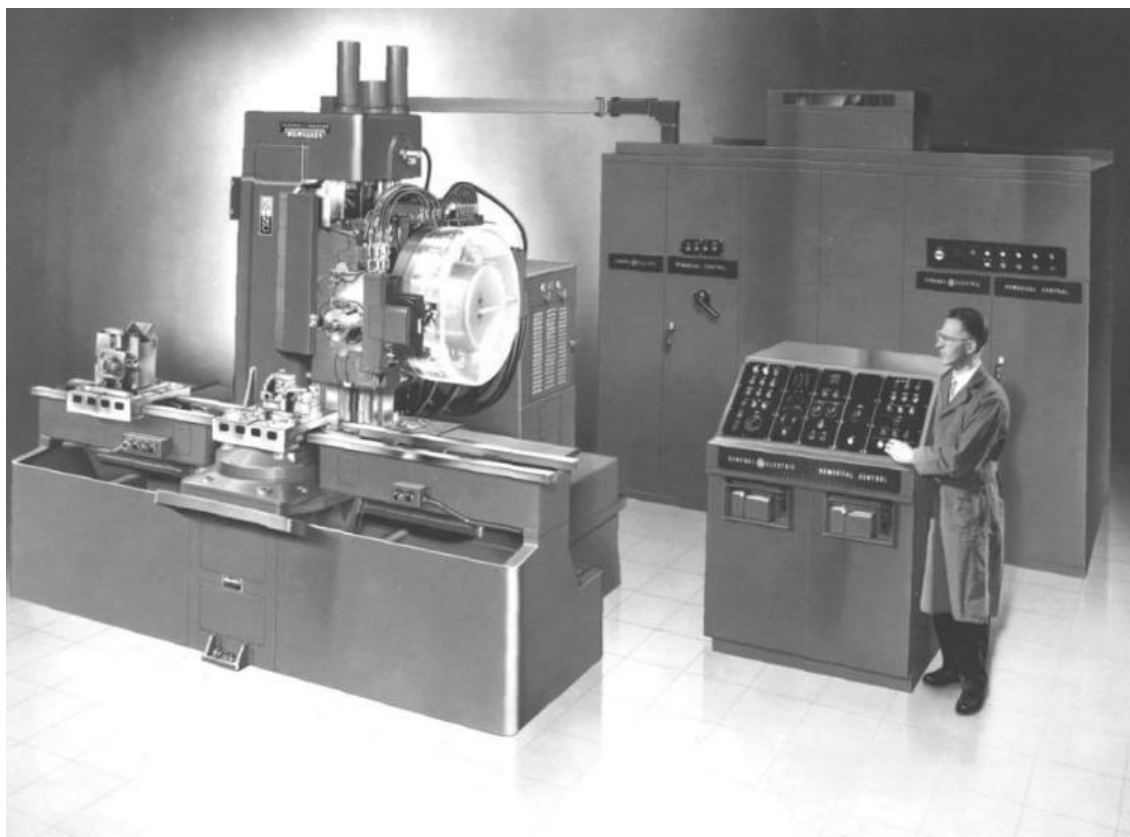
### 1.2.3 Kearney & Trecker: Milwaukee-Matic II

Tento stroj byl uveden na trh v roce 1959 a stal se tak prvním komerčně dostupným numericky řízeným obráběcím centrem se zásobníkem pro automatickou výměnu nástrojů a je na obrázku č. 2 [4, s. 135].

Na základě instrukcí řídicího programu zásobník natočil zvolený nástroj do příslušné polohy a dvojitě uchopovací rameno se následně natočilo do záběru s vybraným nástrojem. Každý držák nástrojů měl kódovací kroužky pro rozpoznání nástroje. Pokud řídicí systém při otáčení zásobníku rozpoznal správný nástroj pro danou operaci, ten byl pak přesunut do stanice výměny nástrojů [4, s. 135].

Rameno výměny nástrojů při svém axiálním pohybu nejprve vyjmulo nástroj ze zásobníku a poté z vřetene, otočilo se o 180° k záměně poloh nástrojů a uložilo použitý nástroj zpět do zásobníku a nový do vřetene, kde byl automaticky upnutý pro danou výrobní operaci. Potom se rameno mohlo přesunout do klidové pozice [4, s. 135].

Používání tohoto stroje vedlo ke snížení množství lidské práce a tím i redukci chyb při obrábění. Zároveň se díky jeho univerzálnosti zkracoval čas výroby i množství zásob. Celkově byl tedy významným pokrokem ke snížení nákladů a pracnosti výroby [4, s. 135].



Obrázek č. 2: Obráběcí centrum Milwaukee-Matic II [12]

## 2 NÁSLEDUJÍCÍ VÝVOJOVÉ ETAPY AŽ PO SOUČASNOST

V současné době je při vývoji a používání výrobních strojů dlouhodobým trendem výpočetní technika. Stroje jsou řízeny a automatizovány pomocí počítačů a příslušných softwarových programů k co nejrychlejšímu a nejkvalitnějšímu provádění operací. Opakované činnosti člověka jsou již běžně nahrazeny technikou.

Klasické stroje jsou postupně stále více vytlačovány moderní technikou, což vede ke zvyšování potřebné kvalifikace pracovníků. Naopak oblast CNC strojů a zařízení se vyvíjí rychle a mnohdy kvalita a rychlost výroby závisí hlavně na řídicím programu. Řídicí programy a systémy jsou tak neustále inovovány a přizpůsobovány potřebám zákazníků, v ideálním případě přímo na míru. Současní výrobci mají nespočet vylepšení k usnadnění a zpřesnění práce stále náročnějších zákazníků. Několik výrobců řídicích systémů včetně jejich softwarových aplikací je vybráno v následující kapitole.

### 2.1 Příklady výrobců řídicích systémů a jejich stručná historie

Výrobců řídicích systémů je celá řada. Mezi nejznámější výrobce patří Fanuc, Siemens a Heidenhain. Dalšími jsou například Mazak (*Mazatrol*), Kitamura (*Arumatik*), Okuma (*OSP*) a Mitsubishi (*M*).

#### 2.1.1 Fanuc

Společnost Fanuc byla založena v roce 1956 panem Dr. Seiueemonem Inabou, který se mimo jiné tehdy podílel na technologii číslicového řízení, a už v roce 1958 byly dodávány první komerční NC stroje Fanuc. Od roku 1959 se Dr. Inaba podílel na vývoji prvních průmyslových elektrohydraulických pulzních motorů, což postupně vedlo k automatizaci celých výrobních linek. V Japonsku byl Fanuc první společností, která postavila a provozovala automatizovanou továrnu využívající roboty a obráběcí stroje s technologií NC [13].

V roce 1958 bylo představeno první CNC obráběcí centrum Fanuc Robodrill (kompaktní CNC obráběcí centra) a v roce 1973 byl instalováno v Evropě. Během roku 1974 byly vyvíjeny a instalovány první průmyslové roboty a stejnosměrné servomotory v Japonsku a v roce 1975 byl představen první robot Fanuc Robocut (CNC řízené elektroerozivní drátové řezačky) a v roce 1977 začal Fanuc průmyslové roboty vyvážet. Ale v Evropě byl první robot až v roce 1983 a 1984 byl již v Japonsku instalován první stroj Fanuc Roboshot (elektronické CNC vstřikovací stroje) [13].

Od roku 2003 Fanuc vyrábí inteligentní roboty a od roku 2010 je předním výrobcem zařízení pro průmyslovou automatizaci ve světě. V roce 2015 Fanuc vyvíjel Fiber Laser a v Evropě uvedl první kooperativní průmyslový robot. Během roku 2018 byla v Evropě uvedena nová řada robotů Scara. V současnosti má společnost Fanuc po celém světě přes 4 miliony řídicích jednotek a 550 000 robotů a stále pokračuje v dalších vývojích [13].

V současné době jsou na trhu dostupné například tyto řídicí systémy Fanuc [14]:

- **CNC Series 30i / 31i / 32i - model B**

Řada je vhodná pro velmi variabilní a vícekanálové stroje a stroje vyžadující vysokou přesnost a rychlost obrábění s podporou více os a drah. Inovační software a slibuje vysoký výkon, přesné dílenské zpracování a kvalitní povrch obráběných kusů [14].

Je pro až 96 os, 24 vřeten a 15 kanálů při 5osém nebo multifunkčním obrábění. Má rozšířené integrované funkce preventivní údržby a 3D detekci kolize [14].

- **CNC Series 0i - model F**

Série je základním řešením pro různé řídicí aplikace. Systém má nejnovější generaci hardwaru a přednastavený balíček softwarových funkcí. Lze jej modifikovat dalšími volitelnými funkcemi pro maximální produktivitu. Možnostmi, vlastnostmi, funkcemi a spolehlivostí se může vyrovnat systémům vyšší kategorie [14].

Může řídit až 12 os, 6 vřeten, 2 kanály a až 2 další základní kanály. Zvládne i 4 osy pracující současně a 3 + 2 osy. Funguje se společnou provozuschopností, udržitelností a sítí s CNC sérií 30i - model B [14].

- **CNC Series 35i - model B**

Tato řada je navržena pro řízení postupových a portálových výrobních linek a frézovacích a vrtacích stanic. Softwarové možnosti dovolují přesné zpracování ve více kanálech a krátké doby zpracování spolu s možnostmi řešení na míru dle potřeb [14].

Může řídit až 20 os, 4 vřetenové osy a 4 kanály. Nabízí jednoduché nastavení os a další funkce pro snadné přizpůsobení [14].

- **Power Motion i - model A**

Tento systém je pro efektivní řízení pohybu a široké spektrum různých vysoce výkonných aplikací. Je vhodný například pro lisy, nakladače, razicí stroje, drátové řezačky, navíjecí a plnicí stroje [14].

Disponuje funkcemi polohování ve více osách a kanálech a řízení rychlosti a momentu. Je stavěn pro až 32 os a 4 kanály, má funkci CAM a dobře kombinuje řízení tlaku a polohy [14].

### 2.1.2 Siemens

Dnešní mezinárodní společnost Siemens AG má za sebou bohatou minulost. Základy jí položil v roce 1847 Werner von Siemens, když se mu podařilo vylepšit telegraf od tvůrců Charlese Wheatstonea a Williama Fothergilla Cookea a společně s Johannem Georgem Halskem založil společnost pro konstrukci telegrafů [15].

Pracoval i na základech dynamo-elektrických principů od Michaela Faradaye a v roce 1867 si Werner von Siemens nechal patentovat dynamo přístroj, předchůdce elektrických generátorů. V roce 1879 Siemens představil první elektrickou železnici poháněnou externím zdrojem energie [15].

Během své dlouhé historie společnost prošla různými formami a kooperacemi. Zabývala se například výstavbou telegrafních linek, pokládáním telefonních kabelů i výstavbou elektráren. V roce 1919 společně s dalšími firmami založila továrnu na výrobu žárovek OSRAM [15].

V dalších letech se začaly využívat montážní linky. V roce 1924 byly takto vyrobeny první vysavače. Ve stejném roce získal Siemens majoritní podíl v konkurenční firmě RGS na výrobu lékařských přístrojů a tak vznikla největší společnost na světě v tomto oboru [15].

V roce 1954 vstoupil Siemens na trh zpracování dat, což byla dosud doména americké IBM, a v roce 1957 bylo sériově vyrobeno asi 2 000 počítačů s novým typem tranzistoru. V tomto roce vznikla nová společnost na výrobu domácí elektroniky a spotřebičů [15].

V roce 1958 Siemens představil Simatic, první tranzistorový řídicí systém. Během 60. let Siemens přešel z výroby elektrotechniky na elektroniku a datové technologie se staly hlavní oblastí podnikání. V roce 1980 vyvinul digitální spojovací systém pro telefony k přenosu nejen hlasu, ale i textů, grafiky a dat. Jeho další vývoj pak vedl ke vzniku digitální sítě integrovaných služeb [15].

Rok 1987 byl úspěchem společnosti Siemens na poli hromadné výroby 1megabitových čipů ve spolupráci s japonskou Toshiba (4megabitové přišly o dva roky později) [15].

V roce 2000 Siemens získal firmu UGS, specialistu na správu digitálních dat, takže mohl nabídnout hardware, software a podporu pro digitální továrnu z jednoho zdroje. V roce 2012 získal LMS, poskytovatele softwaru pro mechanickou simulaci. V roce 2016 přišla akvizice CD-adapco, specialisty na softwary pro simulaci mechaniky proudění, a 2017 Mentor Graphics, výrobce softwaru pro návrh polovodičů [15].

V současnosti se společnost Siemens věnuje technologiím pro stavebnictví, zdravotnictví a energetiku, průmyslové automatizaci, technologiím v dopravě, spotřební elektronice, softwarovým řešením a automatizačním a řídicím systémům.

Z pohledu této práce jsou podstatné hlavně CNC řídicí systémy Sinumerik, které spojují technologie, automatizaci a digitalizaci. Jsou vhodné pro kusovou zakázkovou výrobu, malosériovou a velkosériovou výrobu, pro výrobky jednoduché i složité. Nabízí řešení pro automobilový a letecký průmysl, výrobu energií i pro výrobu nástrojů a forem [16].

Nyní jsou dostupné tyto verze řídicího systému Sinumerik [16], [17]:

- **SINUMERIK 808D advanced**

Je vhodný k základním soustružnickým a frézovacím strojům nebo jednoduchým obráběcími centry i k základním CNC soustruhům [16], [17].

- **SINUMERIK 828D**

Systém je navržen pro frézování a soustružení na standardních strojích i automatizaci brousících strojů. Zvládne i složitější stroje s přídatnými osami nebo vřeteny a 2 obráběcími kanály. Má tři verze softwaru s označením 24x, 26x a 28x [16], [17]:

- 24x má uživatelskou paměť 3 MB a je až pro 5 os nebo vřeten s max. 128 nástroji nebo 256 břity.
- 26x má paměť 5 MB a až 6 os nebo vřeten s max. 256 nástroji nebo 512 břity.
- 28x je až pro 2 obráběcí kanály s pamětí 10 MB a pro 8 až 10 os nebo vřeten s max. 768 nástroji nebo 1 536 břity.

- **SINUMERIK 840D sl (solution line)**

Tento systém má být prémiovým standardem v CNC obrábění. Má vysoce výkonnou numerickou řídicí jednotku s vícejádrovými procesory, která zvládne řídit obrábění až v 93 osách a 30 kanálech. Lze jej optimálně přizpůsobit potřebám stroje, například mohou být do výroby zařazeny i roboty a manipulační systémy [16], [17].

Porovnání řídicích systémů Sinumerik s možností řídit provádění různých technologických operací je v tabulce č. 1 a podrobnější přehled pak v příloze č. 2.

**Tabulka č. 1: Porovnání řídicích systémů Sinumerik a řízení možných technologií [17]**

<b>Technologie obrábění</b>	<b>SINUMERIK 808</b>	<b>SINUMERIK 828</b>	<b>SINUMERIK 840</b>
Soustružení	✓	✓	✓
Frézování	✓	✓	✓
Broušení	-	✓	✓
Provádění více operací najednou	-	-	✓
Aditivní výroba (3D tisk)	-	-	✓
Výroba ozubených kol	-	✓*	✓
Prostřihování, laser, plasma a vodní paprsek	-	-	✓
Obrábění kompozitů	-	-	✓
Automatizované buňky	-	✓	✓

\*s volitelnou funkcí CP-comfort

### **2.1.3 Heidenhain**

Další německá společnost vznikla v roce 1889, kdy Wilhelm Heidenhain založil dílnu na leptání kovů vyrábějící šablony, štítky, stupnice a měřítka. Po 2. světové válce zřídil jeho syn novou společnost Dr. Johannes Heidenhain, kde se vyráběly stupnice a měřítka pro váhy se zobrazením cen [18].

Krátce poté se produkce rozrostla o optické snímače polohy pro obráběcí stroje a na začátku 60. let firma přešla k fotoelektrickým snímačům délek a úhlů. To vedlo k automatizaci výrobních strojů a zařízení. Společnost Heidenhain se stávala stále vlivnějším producentem řízení a pohonů obráběcích strojů asi od poloviny 70. let [18].

V současné době má společnost Heidenhain zastoupení formou vlastních poboček ve všech průmyslových zemích a zabývá se výrobou TNC řídicích systémů s dialogovým programováním pro výrobu nástrojů a forem, absolutních a přírůstkových rotačních snímačů, lineárních a úhlových snímačů, dotykovými sondami a měřidly a systémy pro CNC řízení [19].

Současnými řídicími systémy Heidenhain kupříkladu jsou [20]:

- **MANUAL plus 620**

Je pro horizontální i vertikální soustruhy v malosériové a středněsériové výrobě s vřetenem, jedním suportem (osa X a Z), osou C nebo polohovatelným vřetenem a poháněnými nástroji, kde mohou být jednoduché držáky nástrojů i revolverová hlava. Disponuje cyklovým programováním [20].

- **CNC PILOT 640**

Byl navržen pro horizontální i vertikální CNC soustruhy a vertikální vyvrtávací a soustružnické frézy. Podporuje soustruhy s hlavním a protilehlým vřetenem, osou C nebo polohovatelným vřetenem a poháněnými nástroji, stejně jako stroje s osami Y a B [20].

- **TNC 128**

Kompaktní všestranný systém pro pravoúhlé řízení 3 os a vřetene. Další řízená osa je volitelná. Je vhodný pro univerzální frézovací, vrtací a vyvrtávací stroje pro kusovou a malosériovou výrobu, výrobu strojů, stavbu prototypů a pilotních projektů, opravárenské práce i vybavení školních dílen [20].

- **TNC 320**

Je souvislým univerzálním řízením pro 4 osy (volitelně lze dokoupit i 5. osu). Je stavěn pro univerzální frézky, vrtačky a vyvrtávačky na sériovou a kusovou výrobu, výrobu nástrojů a forem, produkci strojů, výzkum a vývoj, výrobu prototypů a testování, opravářské dílny i vzdělávací a školicí instituce [20].

- **TNC 620**

Mnohostranné řízení pro až 5 řízených os vhodné k aplikaci na frézkách, vyvrtávačkách a obráběcích centrech pro kusovou a sériovou výrobu, výrobu nástrojů, obecné strojírenství, výzkum a vývoj, výrobu prototypů, ve zkušebnách, opravnách i odborných školách a učilištích. Má užitečné funkce pro univerzální frézky, vrtací a závitovací cykly [20].

- **TNC 640**

Zvládne řídit frézování, kombinované frézování a soustružení, vyvrtávání, obráběcí centra i vysokorychlostní obrábění v 5 - 18 osách [20].

## 2.2 Výroba obráběcích strojů a řídicích systémů u nás

Produkce CNC strojů v současné době hraje v České republice významnou roli. Díky dlouholeté tradici patří české firmy ke známým i ve světě [4, s. 152 - 158].

Mezi podniky vyrábějící obráběcí stroje na našem území patří ČKD Blansko, Fermat Group, Kovosvit MAS, Slovácké strojírný - TOS Čelákovice, Strojírna Tyc, Škoda Machine Tool, Tajmac - ZPS, Toshulin, TOS Kuřim, TOS Olomouc a TOS Varnsdorf. Jejich počátky jsou datovány mezi koncem 19. a první polovinou 20. století až na Strojírnu Tyc, která vznikla až v 90. letech 20. století [4, s. 152 - 158].

Řídicí systémy vyráběla Tesla Kolín v 70. a 80. letech 20. století. V roce 1986 převzal její CNC systémy pražský podnik ZPA (Závody Průmyslové automatizace) Košiče a Tesle zůstalo jen PLC [21, s. 5].

Tyto CNC systémy se značily NS a měly několik řad, jako například NS 260, NS 350, NS 440, NS 580 a NS 670. Nejvyšším modelem CNC systému byl NS 720, navazující vývojová verze NS 730 zůstala jen u prototypu. V 90. letech byla Tesla rozdělena na divize a z její automatizační divize vznikla firma Teco, zabývající se vývojem a výrobou programovatelných automatů [21, s. 5].

V současné době se tyto CNC systémy vyrábějí pod firmou MEFI, která byla v 90. letech založena bývalými zaměstnanci tehdejších státních podniků. Jako příklad lze uvést řadu MEFI 859 nebo MEFI 872.

### 3 VZOROVÁ UKÁZKA VYTIPOVANÝCH STROJŮ

Vzorová ukázka strojů vychází z jejich rozdělení. Proto je nutné uvést alespoň základní rozdělení těchto strojů, jejich charakteristiky a využití.

#### 3.1 Rozdělení současných CNC obráběcích strojů

CNC stroje určené k obrábění lze rozdělit dle jejich vlastností a způsobu obrobení určitých výrobků a součástí. Moderní CNC obráběcí stroje lze nazývat jako obráběcí centra, protože každé z nich může provádět různé výrobní operace.

##### 3.1.1 CNC obráběcí centra pro výrobu rotačních součástí

Tyto stroje tvoří nejrozšířenější typ obráběcích strojů s geometricky definovaným břitem k obrábění součástí rotačního tvaru. Musí umožňovat různé technologické operace, automatickou výměnu nástrojů i obrobků, práci v automatickém cyklu či bezobslužném provozu. Také musí disponovat prvky diagnostiky a měření včetně částí inteligence [4, s. 346], [22, s. 194 - 198].

Zvládnou tedy obrábění vnitřních i vnějších rotačních ploch, a to válcových, kuželových i obecných, ale i čelních rovinných ploch. Dále je lze využít například pro řezání závitů, vrtání, vyvrtávání a vystružování. Zároveň je možné i podélné a příčné kopírování, frézování ploch a drážek včetně broušení vnějších a vnitřních válcových ploch [4, s. 346], [22, s. 194 - 198].

Obráběcí centra pro rotační součásti se dále dělí v závislosti polohy své osy (vodorovná nebo svislá), a také existují speciální stroje pro daný účel. Schéma rozdělení se základními charakteristikami je v příloze č. 3 [4, s. 346].

##### 3.1.2 CNC obráběcí centra nerotačních součástí

V současné době kladen důraz na efektivní a ekonomickou výrobu, kupříkladu snižováním sériovosti a výrobních dávek. Navíc výrobci musí čelit stále stoupajícím nárokům na přesnost a kvalitu výrobků. Obráběcí centra tohoto typu proto od svých počátků prošla vývojem, který postupně zvyšoval a zefektivňoval objem výroby i portfolio využití těchto strojů. Vývoj započal doplněním NC strojů, jako jsou například frézky, vrtačky a vyvrtávačky, automatickou výměnou nástrojů a pokračoval využíváním stavebnicového systému tak, aby co nejvíce vyhovovaly daným požadavkům [4, s. 364], [22, s. 199 - 204].

Konstrukce obráběcích center pro nerotační součásti musí splňovat základní požadavky. Musí mít minimálně tři translační souřadnice, které mohou být doplněny dalšími rotačními nebo translačními. Tři základní translační souřadnice určují typ pracovního prostoru v soustavě obrobek – nástroj, kde má na starosti všechny translační pohyby právě obrobek nebo nástroj. Zvláštní skupinu pak tvoří tzv. „tříosé jednotky“, kde se nástroj může pohybovat ve třech řízených osách a má k dispozici malokapacitní zásobník nástrojů. Tyto jednotky se mohou využít jako jednotlivá pracoviště, ale efektivnější jsou jako pružné výrobní linky nebo pružné výrobní systémy. S výhodou je lze využít i pro automatické linky s náročnými operacemi [4, s. 364].

Obráběcí centra nerotačních součástí jsou rovněž rozdělené dle polohy jejich osy (svislá a vodorovná), které mají několik dalších variant. Těmi jsou například pevný a pohyblivý stojan, výsuvný vřeteník nebo smýkadlo, pohyblivý příčník, portál nebo stůl. [4, s. 364 - 398], [22, s. 199 - 204].

Tyto různé varianty lze různě slučovat dle potřeb a vede k víceosému obrábění se čtyřmi a pěti osami (4D i 5D). Pro ještě náročnější podmínky je zde pak univerzální hlava pro svislé i vodorovné obrábění [4, s. 364].

### 3.1.3 CNC multifunkční obráběcí centra

Se stále se navyšujícími nároky a požadavky na obrábění si postupem času našly svoje místo i multifunkční stroje. Umožňují sdružování několika výrobních operací, například soustružení a frézování, na jednom stroji a tím nejen zkracují výrobní časy a zvyšují přesnost i kvalitu obrábění, ale mohou ušetřit finanční prostředky, které by jinak byly vynaloženy jako investice do dalších výrobních strojů a zařízení včetně různých softwarových řešení [4, s. 400].

Pro tato obráběcí centra platí, že mají všechny výrobní operace rovnocenné, tedy nemají jednu dominantní a další doplňkovou, jako je to typické pro ostatní obráběcí centra, a nedochází tak k rozdílům ve výkonech. Lze je pohodlně využívat k obrábění různých tvarů obrobků, kupříkladu i pro výrobky nerotačního typu. Jsou velmi přizpůsobivé díky různému příslušenství a disponují možností automatické výměny nástrojů i obrobků. Multifunkční obráběcí centrum může pracovat v automatickém cyklu a bezobslužném provozu, což řeší problémy s nedostatkem kvalifikovaných pracovníků. Dále má různé měřicí nástroje a prvky inteligence [4, s. 400].

Hlavně složité součásti díky komplikovaným tvarům a velké výrobky kvůli své hmotnosti přesahující asi 5 tun způsobují při sériové výrobě jisté problémy. V souvislosti s nároky na pružnou a efektivní výrobu také zde našla uplatnění multifunkční obráběcí centra [4, s. 406 – 409].

Multifunkční obráběcí centra se dělí na základě hlavních prováděných operací na soustružnická, frézovací a semimultifunkční. Soustružnická obráběcí centra mohou být buď se šikmým ložem (např. *Mazak Integrex 200-IV* nebo *Okuma Multus B400 II*), nebo s lineárním pohybem nástroje (např. *DMG Mori Seiki* řada *NT* nebo *Okuma Multus B750*) [4, s. 409 - 414].

Rozdělení frézovacích multifunkčních center spolu s příklady strojů je v příloze č. 4 [4, s. 414 - 424].

Semimultifunkčním obráběcím centrem se rozumí takové, které má sice v pohybových osách instalován soustružnický stůl (platí pro frézovací centra) nebo frézovací vřetenou (soustružnická centra), ale panuje u něj rozdíl v parametrech, jako je výkon a moment. Je to jakýsi přechodový člen mezi obráběcími a multifunkčními centry, který mimo jiné nabízí větší počet stupňů volnosti v obrobku nebo nástroji [4, s. 403].

Užitečná semimultifunkční obráběcí centra jsou **horizontální** s pohyblivým stojanem (například *MAG NBH 630 MT*, *Grob G 350 a 550*, *Matsuura MAM72-100H*), **svislá** s pohyblivým stojanem (např. *DMG Mori DMU/DMCmonoBLOCK*), **portálová** s pohyblivým stolem (např. *Okuma MU-500 VA*) a portálová **horní gantry** (např. *MAG NBV 700*, *Alzmetall* řada *GS*) [4, s. 403 – 406].

Kromě výše zmíněných obráběcích center však existují i ostatní CNC obráběcí stroje, které jsou mnohdy součástí výrobního procesu. Ty budou blíže popsány v následujících podkapitolách.

### 3.1.4 CNC vrtací stroje

Vrtací stroje jsou určeny pro výrobu děr vrtáním do plného materiálu nebo pro obrábění vnitřních ploch již zhotovených děr. Lze je využít buď pro zhotovení malého množství děr, které mají přesné parametry, nebo pro velké množství děr u velkých dávek součástek. Dále jsou schopné řezat závity, srážet hrany, vystružovat apod. [4, s. 426].

Hlavní řezný pohyb zajišťuje rotace nástroje nebo obrobku, přičemž otáčivý pohyb i pohyb do řezu nejčastěji koná nástroj. V některých případech bývá využita i rotace obrobku v protisměru k nástroji či rotace samotného obrobku. Určitě ale musí být dodržen směr pracovního posuvu, a to vždy ve směru osy nástroje [4, s. 426].

V současnosti, v době CNC technologií, jsou stroje sestavovány jako obráběcí centra univerzálního typu nebo mohou mít sloučeny některé výrobní operace. Jedná se zejména o vrtání s frézováním, vrtání s dělením materiálu, vrtání se soustružením a případným broušením nebo také frézování se soustružením. Obecně lze říci, že pokud obráběcí centrum umí soustružit a frézovat, zvládne i vrtání [4, s. 428].

Vrtací stroje se dělí v závislosti na hloubce požadovaných děr na vrtací stroje pro standardní a hluboké díry. Dále mohou být například jednovřetenové a vícevřetenové, jednoosé a víceosé, horizontální a vertikální, speciální a jednoúčelové a CNC vrtací centra (např. *Toshulin*, *Ribe*, *IMT Intermato*, *Knuth MT*, *Weiler Holoubkov* nebo *Nagel-TBT*) [4, s. 426 - 432].

### 3.1.5 CNC vyvrtávací stroje

Vyvrtávací stroje, které jsou též zvané „**horizontky**“, jsou užitečné při výkonném a přesném obrábění děr i čelních ploch převážně nerotačních součástí. Díky jejich otočným stolům vhodným pro soustružení na nich lze realizovat i soustružnické operace. Základní operaci těchto strojů tvoří obrábění předvyrobené díry (např. předlitá) hlavně jednobřítým, případně dvoubřítým nástrojem [4, s. 426, 432].

Hlavní rotační řezný pohyb obvykle koná nástroj upnutý ve vřetenu. U některých horizontálních strojů může posuv konat nástroj, a to ve třech osách. U dalších musí alespoň jeden translační pohyb konat obrobek. Součástí těchto strojů bývá i frézovací vřeteník s výsuvnou pinolou, nebo i bez ní, a vlastním rotačním náhonem [4, s. 432 – 446].

Na základě dlouhodobého trendu ve slučování výrobních operací a zvyšování jakosti a přesnosti obrábění lze opět nalézt různé varianty i kombinace konstrukce těchto strojů. Základní rozdělení těchto strojů je se svislou a vodorovnou osou vřetena. Ty s vodorovnou osou vřetena mohou být stolové, křížové, deskové a souřadnicové [4, s. 432, 443 - 446].

### 3.1.6 CNC broušící stroje

Broušící stroje obvykle pracují s přesně geometricky nedefinovaným břitem v podobě zrn z tvrdých materiálů a jsou využívány k dosažení požadovaného přesného tvaru a jakosti povrchu po třískovém obrábění. V současné době jsou na trhu i brusiva s pravidelnými a pravidelně rozloženými břitými, které přinášejí výhody jako například zkrácení doby broušení, snížení rizika spálení povrchu součásti a delší životnost broušící i orovnávacího kotouče. To také podporuje chlazení a mazání během řezného procesu. Hlavní rotační řezný pohyb koná nástroj, nebo je ve vzájemné rotaci spolu s obrobkem. Translační pohyb je vykonáván buď nástrojem vůči obrobku, nebo naopak. Mimo brusek

lze do této kategorie zařadit i honovací a lapovací stroje a mají široké portfolio využití [4, s. 448].

Co se týče oblasti NC a CNC, tyto technologie se v oblasti broušení začaly objevovat kolem roku 1965 a díky počítačům s mikroprocesory a polovodičovými paměťmi se rozšířily na všechny druhy brusek. Základní a další rozdělení brusek s příklady strojů a výrobců je uvedeno v příloze č. 5 [4, s. 448 - 450].

### **3.1.7 CNC obráběcí stroje na ozubení**

Požadavky na různé tvary a typy ozubených kol, lišící se počty potřebných kusů a kvalitu, výkon a tichý chod neustále stoupají, a proto je na výrobce kladen tlak i v této oblasti. Proces výroby ozubených kol se skládá z hrubování, měkkého dokončování (ševingování, měkké dokončovací frézování), tepelného zpracování a tvrdého dokončování (odvalovací a profilové broušení a honování). Vzhledem k množství výrobních operací potřebných ke zhotovení ozubených kol jsou v současnosti k výrobě preferována univerzální obráběcí centra, zejména v hromadné výrobě. Tomu napomáhá i potřeba různě naklápět nástroje nebo obrobky ke zhotovení požadovaných ploch, a to až v 9 osách. Výrobní proces optimalizují a usnadňují i moderní CAM systémy a další „chytré“ technologie a řešení. Příklady strojů jsou v příloze č. 6 [4, s. 462 - 470].

### **3.1.8 Těžké obráběcí stroje**

Tyto stroje jsou specifické jak svou velikostí, tak i hmotností a ostatními vlastnostmi. Vyrábějí se proto na objednávku, aby mohly být plně přizpůsobeny daným požadavkům. Proto se pro firmy stávají z ekonomického pohledu velkou počáteční investiční zátěží a z pohledu technického se vyznačují zdoluhavou a pracnou instalací a poněkud náročným provozem. Je žádoucí, aby takové stroje fungovaly co nejdéle, v ideálním případě desítky let. Nejen proto je požadována vysoká funkční spolehlivost těchto strojů, ale i kvůli velmi drahým obráběným dílům. Jsou určeny pro obrábění objemných a těžkých součástí například pro energetiku, letectví a kosmonautiku, námořnictvo, chemický a petrochemický průmysl. Kvůli dopravním omezením jsou velké kusy složeny z několika částí a přesně se spojují šrouby se zadaným krouticím momentem nebo se upínací síla vytvoří ohřátím a následným zchlazením spojovacích součástí [4, s. 472, 477, 480].

Těžké obráběcí stroje mohou mít zdvih až o velikosti desítek metrů a pohon smýkadla proto s ohledem na bezpečnost provozu musí mít brzdu. Obrábění velkých kusů se počítá na desítky hodin strojních časů, proto je z hlediska produktivity výroby kladen důraz na to, aby takovéto stroje mohly provádět obráběcí operace za využití velkých řezných rychlostí nebo pracovat s rozměrnými třískami. Nejen z toho důvodu musí konstrukce při obrábění odolávat statickým i dynamickým silám a různým deformacím. Vzhledem k tomu, že i přes snahy konstruktérů existují u těchto strojů nezanedbatelné silové i tepelné změny, které se mnohdy nedaří kompenzovat, přesnost rozměrů je pro velké obrobky obvykle stanovena v desetinách až jednotkách mm [4, s. 473, 476].

Do této skupiny patří hlavně vertikální a horizontální soustruhy, vyvrtávačky (horizontky), frézovací stroje i stroje speciálních konstrukcí. Základní rozdělení strojů s jejich příklady jsou uvedeny v příloze č. 7 [4, s. 480].

### **3.1.9 Stroje pro vysokorychlostní obrábění**

Stále rostoucí množství těchto strojů ve výrobě je spojeno se zvyšujícími se nároky na ekonomickou a ekologickou stránku výrobního procesu a potřebou obrábět dosud

neobrobitelné materiály. Mezi hlavní přínosy této technologie patří výrazné zkrácení výrobních časů, přesnost rozměrů související mimo jiné i s možnou malou tloušťkou stěn výrobků a kvalita povrchu obráběných součástí. Vysokorychlostní obrábění je známo jako HSC (*High Speed Cutting*) a je pro něj charakteristická vysoká rychlost břítu nástroje vůči obrobku. Stroje vyžadují například čištění nástrojů, přesné vynášení třísek z pracovního prostoru a odpovídající chlazení [4, s. 494, 502].

Za hlavní pozitivní charakteristiky vysokorychlostního obrábění lze považovat [4, s. 496]:

- větší objem odebraného materiálu (asi 3 – 5krát),
- větší posuvové rychlosti (asi 5 – 10krát),
- pokles řezných sil díky menšímu pěchování třísky (až o 30 %),
- možnost použití jednodušších upínacích zařízení a přípravků,
- významný pokles tepelného namáhání nástroje (teplo odváděno třískami),
- vysoká kvalita povrchu,
- snížené namáhání nástroje i stroje,
- vyšší dlouhodobá přesnost obrábění,
- vysoké frekvence za vysokých otáček (kritické u soustavy stroj – nástroj – obrobek) [4, s. 496].

Řezné rychlosti závisejí na různých druzích obráběných materiálů i na daných technologických operacích. Vzhledem k široké škále je pak obtížné přesně stanovit optimální hodnoty řezných rychlostí. Pro ukázkou jsou v tabulce č. 2 uvedeny doporučené rozsahy řezných rychlostí vybraných materiálů. Příklady strojů a jejich výrobců jsou v příloze č. 8 [4, s. 496].

**Tabulka č. 2: Vybrané obráběné materiály a jejich optimální řezné rychlosti [4, s. 496]**

Vybrané obráběné materiály	Řezné rychlosti vysokorychlostního obrábění [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
Ocel	800 – 1 000
Litina	850 – 1 500
Plasty vyztužené vlákny (grafitová, aramidová nebo skelná)	3 000 – 8 000
Slitiny hliníku	3 000 – 7 000
Bronz a mosaz	1 000 – 3 000
Slitiny legované titanem	150 – 1 000
Slitiny na bázi niklu	60 – 250
Vrtání plastů vyztužených vlákny a neželezných materiálů	100 – 300

### 3.1.10 Obráběcí centra s nekonvenční kinematickou strukturou

Konvenční kinematiku tvoří řetězec pohybových os strojů, které na sebe navazují. Současná sériová konstrukce využívá dvou řetězců postavených ze základů stroje, a to nástrojového s vřetenem a obráběcím nástrojem a obrobkového s upínáním obrobku jako stůl, paletu nebo sklíčidlo. Mohou mít několik pohybových os, přičemž možný translační a rotační pohyb v daném směru je označován jako stupeň volnosti [4, s. 514].

Stavba strojů se mimo jiné liší podle rozdělení těchto pohybů mezi nástroje a obrobky. Dále se řeší například přídavné výrobní operace stroje, počet vyráběných kusů, odvod třísek a krytování. Nekonvenční kinematická struktura je řešena z pohledu pohonů i samotného uspořádání strojů [4, s. 514– 519].

#### ▪ Nekonvenční kinematická řešení pohonů

Nekonvenční kinematika pohonů má patrnou sériovou strukturu, ale přispívá ke zvýšení přesnosti dráhového řízení, zlepšení dynamických vlastností strojů a lepšímu využití daných pohonů. Mezi nekonvenční uspořádání pohonů u sériových strojů patří [4, s. 515]:

- zdvojený pohon kuličkového šroubu pohybové osy,
- zdvojené stroje a nástroje (dvojstroje neboli dua) u jednoho obrobku,
- stroje pro speciální užití,
- kinematicky symetrická pohybová osa,
- silově symetrický pohon (plovoucí princip),
- vyvažovací pohon,
- pružně uložený pohon,
- aktivně uložený pohon.

Zdvojený pohon šroubu zvyšuje dynamickou tuhost pohybových os s dlouhými šrouby a je proveden pomocí dvou menších motorů nebo mají vložený převod a jsou na obou stranách šroubu [4, s. 514].

Zdvojené stroje tvoří soustrojí dvou nástrojových skupin s pevně danou vzájemnou polohou nad jedním stolem k opracovávání jednoho obrobku, což se zvyšuje produktivitu obrábění [4, s. 514].

Kinematicky symetrická pohybová osa je založena na vzájemném pohybu nástroje i obrobku proti sobě stejnou rychlostí, čímž koná nástroj i obrobek polovinu celkového zdvihu. Tento pohon také může mít jeden kuličkový šroub s jednou polovinou závitu s pravým stoupáním a druhou s levým. To způsobuje zrcadlový pohyb obou částí stroje. Nevýhoda tohoto uspořádání je složitost jeho řízení i programování [4, s. 516].

Silově symetrický pohon má kinematicky a silově uvolněnou část rámu s neupevněnou posuvovou osou k základu. Nástroj a obrobek jsou pak vůči sobě volně pohyblivé a jsou tlumeny kmity a vibrace přenášeny do rámu stroje. Vzhledem k rozdílné hmotnosti nástrojových a obrobkových saní je třeba sledovat jejich vzájemnou i celkovou polohu. Stroje pak musí mít mechanismy ke korekci nežádoucího posouvání celé soustavy od středu základového lože [4, s. 517 - 518].

Například je možné použít lineární osy s kuličkovými šrouby v kombinaci s jednou rotační osou tvořenou prstencovým motorem (např. *VCSVTT H50-FLOAT*) nebo zdvojené pohony příčných pohybových os k pohonu stojanu s vřetenem a nástrojem včetně stolu ve stejné symetrické příčné ose (např. *Tajmac ZPS Sodac H80DD Double Drive* – vysokorychlostní frézovací stroj). Vzájemný opačný pohyb způsobuje relativní pohyb nástroje vůči vřetenu a je možné používat menší půdorysnou plochu stroje v příčné ose [4, s. 517 - 518].

Koncept vyvažovacího pohonu má vedle primárního, k pohonu nástroje nebo obrobku, ještě přídavný pohon o stejné hmotnosti, který zrychluje v opačném směru a kompenzuje tím síly přinášené do nosné struktury stroje od primárního pohonu [4, s. 518].

Pružně uložený pohon se používá s lineárními motory s magnetickou tratí posuvně uloženou vůči rámu pomocí lineárních valivých vedení a pružných prvků s chlazením. Magnetickou tratí se rozumí saně s napájenou částí lineárního motoru. Pohon zrychluje pohyb stolu s obrobkem a do rámu jde reakční síla přes uložení pružného prvku, který pohlcuje nežádoucí energii a zahřívá se [4, s. 518].

Aktivně uložený pohon tvoří jeden pohon uložený na dalším sekundárním pohonu, který zde tvoří plně řízený akční člen soustavy k úpravě vibrací vstupujících při obrábění do rámu stroje pomocí proudového řízení. Akčními členy mohou být kupříkladu speciální piezoaktuátory nebo další přídavné lineární motory. Semiaktivní varianta pak místo sekundárního pohonu nabízí řízenou pružinu a tlumič. Tato řešení jsou složitá jak na konstrukci, tak na řízení, a náročná na chlazení [4, s. 518 – 519].

#### ▪ **Nekonvenční kinematická řešení strojů**

Nekonvenční kinematika strojů je založena zejména na požadavcích na nízkou hmotnost, rostoucích nárocích na statickou a dynamickou tuhost. Stroje s nekonvenční kinematikou patří dle jejich využití mezi obráběcí stroje, manipulátory, 3D tiskárny a měřicí techniku. Nevšední konstrukce závisí na dané úrovni potřebné elektroniky a řídicích systémů k jejich správné funkci. Nekonvenční postavení strojů jsou řešena pomocí paralelních kinematických struktur s několika podporami v prostoru [4, s. 519].

Tyto struktury mají výborné dynamické vlastnosti, zároveň nepotřebují velkou stabilní základnu, lze je jednoduše sestavovat a na jejich ramena nepůsobí ohybové momenty. Na rám je pak možné použít minimum materiálu při zachování dostatečné tuhosti. Tím je zmenšena nepřesnost v polohování způsobená pružností materiálu. Ty základní a nejnámější lze rozdělit dle počtu jejich ramen, které jsou uchycené mezi základní a koncovou plochou nebo pracovním bodem [4, s. 519 – 524]:

- bipody (mají dvě ramena),
- tripody (mají tři ramena),
- pentapody (mají pět ramen),
- hexapody (mají šest ramen) [4, s. 519 – 524].

Všechny nekonvenční kinematické struktury jsou charakteristické zejména pro jednoúčelové a speciální obráběcí stroje. Příklady strojů a jejich výrobců jsou v příloze č. 9 [4, s. 514].

### 3.1.11 Nákladově optimalizované CNC obráběcí stroje

Tyto stroje nabízí racionální ekonomické i technické řešení výroby k předběhnutí konkurence a uspokojení potřeb zákazníka za účelem dosažení zisku. Jde tu tedy o poměr kvalita – cena. Zákazník pochopitelně hledá co nejlepší řešení za co nejnižší cenu a výrobní podnik potřebuje generovat co největší zisk při optimálních podmínkách výroby. Hlavní vlastností takových strojů je tedy pro firmu vhodný poměr mezi pořizovací cenou a technickým provedením tak, aby zákazník za danou cenu obdržel odpovídající řešení. V žádném případě však nelze říci, že se jedná o jakési podřadné či nekvalitní stroje. Jsou zkrátka pouze materiálově a konstrukčně optimalizovány ke splnění daného účelu bez zbytečných nákladů navíc. Příklady strojů jsou v příloze č. 10 [4, s. 528].

### 3.1.12 Automatizované výrobní soustavy

Automatizace je v dnešní době běžnou součástí každé firmy. Pomáhá v boji s konkurencí a výrobními náklady společnosti, které snižuje i navzdory mnohdy vyšších počátečních investic. Automatizace se netýká jen výrobních strojů, ale i dopravy, manipulace s materiálem, kontroly a měření apod. [4, s. 536].

Vývoj automatizace má dnes několik směrů. Jedním z nich je vznik výrobních soustav, které jsou typické přechodem od jednotlivých operací a manipulace s obrobkem k úplně automatizaci výrobního procesu. Dalším je počítačová podpora činnosti člověka potřebné k výrobě, jako jsou konstrukce, postupy, sdílení dat, cloudové aplikace apod. Tyto směry se prolínají v počítačově integrované výrobě CIM (*Computer Integrated Manufacturing*). Tyto systémy jsou založeny na dílčích automatizovaných prvcích, jako jsou [4, s. 536, 543]:

- CAD (*Computer Aided Design*),
- CAPP (*Computer Aided Process Planning*),
- PPS (*Production Planning and Control*),
- CAM (*Computer Aided Manufacturing*),
- CAQ (*Computer Aided Quality*) [4, s. 536, 543].

Poslední směr mění již zavedené výrobní postupy vývojem nových principů a technologií. Vývoj výrobní techniky má tři etapy, které jsou spolu s příklady strojů v příloze č. 11 [4, s. 536].

Automatizované výrobní soustavy se vyznačují více technologickými pracovišti s automatickou ucelenou soustavou a předem naplánovanou výrobou. Jsou tvořeny pružnými výrobními buňkami a soustavami i pružnými a tvrdými automatickými linkami, které jsou složeny z CNC obráběcích strojů, jednovřetenových a vícevřetenových obráběcích center a jednoúčelových strojů v hromadné a velkosériové výrobě. Zajišťují vyšší produktivitu s vyšším využitím kapacit strojů i jejich možné modifikace a nižší výrobní náklady při zachování kvality výroby. Mají například chladicí kapaliny a nádoby s třískami řešeny centralizovaně s různým rozvodem médií a dopravníky. Je kladen důraz na automatické cykly strojů v bezobslužném provozu. Schéma modulu pružného výrobního systému je v příloze č. 12 [4, s. 536 - 538, 542], [23, s. 102].

### 3.2 Vytipované stroje

Na ukázkou byly vybrány stroje s odlišnými výrobními technologiemi obrábění jako důkaz o rozšířenosti a univerzálnosti CNC technologií.

#### 3.2.1 Nakamura Tome WT-100

Prvním vybraným strojem je univerzální kompaktní CNC multifunkční centrum, model WT-100, od japonské společnosti Nakamura-Tome Precision Industry Co., Ltd., který je vhodný jak pro malé, tak i velké série výrobků. Je na obrázku č. 3.

Do řady WT patří nejrozumnější univerzální centra se dvěma revolverovými hlavami. Jsou využívány v lékařském, elektrotechnickém i leteckém průmyslu. Revolverové hlavy jsou horní a spodní v protilehlé konstrukci a každá z nich má 24 míst na různé nástroje, ze kterých až 12 může být rotačních. Horní hlava se může pohybovat ve třech osách (X1, Z1 a Y), spodní jen ve dvou (X2 a Z2). Stroj má dvě průchozí vřetená, primární a sekundární, která se mohou pohybovat v jedné ose (B) a mají kleštinové upínání [24].

Řídí jej systém Fanuc 31i a je k dispozici také 19“ dotykový LCD panel. Výrobce jej značí jako 4osé centrum, což by mělo značit 4 řízené osy. Vzhledem k většímu počtu řízených os je toto označení tedy poněkud zavádějící. Platilo by to například při pomyslném rozdělení stroje napůl v místě protilehlé konstrukce revolverových hlav a vřeten na pravou a levou část. Specifikace stroje je v příloze č. 13 a jeho prospekt v příloze č. 14 [24].



Obrázek č. 3: Multifunkční obráběcí centrum Nakamura-Tome WT-100 [foto: autorka práce]

### 3.2.2 Walter Helitronic Micro

Druhým vybraným strojem je model CNC brusky Micro s pěti osami z řady Helitronic od německého výrobce Walter Maschinenbau GmbH. Je na obrázku č. 4.

Brousí rotačně symetrické nástroje pro obrábění a výrobní komponenty o průměrech od 0,1 mm a ostří průměry od 3 mm. Maximální průměr nástrojů musí být 12,7 mm, délka 120 mm a hmotnost do 12 kg. Nástroje jsou využívány v lékařství, přesném strojírenství, automobilovém a leteckém průmyslu apod. a mohou být z rychlořezné oceli, karbidů, cermetů i keramiky. Například lze uvést kostní a lékařské vrtáky, zubařské vrtačky, mikrofrézovací nástroje a ostatní malé nástroje pro vnitřní soustružení a vrtání [25], [26].

Nabízí plně automatizované kompletní obrábění na jeden upínací cyklus. Všechny CNC osy stroje jsou řízeny integrovanými měřicími systémy s vysokým rozlišením. Ty vytvářejí přesné pohyby a vysokou dynamiku. Disponuje 6osým integrovaným robotickým zakladačem Fanuc s kapacitou až 1 500 nástrojů [25], [26].

Stroj má lineární osy X, Y, Z a rotační osy A a C. Také má lineární osu X' s kuličkovým pohonem k automatickému a přesnému pohybu obráběných nástrojů do středu rotace. Vřetenem má dva konce, z nichž každý může pojmout až 3 různé brousící kotouče. Pro zamezení prohýbání delších nástrojů je zde možnost založení podpěrných přípravků s přesnými V-bloky [25], [26].

Je ovládán řídicím systémem Fanuc 31i. Disponuje softwarem Helitronic Tool Studio, což je vlastní CAD software firmy Walter pro návrhy, programování, simulace a výrobu. Dále má program Tool Balancer, jednoduchý způsob analýzy nástrojů k případnému vyvážení nerovnoměrných nebo speciálních nástrojů, a integrovaný měřicí systém (IMS). Specifikace stroje je v příloze č. 15 [25], [26].



Obrázek č. 4: CNC bruska Walter Helitronic Micro [26]

## **4 SORTIMENT OBRÁBĚNÝCH SOUČÁSTÍ NA CNC STROJÍCH**

CNC stroje jsou v současné době rozšířené napříč nejrůznějšími výrobami. Na CNC strojích, stejně jako na těch konvenčních, je možné obrábět kovové materiály a plasty. Vzhledem k tomu, že tyto stroje lze používat jak pro malosériovou, středněsériovou i velkosériovou výrobu, sortiment obráběných součástí je velmi široký. V současné době jsou ale trendem spíše složitější kusy a nižší série s co nejkratšími dobami dodání než velkosériové a hromadné výroby s dlouhodobým časovým hlediskem. Na ukázkou lze vyráběný sortiment rozdělit na jednoduché výrobky, středně náročné a složité [27].

### **4.1 Jednoduché výrobky**

Tyto výrobky obvykle mají velké rovinné plochy s případnými dírami či zahloubeními. Mohou sem patřit například [27]:

- rovné či ohýbané desky z plechu (konzoly),
- jednoduchá geometrická tělesa jako jsou hranoly o různém počtu stěn,
- rotační součásti jako hřídele nebo pístnice.

### **4.2 Středně náročné výrobky**

Sem patří výrobky jednoduššího typu s tvarovými částmi jako [27]:

- ozubená kola,
- hydraulické a pneumatické válce,
- příruby [27].

### **4.3 Složité výrobky**

Do této kategorie lze zařadit tvarově složité výrobky určené k obrábění nebo doobrobení. Těmi mohou být kupříkladu [27], [28]:

- převodové skříně,
- kostry motorů,
- obráběcí nástroje [27], [28].

## 5 ZHODNOCENÍ NASAZENÍ CNC STROJŮ VE VÝROBĚ

CNC obráběcí stroje obrábí součásti obdobně jako konvenční stroje. Mohou soustružit, frézovat, vrtat, řezat závity apod. nebo provádět několik operací současně. Pohyby jsou řízeny v různých směrech (osách) a mohou být lineární nebo rotační. Jsou řízeny servopohonem po určité dráze určitou rychlostí do přesně dané polohy [28].

Stroje jsou řízeny počítačovým programem pomocí příslušných znaků a souřadnic, obrábění je tak výrazně urychleno a na přesnější úrovni. Každý z těchto strojů má také svůj řídicí systém ke zpracování informací o pohybech nástrojů a obrobků a operací s nimi včetně řezných podmínek a případných přidavných funkcí [28].

### 5.1 Výhody CNC strojů

V současné době jsou tyto stroje obvykle plně automatizované tak, že činnosti, dříve vykonávané obsluhou jsou řízeny programem automaticky. Jsou to například pohyby součástí nebo nástroje, změny řezných podmínek a výměna nástrojů. Automatizace vede i ke snadnému a přesnému seřízení nebo přeřízení kupříkladu v případě změny technologie. Bývají zařazeny i roboty a manipulátory, které mohou provádět právě zakládání a výměnu nástrojů a obrobků [28].

Hlavními výhodami CNC obráběcích strojů jsou automatizace, zaručení přesnosti výrobků a pružnost výroby. Automatizace vede k minimálním zásahům obsluhy do výrobního procesu a tím i snížení chybovosti a ustálení pracovních cyklů se zkrácením výrobních časů. Přesnost výrobků lze měřit na setiny, tisíciny až desetitisíciny milimetru v závislosti na programu a výrobních podmínkách. Pružnost výroby zajišťuje možnost snadné a rychlé změny výrobního sortimentu a přizpůsobení se novým výrobkům změnou programu, rychlou výměnou nástrojů a upínačů. Některé činnosti lze rovněž chystat v předstihu bez blokování chodu stroje, čímž se také šetří čas [28].

### 5.2 Příslušenství CNC strojů

Ke správné funkci těchto strojů patří i různé zautomatizované příslušenství, bez kterého by samotný stroj jen sotva plnil svoji funkci. Patří sem zařízení pro odvod třísek, kryty strojů, systémy chlazení a mazání, upínače polotovarů a systémy automatické výměny nástrojů a obrobků [29, s. 62 - 63].

#### 5.2.1 Zařízení pro odvod třísek

Stroje mají automatické odstraňování třísek pomocí šikmých loží opatřených skluzy nebo je odvod třísek zajištěn pomocí kapaliny. Třísky jsou transportovány pásovým nebo šnekovým dopravníkem do třískového dopravníku, kde dochází oddělení třísek od kapaliny, a následně do zásobníků třísek. Třískové dopravníky mohou být článkové, pásové i magnetické a na jejich konci bývá namontován drtič třísek [29, s. 62 - 63].

#### 5.2.2 Kryty strojů

Všechny stroje musí mít z důvodu zajištění bezpečnosti pracovníků a čistoty pracovního prostředí (například možným pracovním úrazům nebo znečištěním provozními kapalinami) uzavřen pracovní prostor vhodným krytím. Stroje jsou zajištěny tak, že je nelze spustit, pokud není krytí dostatečně uzavřeno [29, s. 62 - 63].

### 5.2.3 Systémy chlazení a mazání

V současné době se firmy stále častěji zabývají také ekologií výroby. To například vede ke snižování množství používaných řezných kapalin. Chlazení se může provádět mlhou z chladicí kapaliny nebo pomocí silně ochlazeného vzduchu. Nejsou výjimkou ani nástroje s vnitřním chlazením, kdy je kapalina do řezu přiváděna jejich prostřednictvím pod tlakem, což zároveň i odplavuje třísky [29, s. 62 - 63].

### 5.2.4 Upínače polotovarů

Zde je využíváno především hydraulického a pneumatického upínání s nízkými časy upnutí a konstantní upínací silou. Zamezí se tak možným deformacím obrobku jako se může stát při ručním upínání (ať rozdílnými silami či nedostatečným upnutím) [29, s. 62 - 63].

### 5.2.5 Systémy automatické výměny nástrojů

Těchto systémů je několik druhů zásobníků v závislosti na přenosu řezných sil. Řezné síly přenášejí systémy s nosnými zásobníky a naopak je nepřenášejí systémy se skladovacími zásobníky. Systémy mohou být i různě kombinované. Výměna může probíhat pro jednotlivé upnuté nástroje v revolverové hlavě nebo zásobníku, včetně a včetněky nebo celé vícevřetenové hlavy s nástroji [29, s. 62 - 63].

Jako příklad lze uvést řešení upínání nástrojů pro revolverové hlavy od firmy Sandvik Coromant přímo pro revolverové hlavy vybraného a výše popsaného stroje Nakamura Tome WT-100, což je v příloze č. 16 [30].

### 5.2.6 Systémy automatické výměny obrobků

Kromě manipulátorů a robotů mohou být použité i různé palety. Palety mohou být například na otočném stole s jednou polovinou ve stroji, kde jsou dané obrobky opracovávány a na druhé polovině vně stroje se vyměňují nebo zakládají další. Tyčový materiál mívá automatické podavače, které dávkují materiál průchozím vřetenem, kde se po dokončení operace materiál upíchne a pokračuje se dále [29, s. 62 - 63].

## 5.3 Vzorový NC program

V příloze č. 17 je na ukázkou část NC programu a příslušná část výkresu vzorové rotační součásti, kterou je pístnice pro pneumatické válce. Jako podklad pro vlastní zpracování sloužil program vytvořený v reálné výrobní společnosti přímo pro stroj Nakamura Tome WT-100 s řídicím systémem Fanuc. Vybraná část NC programu ukazuje soustružení (hrubování) jedné části pístnice. Pro přehlednost je pak program rozebrán v tabulce pod programem [31].

## 6 DISKUZE

Vývoj techniky a elektroniky jde stále mílovými kroky kupředu. Co platí v současnosti, brzy již tak být nemusí. Zvyšují se nároky na rychlost a objem přenosu dat, rychlost a kvalitu výroby i zákazníci požadují nová vylepšení a usnadnění svého života. Pokrok je ve všech oblastech od různých průmyslů až po domácnosti. Z pohledu průmyslových výrobních odvětví se nyní často skloňuje pojem „Průmysl 4.0“ a s tím jsou spojeny i logistické procesy, kde se prosazuje termín „Logistika 4.0“. Pozadu však nyní nezůstává ani stavebnictví, i když by se dalo říci, že tento obor obvykle v novinkách a inovacích „zaostává“ nejvíce. Objevují se i chytré moderní systémy pro zrychlení a zkvalitnění stavebních prací a lze tedy hovořit i o „Stavbě 4.0“.

### 6.1 Průmysl 4.0

V dnešní době mechanickou a stále se opakující lidskou práci vykonávají poloautomatické, automatické stroje, nebo roboty. Výhodou je zejména optimalizace a snížení chybovosti výrobních procesů a s tím související snižování nákladů a hospodárnou výrobou. Vše ale začíná na poměrně velké počáteční investici, kterou je třeba řádně promyslet a propočítat. U velkých firem s hromadnou výrobou to není takovým problémem, jako u těch malých a středních s malosériovou až středněsériovou výrobou. Tam se může být doba návratnosti takové investice i několik let. Ale například dle vyjádření pana Junji Tsuda, prezidenta Mezinárodní federace robotiky IFR (*International Federation of Robotics*), mají roboty i pro malé a střední firmy velký potenciál. Nyní jsou populární hlavně tzv. kolaborativní neboli kooperativní roboty, například od firmy Fanuc Corporation, ABB, nebo Kuka. Ty se zatím prosazují převážně v automobilovém průmyslu [32, s. 10 - 11].

Není žádnou výjimkou nyní narazit na pojmy jako „Průmysl 4.0“ neboli „čtvrtá průmyslová revoluce“. Jejím hlavním předpokladem je operativní řešení a rychlá výměna informací mezi dílčími úseky výrobního procesu. Optimalizovaný výrobní proces má totiž menší nároky i na spotřebu energií a lépe využívá výrobní kapacity strojů [33, s. 86 - 87].

Používají se softwary pro konstrukci a simulaci jako CAD a CAM systémy, nebo programy pro řízení jako je například PLM, TDM a TLM. To vše zastřešuje systém ERP (*Enterprise Resource Planning*) s centrálně uloženými daty pro snadný přístup a různými moduly, kterými jsou plánování, řízení, nákup materiálu, prodej apod., který dnes má již téměř každá výrobní firma. Komplexní přístup k automatizaci má například firma DMG Mori, která nabízí modulární koordinovaná automatizační řešení od manipulace s malým obrobkem až k propojení a řízení několika obráběcích center [32, s. 21 - 23] [34, s. 86 - 87].

Vzhledem k tomu, že automatizace výrobních procesů postupuje stále kupředu, není v blízké budoucnosti vyloučená ani plně automatizovaná výroba. Pro příklad lze uvést „Výrobní buňku 4.0“ výzkumného centra Intemac, která umožňuje tzv. adaptivní proces výroby, kdy její měřicí stanice vyhodnotí kvalitu výrobku a stroj je schopen vadný výrobek opravit. Zároveň buňka umí sledovat technický stav a predikovat případnou poruchu [33, s. 38].

## 6.2 Logistika 4.0

Podobně jako výroba, i logistika potřebuje stále rozvíjet nové technologie zejména při velkých objemech produkce a při snaze minimalizovat skladové zásoby. Stejně jako výroba čelí nárokům na pružnost, kvalifikované pracovníky, ale i ekologii. Vývoj automatizace je v tomto oboru pomalejší než u jiných, ale i zde jsou již v provozu částečně automatizované sklady a přesun materiálu do výroby a v budoucnu mohly být nasazeny i roboty. Co se týká pracovníků, poněkud ohrožení se mohou cítit právě skladníci.

Například Bosch Rexroth má v Norimberku automatizovaný sklad materiálu a komponent. Operátor zadá do počítače požadavek a soustava automatů nalezne požadované díly v oddělených buňkách a operátorovi na pás vypadnou požadované výrobky. Sklad je na velké ploše a buňky jsou řazeny i v patrech nad sebou. Další ukázkou může být automaticky naváděný vozík Linde C-MATIC po trase magnetické pásky s RFID technologií pro sekvenční nebo nepřetržité zásobování výrobních linek. Vozík má vestavěný laserový snímač pro detekci lidí kvůli bezpečnosti. Firma Linde má v nabídce i autonomní vysokozdvizný vozík R-MATIC s geonavigačním systémem pro kontury a 360° navigačním laserem. Druhý zmiňovaný zvládne pracovat se systémy řízení skladů WMS (*Warehouse Management System*) nebo ERP [32, s. 32 - 33].

## 6.3 Stavba 4.0

Moderní technologie se nevyhýbají ani sektoru stavebnictví. Pracovníci s latěmi, kteří kontrolují hloubku výkopu latěmi, jsou postupně nahrazováni stále chytřejšími nivelačními systémy, které jsou schopny samy určovat jak polohu samotného stavebního stroje, tak i jeho příslušenství.

Jedním z takových systémů, kde není třeba příliš velká investice a je vhodnější spíše pro menší firmy, je například iDig od francouzské firmy Bridgin, což je nivelační speciálně vytvořená pro rypadla. Má buď klasický tlačítkový ovládací panel, nebo LED displej. Umí hlídat délku, hloubku i sklon výkopu. Nyní je dostupný ve verzi 1D a 2D, kdy 2D verze umí hlídat sklon ve dvou osách. Revoluční je zejména univerzálnost a možnost použití pro více strojů a svými malými senzory, které komunikují s řídicí jednotkou pomocí rádiového signálu a navíc jsou solárně dobíjené, takže není třeba je propojovat dráty, které nemívají na těchto strojích příliš dlouhou trvanlivost. V blízké budoucnosti se počítá s verzí 3D, která bude umět hlídat přímo polohu stroje prostřednictvím projektu nahraného do řídicí jednotky a porovnávání polohy pomocí GPS [35].

Japonská společnost Komatsu Group představila svoji flotilu „chytrých strojů“ pod hlavičkou „Smart Construction“. Zde lze nalézt různé stroje, jako jsou rypadla, dozery, dempra apod. Toto řešení se skládá z „chytrých“ systémů jako je například správu pracovišť a zemních prací, systém plánování a reportů, nebo také autonomně řízených strojů v kombinaci s hybridními technologiemi. Vše je vzájemně propojeno nadřazeným řídicím a kontrolním systémem. Za zmínku stojí hlavně technologie inteligentního řízení strojů IMC (*Intelligent Machine Control*), které umožňuje poloautomatický režim řízení a 3D technologii porovnávající data z nahraného plánu staveniště se skutečností v reálném čase pomocí signálu GPS. Takové řešení je už finančně celkem hodně náročné a hodí se spíše pro větší firmy s rozvinutým strojovým parkem [36].

#### 6.4 Shrnutí a budoucí vývoj

Dnešní automatizovaná doba nabízí nepřehledné množství různých technologií pro ušetření práce i pro její optimalizaci a zlepšování procesů, které jdou technologicky stále kupředu.

Také se stále více objevují „tréninková centra“ ve školní výuce. Učebna, kde můžou studenti vidět a seznámit se CNC strojem, ke kterému je počítač s příslušným řídicím programem brzy nebude žádnou vzácností.

Z jednoho pohledu se může zdát, že automatické stroje berou lidem práci, ale reálná data jsou jiná. Mezinárodní federace robotiky zjistila, že od roku 2010 do roku 2015 přišlo do amerického průmyslu asi 135 000 nových robotů, ale počet zaměstnanců vzrostl o 230 000. Společnost Amazon zavedla 100 000 robotů a za rok 2017 přijal 113 500 nových lidí. Klesá sice zájem o pracovníky s nízkou kvalifikací, ale za to se zvyšují požadavky na odbornou způsobilost a znalosti pracovníků a potřeba dalších takových zaměstnanců roste zejména díky možnému rozšiřování výrobního portfolia a kvalitnějším výrobkům, díky kterým firma může upevnit svoji pozici na trhu a získat nové zákazníky. Roboty tedy spíše plní úkoly, nikoliv zaplňují pracovní místa a lze předpokládat jejich další vývoj a stále častější implementace i v budoucnosti [32, s. 6 - 7].

## ZÁVĚR

Historie obrábění je velmi dlouhá, zpočátku se jednalo převážně o ruční obrábění nebo obrábění pomocí jednoduchých mechanismů. Změna přišla v 18. století za průmyslové revoluce. Parní stroje mohly pohánět výkonnější motory, ale jejich součástky nemohly být vyráběny ručně. Tím byly položeny základy konvenčních obráběcích strojů, které pokračovaly v 19. a na začátku 20. století různými vylepšeními a inovacemi. V polovině 20. století začaly vznikat první automatizované stroje na popud Johna T. Parsonse a zúčastněných firem. Řízení probíhalo nejprve pomocí dřevných pásek, později i magnetickými páskami. V roce 1960 byl standardizován G - kód k programování NC a CNC strojů, který je známý a používaný i v současnosti. Tak začaly vznikat stroje ovládané číslicově, které ukázaly mimo jiné možné zkrácení výrobních časů. Nicméně vývoj pokračoval až ke strojům známým v současné době a i jejich vývoj s dalšími novými technologiemi neustále pokračuje. Moderní obráběcí CNC stroje lze rozdělit do několika kategorií dle druhu nebo velikosti obráběných výrobků nebo prováděných technologických operací. V současnosti jsou zřejmě nejpoužívanějšími stroji univerzální CNC centra.

Nepominutelnou součástí NC a CNC strojů jsou řídicí systémy a jejich výrobci. Těmi hlavními jsou Fanuc, Siemens a Heidenhain. Systémy jsou sice založeny na standardním G - kódem, ale každý se liší svými určitými specifiky. Moderní řídicí systémy zvládají řídit obrábění různých strojů v souřadnicových osách, vřetenech strojů i kanálech pro několik výrobních operací současně v počtu až několik desítek. Řídicí systémy se vyvíjely i na našem území. Významnou firmou byla Tesla Kolín a ZPA Košiče s CNC systémy řady NS.

Na CNC strojích je možné vyrábět různé druhy, velikosti i materiály obrobků. Základním rozdělením může být náročnost zhotovení výrobků. Výrobky tedy mohou být jednoduché (desky z plechu, hranoly, hřídele), středně náročné (ozubená kola, válce, příruby) a složité (převodové skříně, kostry motorů, obráběcí nástroje).

Rozšířenost a univerzálnost CNC technologií dokazuje výběr vtipovaných strojů. Jedním je multifunkční 4osé obráběcí centrum Nakamura Tome WT-100 se dvěma revolverovými hlavami o celkové kapacitě až 48 nástrojů, z toho až 24 rotačních. Druhým je pak 5osá CNC bruska Walter Helitronic Micro s robotickým zakladačem pro broušení malých nástrojů z různých materiálů například pro zdravotnictví. Oba stroje mají řídicí systém Fanuc. Vzorový řídicí program byl sestaven právě pro stroj Nakamura Tome WT-100 pro výrobu pístnice pro pneumatické válce.

Další výhodou CNC strojů je kromě univerzálnosti například automatizace a tím eliminace chybovosti lidského faktoru, zaručení přesnosti výrobků a možnost pružné reakce na změny výrobních programů. Samotné stroje by však moc nedokázaly, a proto existuje řada příslušenství. Mezi ně patří zařízení a dopravníky pro odvod třísek, kryty strojů pro zajištění bezpečnosti, systémy chlazení a mazání, hydraulické a pneumatické upínače polotovarů i systémy automatické výměny nástrojů a obrobků.

Vývoj jde neustále kupředu nejen v oblasti výpočetní techniky, strojírenství a CNC strojů, ale i kupříkladu v logistice, která je spojená s výrobním procesem. Dále lze zmínit i výrazné pokroky ve stavebnictví, i když tento obor vždy poněkud zaostává za těmi ostatními.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SMRČEK, Otto. *Stručné dějiny oborů*. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-247-2.
2. AB SANDVIK COROMANT. *Průručka obrábění: Kniha pro praktiky*. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972-2994-6.
3. CNC ROUTERY: Číslicové řízení (NC). *DOBRÉ STROJE* [online]. DOBRÉ STROJE [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://1url.cz/dMdPv>
4. MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
5. Home: Introduction. *Computer Numerical Control* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://cnc.fme.vutbr.cz/>
6. John T. Parsons Numerical Control: US Patent No. 2,820,187. *National Inventors Hall of Fame* [online]. 3701 Highland Park NW North Canton, OH 44720 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.invent.org/inductees/john-t-parsons>
7. WARFIELD, Bob. What Does CNC Stand For? What Is a CNC Machine?. *CNC Cookbook: Be a Better CNC'er* [online]. 3470 Merrill Rd Aptos, CA 95003: CNC Cookbook, 2018 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/what-does-cnc-stand-for-machine/>
8. History. *Hexagon PPM* [online]. Hexagon AB and/or its subsidiaries and affiliates. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://hexagonppm.com/history>
9. PTC History: PTC History and Acquisitions. *PTC* [online]. PTC [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.ptc.com/en/about/history>
10. PARSONS, J. T. *Motor Controlled Apparatus for Positioning Machine Tool*. 1952. USA. 2,820,187. Uděleno Jan. 14, 1958. Filed May 5, 1952.
11. *Popular Science: Mechanics and handicraft* [online]. 353 fourth Avenue, New York 10, N. Y.: Popular Science Publishing Co., Inc., Godfrey Hammond, 1955, 7(2) [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://1url.cz/XMdcq>
12. THE CNC STORY. *CNC MANUFACTURING* [online]. Lilydale Vic 3140: CNC MANUFACTURING, July 15, 2014 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.cncmanufacturing.com.au/the-cnc-story/>
13. Historie FANUC: Ušli jsme dlouhou cestu. *FANUC: Firma pro automatizace v průmyslu* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/kdo-jsme/fanuc-historie>
14. Řada CNC řízení: FANUC-FANUC CNC-Řízení. In: *FANUC: Firma pro automatizace v průmyslu* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://1url.cz/fMdYq>
15. Company: Company -About us -History. *Siemens: Ingenuity for life* [online]. Siemens, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/company/about/history/company.html>
16. Intelligent solutions for machine tools: Increase productivity with SINUMERIK and digitalization solutions. In: *Siemens: Ingenuity for life* [online]. 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://1url.cz/MMdcb>

17. SINUMERIK: Intelligent solutions for machine tools. In: *Siemens: Ingenuity for life* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://1url.cz/KMdcX>
18. Historie vývoje společnosti a mezníky ve vývoji produktů. *HEIDENHAIN* [online]. Heidenhain [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: [https://www.heidenhain.cz/cs\\_CZ/o-firme/historie/](https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/o-firme/historie/)
19. HEIDENHAIN dnes. *HEIDENHAIN* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: [https://www.heidenhain.cz/cs\\_CZ/o-firme/heidenhain-dnes/](https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/o-firme/heidenhain-dnes/)
20. Produkty: CNC řízení. *HEIDENHAIN* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: [https://www.heidenhain.cz/cs\\_CZ/produkty/cnc-rizeni/](https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-rizeni/)
21. VACULÍKOVÁ, Eva. Příběh firmy Teco: rozhovory, reportáže. *Automa: Časopis pro automatizační techniku* [online]. FCC Public, 2014, **20**(4), 3 [cit. 2019-05-22]. ISSN 1210-9592. Dostupné z: [http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/52609.pdf](http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/52609.pdf)
22. BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje*. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0470-1.
23. HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: FSI VUT, 2003 [cit. 2018-11-30]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
24. WT-100: Multi-tasking compact machine featuring state of the art capabilities. *Nakamura-Tome Precision Industry* [online]. Ro15 Netsuno Hakusan Ishikawa, Japan: Nakamura-Tome Precision Industry Co. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <http://www.nakamura-tome.co.jp/products/en/turret/wt-100.html>
25. HELITRONIC MICRO: High-end for smaller Tool diameter. *WALTER: A member of the UNITED GRINDING Group* [online]. Germany: Walter Maschinenbau [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://1url.cz/YMdx1>
26. HELITRONIC MICRO: The high precision system for small tools. *WALTER: A member of the UNITED GRINDING Group* [online]. Germany: Walter Maschinenbau [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://1url.cz/rMdx1>
27. ŘASA, Jaroslav, Přemysl POKORNÝ a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie* 3. 2. vyd. Praha: Scientia, 2005. ISBN 80-718-3336-3.
28. CNC stroje. *ELEKTRONICKÁ UČEBNICE: Strojírenství-Obrábění a zpracování kovů* [online]. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1354>
29. ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 978-80-7300-207-7.
30. Nakamura-Tome WT-100: Toolholder program. *Sandvik Coromant: Products-Documents* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://1url.cz/fMdxE>
31. Výrobní a ostatní interní dokumentace společnosti
32. Robotic journal: Svět robotiky a automatizace v průmyslu. Praha: Tech Media Publishing, 2018, 3(03). ISSN 25533-4425.
33. MM Průmyslové spektrum: Technický týdeník pro Českou republiku a Slovensko. Praha: DTP studio MM Publishing, 2017, (7,8). ISSN 1212-2572.

34. GILLHUBER, Andrea a J. ŘASA. Nástroje v rámci čtvrté průmyslové revoluce. *MM Průmyslové spektrum: Technický měsíčník pro Českou republiku a Slovensko*. Praha: MM publishing, 2017, (7, 8), 2. ISSN 1212-2572.

35. iDig, Grade Control System for Everyone: Enter a new era and increase the performance of your excavator. *IDig-system* [online]. France: Bridgin Group [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.idig-system.com/idig-4/>

36. STAVBA 4.0. *KUHNBOHEMIA.CZ: STAVEBNÍ STROJE* [online]. Linz: Roromedia [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://kuhnbohemia.cz/cs/building-machines/stavba-40>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
°	stupeň (úhlová jednotka)
3D, 4D, 5D	počet os obráběcího stroje
AG	německá forma akciové společnosti ( <i>Aktiengesellschaft</i> )
CAD	počítačem podporované navrhování - software pro projektování nebo konstruování na počítači ( <i>Computer Aided Design</i> )
CAM	počítačem podporovaná výroba - software pro řízení nebo automatizaci výroby - například obráběcích strojů a robotů ( <i>Computer Aided Manufacturing</i> )
CAPP	počítačem podporované plánování výrobních procesů ( <i>Computer Aided Process Planning</i> )
CAQ	počítačová podpora řízení kvality výroby ( <i>Computer Aided Quality</i> )
CIM	počítačově integrovaná výroba ( <i>Computer Integrated Manufacturing</i> )
CNC	číslicové řízení strojů pomocí počítače ( <i>Computer Numerical Control</i> )
Co.	označení americké obchodní společnosti ( <i>Company</i> )
ČSN	České státní normy
DIN	německé normy, vydává Německý ústav pro průmyslovou normalizaci ( <i>Deutsche Industrie - Norm, Deutsches Institut für Normung e. V.</i> )
Dr.	titul „Doktor“
EIA	americká organizace pro elektroniku v průmyslu ( <i>Electronic Industry Alliance</i> )
EMC	Projekt rozšíření počítačových programů pro řízení strojů ( <i>Enhanced Machine Controller project</i> )
ERP	aplikace pro řízení a integrace činností v podniku pomocí počítače - těmito činnostmi jsou například plánování, zásobování, nákup a prodej, marketing, finance a personalistika ( <i>Enterprise Resource Planning</i> )
G&L	americká strojírenská společnost <i>Giddings and Lewis</i>
GmbH	německá obdoba společnosti s ručením omezeným ( <i>Gesellschaft mit beschränkter Haftung</i> )
HSC	vysokorychlostní obrábění ( <i>High Speed Cutting</i> )
IBM	americká počítačová firma ( <i>International Business Machines Corporation</i> )
IFR	Mezinárodní federace robotiky ( <i>International Federation of Robotics</i> )
ISO	světové normy vydávané Mezinárodní organizací pro normalizaci ( <i>International Organization for Standardization</i> )

<b>kg</b>	kilogram (jednotka hmotnosti)
<b>kW</b>	kilowatt (jednotka výkonu)
<b>LMS</b>	poskytovatel softwaru pro mechanickou simulaci
<b>Ltd.</b>	obdoba české společnosti s ručením omezeným (Limited)
<b>m.min<sup>-1</sup></b>	jednotka řezné rychlosti v metrech za minutu
<b>min<sup>-1</sup></b>	počet otáček za minutu (jednotka)
<b>mm</b>	milimetr (jednotka vzdálenosti)
<b>MIT</b>	Technologický institut v americkém Massachusetts ( <i>Massachusetts Institute of Technology</i> )
<b>N.m</b>	Newtonmetr (jednotka točivého momentu)
<b>NC</b>	číslicové řízení strojů ( <i>Numerical Control</i> )
<b>NIST</b>	Národní institut standardů a technologií ( <i>National Institute of Standards and Technology</i> )
<b>OSRAM</b>	název společnosti, zkratka pochází z prvků <b>osmium</b> a <b>wolfram</b>
<b>PLC</b>	programovatelný logický automat ( <i>Programmable Logic Controller</i> )
<b>PLM</b>	proces řízení životního cyklu výrobku od prvního nápadu přes návrh, konstrukci a výrobu až po servis i likvidaci výrobku ( <i>Product Lifecycle Management</i> )
<b>PPS</b>	počítačová podpora plánování a kontroly výroby ( <i>Production Planning and Control</i> )
<b>PTC</b>	americká softwarová firma ( <i>Parametric Technology Corporation</i> )
<b>RGS</b>	německá společnost ( <i>Reiniger, Gebbert &amp; Schall AG</i> )
<b>TDM</b>	software s daty o nástrojích, z výroby a dalšími potřebnými údaji ( <i>Tool Data Management</i> )
<b>TLM</b>	software pro organizaci nástrojů ve všech fázích plánování i výroby ( <i>Tool Lifecycle Management</i> )
<b>TNC</b>	zařízení používané v radiokomunikaci, skládá se z mikroprocesoru, modemu a softwaru
<b>UGS</b>	americká softwarová firma
<b>WMS</b>	system pro plnou automatizaci a řízení veškerých skladových operací ( <i>Warehouse Management System</i> )
<b>ZPA</b>	Závody průmyslové automatizace

**SEZNAM TABULEK**

- Tabulka č. 1: Porovnání řídicích systémů Sinumerik a řízení možných technologií [17]... 19  
Tabulka č. 2: Vybrané obráběné materiály a jejich optimální rezné rychlosti [4, s. 496] ...26

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

- Obrázek č. 1: Frézovací stroj Cincinnati Hydro-Tel [11, s. 107] ..... 14  
Obrázek č. 2: Obráběcí centrum Milwaukee-Matic II [12] ..... 15  
Obrázek č. 3: Multifunkční obráběcí centrum Nakamura-Tome WT-100 [foto: autorka  
práce] ..... 30  
Obrázek č. 4: CNC bruska Walter Helitronic Micro [26]..... 31

**SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA 1	Patent Johna Parsonse: Motoricky ovládané zařízení pro polohování obráběcího stroje
PŘÍLOHA 2	Přehled systémů Sinumerik
PŘÍLOHA 3	Rozdělení CNC obráběcích center rotačních součástí a příklady strojů
PŘÍLOHA 4	Rozdělení frézovacích multifunkčních center a příklady strojů
PŘÍLOHA 5	Rozdělení CNC brousicích strojů a příklady strojů
PŘÍLOHA 6	CNC obráběcí stroje na ozubení
PŘÍLOHA 7	Rozdělení těžkých obráběcích strojů a příklady strojů
PŘÍLOHA 8	Příklady strojů pro vysokorychlostní obrábění a jejich výrobců
PŘÍLOHA 9	Nekonvenční kinematická řešení strojů a jejich příklady
PŘÍLOHA 10	Nákladově optimalizované CNC obráběcí stroje
PŘÍLOHA 11	Etapy vývoje automatizovaných výrobních soustav
PŘÍLOHA 12	Schéma modulu pružného výrobního systému s volným tokem obrobků
PŘÍLOHA 13	Specifikace CNC multifunkčního obráběcího centra Nakamura-Tome WT-100
PŘÍLOHA 14	Prospekt multifunkčního CNC stroje Nakamura-Tome WT-100
PŘÍLOHA 15	Specifikace CNC brusky nástrojů Walter Helitronic Micro
PŘÍLOHA 16	Řešení upínání nástrojů pro revolverové hlavy CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 od firmy Sandvik Coromant
PŘÍLOHA 17	Vybraná část vzorového NC programu obráběcího centra Nakamura Tome WT-100 a jeho stručný popis včetně náhledu výkresu

Patent Johna Parsonse: Motoricky ovládané zařízení pro polohování  
obráběcího stroje [10]

Jan. 14, 1958

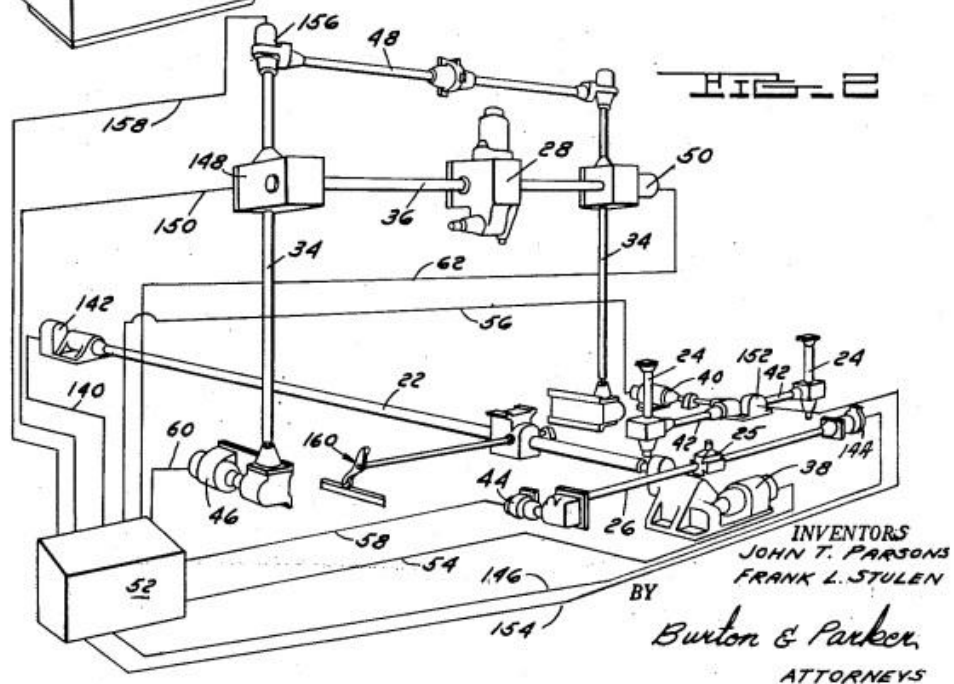
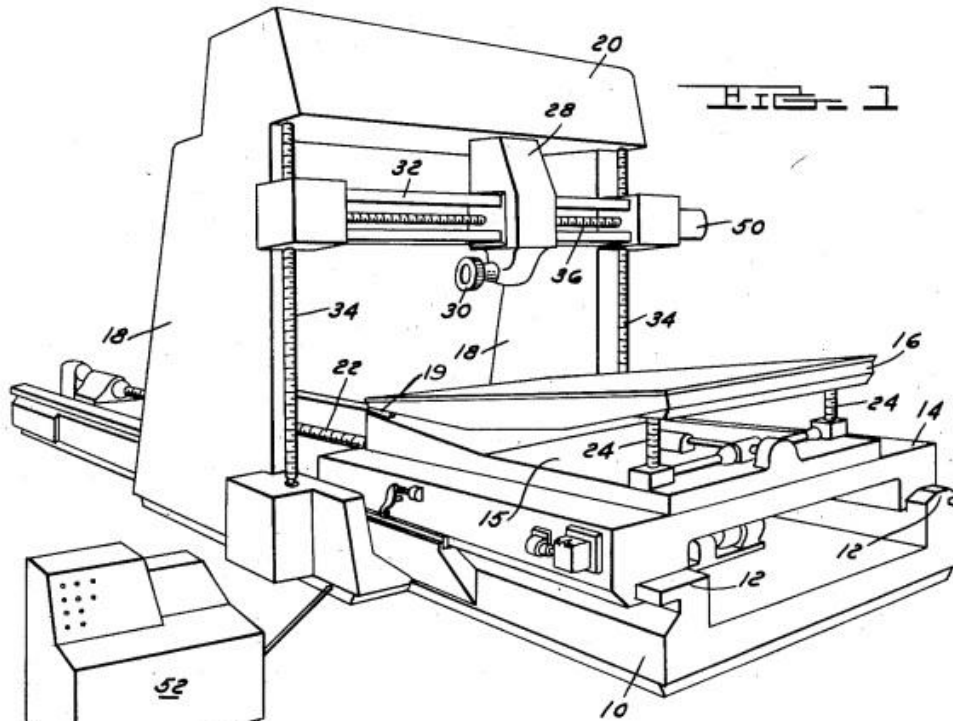
J. T. PARSONS ET AL

2,820,187

MOTOR CONTROLLED APPARATUS FOR POSITIONING MACHINE TOOL

Filed May 5, 1952

7 Sheets-Sheet 1



INVENTORS  
JOHN T. PARSONS  
FRANK L. STULEN

BY  
*Burton & Parker*  
ATTORNEYS

Přehled systémů Sinumerik [17]

	SINUMERIK 808	SINUMERIK 828	SINUMERIK 840
<b>Configuration</b>			
Mechanical design	Panel-based	Panel-based	Drive-based
CNC performance versions	PPU15X PPU16X	PPU27X PPU290	NCU710 NCU720 NCU730
Display size (TFT color displays)	8.4"	10.4"/15.6"	7.5"/10"/12"/15"/19"/22"/24"
Touch display	-	15.6"	15"/19"/22"/24"
Maximum number of axes/spindles	6	10 plus 2 auxiliary axes	93 + any number of PLC axes
PLC adaptation control	SIMATIC S7-200-based	SIMATIC S7-200-based	SIMATIC S7-300
Machine channels/mode groups, up to	1	2 (T, M, G)	30
CNC user memory, up to	1.25 Mbyte	10 Mbyte	22 Mbyte
Extended CNC user memory	-	100 Mbyte	100 Mbyte
Additional CNC user memory on SSD, up to	-	-	120 Gbyte
Servomotor operation	✓	✓	✓
Torque motor operation	-	✓	✓
Linear motor operation	✓	✓	✓
Spindle motor operation	✓	✓	✓
OPC UA	-	✓	✓
Standard data transfer	USB/Ethernet	USB/CF card/Ethernet	USB/Ethernet
<b>Axis functions</b>			
Acceleration with jerk limiting	✓	✓	✓
Dynamic precontrol	✓	✓	✓
Dynamic Servo Control in the drive	✓	✓	✓
Advanced Position Control	-	✓ (ECO)	✓
<b>Interpolation</b>			
Simultaneously interpolating axes, up to	4	4	20
Straight line, circle, helix	✓	✓	✓
Splines	-	✓	✓
Advanced Surface	✓	✓	✓
Top Surface	-	✓	✓
Look Ahead	✓	✓	✓
Compressor	✓	✓	✓
<b>Tools/tool management</b>			
Number of tools/cutting edges, up to	64/128	768/1536	1500/3000
Unit quantity/tool lifetime monitoring with management of replacement tools	-	✓	✓
<b>Monitoring functions</b>			
Work zone limiting	✓	✓	✓
Collision avoidance	-	✓ (ECO)	✓ (ECO, STANDARD, ADVANCED)
<b>Compensations</b>			
Measuring system and spindle pitch compensation	✓	✓	✓
Temperature compensation	-	✓	✓
Nodding compensation	-	✓ (ECO, ADVANCED)	✓ (ECO, ADVANCED)
Friction compensation	✓	✓	✓
Other compensations (sag, volumetrics)	-	-	✓
Cogging torque compensation	-	✓	✓

Přehled systémů Sinumerik [17]

	SINUMERIK 808	SINUMERIK 828	SINUMERIK 840
<b>SINUMERIK synchronous architecture</b>			
Motion synchronized actions	–	✓	✓
Asynchronous subprograms	✓	✓	✓
<b>Transformations</b>			
Face/peripheral surface transformation	✓	✓	✓
Multi-side machining (3+2-axis machining)	–	✓	✓
Dynamic 5-axis machining (TRAORI)	–	–	✓
Additional machine-specific kinematic transformations	–	–	✓
<b>CNC operation</b>			
SINUMERIK Operate	✓(BASIC)	✓	✓
Animated Elements	–	✓	✓
startGUIDE: graphic interactive commissioning, onboard tutorials	✓	–	–
User interface on NCU/PPU (Linux)/IPC (Windows®)	✓/–	✓/–	✓/✓
Training and offline programming tools	✓ (808D on PC)	✓ (SinuTrain)	✓ (SinuTrain)
<b>CNC programming</b>			
SINUMERIK CNC programming language with high-level language elements	✓	✓	✓
Online ISO dialect interpreter	✓	✓	✓
DXF reader	–	✓	✓
programGUIDE	✓(BASIC)	✓	✓
Technology cycles for drilling, milling and turning	✓	✓	✓
Technology cycles for grinding	–	✓	✓
Cycles for process measurements	–	✓	✓
Balance Cutting	–	✓	✓
ShopMill/ShopTurn machining step programming	–	✓	✓
CNC simulation for turning/milling	✓ (2D)	✓ (3D)	✓ (3D)
<b>Onboard optimization and diagnostics</b>			
Context-sensitive onboard help system	✓	✓	✓
Onboard servo and drive optimization (AST)	✓	✓	✓
Onboard signal, bus and network diagnostics	–	✓	✓
Onboard maintenance and service tools	✓	✓	–
<b>Safety functions</b>			
SINUMERIK Safety Integrated	STO	✓	✓ (plus)
<b>SINUMERIK Ctrl-Energy</b>			
Ctrl-E-Analysis/Profiles (energy usage/energy management)	–	✓	✓
Automatic reactive current compensation	–	✓	✓
Automatic flux reduction for induction spindle motors	–	✓	✓

– not available

✓ available (certain functions are available as CNC option, please ask your machine tool manufacturer)

### PŘÍLOHA 3

#### Rozdělení CNC obráběcích center rotačních součástí a příklady strojů [4, s. 346]

CNC obráběcí centra rotačních součástí		Příklady strojů a výrobců
Obráběcí centra s vodorovnou osou	Produkční stroje	Kovosvit MAS, řada SP DMG Mori Seiki, řada NL DMG Mori Seiki, řada Sprint Traub, řada TNA
	Víceřetenové automaty	Tajmac - ZPS TMZ 642 Index MS16C
Obráběcí centra se svislou osou	Karuselové	DMG Mori NVL 1350T Elha, řada VTM Toshulin, Okuma, Sirmu Yamazaki Mazak Megaturn Nexus 900
	Inverzní	Emag VSC Schuster F Yamazaki Mazak IVS 400 DMG Mori Seiki CTV 250 a CTV 315
Speciální stroje	Jednoučelové	Emag Winema Flexmaster

## PŘÍLOHA 4

### Rozdělení frézovacích multifunkčních center a příklady strojů [4, s. 414 - 424]

Frézovací multifunkční obráběcí centra		Příklady strojů a výrobců
Pohyblivý stojan		Soraluce, řada F-MT SHW Uni Speed 6T Okuma VTM 2000-YB Edel Multi Mill 1600 +GF+ řada Mikron HPM*
Nepohyblivý stojan		DMG Mori DMU/DMC FD DMU 80P/FD duo BLOCK Reiden, řada RX Mazak Integrex V-series Mazak Integrex e-Ramtec V8
Portálová	Horní gantry	Tajmac-ZPS MCV 2318 Tajmac-ZPS TurnMill 2000 Edel, řada RotaMill Strojírna Tyc FPPCT 400/10
	Spodní gantry	Axa, řada UPFZ TOS Kuřim – OS, řada FRU
	S pohyblivým stolem	+GF+ řada HPM*

\* Pozn.:

HSC – vysokorychlostní frézování (co největší obrobená plocha co nejdříve),

HPM – vysokovýkonné obrábění (odstranit co nejvíce materiálu co nejrychleji) [4, s. 420].

## PŘÍLOHA 5

### Rozdělení CNC brousicích strojů a příklady strojů [4, s. 450]

Druh brusky	Typ provedení	Příklady strojů a výrobců
Vnější	Hrotové	e-tech EGP
	Rovinné a profilové	Erwin Junker Reform e-tech Easy 1632 Blohm, řada Orbit Rosa Ermando Favretto MDU
	Bezhruté	Mikrosa Kronos
Vnitřní	Na díry	Fisher Palmary e-tech EGI
Univerzální (CNC)	Vodorovné a svislé	Studer S33 Okamoto OGM Mägerle MGC Kehren RP
Jiné	Nástrojové	Walter, řada Helitronic
	Na ozubení	Gleason - Pfauter 2000G
	Dvoukotoučové	Supfina Planet V

## PŘÍLOHA 6

### CNC obráběcí stroje na ozubení [4, s. 462 - 470]

Výrobce a stroj	Popis stroje/Technologie
Gleason 150 SPH ( <i>Spheric Power Honing</i> )	honování
Kapp KX 100 Dynamic	bruska na ozubení se dvěma vřeteníky
Reishauer RZ 160	odvalovací bruska
Niles ZP 15	profilová bruska na ozubení
Gleason Genesis 210HiC	odvalovací frézka pro obrábění za sucha
Liebherr, řada LCS	tvrdé dokončování ozubení odvalovacím nebo profilovým broušením
Kapp, řada KX	odvalovací a profilové broušení
Niles, řada ZX	odvalovací a profilové broušení
Samputensili GT 500H	odvalovací a profilové broušení
Felsomat FSC 600	zakladač materiálu
MAG Modul H 250 CDT ( <i>Chamfering Deburring Twin</i> )	odvalovací frézování, srážení hran a odjehlování v jednom
MAG VDM 1000 H	odvalovací frézování integrováno do stroje pro soustružení
Gleason Agilus 180TH	kompletní měkké obrábění ozubení
Weisser-Kapp Multicell (Weisser Univertor AC-1 a Kapp KX Dynamic)	kompletní tvrdé obrábění ozubených kol (skládá se ze soustruhu se zásobníkem a odvalovací brusky)
Samputensili HG 1200	obráběcí centrum na ozubení

## PŘÍLOHA 7

### Rozdělení těžkých obráběcích strojů a příklady strojů [4, 480]

Druh stroje	Příklady strojů a výrobců
Svislé soustruhy	ČKD Blansko-OS řada SKDY Waldrich Coburg Pietro Carnaghi Schiess Moweg
Vodorovné soustruhy	Škoda Machine Tool stroj SR Waldrich Siegen
Vyvrtačky	Škoda Machine Tool FCW 140 a HCW 3 TOS Varnsdorf WRD 130/150 Make Hydra 130
Frézovací stroje	TOS Kuřim FUQ
Portálová obráběcí centra	Unisign Uniport TOS Kuřim RUA 450 Toshulin Forceturn, Powerturn Reitz Systemtechnik Liebherr LC6000 (ozubení) Schiess Brighton (ozubení)

## PŘÍLOHA 8

### Příklady strojů pro vysokorychlostní obrábění a jejich výrobců [4, s. 496]

Příklady strojů a výrobců
Willemin-Macodel W408B
DMG Mori HSC 20, 55, 70, 75, 105 Linear
Mitsui Seiki HU50A-5X (obráběcí centrum)
Huron MX4
DMG NTX 1000
Kovosvit MAS MCU 700VT-5X (horní gantry)
Agie Charmilles HPM 400U a 800U
Datron M8 Cube (na hliníkové slitiny)
Maatsuura LX/LX-1 (gantry/horní gantry)
Chiron HBZ Aero Cell (5osé horizontální frézovací centrum)
MCM HSC a HPC Jet Five
Parpas HSC Linear
Handtmann UBZ a AeroCell (5osé frézovací centrum)

## PŘÍLOHA 9

### Nekonvenční kinematická řešení strojů a jejich příklady [4, s. 536]

Nekonvenční kinematická řešení strojů	Příklady strojů a výrobců
Bipody	WZL Aachen Dyna-M (vysokorychlostní obráběcí stroj pro tříosé frézování)
	Chiron Vision
Tripody	Heckert Tripod SKM 400
	PKM Tricept T9000
	DMG Tri Center DMT 100
	ICON Tripod 700S Powerflex
Pentapody	Metrom P1000
Hexapody	Ingersoll
	INA
	Geodetic
	Gidding & Lewis GL
	Okuma PM-600

## PŘÍLOHA 10

### Nákladově optimalizované CNC obráběcí stroje [4, s. 528]

Výrobce a stroj	Popis stroje/Technologie
Blohm Planomath HP	brousicí stroj
DMG Mori NLX 3000	vodorovné soustružnické obráběcí centrum
DMG Mori DMC 635 V ecoline	svislé obráběcí centrum
DMG Mori NVX 5000	svislé obráběcí centrum
DMG Mori NHX 4000 a 8000	vodorovné obráběcí centrum
DMG Mori DMU 50 ecoline	víceosé obráběcí centrum
DMG Mori NTX 2000	multifunkční obráběcí centrum
+GF+ Mikron HEM 500 U	obráběcí centrum
Haas Automation VF-1	obráběcí centrum
Haas Automation, řada EC	obráběcí centrum
Haas Automation UMC 750	5osé obráběcí centrum
Okuma, řada Genos	
Toshulin Basic Turn	

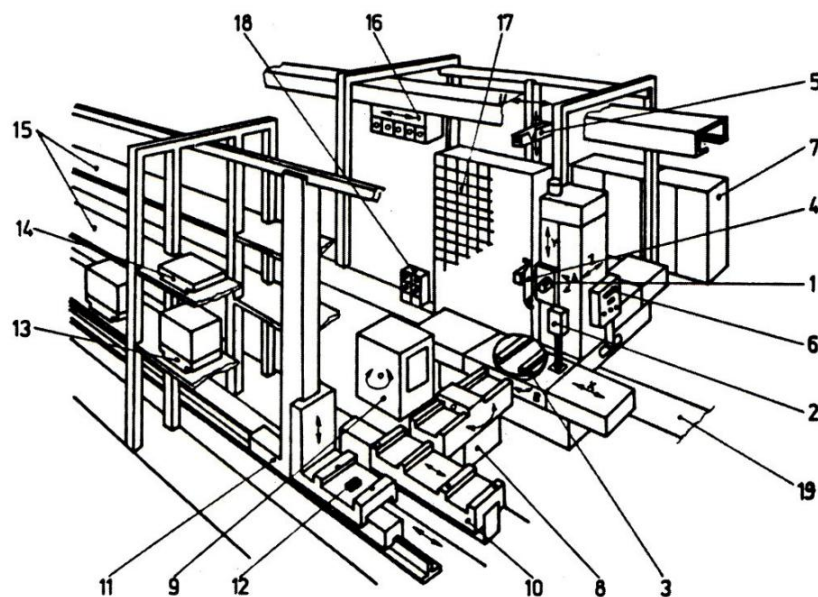
## PŘÍLOHA 11

### Etapy vývoje automatizovaných výrobních soustav [4, s. 536]

Etapa vývoje	Popis	Stroje
1. etapa	Stavebnicová soustava obráběcích strojů s různým stupněm automatizace, přechod na jednoúčelové a CNC stroje.	Konvenční obráběcí stroje (KOS) Číslicově řízené obráběcí stroje (NS OS) Obráběcí centra (OC) Vřetenová obráběcí centra (VOC) Jednoúčelové stroje (JÚS)
2. etapa	Vyšší úroveň automatizace.	Pružné výrobní buňky (PVB): <i>TOS Kuřim MCFHD 80-BOS,</i> <i>Güdel, CZ.Tech, Pietro Carnaghi,</i> <i>ZAH 620 CNC + SP 30 CNC,</i> <i>Haas Automation, Fanuc Cell 60</i> Pružné výrobní soustavy (PVS): <i>Vigel</i> Pružné výrobní linky (PVL): <i>Toshulin, Hadinge QUEST LMC 42</i> Tvrdé automatické (transferové) linky (TAL): <i>Cross Hüller, modul GTL</i>
3. etapa	Nejvyšší stupeň automatizace na úrovni dílny, provozu nebo výrobního závodu.	Automatizované výrobní soustavy (AVS)

## PŘÍLOHA 12

### Schéma modulu pružného výrobního systému s volným tokem obrobků [23, s. 102]



#### Popis obrázku:

1. Vřeteno stroje se snímači momentu a výkonu pro přizpůsobení řízení řezných podmínek,
2. Jednotka pro snímání rozměrů nástroje a automatické doladování rozměrů nástrojů,
3. Otočný stůl se základem technologické palety,
4. Manipulátor pro automatickou výměnu nástroje,
5. NC manipulátor nástrojů,
6. CNC panel skupinového CNC řízení,
7. Silnoproudé řízení pomocných elektrických, hydraulických a chladicích agregátů,
8. Otočný podavač technologických palet,
9. Stanice pro sklápění a čištění obrobku stlačeným vzduchem na technologické paletě,
10. Přesuvný stůl jako sklad jedné palety,
11. Regálový zakladač technologických palet,
12. Identifikační prvek technologické palety,
13. Paleta s upnutým obrobkem,
14. Prázdná paleta bez upínače,
15. Zdvojený regálový sklad,
16. Vozík automatické mezistrojové dopravy nástrojových jednotek,
17. Regálový zásobník pro nástrojové jednotky,
18. Vozík pomocné ruční dopravy nástrojů,
19. Dopravník třísek.

## PŘÍLOHA 13

### Specifikace CNC multifunkčního obráběcího centra Nakamura-Tome WT-100 [24]

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
<b>Kapacita</b>		
Max. průměr / délka obrobku	190 / 503	mm
Vzdálenost mezi vřeteny (min./max.)	210 / 735	mm
Průchozí průměr vřetena (max.)	42	mm
Velikost sklíčidla	165	mm
<b>Pojzdová dráha v ose</b>		
X1/X2	135	mm
Z1/Z2	503	mm
B / Y	525 / ± 31	mm
<b>Levé a pravé vřeteno</b>		
Otáčky vřetene (max.)	6 000	min <sup>-1</sup>
Výkon motoru na vřeteno (max./standard)	11 / 7,5	kW
<b>Horní a spodní revolver</b>		
Typ hlavy	dodekagonální	-
Počet pozic pro nástroje	12	-
Výkon motoru (max./standard)	7,1 / 2,2	kW
Točivý moment (max./standard)	16 / 8	N.m
Pohon vřetene	individuální	-
Počet poháněných nástrojů (max.)	12	-
<b>Obecné</b>		
Rozměry (délka x šířka x výška)	2 300 x 1 620 x 1 940	mm
Hmotnost	5 650	kg

Prospekt multifunkčního CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 [24]

**WT-100** ——— TOP BRAND Top Leader

**One Hit  
Machining**

Suitable for Small to Large Batch Production

**Nakamura-Tome**  
Innovation Technology  
Creating Value

**of Multitasking Machines**



WT-100 | 2

1 | WT-100

Prospekt multifunkčního CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 [24]

**High  
productivity**

Top leader of one-hit machining

No work in process  
One-hit machining  
Less set up time

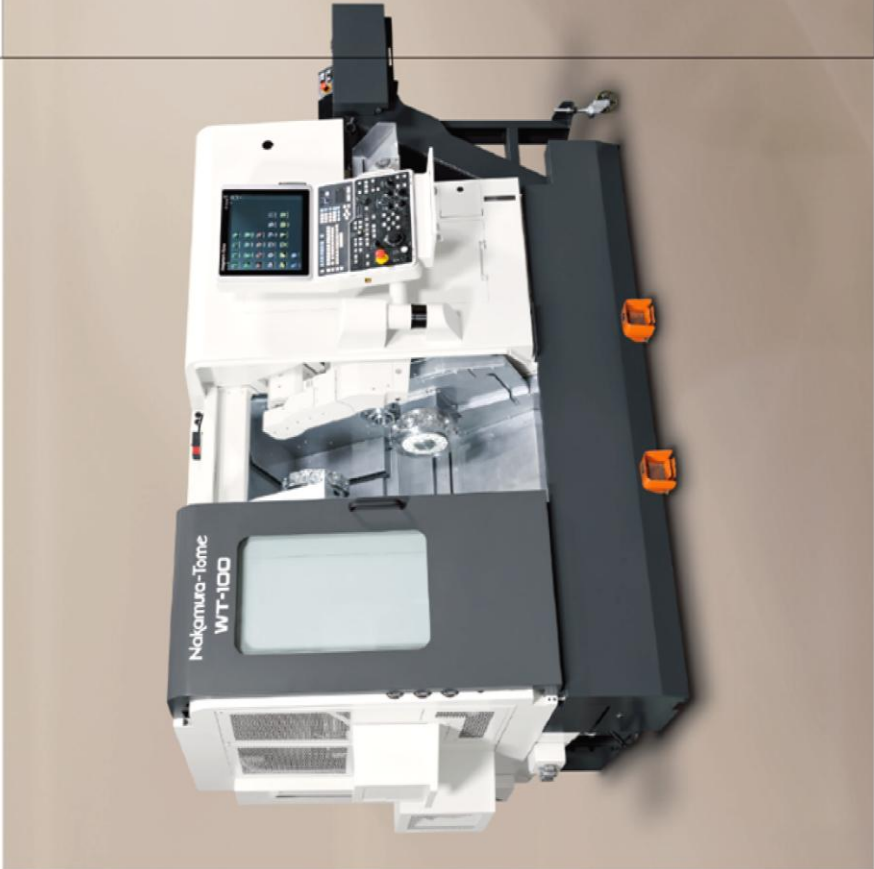
WT-100 | 4



Prospekt multifunkčního CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 [24]

**WT-100 Compact Multitasking Machine**

**Featuring State of the Art Capabilities**



19" Color LCD Touch Panel  
NT Smart X



<b>Capacity</b>	190mm / 503mm
Max. turning diameter / Max. turning length	max. 795mm / min. 210mm
Distance between spindles	42mm
Bar capacity	Ø" 165mm
Chuck size	
<b>Axis travel</b>	
Slide travel (X / Z)	195 / 195mm
Slide travel (Z1 / Z2 / B)	503 / 503 / 525mm
Slide travel (Y) upper turret	±31mm (op.)
<b>Spindle L, R</b>	
Spindle speed (max.)	6000min <sup>-1</sup>
L spindle motor	117.5kW 75.4/98.6N·m
R spindle motor	117.5kW 75.4/98.6N·m
<b>Upper turret</b>	
Number of turrets	1
Driven tool speed	6000min <sup>-1</sup>
Driven tool motor	7.1/2.2kW 16/8N·m
Type of turret / Number of indexing pos.	Dodecagonal / 24
Drive type / Number of driven-tool stations	Individual rotation / 12
<b>Lower turret</b>	
Number of turret	1
Driven tool speed	6000min <sup>-1</sup>
Driven tool motor	7.1/2.2kW 16/8N·m
Type of turret / Number of indexing pos.	Dodecagonal / 24
Drive type / Number of driven-tool stations	Individual rotation / 12
<b>General</b>	
Floor space	2,630mm x 1,622mm x 1,940mm
Machine Weight	5,700kg

WT-100

Prospekt multifunkčního CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 [24]

**WT-100** Machine Structure

48

stations

High-rigidity turret

**Upper turret**

**Lower turret**

**Left Spindle**

Bar capacity  $\phi 42\text{mm}$

Spindle motor  
11 / 7.5kW  
75.4 / 38.8N·m  
6,000min<sup>-1</sup>

C-axis  
C-axis synchronization control

**Standard**

**Right spindle**

Bar capacity  $\phi 42\text{mm}$

Spindle motor  
11 / 7.5kW  
75.4 / 38.8N·m  
6,000min<sup>-1</sup>

C-axis  
C-axis synchronization control

**Standard**

**Upper turret**

Dodecahedral / 24-station

- ◆ Number of milling stations : 12
- ◆ Servo-driven turret

**Upper turret**

**Lower turret**

Dodecahedral / 24-station

- ◆ Number of milling stations : 12
- ◆ Servo-driven turret

**Lower turret**

**Stable Accuracy Ensured**

**Standard**

Milling  
7.1 / 2.2kW  
16 / 8N·m  
6,000min<sup>-1</sup>

Y-axis stroke  $\approx 31\text{mm}$

**Option**

Parts catcher G

Method	Swing / Hand
Workpiece size	Diameter (Dia. mm) $\phi 12 - 42$ Length (mm) 15 - 150 Weight (kg) 1.5
Cycle time (sec.)	15.1
Ejecting method	Ball conveyor & Chute

**Larger window ensures better visibility**

**Reliable Covers**

All moving units including the upper slide, lower slide and B-Axis unit, are equipped with top class stainless-steel covers and protective wipers, preventing cutting chip accumulation, and providing cover against cutting chips and coolant. The whole machining area is leakage-proof thanks to fully protective covering.

Machine Paint : Environment-friendly non-toxic high quality powder coating.

7 | WT-100

WT-100 | 8

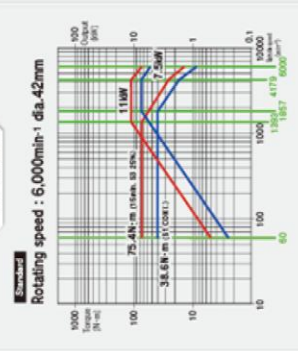
Prospekt multifunkčního CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 [24]

**WT-100** Combining Turning and



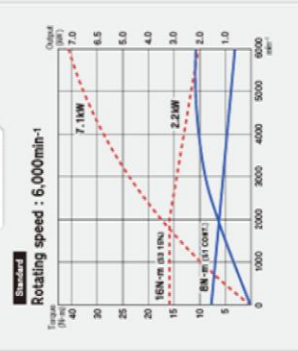
L/R Spindle motors

11 / 7.5kW



Driven-tool motor

7.1 / 2.2kW



The left and right hand side spindles feature 11/ 7.5 kW high-output motors with a max. 75 N·m torque. This means that a round part with Dia. 48 mm x Length 110 mm can be reduced into cutting chips within 26 Seconds, or 2.3 parts can be turned in one minute.

Part size Dia. 48 x 110 mm  
 Work volume 19cm<sup>3</sup> / Part  
 Material S45C (JIS)  
 Cutting depth 4mm  
 Feed rate 0.6mm/rev  
 Cutting Speed 250m/min



**Milling**

**Faster Cycle Time**  
 From diversified small-lot production to mass production

**Flexibility**

Whether it is shaft work, bar work, or chuck work, the most suitable machining for various types of materials can be done in one-chucking. Get maximum productivity from a machine requiring a compact space



Upper-Left / Lower-Right

Transfer

Upper-Right / Lower-Left



Left hand side 4-axis turning

Right hand side 4-axis turning

Milling



Prospekt multifunkčního CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 [24]

### NT Work Navigator

**New Navigator for X-axis and Y-axis**

**X Y Z B C**

- **Advanced NT Work Navigator!** Navigation function is expanded to also include the X and Y axis. Coordinate Recognition can make the part's outer surface in the X or Y-Axis direction.
- **No fixtures required** Machining parts with non-round shapes, such as forgings or castings requires that the raw part coordinates be recognized by the CNC control. In order to achieve this without requiring extra or additional options, the NT Navigator is used. It works just by touching the part with a simple inexpensive probe (mostly round bar mounted on a tool holder) and using the torque control feature of coordinates in the CNC. The NT Navigator is a cost cutting feature in multitasking machines, eliminating the need for positioning fixtures and special clamping devices.

### Airbag (Overload detection)

Nakamura-Tome machines will not break for the slightest collision, as other machines do. The function minimize damage in case of collision.

**Even with barrier function, machine collisions may occur**

Soft barrier function is not perfect. If wrong data is input, a collision will occur.

**When unavoidable human error results in machine collision, there is no reason to panic.**

All Nakamura-Tome machines are equipped with a safety feature called "airbag" (overload detection), which will greatly reduce the impact force and prevent heavy damage to the machine.

**Without Airbag**  
Machine will not stop immediately. The slide continues to move even after collision.

**With Airbag**  
Retraction within 0.005 sec  
Crash!  
Slide is retracted after the crash, servo motor holding device is reversed and the machine stops in B&C mode.

\* This feature does not mean zero impact.

## Dual safety

NT Machine Simulation / NT Collision Guard + Airbag

**Double safety features for maximum protection**  
NT collision Guard to avoid machine collision and Air bag function (Abnormal load detection) to minimize damage even in case of collision.

### NT Machine Simulation

**Prevent the collision due to tooling, chuck, and program.**

Simulation is performed to check the programs without reworking the machine. This helps prevent machine collision due to programming or setup errors.

It is possible to choose between "with" or "without" program display. The color of the program block being simulated can be set to be displayed in a different color.

Registration and Cutting feed can be performed in advance. It is possible to make simulation of work process, or to use single block.

Process - Single block

### NT Collision Guard

**Preventive safety technology - Machine collisions are avoidable!**

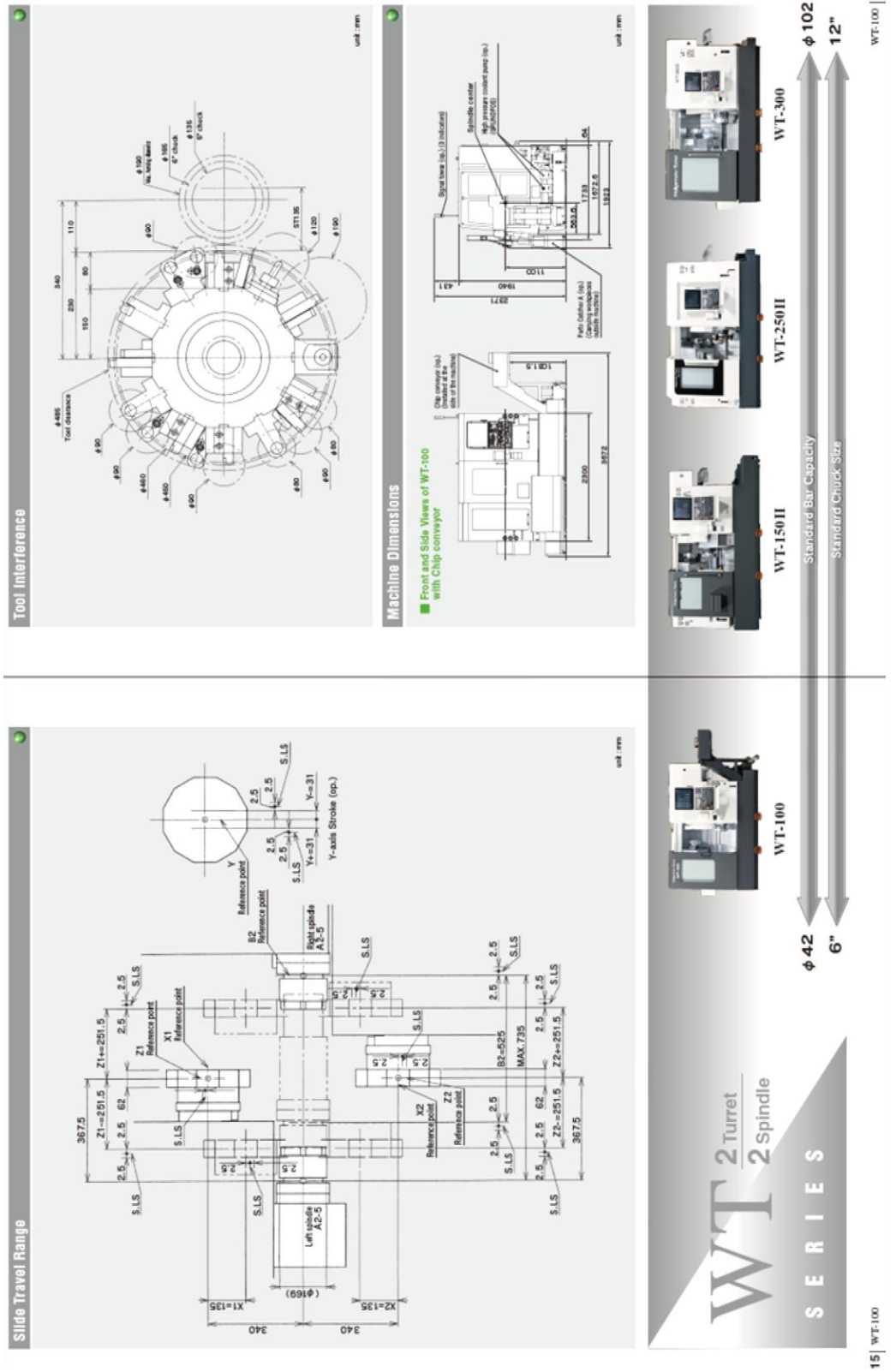
This function is available in automatic mode and manual mode. Collisions can be prevented, especially after modifying the program, or changing the tool geometry offset. Registered machine data, chucks, tools, holders, and parts are used to monitor the machine during automatic, manual or jog movement, and recognize in advance collisions before they happen. Even target indexing is monitored to avoid collisions, drastically reducing machine collision risks, especially during set-up.

\* Model setup was simplified. Type of tool being indexed is automatically set out from the program, and the tool model can be selected from a displayed list.

13 | WT-100

WT-100 | 14

Prospekt multifunkčního CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 [24]





## PŘÍLOHA 15

### Specifikace CNC brusky nástrojů Walter Helitronic Micro [25], [26]

Vlastnosti	Hodnota	Jednotka
<b>Pojezdová dráha v lineární ose</b>		
X / X'	385 / 110	mm
Y	320	mm
Z	320	mm
Lineární přesnost	0,000 1	mm
Rychloposuv (max.)	30	m/min
<b>Rotace v ose</b>		
A / C	1 000 / ± 200	min <sup>-1</sup> / °
Radiální přesnost	0,000 1	°
<b>Broušení</b>		
Otáčky vřetene (max.)	10 500	min <sup>-1</sup>
Výkon motoru na vřeteno	6,5 / 4,3	kW
<b>Nástroje k dokončování broušením/ostření</b>		
Průměr k broušení/ostření (min.)	0,1 / 3	mm
Průměr / délka (max.)	12,7 / 120	mm
Hmotnost (max.)	12	kg
<b>Robotický zakladač</b>		
Kapacita	1 500	nástrojů
<b>Obecné</b>		
Rozměry (délka x šířka x výška)	2 356 x 2 200 x 2 006	mm
Rozměry s robotickým zakladačem (délka x šířka x výška zakladače)	3 080 x 2 200 x 1 498	mm
Hmotnost	6 000	kg

Řešení upínání nástrojů pro revolverové hlavy CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 od firmy Sandvik Coromant [30]





















## Řešení upínání nástrojů pro revolverové hlavy CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 od firmy Sandvik Coromant [30]

### WT-100

Coromant Capto® Program



		<b>OD clamping unit (not suitable for NTJ-100 upper turret)</b>	
		C3 C3-TRE-NA44A	Standard
		C3 C3-TLE-NA44A	Standard
		<b>OD clamping unit, double</b>	
		C3 C3-TRE-NA44A-TT	Standard
		C3 C3-TLE-NA44A-TT	Standard
		<b>OD clamping unit, both sides (not suitable for NTJ-100 upper turret)</b>	
		C3 343-830111C488	For quotation
		<b>OD clamping unit, both sides, double</b>	
		C3 343-830111C490	For quotation
		<b>Face and ID clamping unit</b>	
		C3 C3-TRI-NA44A	Standard
		C3 C3-TLI-NA44A	Standard
		<b>Face and ID clamping unit, back set (not suitable for NTJ-100 upper turret)</b>	
		C3 343-830111C1126	For quotation
		<b>Face and ID clamping unit, double</b>	
		C3 C3-TRI-NA44A-TT	Standard
		C3 C3-TLI-NA44A-TT	Standard
		<b>Face and ID clamping unit, both sides, double</b>	
		C3 343-830111C1240	For quotation
		<b>Cut-off holder, HP-IC</b>	
		SH 26 APBR-NA44A-21-HP IC 80 bar	Standard
		SH 26 APBL-NA44A-21-HP IC 80 bar	Standard

**Řešení upínání nástrojů pro revolverové hlavy CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 od firmy Sandvik Coromant [30]****WT-100**

Coromant Capto® Program



Right angle drill/milling unit

C3	343-830820N2190 1:1	EC	For quotation
C3	343-830820N2191 1:1	IC 80 bar	For quotation

Řešení upínání nástrojů pro revolverové hlavy CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 od firmy Sandvik Coromant [30]

How to choose your tool holder

## How to choose clamping unit

Internal setup



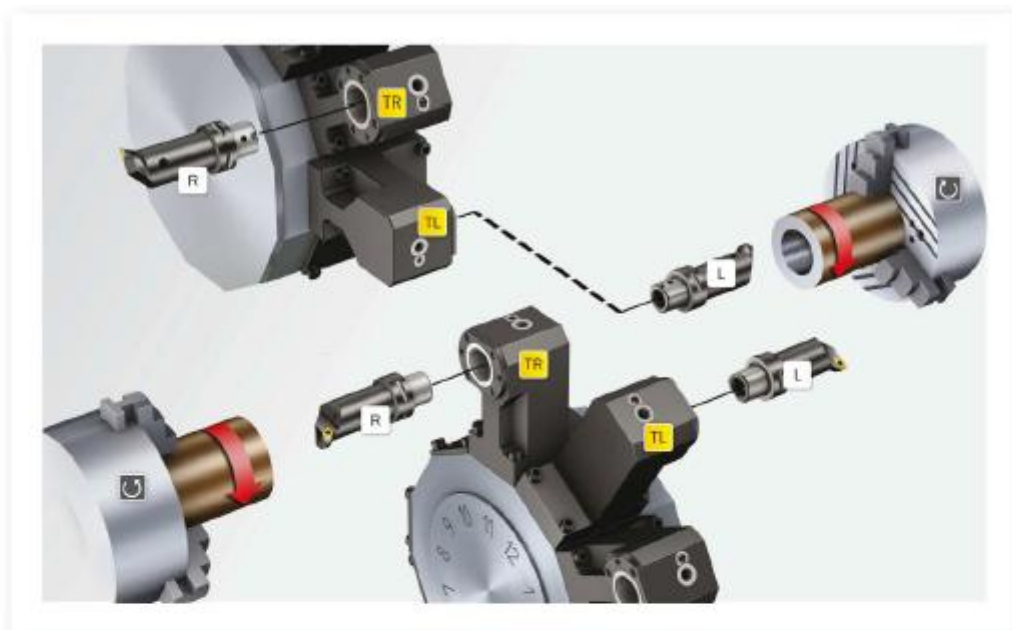
External setup



## Řešení upínání nástrojů pro revolverové hlavy CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 od firmy Sandvik Coromant [30]

How to choose your tool holder

### Internal setup



### External setup

- R Right hand cutting unit
- L Left hand cutting unit
- TR Right hand clamping unit
- TL Left hand clamping unit
- M Clockwise spindle rotation (M04)
- M Counter-clockwise spindle rotation (M03)



Řešení upínání nástrojů pro revolverové hlavy CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 od firmy Sandvik Coromant [30]

Turning applications

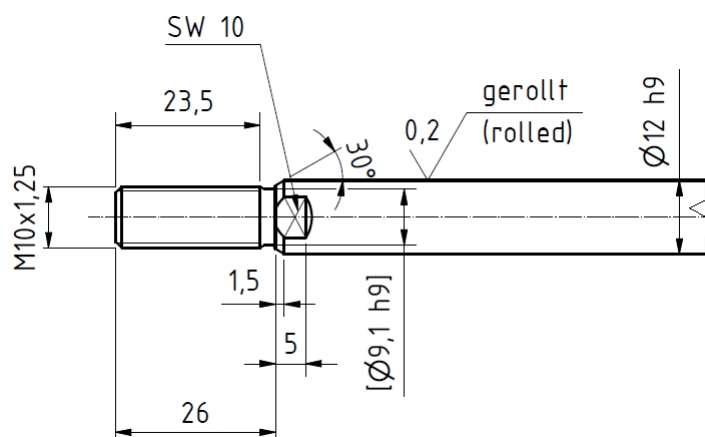
Tool holder	Insert/Tool	Insert
T-Max® P	CNMG	
CoroTurn® 107	CCMT	
T-Max® P	DNMG	
CoroTurn® 107	DCMT	
CoroTurn® 107	VBMT	
CoroThread® 266	266	
CoroTurn® SL	CoroTurn® 107	TCMT
CoroTurn® 107		
CoroTurn® 107		
Silent Tools™	CoroTurn® 107	VBMT
Drill adaptor	CoroDrill® 870	Exchangeable drill tip
	CoroDrill® 881	Indexable drilling insert
	EasyFix	Boring bars
		Boring bars
		Boring bars

Řešení upínání nástrojů pro revolverové hlavy CNC stroje Nakamura-Tome WT-100 od firmy Sandvik Coromant [30]

Rotating applications

Tool holder	Insert/Collet/Tool	Insert
Coromant EH	CoroMill® 318	
	CoroMill® 390	R390
	CoroMill® 490	490R
	CoroMill® 218	R218
	CoroMill® 300	R300
	CoroBore® 824	CXS
	CoroBore® 825	TCMT
CoroChuck™ 930	Cylindrical collet	CoroMill® Plura
		CoroDrill® 860
ER collet chuck	ER collet	CoroMill® Plura
		CoroDrill® 860
CoroMill® 390	R390	

Vybraná část vzorového NC programu obráběcího centra Nakamura Tome WT-100 a jeho stručný popis včetně náhledu výkresu [31]



G902A45.B32.C1.D40.E12.F8.H3.I0.3J50.K0.04M0.3

(A VYSUNUTI MATERIALU Z HL. VR. OD CELA VRET.)

(B VYSUNUTI MATERIALU Z PROTIVR. OD CELA VR.)

(C VYSKA CELISTI PROTIVRETENE)

(D DELKA 1. PREUCHOPENI)

(E PRUMER MATERIALU)

(F MIN. VZDALENOST UPICH - HL. VR.)

(H SIRE UPICHOVAKU)

(I PRIDAVEK NA CELO HL. VR.)

(J REZNA R. UPICH)

(K POSUV UPICHU POSLEDNI KUS)

(M PRIDAVEK NA CELO PROTIVR.)

M98P8004

M100

M41

G50S3500M8

M1 (HRUB.)

N1G0G40G54G95G96G99T0101S200M3

M8

G0G40X13.Z0.1

G1X-1.6F.1

G4X0.2

X10.6Z0.5F0.5

Z-25.95F0.3

X12.3,A150.

G0Z1.

G1X9.2Z0.5F.5

G1Z-1.5,A135

X10.Z0.5F.4

X4.

G1G42X7.8Z0.1F0.3

G1X9.2,A150.

G1Z-25.95

G1X10.4

G1X12.3,A150.

G0G40X100.Z30.T0101.M9

M5

**Vybraná část vzorového NC programu obráběcího centra Nakamura Tome WT-100 a jeho stručný popis včetně náhledu výkresu [31]**

G902A45.B32.C1.D40.E12.F8.H3.I0.3J50.K0.04M0.3 G90	počáteční nastavení dle komentářů v závorkách, absolutní programování (ne přírůstky hodnot)
M98P8004	vyvolání podprogramu (měřicí cyklus, P8004 by měla být sonda)
M41	první převodový stupeň
G50S3500M8: G50S3500 M8	Počáteční nastavení: omezení otáček na 3 500 ot./min, zapnutí čerpadla chladicí kapaliny.
M1	podmíněný programový stop
N1G0G40G54G95G96G99T0101S200M3: N1 G0 G40 G54  G95 G96  G99 T0101  S200  M3	Výběr nástroje a počáteční nastavení: číslo bloku nebo nástroje 1, rychlposuv, zrušení korekce nástroje posunutí nulového bodu u soustružení na čelo upnutého obrobku (nastavení souřadného systému obrobku, posun do nulového bodu obrobku), definování posuvu v mm/ot. konstantní řezná rychlost bez ohledu na změnu průměru (S200=200 m/min), návrat do zpětné roviny, výběr daného nástroje na pozici (korekce nástroje T0101), nastavení konstantní řezné rychlosti 200 m/min, spuštění otáček ve směru hodinových ručiček.
G0X13.Z0: G0 X13 Z0	Příjezd k součásti: rychlposuv, souřadnice X 13 posuv do souřadnice Z 0
G1GX-1.6F.1	zarovnání čela s posuvem 0,1 mm/ot. (aktivováno G95)
G4X0.2	časová prodleva

**Vybraná část vzorového NC programu obráběcího centra Nakamura Tome WT-100 a jeho stručný popis včetně náhledu výkresu [31]**

X10.6Z0.5F0.5	najetí na průměr 10,6 s posuvem 0,5 mm/ot. (hrubování pro závit)
Z-25.95F0.3	pracovní pohyb do Z-25.95 mm s posuvem 0,3 mm/ot.
X12.3,A150	vyjetí z předchozí souřadnice na průměr 12,3 pod úhlem 30°
G0Z1.	vyjetí na Z 1 mm rychloposuvem
G1X9.2Z0.5F.5	najetí na průměr 9,2 s posuvem 0,5 mm/ot.
G1Z-1.5,A135	sražení 1,5x45° před závitem
X10.Z0.5F.4	najetí na průměr 10 s posuvem 0,4 mm/ot.
X4.	najetí na průměr 4
G1G42X7.8Z0.1F0.3: G1 G42  X7.8 Z0.1F0.3	Příjezd k součásti: pracovní posuv, zapnutí korekce nástroje na rádius špičky zprava, souřadnice X 7,8 posuv do souřadnice Z 0,1 s posuvem 0,3 mm/ot.
G1X9.2,A150.	vyjetí z předchozí souřadnice na průměr 9,2 pod úhlem 30°
G1Z-25.95	pracovní pohyb do Z-25.95 mm
G1X10.4	najetí na průměr 10,4
G1X12.3,A150.	vyjetí z předchozí souřadnice na průměr 12,3 pod úhlem 30°
G0G40X100.Z30.T0101.M9	odjetí mimo obrobek a vypnutí čerpadla chladicí kapaliny
M5	zastavení včetně