

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agronomická fakulta**  
**Ústav techniky a automobilové dopravy**

---



**Konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů**

Bakalářská práce

*Vedoucí práce:*

Ing. Jiří Votava, Ph.D.

*Vypracoval:*

Michael Fischer

---

Brno 2016



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: KONSTRUKCE ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....

podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Dovoluji si tímto poděkovat panu Ing. Jirímu Votavovi, Ph.D. za příkladné vedení, pomoc při vyhledávání odborné literatury, věcné připomínky a cenné rady, které mi pomohli při vypracování bakalářské práce.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá číslíkově řízenými obráběcími stroji. První část práce se zabývá charakteristickými znaky a konstrukcí obráběcích strojů, kde jsou stručně popsány jejich jednotlivé části. Dále se zaměřuje na základní rozdělení číslíkově řízených obráběcích strojů a jejich řezné podmínky. Druhá část práce se zabývá automatickou výměnou nástrojů, vznikem tepla, chlazením a mazáním číslíkově řízených obráběcích strojů. V závěru bakalářské práce je popsán současný stav obráběcích strojů a využití číslíkového řízení v ostatních odvětvích.

## **Klíčová slova**

číslíkově řízený obráběcí stroj, soustružení, frézování, vrtání, broušení

## **ABSTRACT**

The Bachelor thesis deals with numerical controlled cutting machines. The first part describes characteristic features and basic construction of these machines and there is also short review about their individual parts. Thereafter is part about fundamental division of these numerical controlled cutting machines and their cutting parameters. Second part is focused on automatic replacement of tools, generation of heat, cooling of the machine and lubrication of cutting machines. In the end of this paper is description of modern cutting machines and application of numerical controlled machines in other parts of industry.

## **Keywords**

numerical controlled machines, turning, milling, drilling, edging

## OBSAH

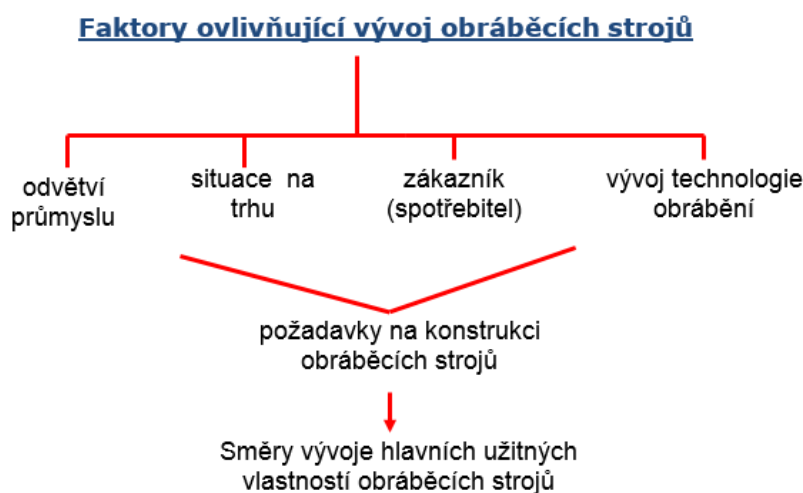
1	ÚVOD .....	8
2	CÍL PRÁCE.....	9
3	ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE .....	10
3.1	Definice.....	10
3.2	Hlavní části .....	10
3.3	Složení řídicích systémů .....	13
3.4	Charakteristické znaky číslicově řízených obráběcích strojů .....	17
4	ROZDĚLENÍ ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....	20
4.1	Číslicově řízené soustružnické stroje.....	20
4.1.1	Konstrukce hlavních uzlů soustružnického stroje.....	21
4.1.2	Řezné podmínky při soustružení .....	23
4.2	Číslicově řízené vrtací a vyvrtávací stroje .....	25
4.2.1	Řezné podmínky při vrtání.....	27
4.3	Číslicově řízené frézovací stroje.....	28
4.3.1	Nesousledné a sousledné frézování.....	30
4.3.2	Řezné podmínky při frézování .....	31
4.4	Číslicově řízené brousící stroje .....	32
4.4.1	Řezné podmínky při broušení .....	34
5	AUTOMATICKÁ VÝMĚNA NÁSTROJŮ ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ.....	35
5.1	Systémy výměny nástrojů se zásobníky, které přenášejí řezné síly .....	37
5.2	Systémy výměny nástrojů se zásobníky, které nepřenášejí řezné síly.....	38
5.3	Kombinované systémy výměny nástrojů.....	39
6	TEPELNÁ STABILIZACE, CHLAZENÍ, A MAZÁNÍ ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ.....	40
6.1	Vznik tepla a jeho odvod .....	40

6.2	Chlazení číslicově řízených obráběcích strojů.....	40
6.3	Mazání číslicově řízených obráběcích strojů.....	41
6.4	Zařízení pro dopravu třísek.....	42
7	ZÁVĚR.....	43
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	44
8.1	Literatura.....	44
8.2	Internetové zdroje .....	45
9	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK .....	47
10	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	49
11	SEZNAM TABULEK.....	51

# 1 ÚVOD

Technologie obrábění patří mezi nejstarší a nejrozšířenější metodu zpracování kovových i nekovových materiálů. Pomocí ní vytváříme požadovaný tvar v daných rozměrech odebráním materiálu. V obrábění materiálu zaujmají velkou skupinu obráběcí stroje. Jedním z hlavních důvodů proč tyto stroje vznikly, je dosažení jednoduchých i složitých tvarů, přesnosti, jakosti povrchu s důrazem na kvalitu, čas a náklady na výrobu.

Na počátku 50. let 20. století byl vyvinut první NC stroj, po kterém následoval vývoj CNC strojů. U NC strojů je řídicí systém tvořen pevným propojením elektronických prvků. Řídicí systémy CNC strojů jsou na rozdíl od NC strojů vybaveny programovatelným mikropočítačem. Faktory a směry vývoje CNC strojů generují požadavky a ty posléze směry vývoje hlavních užitečných vlastností obráběcích strojů.



Obr. 1: Faktory ovlivňující vývoj obráběcích strojů [16]

Dlouhodobým směrem se stala automatizace výrobního procesu, která zasáhla ve všech výrobních odvětvích. Automatizace přinesla zejména zvyšování produktivity práce, která je spojena s výrazným snižováním času a nákladů na výrobu.

Bakalářská práce je zaměřena na obráběcí stroje s číslicově řízeným počítačem, které mají vysoký stupeň pružné automatizace, a postupně nahrazují konvenční obráběcí stroje. Důvodem je zvyšující se náročnost na technologii obrábění a složitost výrobků.



## 2 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je popsat hlavní části číslicově řízených obráběcích strojů, rozdělení a jejich charakteristické znaky.

Dále uvést základní rozdělení systémů automatické výměny nástrojů a popsat jednotlivé body dělení jako jsou číslicově řízené soustružnické stroje, číslicově řízené vrtací a vyvrtávací stroje, číslicově řízené frézovací stroje a číslicově řízené brousící stroje.

Následně definovat systém výměny nástrojů se zásobníky, které přenášejí řezné síly, systém výměny nástrojů se zásobníky, které nepřenášejí řezné síly a kombinované systémy výměny nástrojů. V neposlední řadě charakterizovat vznik tepla a jeho odvod, způsob chlazení a mazání.

## 3 ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÉ OBRÁBĚCÍ STROJE

Číslícově řízené obráběcí stroje jsou stroje s vysokým stupněm automatizace, která je pružně přizpůsobitelná změnám výroby. Uplatňují se ve všech oblastech strojírenské výroby a jejich typickými představiteli jsou soustruhy a frézky. Data potřebné na řízení stroje jsou předem připravené ve formátu řídicího programu [2].

### 3.1 Definice

Číslícové řízení je činnost číslícového počítače pro řízení pohybu nástroje nebo obrobku, a to definovanou rychlostí po dané trajektorii v prostoru nebo rovině. U číslícového řízení obráběcích strojů se jedná o řízení procesu obrábění a řízení pomocných funkcí na základě číselných údajů a příkazů.

Číslícově řízený obráběcí stroj je konstrukčně uzpůsoben tak, aby pracoval v automatickém cyklu a měl automatickou výměnu nástrojů [1, 3].

Ovládání pracovních funkcí je prováděno řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Informace jsou v programu zapsány pomocí alfanumerických znaků. Program je tvořen pomocí vět, ve kterém jsou zapsány požadované činnosti [2].

Věty obsažené v programu, lze rozdělit na:

- geometrické věty slouží pro popis souřadnic dráhy nástroje v jednotlivých řízených osách,
- technologické věty slouží k naprogramování technologie obrábění z hlediska řezných podmínek (zejména nástrojů, otáček, posuvů, řezných rychlostí, případně hloubky třísky),
- pomocné věty slouží pro určité povely (zejména zapnutí čerpadla chladičí kapaliny, směr otáček vřeten).

### 3.2 Hlavní části

Řídicí systém zpracovává informace obsažené v řídicím programu a přenáší informace na jednotlivé mechanismy stroje. Je složen z jednotlivých modulů, vzájemně se lišících svou funkcí. Základem je CPU (Central Processing Unit), tj. centrální procesorová jednotka [4].

CPU potřebuje ke své činnosti informace dostupné v některé z pamětí:

- PP (Program Memory), tj. paměť pro hlavní programy,
- MM (Macro Memory), tj. paměť podprogramů (makro),
- TM (Tool Memory), tj. paměť nástrojů,
- NPM (Null Point Memory), tj. paměť posunu nulového bodu, aj. [4].

Mezi další moduly patří řídicí panel a přenosný panel.

Řídicí panel slouží ke spojení mezi obsluhujícím pracovníkem a řídicím systémem číslíkově řízeného obráběcího stroje. Umožňuje zadávání příkazů obsluhy řídicímu systému a předávání zpráv z řídicího systému obsluze. Řídicí panel se skládá z obrazovky a klávesnice.



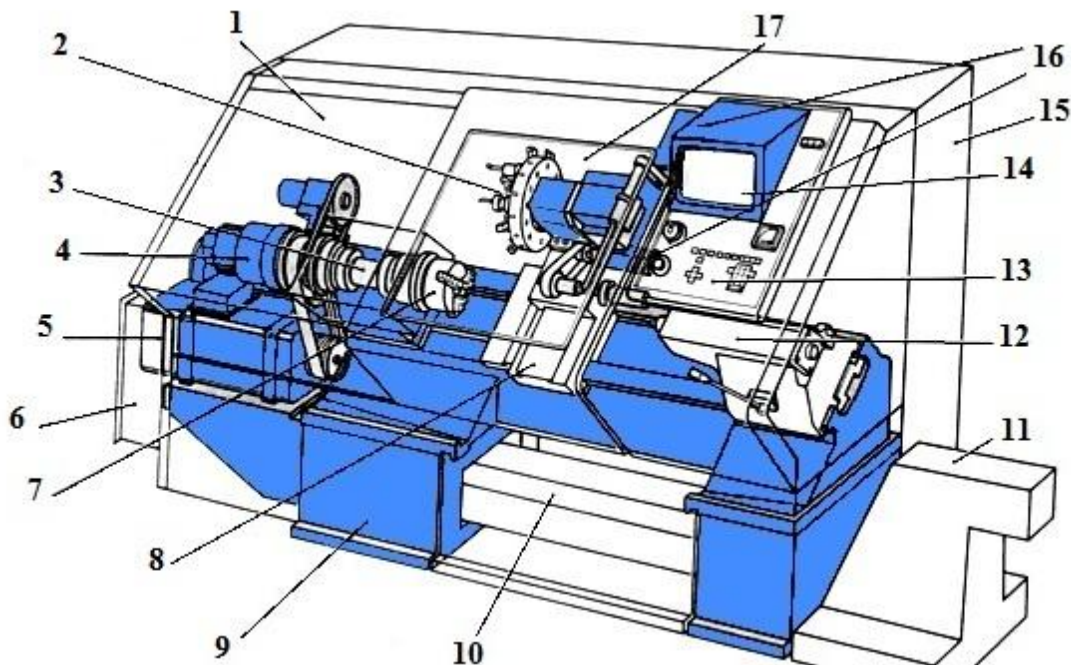
Obr. 2: Řídicí panel společnosti Siemens [7]

Obrazovka slouží ke kontrole všech vstupů, výstupů, k editaci programů a grafické simulaci programu.

Klávesnice se dělí na funkční tlačítka, vstup dat, ovládání stroje, volba režimu práce, aktivace paměti a aktivace testů.

- funkční tlačítka slouží ke komunikaci s řídicím systémem,
- vstup dat je alfanumerickou částí řídicího panelu, pomocí které se zapisuje program, data o nástrojích, strojní konstanty atd.,
- ovládání stroje je speciální část, pomocí které se pohybuje nástrojem nebo obrobkem, spouští se otáčky vřetene atd.,
- volba režimu práce slouží k volbě ručního režimu, automatického režimu atd.,
- aktivace paměti slouží k vyvolání jednotlivých druhů pamětí,
- aktivace testů slouží k vyvolání simulací programů, testů programů a testů stroje [2].

Přenosný panel je spojen kabelem s řídicím panelem a slouží k ovládání základních funkcí stroje. Umožňuje při ovládání a seřizování stroje přejít obsluze do míst, které poskytnou dokonalou možnost vizuální kontroly [4].



Obr. 3: Části číslicově řízeného soustruhu 1. Kryt 2. Revolverová nástrojová hlava 3. Hlavní vřeteno, vodící šroub 4. Hydraulické upínací zařízení 5. Hlavní hnací motor 6. Hydraulika 7. Upínací pouzdro 8. Suport, saně 9. Rám 10. Sběrný žlábek třísek 11. Dopravník třísek 12. Koník 13. Ovládací pult 14. Monitor 15. Elektrická skříň 16. Motor posuvu 17. Bezpečnostní okno [10]

Lože je část stroje skříňového tvaru, kde zpravidla převládá délka nebo šířka nad výškou. U většiny strojů spojuje základní části stroje v celek. Lože jsou základem všech číslicově řízených obráběcích strojů, které musí mít vysokou tuhost, schopnost tlumit chvění a dobrý obvod třísek. Uvedeným požadavkům nejlépe vyhovuje šikmé nebo svislé odlévané lože z šedé litiny. Lože jsou opatřeny vodícími plochami, které slouží k pojezdu suportů [3].

Suporty umožňují pohyb ve dvou navzájem kolmých osách. Tvoří samotný montážní celek, který se skládá z podélného a příčného suportu. Suporty jsou uloženy kluzně na vodících lištách, které jsou přišroubované k loži, popřípadě na valivém vedení.

Vřeteník je část stroje zpravidla skříňovitého tvaru. Je v něm uloženo vřeteno, případně i převodové ústrojí pro změnu otáček vřetena. Vřeteník s vřetenem je pevně spojen s ložem stroje. Frézky a obráběcí centra mají vřeteník upevněn na vedení stojanu stroje. Ve vřeteníku je uloženo vřeteno s hydraulickým upínacím zařízením.

U soustruhu slouží k upínání obrobků. U frézek a obráběcích center k upínání nástrojů [3].

Posuvové mechanismy zajišťují rychlost pohybu suportu a nastavení vzájemné polohy nástroje a obrobku. Skládají se z:

- pohonu posuvových mechanismů,
- kuličkového šroubu s maticí – převod otáčivého pohybu na posuvný,
- odměřovacího zařízení rychlosti a polohy,
- regulátoru rychlosti a polohy.

Systémy automatické výměny nástrojů mají za úkol během automatického pracovního cyklu vyměnit, upnout a správně nastavit potřebný nástroj do výchozí pracovní polohy. Je to skupina uzlů pro manipulaci, polohování a upnutí nástrojových jednotek v pracovním vřetenu obráběcího centra plnící v podstatě úkol automatické výměny nástrojů [6].

Hydraulické zařízení slouží k pohonu hydraulických motorů a zařízení, které jsou na číslicově řízeném obráběcím stroji (upínání obrobků nebo nástrojů, posun koníku, hydraulické spojky).

Média a odvod třísek využívaná ve stavbě číslicově řízených obráběcích strojů můžeme kategorizovat na elektrický proud, olej, vzduch, řeznou kapalinu a třísky. Chlazení nástrojů slouží k rozvodu chladicí kapaliny co nejbližší k břítu nástroje. Centrální mazací soustava zásobuje všechna i těžko přístupná mazací místa správným množstvím oleje pod správným tlakem. Zařízení pro dopravu třísek odvádí třísky z pracovního prostoru stroje [3].

### **3.3 Složení řídicích systémů**

Čtecí zařízení je určeno k načítání dat.

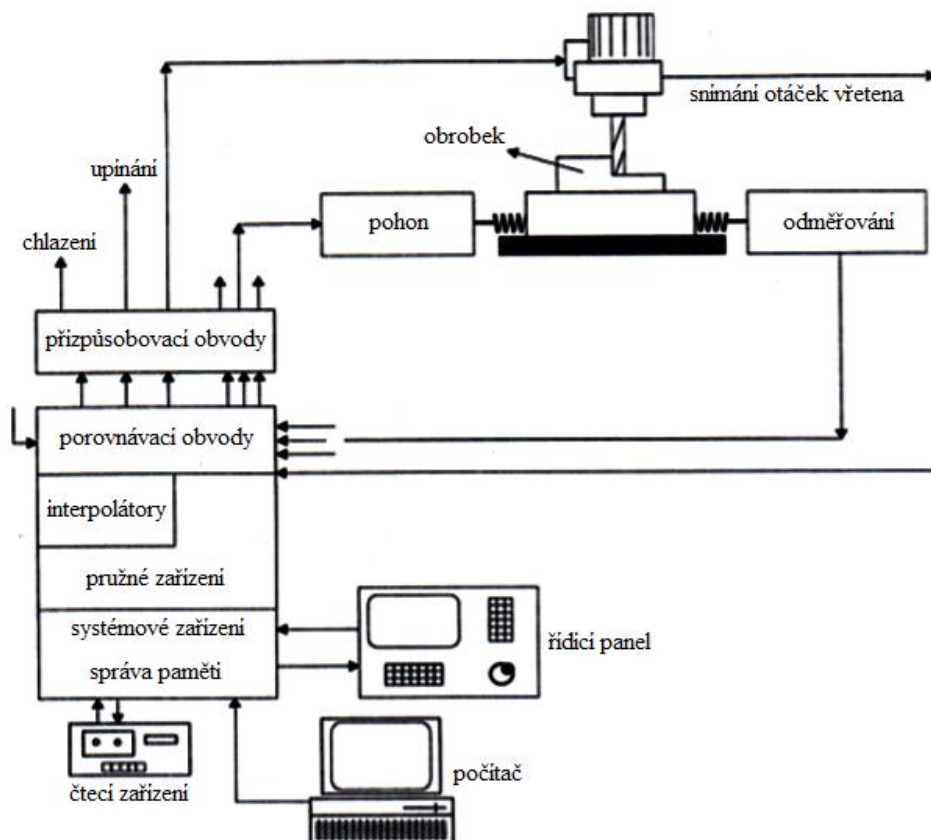
Řízení tvoří:

- systémové řízení a správy paměti,
- pružné řízení,
- interpolátory, které zajišťují současný pohyb po zadané dráze,
- porovnávací obvody (komparátory) ve kterých dochází k porovnávání požadovaných hodnot v programu s hodnotami skutečně naměřenými.

Pokud se zjistí v porovnávacím obvodu odchylky, tak jsou přes řídicí a polohovací obvody, které ovládají jednotlivé servomotory odstraněny.

V přizpůsobovacích obvodech se logické signály zpracovávají pomocí tyristorů, stykačů, relé na srozumitelné silnoproudé elektrické povelové signály, kterými se řídí jednotlivé části stroje (ventily, motory, spojky) [4].

Pohony se dělí na hlavní pohony, pohony posuvu a pomocné pohony.



Obr. 4: Obecné blokové schéma CNC obráběcího stroje [4]

Hlavní pohony otáčejí vřetenem a měli by být plynule regulovatelné při zatížení. Hlavní pohybové motory jsou střídavé (stejnoseměrné) s rychlostní (polohovou) vazbou.

Pohony posuvů se provádí většinou pomocí střídavých servopohonů. Stejnoseměrné servopohony se používají méně často. U pohonů posuvů používáme:

- krokové motory,
- elektrohydraulické pohony,
- elektrické pohony.

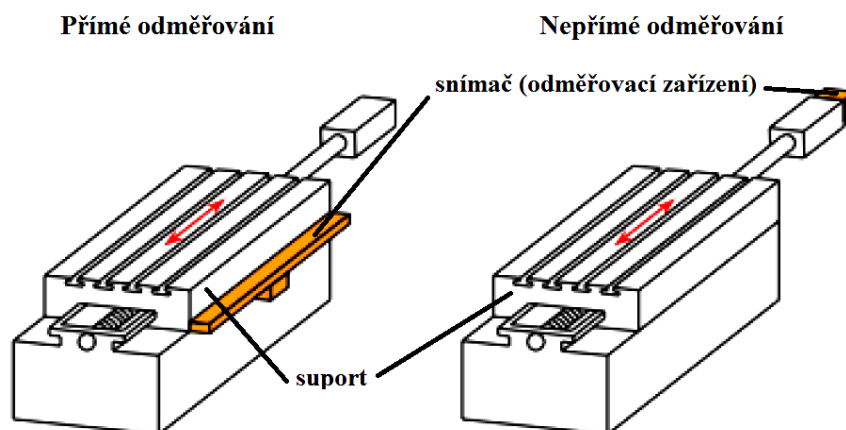
Krokové motory pracují tak, že jednomu řídicímu impulzu odpovídá jeden krok, to je určité pootočení výstupního hřídele motoru. Poloha suportu je určena počtem

impulzů a rychlost pohybu frekvencí. Výhodou je jednoduchost a nepotřebnost odměřovacího zařízení. Nevýhodou je obtížnost kontroly ujeté dráhy.

U elektrohydraulického pohonu ovládá elektrohydraulický krokový motor šoupátko, které řídí přívod oleje do hydromotoru. U pohonu s elektrohydraulickým servoventilem je průtok oleje řízen elektrickým signálem. Výhodou jsou malé rozměry a velké točivé momenty [14].

U elektrických pohonů se většinou používají stejnosměrné regulační motory, u kterých byly otáčky regulovány změnou velikosti proudu přiváděného do rotoru. V současné době se ve stále větší míře používají střídavé asynchronní regulační motory s regulací otáček a změnou velikosti frekvence napájecího střídavého proudu.

Každá osa stroje potřebuje vlastní odměřovací zařízení, které hlásí regulátoru polohy okamžitou polohu suportu. Odměřování se dělí podle umístění snímače polohy na přímé odměřování a nepřímé odměřování a podle konstrukčního provedení na impulsní (fotoelektrické) a indukční (elektrické) [14].

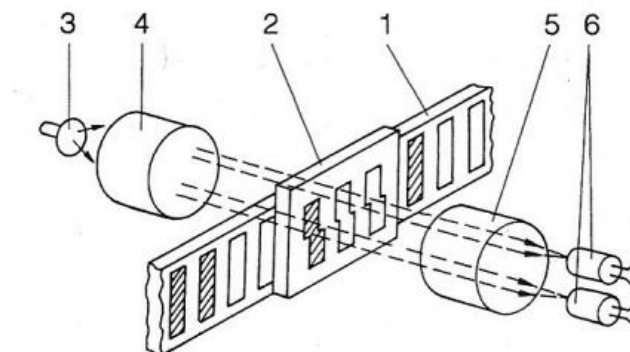


Obr. 5: Přímé a nepřímé odměřování [15]

Přímé impulsní odměřování je umístěno přímo na pohybujících se částech stroje, většinou na suportu. Odměřování se vyznačuje velkou přesností, protože závisí jen na přesnosti snímání z měřítka. Používá se proto jen u velmi přesných strojů (souřadnicových vrtaček, vyvrtávaček, obráběcích center apod.). Jeho nevýhodou je vysoká pořizovací cena.

Principem přímého impulsního odměřovacího zařízení je, že světlo ze světelného zdroje prochází přes spojené čočky na pevné skleněné pravítce a jezdcu. Na skleněném pravítku i jezdcu jsou světlá i tmavá políčka ve tvaru rysek. Skleněné pravítko je připojeno k pevné části stroje, jezdec k pohyblivé části a pohybuje se spolu se světelným zdrojem – fotosnímačem. Délka pravítka musí odpovídat rozsahu měření.

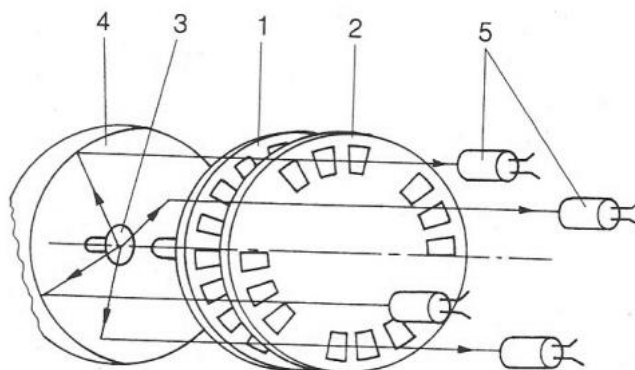
Při pohybu jezdce po pravítku dochází k překrývání světlých a tmavých polí a měří se intenzita světla dopadajícího přes objektiv na fotosnímač. Tím vznikají elektrické impulzy, které se zpracovávají v řídicím systému [11].



Obr. 6: Přímé impulsní odměřování 1. Pevné měřítko 2. Jezdec 3. Světelný zdroj 4.-5. Optická soustava 6. Fotosnímače [11]

U nepřímého impulsního odměřování je snímač polohy umístěn na posuvovém kuličkovém šroubu, a to buď přímo, nebo pomocí převodu. Dráha pohybové části stroje se odměřuje nepřímo a závisí na úhlu natočení kuličkového šroubu. Nevýhodou je menší přesnost měření vlivem nepřesnosti stoupání šroubu. Výhodou je, že odměřovací zařízení je možno umístit mimo pracovní prostor stroje.

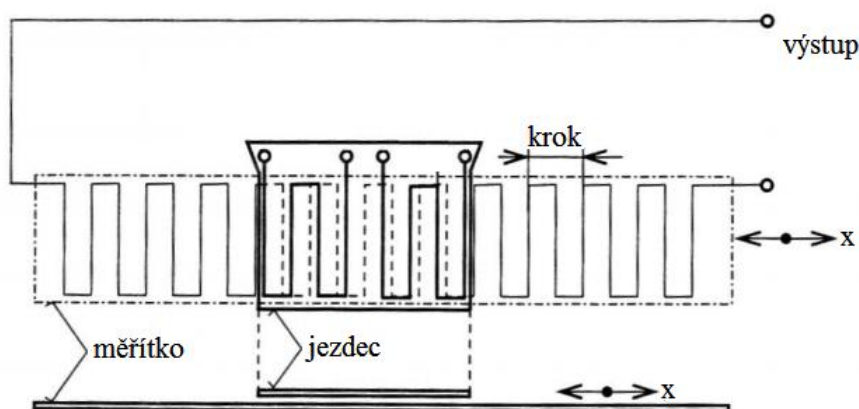
Principem nepřímého impulsního odměřovacího zařízení je využití měřítka ve tvaru skleněného kotouče s velkým počtem světlých a tmavých polí. Kotoučem procházejí světelné paprsky od světelného zdroje přes objektiv a dopadají štěrbinami pevného kotouče na fotosnímače. Úhel pootočení je úměrný velikosti dráhy. Při otáčení kotouče jsou štěrbininy pevného kotouče střídavě zakrývány tmavými a odkrývány světlými ryskami. Tím se mění intenzita osvětlení fotosnímačů. Určení smyslu pohybu je stejné jako u přímého odměřování [11].



Obr. 7: Nepřímé impulsní odměřování 1. Otočný kotouč s ryskami 2. Pevný kotouč s ryskami 3. Světelný zdroj 4. Optická soustava 5. Fotosnímače [11]



Induktosyn se používá pro přímé odměřování. Skládá se z pevné části (měřítko) a pohyblivé části (jezdec). První deska (měřítko) je připevněna na pevné části stroje, druhá pohyblivá deska (jezdec) je připevněna na pohyblivé části stroje. Induktosyn je v podstatě polohový transformátor, který má obě vinutí rozložena v rovině. Závity jsou vedle sebe nejčastěji vyleptány na rovinných nemagnetických deskách. Obě desky mají stejnou rozteč a stejnou výšku závitu. Rozteč je stejná po celé své délce a určuje základní parametr induktosynu, kterým je krok a tím i přesnost polohování stolu. Jezdec se pohybuje přímočaře nad měřítkem a má dvě vinutí, navzájem posunutá o  $\frac{1}{4}$  rozteče. Jezdec tvoří většinou primární vinutí a je napájený proudem o kmitočtu přibližně 2kHz. Při pohybu stolu se indukuje napětí do měřítka. Získaný signál se elektronicky vyhodnocuje a získané impulsy jsou úměrné ujeté dráze stolu [4].



Obr. 8: Induktosyn [12]

### 3.4 Charakteristické znaky číslicově řízených obráběcích strojů

Konstrukce číslicově řízených strojů se musí výrazně lišit od konstrukce konvenčních strojů a to především z důvodů požadované drsnosti povrchu, bezporuchového chodu stroje, snadné a bezpečné obsluhy a podobně.

Pracovník obsluhující konvenční obráběcí stroj má vstupní informace v podobě strojního výkresu součásti s technologickým postupem její výroby. Důležité je, aby se v těchto dokumentech uměl orientovat a uměl v nich číst, zejména pak ve výkresu. Ze zjištěných geometrických informací a druhu použitého materiálu si pracovník určí řezné podmínky vlastního obráběcího procesu (otáčky vřetene, rychlost pracovního posuvu, resp. řeznou rychlost).

U konvenčního obráběcího stroje se jedná o ruční řízení, a proto musí výrobu s jednotlivými pracovními operacemi provádět obsluhující pracovník [2].



*Obr. 9: Konvenční soustruh ANNN YANG DY-1000x2100G [8]*

Pracovník obsluhující číslicově řízený obráběcí stroj má vstupní informace připraveny v podobě výrobního programu. V programu jsou zaznamenány všechny potřebné informace.

Vstupní informace zpracovává programátor a vytvoří pomocí nich výrobní program složený z alfanumerických znaků. Nároky na kompetenci při práci se vstupními hodnotami v podobě strojního výkresu a technologického procesu se zvolením vhodných výrobních podmínek jsou kladeny na programátora. Obsluhujícímu pracovníkovi odpadá předvýrobní příprava a plní pouze kontrolní funkci s případnou výměnou obrobků.

U číslicově řízených obráběcích strojů se jedná o automatické řízení, protože je celý obráběcí proces ovládán programem [2].



*Obr. 10: CNC soustruh HYUNDAI-WIA L210A [9]*

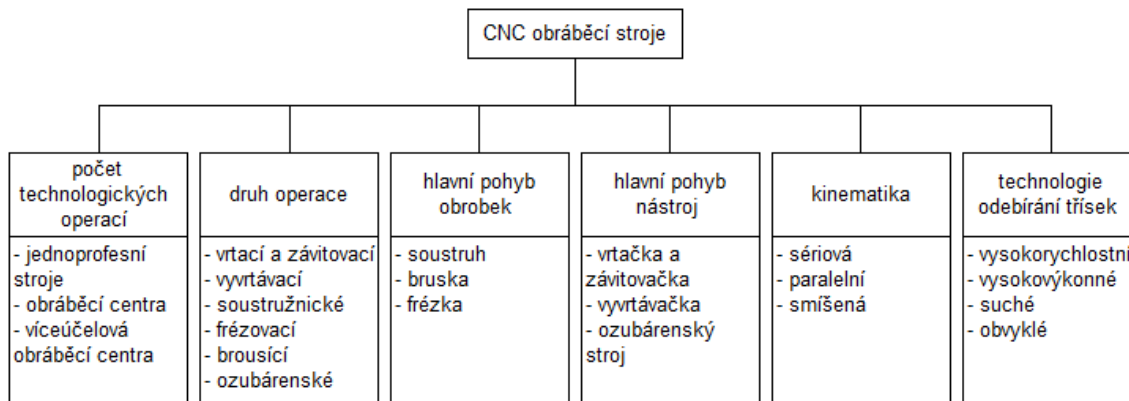
Výroba na číslicově řízených strojích je oproti konvenčnímu stroji produktivnější a hospodárnější a to z mnoha důvodů. Snižují se vedlejší časy na minimum, odpadá výroba, skladování a údržba šablon a přípravků. Také se snižují požadavky na kvalifikaci pracovníků pro obsluhování stroje. Výrobní čas je přesně určen programem a nezávisí na obsluze, což umožňuje přesné plánování výroby. Odpadají chyby a nepřesnosti způsobené nepozorností obsluhy. Umožňují obrábět velmi složité tvary, popřípadě tvary, které jsou zadány matematickými funkcemi.

K přednostem patří vysoká manipulační schopnost (výměna nástroje, obrábění ve více osách apod.), provádění úkonů podle posloupnosti zadaného programu, opětovné obrábění bez nutnosti nastavení stroje.

Hlavní výhodou je opracování nástrojem ve více osách, vysoká přesnost, spolehlivost, rychlá výměna nástroje, jednoduché upevnění dílce a omezení lidské činnosti na oblast manipulace a tvorby programu [13].

## 4 ROZDĚLENÍ ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Číslicově řízené obráběcí stroje rozdělujeme pomocí šesti hledisek, které jsou uvedeny v obr. 11. Kromě naznačeného členění, mohou nastat kombinace. Pro jednoprofesní číslicově řízený obráběcí stroj je charakteristické, že pro technologii třískového obrábění využívají převážně jeden druh operace, a to soustružení, vrtání, vyvrtávání, frézování, broušení a výroba ozubení [1, 3].



Obr. 11: Rozdělení CNC obráběcích strojů [3]

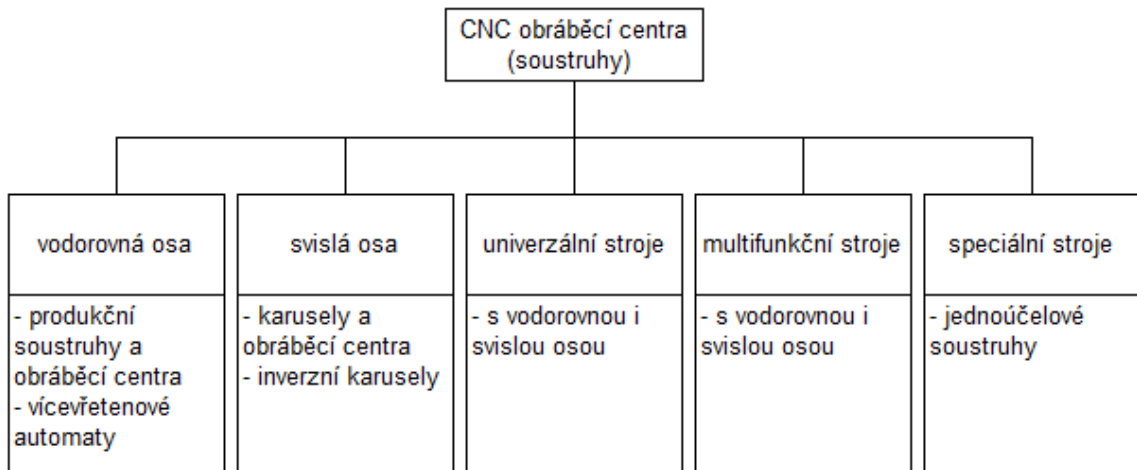
Pokud má obráběcí stroj možnost provádět různé druhy operací a provádět automatickou výměnu nástrojů a obrobků, pak hovoříme o obráběcím centru. Obráběcím centrem rozumíme takový číslicově řízený stroj, který pracuje v automatickém cyklu, může pracovat v bezobslužném provozu a je vybaven prvky diagnostiky a měření [1, 3].

### 4.1 Číslicově řízené soustružnické stroje

Číslicové řízení přineslo do soustruhů nové možnosti práce, zjednodušení konstrukce a nutná konstrukční opatření. Zjednodušila se výroba tvarových rotačních ploch, kinematická vazba byla nahrazena vazbou v řídicím počítači [6].

Soustružnické stroje patří do skupiny strojů s geometricky definovaným břitem. Jsou určeny pro obrábění součástí rotačních tvarů. Hlavní řezný pohyb je rotační a koná ho obrobek, který je upnutý ve vřetenu. Nástroj (soustružnický nůž) koná obvykle přímočarý pohyb. Lze na nich provádět spoustu operací a to zejména obrábět vnější a vnitřní rotační plochy, řezat závity, vrtat, vyvrtávat, vystružovat, brousit vnější a vnitřní válcové plochy atd. [1].

U soustružnických strojů je charakteristický rotační hlavní řezný pohyb, který je dosahovaný otáčením obrobku. Zásadním konstrukčním problémem je spojit obrobek s rotující částí obráběcího stroje a přenést na něj točivý moment od systému hlavního pohonu. Přesnost práce závisí na přesnosti uložení rotující činné části (upínací desky a vřetena) soustružnického stroje, její statické tuhosti a tvarové přesnosti. Proto se klade velký důraz na konstrukci, výpočet vřeten a výpočet upínacích desek [3].



Obr. 12: Rozdělení soustružnických strojů [3]

Nástroj, kterým je nejčastěji soustružnický nůž, musí být upevněn k pohyblivé části stroje. Pomocí pohyblivé části je veden rovnoběžně, kolmo nebo různoběžně vzhledem k ose rotace obrobku. Z tohoto důvodu byly vyvinuty suporty a saně, u kterých je věnována pozornost konstrukci a propočtům jejich těles a vedení.

Číslicové řízení přineslo do soustruhů nové možnosti práce, zjednodušení konstrukce a nutná konstrukční opatření. Zjednodušila se výroba tvarových rotačních ploch, kinematická vazba byla nahrazena vazbou v řídicím počítači [6].

#### 4.1.1 Konstrukce hlavních uzlů soustružnického stroje

Lože je základní nosnou částí stroje, která musí zajišťovat zejména v ohybu a kroucení vysokou tuhost. Ta se docílí vhodným profilem lože, pokud možno s uzavřenými a vyztuženými žebry. Lože musí umožnit dobrý odvod třísek z důvodu možného hromadění horkých třísek, které způsobují teplotní dilatace a tím ovlivňují výslednou přesnost. Tuhost tvaru je speciálním požadavkem, který lze dosáhnout upevněním stroje na betonový základ vhodně dimenzovanými základovými šrouby [3].

Vřeteník je pevně spojen s ložem, je u něj kladen důraz na dostatečnou tuhost a ovlivňuje kvalitu celého stroje. Musí bezpečně zachycovat radiální a axiální zatížení od

řezného procesu a hmotnosti obrobku. U nových koncepcí soustruhů tvoří vřeteník samostatný uzel skladby soustruhu, který výrazně ovlivňuje kvalitu celého stroje [1].

Vřetena malých a částečně i středních soustruhů mají pro upínání obrobků snímatelné univerzální sklíčidlo a upínací desku. Na vřetena velkých a částečně i středních soustruhů je pevně nasazena upínací deska. Úkolem vřetena je dát obrobku přesný otáčivý pohyb. Vřeteno je uloženo v předním a zadním ložisku tak, aby přenášelo radiální a axiální síly. Uložení vřetena v předním ložisku má rozhodující vliv na přesnost jeho otáčivého pohybu. Přední konec vřetena je normalizován pro nasazení sklíčidla, upínací desky, hrotu ke středění obrobku nebo upínací kleštiny [3].



Obr. 13: Popis tříčelistového sklíčidla a mechanismus utahování sklíčidla [16]

Suport soustruhu je spojovacím článkem mezi nástrojem a ložem. Zachycuje a přenáší síly vznikající při obrábění. Je tvořen stavebnicovou skladbou z několika částí vzájemně po sobě pohyblivých. Při jejich konstrukci je nutno uvažovat nejen o jejich parametrech tuhosti v ohybu, kroucení a tlaku, ale především o stykové tuhosti spojení jednotlivých částí, která jsou převážně suvná. Je nutno počítat s vlivy vůlí v jednotlivých vedeních, které budou ovlivňovat celkovou deformaci suportu měřenou na nástroji a tím i přesnost [6].

Koník slouží především k upínání obrobku mezi hroty. Tuhost hrotové objímky (pinoly) má podobný vliv na tuhost stroje jako tuhost vřetena. Z důvodu stejně přesné práce po celé délce obráběného kusu je nutné provést radiální tuhost hrotové objímky i celého koníku pokud možno stejnou jako u vřetene, resp. jako u celého vřeteníku. Pokud jde o tuhost axiální (ve směru podélné osy stroje), je požadavek opačný než u vřetena. Axiální tuhost vřetena má vliv na geometrickou přesnost obrobku při čelním soustružení, což u axiální tuhosti koníku vliv nemá, naopak je u něj požadavek na určitou poddajnost. Jelikož obrobek upnutý mezi hroty se při obrábění ohřevem roztahuje a při velkých délkách může roztažení nabýt značných rozměrů, při axiálně tuhém hrotu s hrotovou objímkou by koníku toto roztažení způsobilo zvýšení axiální

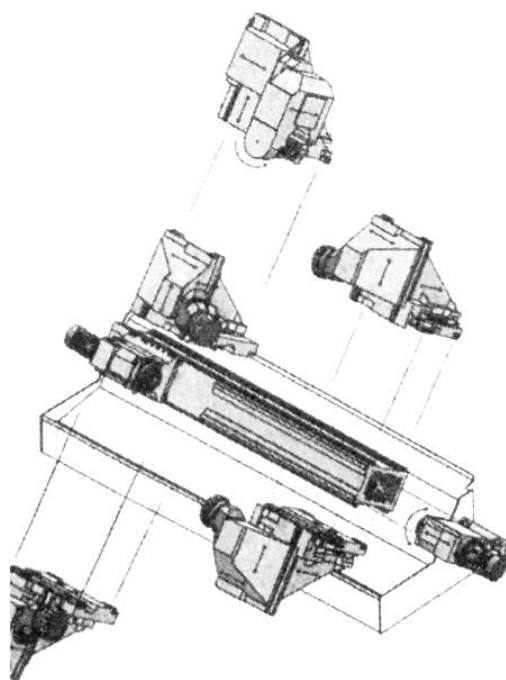
síly na hrot a vedlo by k určité deformaci obrobku a tím i ke geometrické nepřesnosti. U velkých soustruhů se proto provádí odpružení hrotové objímky koníku mechanicky pružinami nebo hydraulicky [1, 3].

Opěry se rozdělují na opěry (lunety) pevné a opěry posuvné (unášivé).

Opěry pevné se používají k podepření dlouhých obrobků se štíhlostním poměrem  $L/D > 10$  upnutých mezi hroty nebo místo koníku při obrábění dutiny. Opěrné styky jsou buď kluzné, nebo při větších rychlostech valivé. Horní polovina opěrky je odklopná nebo snímatelná, aby se do ní dal obrobek vložit.

Opěry posuvné slouží k podepření dlouhých štíhlých obrobků (hřídelí) v bezprostřední blízkosti nástroje (nože) na obrobené části. Unášivá opěra je upevněna na podélných saních suportu, takže zachovává nastavenou polohu vůči nástroji při jejich podélném pohybu.

Uvedené základní uzly mohou tvořit stavebnicovou soustavu (obr. 14). Potom lze kombinací docílit různých provedení dle přání zákazníka [3].



Obr. 14: Modulární výstavba hlavních konstrukčních uzlů [1]

#### 4.1.2 Řezné podmínky při soustružení

Řezná rychlost se skládá z hlavního a posuvného pohybu.

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot \min^{-1}]$$

Řezná rychlost závisí především na mechanických vlastnostech materiálu obrobku, na druhu soustružnického nože a na tloušťce odřezávané vrstvy materiálu.

Posuv je vzdálenost, o kterou se při soustružení posune nůž za jednu otáčku.

$$f_{ot} = \frac{f_{min}}{n} [mm \cdot ot^{-1}]$$

Velikost posuvu:

- při hrubování  $s = 0,4$  až  $5$  mm,
- při práci nanečisto  $s = 0,06$  až  $0,3$  mm,
- při hlazení  $s = 0,005$  až  $0,05$  mm.

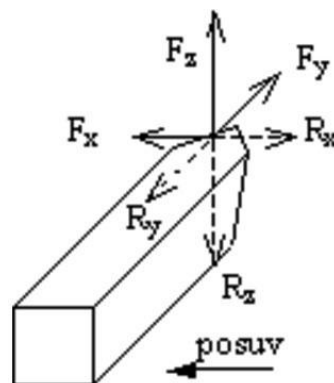
Průřez třísky je průřez odebírané vrstvy materiálu, který má vliv na zatížení břitu a na absolutní velikost řezné síly.

$$A = f_{ot} \cdot a_p [mm^2]$$

Objem odebraného materiálu je jedním z hlavních kritérií pro hodnocení ekonomiky řezného procesu [20].

$$Q = a_p \cdot f_{ot} \cdot v [cm^3 \cdot min^{-1}]$$

Řeznou silou se rozumí síla, kterou je nutno vynaložit k překonání řezného odporu. Je zřejmé, že řezná síla a řezný odpor jsou spolu ve vztahu akce a reakce. Materiál reaguje na působení nástroje.



Obr. 15: Řezné síly a odpory [17]

Tangenciální složka řezné síly  $F_z$  překonává odpor  $R_z$  proti hlavnímu pohybu. Je největší ze všech složek. Axiální složka řezné síly  $F_x$  překonává odpor  $R_x$  proti posuvu. Radiální složka řezné síly  $F_y$  překonává odpor  $R_y$  proti vnikání nástroje do hloubky [17].

Pro celkovou řeznou sílu platí:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} [N].$$



Výkon určuje působení řezné síly při relativním pohybu nástroje vůči obrobku charakterizovaném řeznou rychlostí. Celkový potřebný příkon obráběcího stroje se určuje ze vztahu:

$$P_c = P_0 + P_1 + P_2 [W].$$

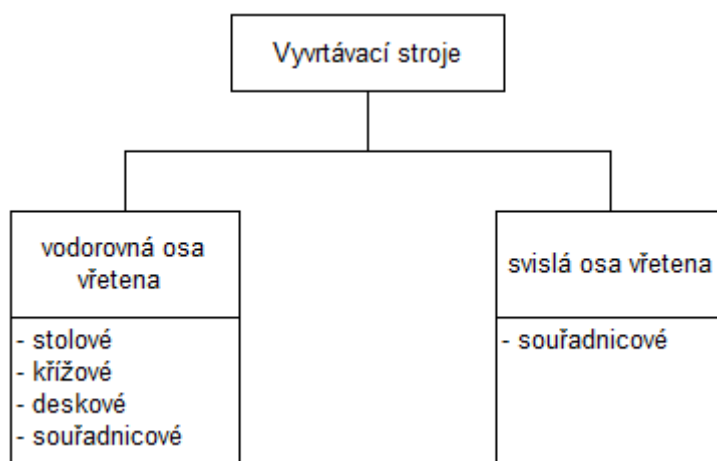
Protože příkon potřebný pro dosažení posuvu je oproti příkonu potřebnému pro dosažení hlavního pohybu prakticky zanedbatelný, je možno celkový příkon stroje určit z jednoduchého vztahu:

$$P_c = \frac{P_1}{\eta} [W] [17].$$

## 4.2 Číslicově řízené vrtací a vyvrtávací stroje

Vrtací stroje jsou určeny pro obrábění otvorů. Hlavní řezný pohyb je otáčivý a koná ho nástroj, který je upnutý ve vřetenu. Vřeteno vykonává současně pohyb rotační a posuvný, při práci se musí posouvat ve směru osy vůči obrobku. I když se na první pohled nejedná o bohatou skupinu strojů, jsou číslicově řízené vrtací stroje plnohodnotnou skupinou. Nejběžnějším spotřebitelem těchto strojů je automobilový, elektrotechnický a zbrojařský průmysl [3,5].

Vyvrtávací stroje jsou určeny pro výkonné obrábění otvorů, přesné obrábění otvorů a obrábění čelních ploch (zejména u nerotačních součástí). Hlavní řezné pohyby jsou rotační řezné pohyby nebo přímočaré posuvné pohyby ve třech osách a koná ho zpravidla nástroj, který je upnutý v pracovním vřetenu [1].



Obr. 16: Rozdělení CNC vyvrtávacích strojů [1]

Vrtačky jsou namáhány zejména osovým tlakem a momentovou dvojicí. Proto musí být konstrukce řešena s ohledem na charakter zatížení. Lze na nich provádět zejména

obrábění děr (šroubovitým vrtákem, výhrubníkem a výstružníkem), zarovnání a zahlubování čel otvorů a pro řezání závitů závitníkem. Konstrukce všech uzlů vrtacího stroje musí být řešena s ohledem na charakter zatížení při vlastním obrábění. Vrtačky jsou namáhány především osovým tlakem a dále momentovou dvojicí [3].

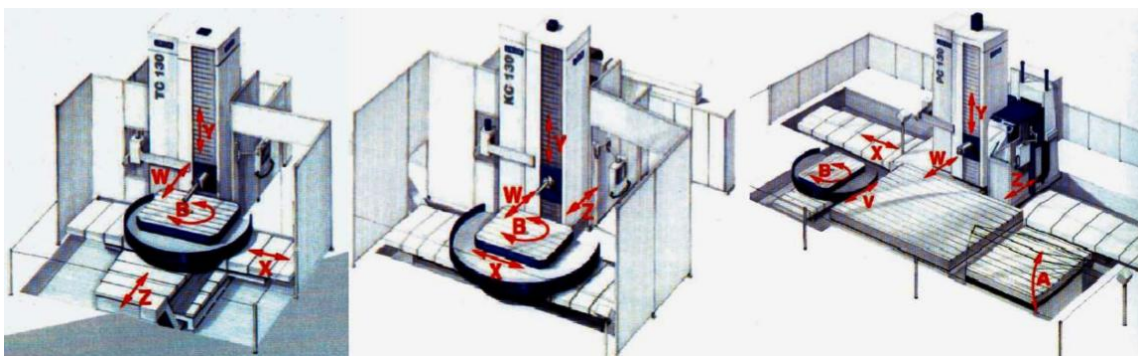
Pro vyvrtávací stroje je typické, že mají ve vřeteníku umístěna vřetena pro frézovací a zároveň pro vyvrtávací nástroje. Základní technologická operace, která se provádí na vyvrtávacích strojích, je obrábění převážně nástrojem s jedním břitem. Ta klade zvýšené nároky na tuhost stroje.

Pro vyvrtávací stroje je typické, že mají ve vřeteníku umístěna vřetena pro frézovací a zároveň pro vyvrtávací nástroje. Základní technologická operace, která se provádí na vyvrtávacích strojích, je obrábění převážně nástrojem s jedním břitem. Ta klade zvýšené nároky na tuhost stroje [1].

Stolové vyvrtávačky jsou vybaveny křížovým stolem, ten umožňuje posuv ve dvou na sebe kolmých směrech. Křížový stůl bývá otočný, a proto umožňuje obrábět součást na jedno upnutí ze čtyř stran. Stolové vyvrtávačky jsou zpravidla menších rozměrů (průměr vyvrtávacího vřetena do 110 mm).

U křížových vyvrtávaček je stůl s obrobkem pohyblivý pouze v příčném směru a stojan pohybující se po loži ve směru kolmém. Křížové vyvrtávačky jsou zpravidla středních rozměrů (průměr vyvrtávacího vřetena od 80 mm do 160 mm).

U deskových vyvrtávaček je obrobek nepohyblivý. Vřeteník se posouvá po svislém vedení stojanu, který se pohybuje po loži kolmo k ose vřetena. Deskové vyvrtávačky jsou zpravidla velkých rozměrů (průměr vyvrtávacího vřetena od 130 mm až do 315 mm) [1, 3].

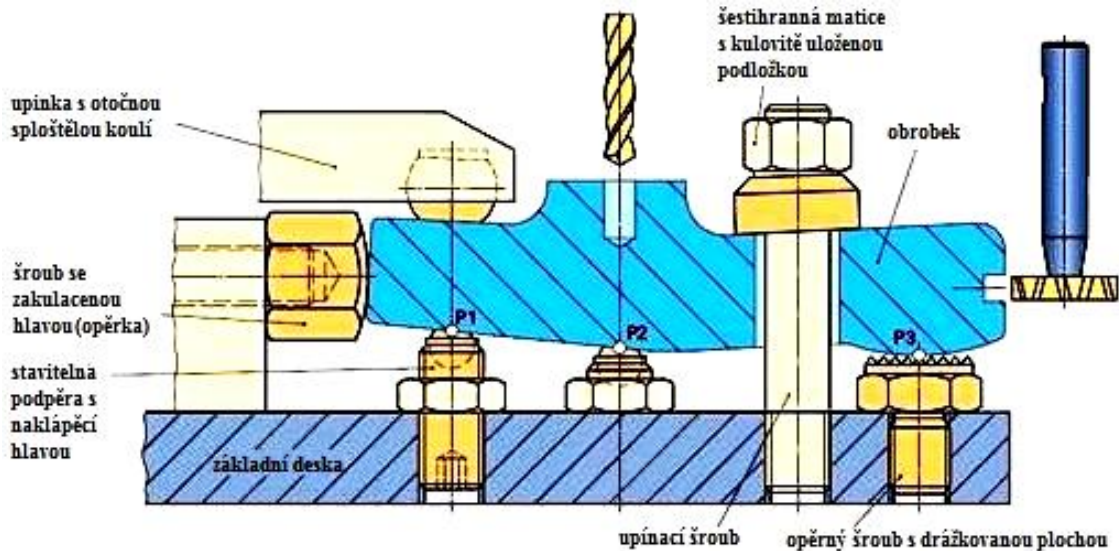


Obr. 17: Varianty stolové, křížové a deskové vyvrtávačky [3]

Při upínání obrobku či přípravku se musíme držet zásady, že upínaný předmět musí mít oporu ve třech bodech, které neleží na přímce. Upínací body by měly být co nejdále

od sebe. Třemi body je určena jednoznačně poloha a přítlakem tělesa ke třem oporám není obrobek deformován [16].

Pro dokonalé upnutí obrobku či přípravku se používají i mechanické upínací prvky, mezi které patří upínací šrouby, upínky, podložky, podpěry. Upínací šrouby musí být k upínané součásti co nejbližší [16].

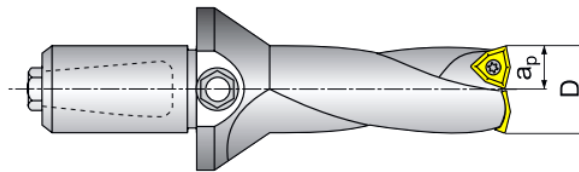


Obr. 18: Upenutí obrobku při vrtání [16]

#### 4.2.1 Řezné podmínky při vrtání

Řezná rychlost, která je měřítkem hlavního pohybu, je u vrtacích nástrojů největší na obvodě, zmenšuje se ke středu nástroje, kde je nulová. Řeznou rychlostí je obvodová rychlost největšího průměru vrtáku. Její velikost je dána vztahem:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot \min^{-1}] [18].$$



Obr. 19: Schéma vrtání [20]

Posuv je dráha, kterou obrobek vykoná za pohybu do záběru.

$$f_z = \frac{f_{min}}{Z_{elf}} [mm]$$

Průřez třísky je průřez odebírané vrstvy materiálu, který má vliv na zatížení břitu a na absolutní velikost řezné síly.

$$A = f_{ot} \cdot a_p [mm^2]$$

Objem odebraného materiálu je jedním z hlavních kritérií pro hodnocení ekonomiky řezného procesu [20].

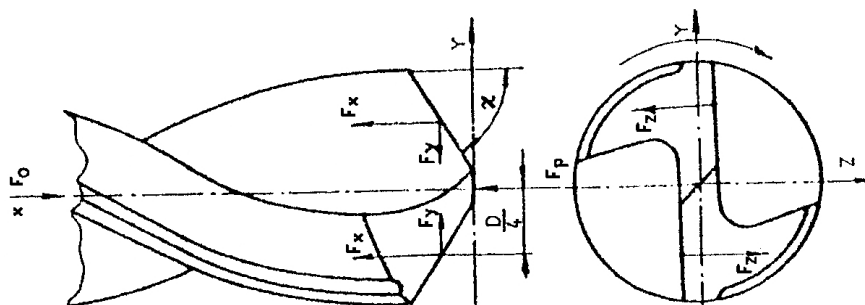
$$Q = f_{min} \cdot \frac{\pi \cdot D_n^2}{4000} [cm^3 \cdot min^{-1}]$$

Řezné síly působí na rameni vrtáku a vyvolávají krouticí moment.

$$M_k = F_z \cdot \frac{D}{2} [N \cdot m]$$

Síla  $F_z$  závisí na poměru vrtáku, na velikosti posuvu, materiálu a úhlu nastavení. Síla  $F_x$  působí ve směru osy vrtáku.

$$F_z = \frac{C \cdot D_n \cdot s_o^{0,8}}{\sin \kappa} [N]$$



Obr. 20: Silové poměry na vrtáku

### 4.3 Číslicově řízené frézovací stroje

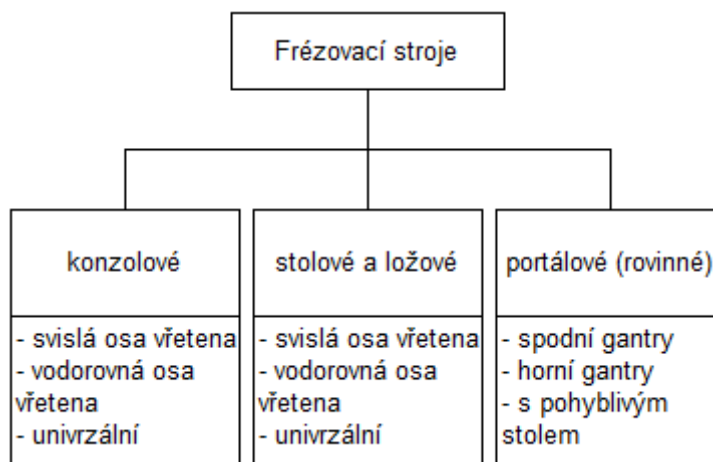
Frézovací stroje jsou určeny pro obrábění rovinných ploch, rovných ploch, zakřivených drážek, závitů, zubů ozubených kol. Hlavní řezný pohyb je rotační a koná ho nástroj [1].

Princip frézování je založen na využívání mnoho břitového nástroje. Jednotlivé břity vcházejí při obrábění do záběru postupně a opět ze záběru vycházejí. Z tohoto tvrzení vyplývá cyklická proměnnost výsledné řezné síly nebo momentu na nástroji [6].

Frézovací stroje umožňují kromě frézování i další operace třískového obrábění (vrtání, řezání závitů) a mohou být doplněny zásobníkem nástrojů a palet s jejich automatickou výměnou. Z tohoto pohledu se pak jedná o obráběcí centrum. I když dochází ke stírání těchto zřetelných hranic mezi druhy strojů, je koncepce frézovacích strojů natolik specifická, že je takto nazýváme dále.

Podle konstrukční koncepce a druhu frézovacích operací se frézovací stroje, viz obr. 21, dělí na frézky konzolové, stolové, ložové a portálové (rovinné).

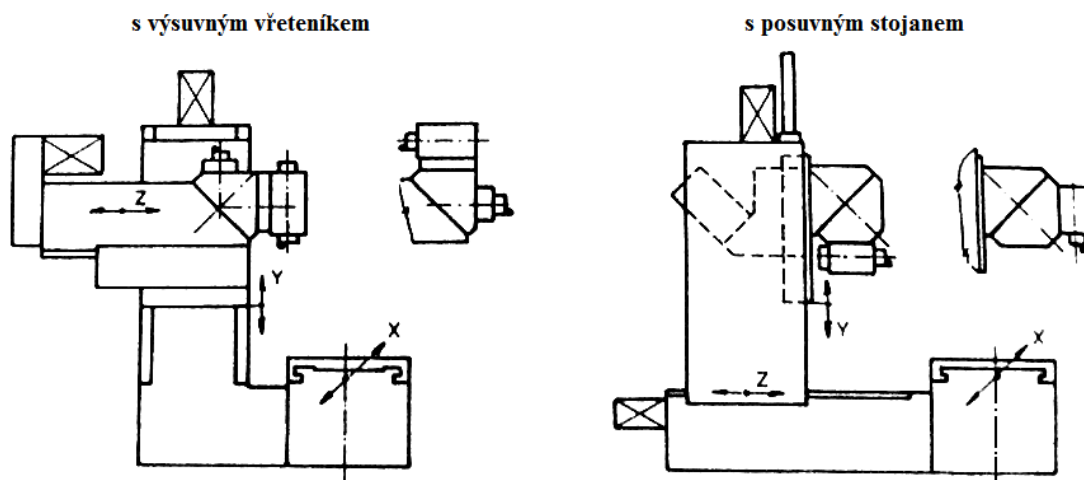
Toto dělení však považujeme spíše za historické, které s vývojem číslicově řízené techniky ztratilo na významu. Souvisí to se zavedením pojmu obráběcí centrum. U portálových strojů se jedná spíše o obráběcí centra, a proto si v této kapitole popíšeme pouze stolové frézky [3].



Obr. 21: Rozdělení frézovacích strojů [3]

Stolové frézky jsou novějším typem frézovacích strojů, které nahrazují v určité oblasti dříve používané konzolové frézky. Jejich hlavní výhodou je neměnná výška upínací plochy stolu. Svislý pohyb vykonává vřeteník. Jsou podstatně tužší, s vyšší pracovní přesností [6].

Nejčastěji využívané typové varianty stolových frézek jsou uvedeny na obr. 22. V této základní koncepční variantě se na loži pohybuje podélně pracovní stůl. Svislý posuvový pohyb pak vykonává ve vedení stojanu uložený vřeteník s vodorovnou či svislou polohou osy vřetena.



Obr. 22: Přehled možných koncepcí stolových frézek s jedním pohybem v obrobku [6]

Snahy po zvyšování základních užitých parametrů, jako jsou výkonnosti a kvality obrábění, motivoval vývoj nových koncepcí, kde se začalo opouštět od tradiční koncepce s křížovým stolem a obrobek je posouván pouze v jedné, podélné souřadnici. Ve většině případů byl aplikován vřeteník s otočnou hlavou, která umožňuje nastavení polohy vřetena do vodorovné nebo svislé polohy v automatickém cyklu [6].

Z obr. 22 je na první pohled zřejmé, že koncepce se velmi blíží koncepčnímu řešení stolových vyvrtávacích strojů. Základním koncepčním znakem těchto strojů je, že tři základní posuvné souřadnice dvojice obrobek – nástroj, jsou rozděleny:

- obrobek – posuv v podélné souřadnici X,
- nástroj – posuv v příčné a svislé souřadnici Y, Z.

Konstrukční řešení jednotlivých uzlů stolových frézek se vyznačuje snahou po docílení maximální tuhosti. Vodící plochy jsou řešeny na principu dvojitého, plochého, uzavřeného vedení, s ohledem na směry a velikosti vnějších zatížení. S ohledem na relativně vysoké zatížení ve všech směrech jsou vodící plochy předdimenzovány a řešeny zpravidla na principu kalených delších vodících ploch s protiplochou vytvořenou obložením litinového stolu umělou hmotou. Jako umělá hmota se nejčastěji používá Turcit [1].

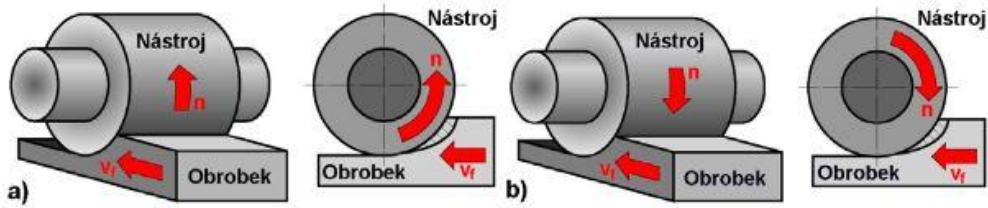
#### **4.3.1 Nesousledné a sousledné frézování**

Podle směru pohybů posuvů vzhledem ke směru rotace frézy rozlišujeme nesousledné a sousledné frézování.

Při nesousledném frézování se obrobek posouvá k fréze proti směru jejího otáčení. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Tříška se tvoří postupně od nejmenší až po největší tloušťku. K oddělování třísky dochází po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Přitom vznikají silové účinky a deformace způsobující zvýšené opotřebení břitu. Práce frézy je klidná a bez rázů. Řezná síla při nesousledném frézování má složku, která působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu stroje [19].

Při sousledném frézování se obrobek posouvá k fréze ve směru jejího otáčení. Břity frézy odřezávají třísku od maximální hodnoty do minimální hodnoty. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru. Řezné síly působí obvykle směrem dolů, proti stolu stroje. Sousledné frézování může probíhat pouze na přizpůsobeném stroji při vymezené vůli a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu frézky. V opačném

případě způsobuje vůle nestejný posuv, při němž může dojít k poškození nástroje, popř. stroje [19].



Obr. 23: Válcové frézování a) nesousledné b) sousledné [16]

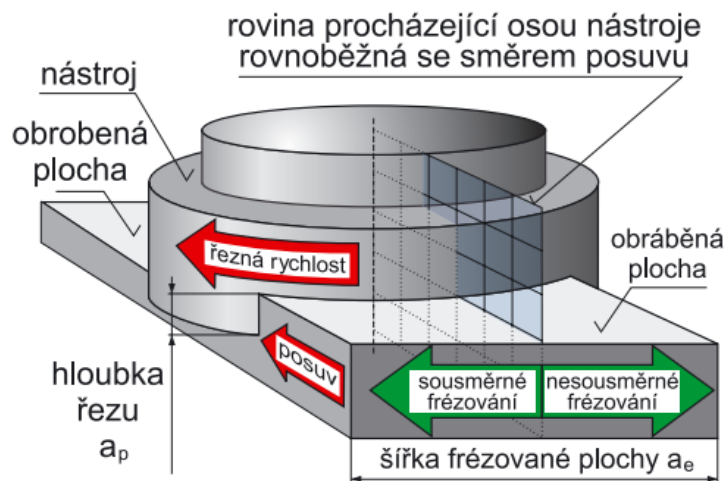
Zvětšováním posuvu při nesousledném frézování se zvětšuje řezná rychlost. Před vniknutím břitu do materiálu (tříška se tvoří při určitém tlaku a při určité hloubce řezu) klouže břit po povrchu a tím se opotřebovává jeho hřbet. Po vniknutí břitu do materiálu se zvětšuje tloušťka třísky a narůstá řezná síla. Řezná síla má snahu obrobek zvednout.

Při sousledném frézování má posuv a řezný pohyb stejný směr. Břit začíná řez nárazem do materiálu a záběrem tlusté třísky. Fréza je od materiálu odtlačována. Řezná síla a tloušťka třísky během záběru klesá. Oproti nesouslednému frézování má lepší kvalitu obrobeneho povrchu a nástroj má delší trvanlivosti. Hloubka řezu musí být taková, aby byl v záběru alespoň jeden břit. Sousledným frézováním nesmějí být obráběny odlitky a válcované polotovary [19].

### 4.3.2 Řezné podmínky při frézování

Řezná rychlost při frézování je dráha, kterou urazí hrana břitu každého zubu frézy. Zpravidla se udává v posuvu na zub.

$$v = \frac{\pi \cdot D_n \cdot n}{1000} [m \cdot min^{-1}]$$



Obr. 24: Schéma frézování [20]

Posuv je dráha, kterou obrobek vykoná za pohybu do záběru.

$$f_z = \frac{v_f}{z_{elf} \cdot n} [mm]$$

U strojů je většinou udáván ve velikosti posuvu, který lze spočítat jednoduchým vztahem.

$$v_f = f_z \cdot z_{elf} \cdot n [mm \cdot min^{-1}]$$

Průřez třísky je průřez odebírané vrstvy materiálu, který má vliv na zatížení břitu a na absolutní velikost řezné síly.

$$A = f_z \cdot a_p [mm^2]$$

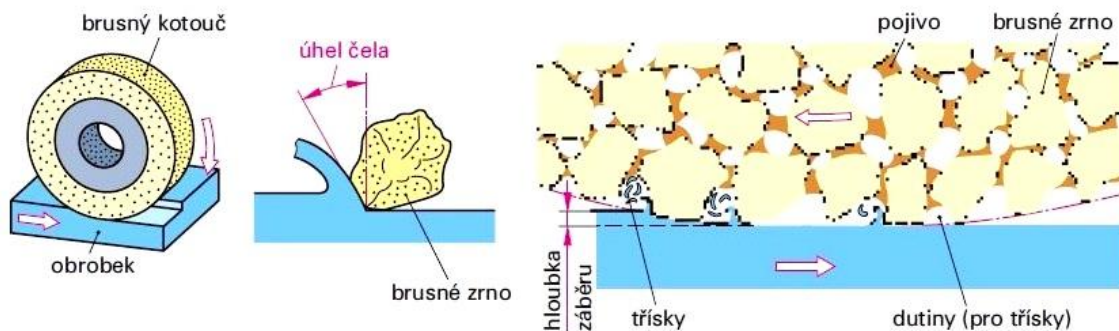
Objem odebraného materiálu je jedním z hlavních kritérií pro hodnocení ekonomiky řezného procesu [20].

$$Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot f_{min}}{1000} [cm^3 \cdot min^{-1}]$$

#### 4.4 Číslicově řízené brousící stroje

Brousící stroje patří do skupiny strojů pracujících s geometricky nedefinovaným břitem. Jsou určeny pro broušení materiálů. Hlavní řezný pohyb je rotační a koná ho nástroj. Vedlejší pohyb vykonává obrobek. Kromě brusek sem patří stroje pro honování a lapování [1].

Používají se zejména tehdy, je-li požadován přesný tvar a drsnost obrobku s přesností až 0,2 μm. Důležitou vlastností způsobu obrábění na těchto strojích je možnost obrábění kalených materiálů [6].

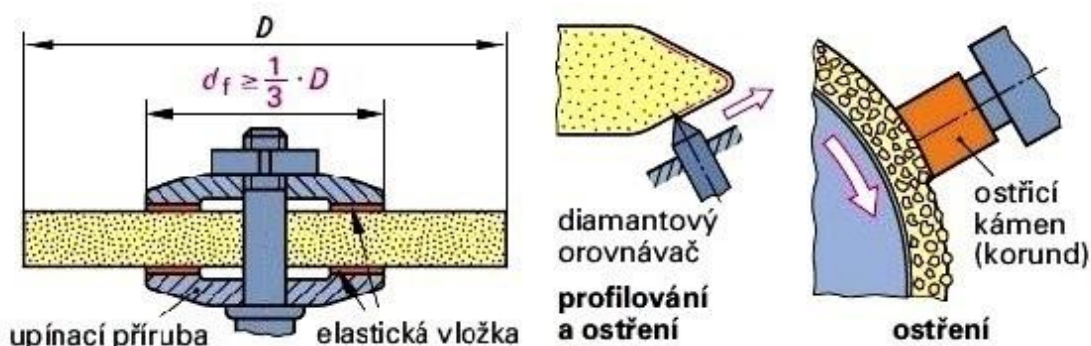


Obr. 25: Odběr třísek brusným nástrojem [16]

Za brousící nástroje považujeme brusný kotouč, brousící a obtahovací kameny, brousící tělíska a brusné šneky. Těleso nástroje je tvořeno brusnými zrny a pojivem s drobnými dutinami. Brusná zrna jsou přírodní (korund, smírek) nebo umělé (umělý



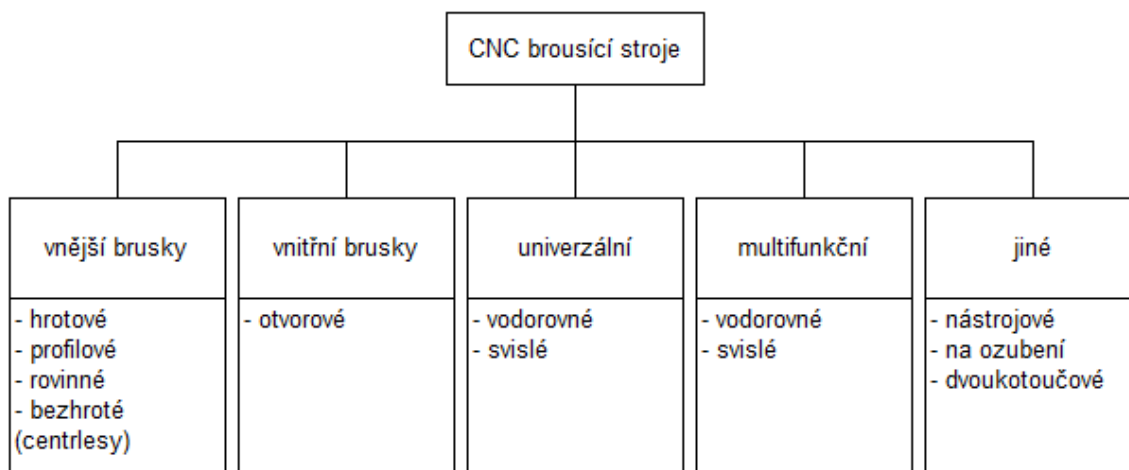
korund, syntetický diamant). Pojivo spojuje brusná zrna do požadovaného tvaru brousícího nástroje. Jako pojiva používáme keramiku (dobře se orovňuje a je porézní), umělou pryskyřici (vhodná na pružné kotouče a na vyšší úběr) a silikát [21].



Obr. 26: Upínání a orovňávání kotouče [16]

Před každým upnutím se brusný kotouč zkouší na výskyt trhlin. Brusný kotouč se upíná na trn a mezi upínací příruby a brusný kotouč se vkládají elastické vložky o tloušťce 0,5 až 2 mm.

Účelem orovňávání brusných kotoučů je obnovit nebo vytvořit na brusném kotouči požadovaný tvar, obnovit řezivost kotouče a zlepšit jakost broušeného povrchu. U profilování se vytvoří tvar kotouče, dosáhne se kruhovitosti obvodu kotouče a rovinnosti čel. Ostření slouží k odstranění částí pojiva a otupených zrn brusiva na povrchu kotouče. Získávají se tak nové prostory mezi zrny pro odvod třísek [16, 21].



Obr. 27: Rozdělení CNC brousících strojů [3]

Hrotové brusky jsou určeny pro broušení vnějších válcových a kuželových ploch. Rovinné brusky slouží především k broušení rovinných ploch. Bezhroté brusky slouží k broušení rotačních ploch obrobků za pomoci brusného a podávacího kotouče. Nástrojové brusky jsou určeny k ostření nástrojů (frézy, výstružníky) [1].

#### 4.4.1 Řezné podmínky při broušení

Řezná rychlost se při broušení volí co největší, ovšem musíme brát zřetel na pevnost kotouče. Jedná se o obvodovou rychlost kotouče.

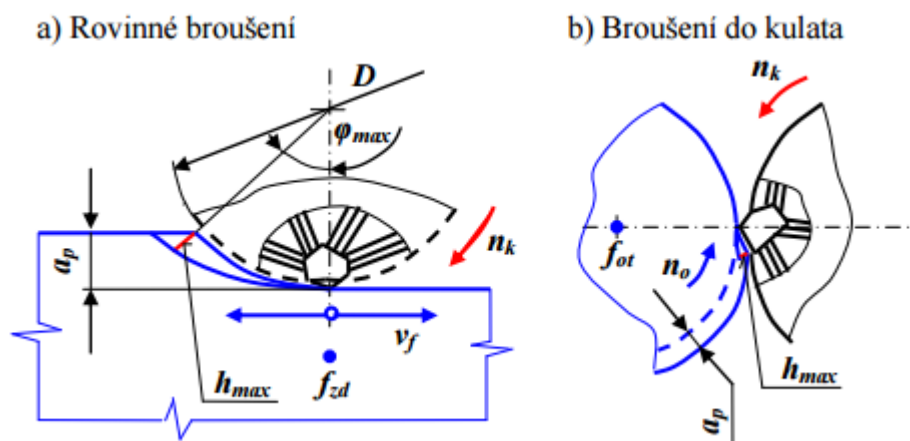
$$v = \frac{\pi \cdot D_n \cdot n}{1000} [m \cdot \text{min}^{-1}]$$

Střední průřez třísky u rovinného broušení.

$$A_s = \frac{v_f \cdot \varphi_{max}}{360 \cdot n} \cdot \sqrt{\frac{a_p}{D_n}} \cdot f_{zd} [mm^2]$$

Střední průřez třísky při broušení do kulata.

$$A_s = \frac{v_o}{v} \cdot a_p \cdot f_{ot} [mm^2]$$



Obr. 28: Parametry při broušení [22]

Posuv obrobku při rovinném broušení odpovídá rychlosti posuvu stolu a při broušení dokulata odpovídá obvodové rychlosti broušené plochy na obrobku [21].

$$f_{ot} = (0,3 \text{ až } 0,7) \cdot B [mm \cdot \text{ot}^{-1}]$$

Přesnost rozměrů a drsnost povrchu při broušení je ovlivněna mnoha faktory. Vyšší kvality dosáhneme především jemnou zrnitostí brusného kotouče, vyšší obvodovou rychlostí a nižší rychlostí obrobku a menším podélným posuvem při broušení mezi hroty či menším posuvem na zdvih při rovinném broušení [22].

Tab. 1: Dosahovaná přesnost rozměrů a drsnost povrchu při broušení [22]

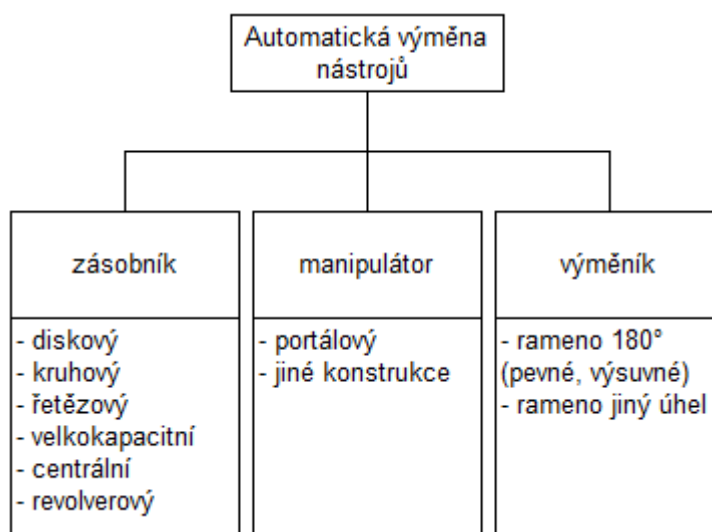
Způsob práce	Přesnost IT	Drsnost povrchu Ra [ $\mu\text{m}$ ]
Hrubování - čelem kotouče	9 až 11	0,8 až 6,3
Hrubování - obvodem kotouče	9 až 11	0,8 až 3,2
Na čisto - čelem kotouče	5 až 7	0,2 až 1,6
Na čisto - obvodem kotouče	5 až 7	0,2 až 0,8
Jemné broušení	3 až 4	0,05 až 0,4

## 5 AUTOMATICKÁ VÝMĚNA NÁSTROJŮ ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

Automatická výměna nástrojů patří k nezbytné vlastnosti této kategorie strojů. Její úkol plní skupina uzlů pro manipulaci, polohování a upnutí nástrojových jednotek v pracovním vřetenu obráběcího centra.

Na konstrukční provedení jednotlivých uzlů a prvků jsou kladeny specifické požadavky:

- minimální čas cyklu výměny nástroje,
- vysoká funkční spolehlivost,
- optimální kapacita zásobníku,
- minimalizace prostoru,
- nesmí nepříznivě ovlivňovat pracovní prostor stroje,
- odolnost proti vlivu znečištění [23].

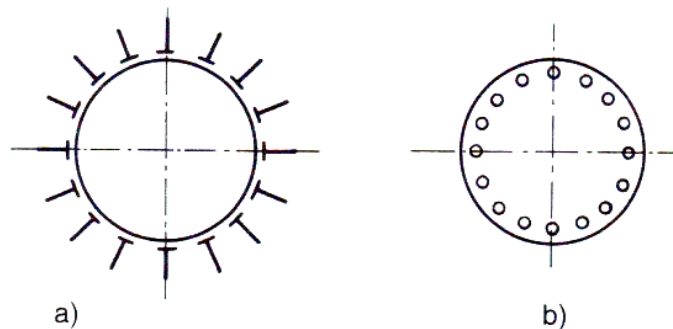


Obr. 29: Morfologie automatické výměny nástrojů a její typy [3]

Způsob konstrukce zásobníku je ovlivněn typem stroje, pro který je zásobník určen, počtem nástrojů, typem nástrojů (rotační nástroje, nástroje pro soustružnické operace), způsobem upínání, hmotností nástroje a jeho orientací vůči gravitaci, rychlostí výměny a mnohými dalšími vlivy [3].

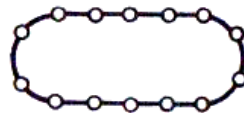
Diskový zásobník je charakterizován tím, že osa nástroje je kolmá nebo šikmá k ose otočení zásobníku. Nevýhodou tohoto principu je relativně velký rozměr, zejména pak vnější průměr. Výhodou je větší prostor pro čelisti výměnného ramene [1].

Kruhový zásobník je často používán zejména pro malokapacitní zásobníky s počtem úložných míst kolem dvaceti nástrojů s tzv. Pick-Up výměnou. Výhodou této koncepce je jednoduchost a malé konstrukční rozměry. Pro usnadnění výměny nástrojů jsou některé kruhové zásobníky řešeny s vyklápěcími úložnými drážkami pro nástrojové jednotky o úhel 90°. Pokud tímto zásobník nedisponuje, musí být doplněn o přípravnou polohu pro výměnu. Nevýhodou je malý prostor pro lapač výměníku [1].



Obr. 30: Zásobník a) diskový b) kruhový [26]

Řetězový zásobník se střední kapacitou pro 40 až 100 kusů nástrojů je často využíván. Mezi hlavní výhody patří dobré využití prostoru, konstrukční rozměry jsou velmi snadno přizpůsobitelné prostorovým podmínkám stroje. Podle principu použitého výměníku jsou řešeny s úložnými pevnými kapsami nebo vyklápěcími kapsami [3].



Obr. 31: Řetězový zásobník [26]

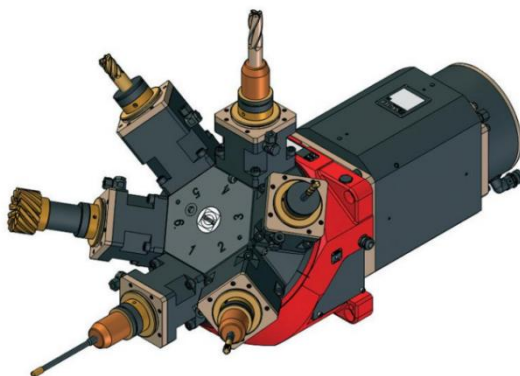
Velkokapacitní zásobníky jsou řešeny jako plošné, s plným využitím plochy zásobníku. Tím se docílí vysoká kapacita při relativně malých rozměrech zásobníku. Důsledkem je poměrně složitější manipulační cyklus mezi přípravnou polohou pro výměnu a úložnými místy v zásobníku.

Centrální zásobníky jsou další formou, kdy lze zvýšit celkovou kapacitu zásobníku. Výhodou tohoto principu je možnost kontroly a výměny otupených nástrojů, které lze provádět v překrytém čase bez rušivých vlivů na pracovní provoz [3].

Revolverová hlava je tvořena dle počtu nástrojů „n-bokým“ hranolem. Natočením hlavy do pracovní polohy je požadovaný nástroj připraven pro zapojení do řezného procesu. Typické použití je hlavně u soustruhů. Mohou být ve stroji situovány se svislou i s vodorovnou osou otáčení, přitom orientace osy otáčení revolverové hlavy vzhledem

k hlavní řezné síle může být sousledná nebo je osa na hlavní složku řezné síly kolmá [1].

U produkčních strojů, které jsou určeny pro výrobu velkého množství součástí, se uplatňuje koncepce revolverové hlavy zejména pro rotační nástroje (viz. obr. 32), kdy nástroje jsou skloněny k ose rotace hlavy a těleso revolverové hlavy má tvar vícebokého jehlanu, kužele či polokoule [3].

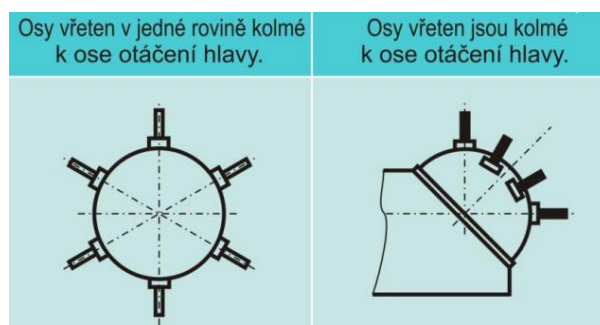


Obr. 32: Revolverová hlava (Sauter) [3]

## 5.1 Systémy výměny nástrojů se zásobníky, které přenášejí řezné síly

Systémy s otočnou nástrojovou hlavou jsou pevně upnuty a vykonávají jen vedlejší pohyby. Hlavní pohyb vykonává obrobek.

Představitelem těchto systémů jsou nožové a revolverové hlavy číslicově řízených soustruhů. Čtyřboké nožové hlavy mají svislou nebo vodorovnou osu otáčení. Vodorovná osa může být rovnoběžná nebo kolmá k ose soustružení [26].



Obr. 33: Vřetenové revolverové hlavy [24]

Výhodou revolverových hlav je jednoduchá konstrukce, snadná obsluha a údržba, velmi krátký čas výměny nástroje, malá poruchovost, menší hmotnost a nezvyšují půdorysný prostor stroje.

Nevýhodou revolverových hlav je omezený počet nástrojů, nemožnost doplňování nebo vyměňování nástroje během pracovního cyklu, větší zatížení suportu nebo

vřeteníku o hmotnost zásobníku, větší počet nástrojů může způsobit kolizi mezi nástrojem a obrobkem.

Systemy s výměnou celých vřeten nebo vřeteníků se vyznačují přesným nastavením vřeten a dobrou tuhostí. Systém pracuje tak, že se vřeteno s upnutým nástrojem s vřetenovým bubnem pootočí a posune se do pracovní polohy. Používají se v číslicově řízených frézových strojů a obráběcích center [26].

## 5.2 Systémy výměny nástrojů se zásobníky, které nepřenášejí řezné síly

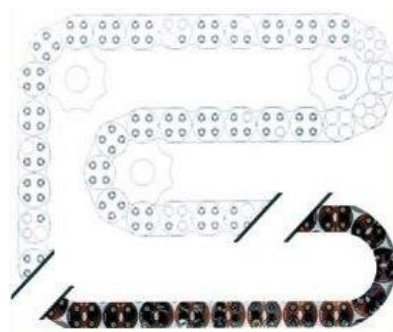
Zajišťují výměnu jednotlivých nástrojů ze zásobníků a jsou využívány prakticky u všech typů číslicově řízených obráběcích strojů včetně obráběcích center. Podle kapacity zásobníků lze systémy podle nástrojových míst rozdělit na systémy s maloobjemových a velkoobjemových zásobníků nástrojů.

Maloobjemové zásobníky nástrojů mají až 40 nástrojových míst a nejčastěji se umisťují na vřeteníku nebo základním stojanu stroje.



Obr. 34: Vřetenové revolverové hlavy [24]

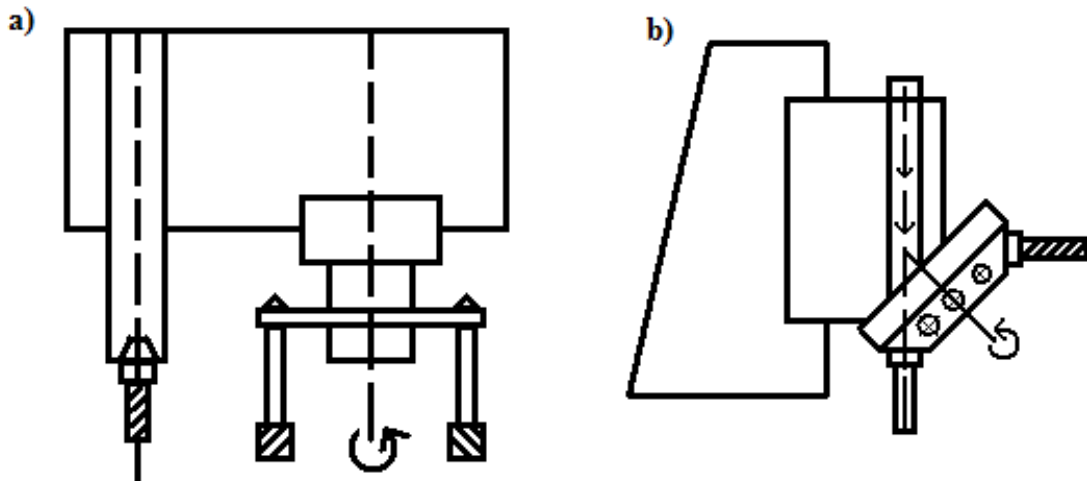
Velkoobjemové zásobníky nástrojů mají více než 40 nástrojových míst a bývají nejčastěji řazeny jako bubnové, kotoučové nebo řetězové. Vzhledem k velkým rozměrům a hmotnostem jsou zásobníky umístěny mimo stroj, čímž zároveň zvyšují půdorysný rozměr číslicově řízeného obráběcího stroje [25].



Obr. 35: Velkoobjemový řetězový zásobník nástrojů (Demmeler) [3]

### 5.3 Kombinované systémy výměny nástrojů

Mají dva a více kombinací jednotlivých typů zásobníků. Nejčastěji se používá kombinace šikmé hlavy a zásobníku s kolmou hlavou k ose vřetena, popřípadě k ose soustružení.



Obr. 36: Systém automatické výměny nástrojů a) typu zásobník – vřeteno s bubnovým zásobníkem b) typu zásobník – vřeteno s revolverovým zásobníkem [25]

Ve většině případů mají jeden nebo více skladovacích zásobníků a nástrojových hlav. Všechny části jsou spojeny v jeden pracující celek. Používají se hlavně u složitějších obráběcích center. Tento systém dosahuje nejkratších časů výměny nástroje. Při obrábění jedním nástrojem je z druhého nástrojového místa v hlavě dříve použitý nástroj uložen zpět do skladovacího zásobníku a na jeho místo v hlavě je manipulátorem vložen nástroj pro následující operaci. Po otočení nástrojové hlavy je výměna nástroje dokončena. Při operaci s krátkým výrobním časem pro jeden nástroj se nestačí na druhé pozici hlavy vyměnit což je jeho nevýhodou [25].

## **6 TEPELNÁ STABILIZACE, CHLAZENÍ, A MAZÁNÍ ČÍSLICOVĚ ŘÍZENÝCH OBRÁBĚCÍCH STROJŮ**

### **6.1 Vznik tepla a jeho odvod**

Tepelná deformace se projevuje zvětšením úchylek geometrické přesnosti proti hodnotám měřeným v ustáleném stavu. Příčinou jsou nerovnoměrné ohřevy částí stroje, které způsobuje teplo vznikající v mechanismech stroje a řezný proces. Největším zdrojem tepla vznikající v mechanismech jsou převodovky, uložení vřeten stroje, hydraulický agregát a elektrické pohony. Mezi další nežádoucí prvky patří hromadění žhavých třísek, které vznikají při řezném procesu.

Aby se vliv tepla u CNC strojů omezil, jsou místa vzniku buď izolována, nebo se z nich vznikající teplo odvádí. Z převodovek se teplo odvádí mazacím olejem, který je veden přes chladič, což umožňuje dodržet jeho konstantní teplotu. U uložení vřeten se provádí chlazení vnějších kroužků ložisek. Hydraulický agregát s horkým olejem se umísťuje mimo stroj tak, aby nedocházelo k přímému ohřevu rámu stroje. Elektrické pohony se chladí výkonnými ventilátory. Vzniklé třísky se v průběhu obrábění odstraňují za pomoci dopravníku třísek a přívodem dostatečného množství chladicí kapaliny.

U velmi přesných nebo rozměrných strojů se tepelná stabilizace docílí pomocí kompresorového chladicího agregátu, přičemž je pomocí termostatu udržována teplota tepelně zatížených částí stroje na teplotě, která je shodná s teplotou okolí [27].

### **6.2 Chlazení číslícově řízených obráběcích strojů**

Při procesu obrábění se značná část energie na břitu nástroje mění v teplo, které je nutné z místa obrábění odvádět. Chladicí kapalina musí ochlazovat i hromadící se třísky. Jako chladicí kapaliny se nejlépe osvědčila vodní emulze, které vznikají smícháním vody, mazacího oleje a konzervačních přísad. Jako konzervační přísada se často používá soda. Tato chladicí kapalina musí vykazovat nejen účinky chladicí, ale také řezné a konzervační [1].

Rozvod chladicí kapaliny musí přivádět kapalinu co nejbližší k břitu nástroje. U strojů s automatickou výměnou nástrojů ze zásobníku se osvědčuje přívod kapaliny přímo do držáku nástroje.



### 6.3 Mazání číslicově řízených obráběcích strojů

Mazací oleje se do třecích míst přivádí mazacími soustavami. Mazací soustavy rozdělujeme do tří skupin:

- oběhové mazací soustavy,
- ztrátové mazací soustavy,
- mazání olejovou mlhou.

V oběhové mazací soustavě mazací olej až do výměny náplně nepřetržitě obíhá. Kromě mazání zajišťuje i odvod tepla. Oběh oleje je zajišťován oběhovým čerpadlem. Toto mazání je účinné a přitom i jednoduché. Používá se zejména k mazání převodovek, ložisek, ozubených kol a podobně. Pravidelně se musí vyměňovat olej, čistit nádrž, filtr a také se musí neustále sledovat hladina oleje podle vodoznaku [3].

Ve ztrátové mazací soustavě se mazací olej po vykonání své funkce nevrací. Tyto soustavy se používají pro mazání většiny míst CNC stroje. Jsou vhodné pro centrální mazací soustavy.

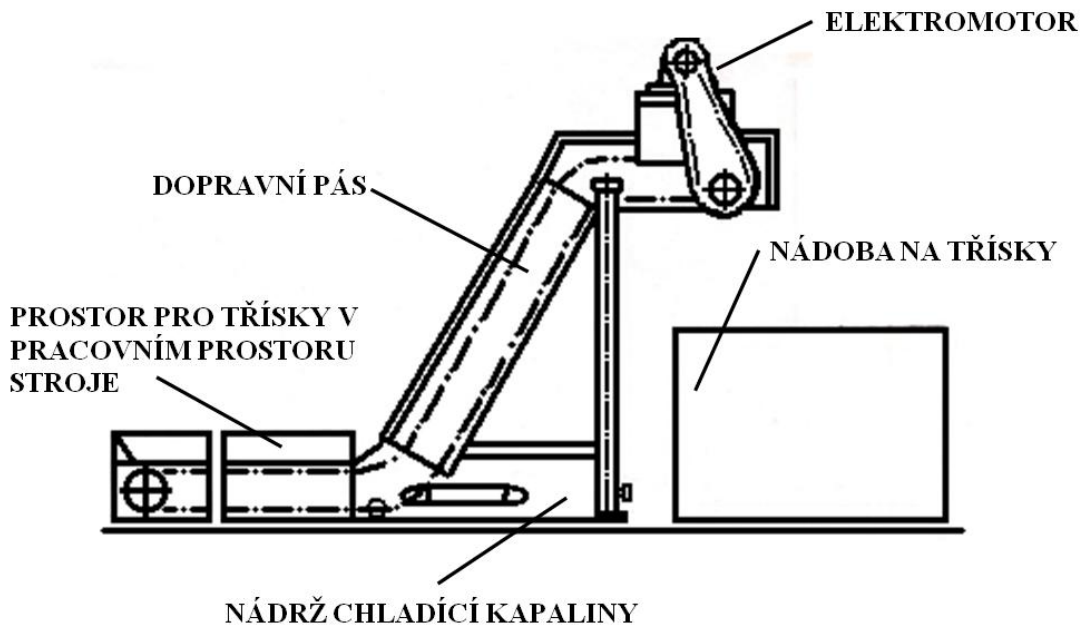
Mazání olejovou mlhou se používá především pro mazání valivých ložisek a vysokootáčkových brusných vřeten.



Obr. 37: Systém mazání Haas [28]

## 6.4 Zařízení pro dopravu třísek

Rychlý a účinný odvod třísek od stroje je nutné řešit nejen z hlediska zamezení deformací částí obráběcích strojů, vystavených buď přímému styku s horkými třískami, nebo sálavému teplu, ale i z provozně bezpečnostních důvodů při hromadění velkých množství od nástroje odvedených třísek, zejména v okolí pracoviště [1].



Obr. 38: Zařízení pro dopravu třísek

Vznikající třísky v průběhu obrábění jsou směřovány tak, aby současně s chladicí kapalinou dopadaly na dopravník třísek. Mezi hlavní části dopravníku patří dopravníkový pás, který má děrované lamely pro odtok chladicí kapaliny, elektromotor, který pohání dopravní pás a prokluzové spojky, které zabraňují poškození pásu.

## 7 ZÁVĚR

Velké procento obráběcích zařízení tvoří číslicově řízené obráběcí stroje. Uplatňují se ve většině výrobních odvětví. Vývoj těchto strojů byl závislý na rozvoji strojírenství, požadavku větších přesností a v náročnosti výroby.

Ve strojírenské výrobě jsou číslicově řízené obráběcí stroje nenahraditelnou součástí. V bakalářské práci jsou charakterizovány soustružnické stroje, vrtací a vyvrtávací stroje, frézovací stroje a brousící stroje. Každá z popsaných metod je jedinečná svým funkčním principem a tím pádem i v oblasti použití.

V porovnání s konvenčními obráběcími stroji mají číslicově řízené obráběcí stroje z ekonomického hlediska výrazně kratší výrobní časy a větší produktivitu práce. Ta je dána automatizací obrábění, snadnou opakovatelností výroby a snadnou změnou programů. Průběh obrábění umožňuje obrobení výrobku na jedno upnutí. Číslicově řízené obráběcí stroje vyžadují k vytváření programů kvalifikované osoby.

K nezbytné vlastnosti těchto strojů patří automatická výměna nástrojů, na které jsou kladeny specifické požadavky. Mezi ně patří optimální kapacita zásobníku pro danou oblast využití, odolnost proti vlivu znečištění a v neposlední řadě minimalizace času na výměnu nástroje.

Poslední část práce byla zaměřena na tepelnou stabilizaci, chlazení a mazání číslicově řízených obráběcích strojů. Tepelná stabilizace je důležitou vlastností pro zachování přesnosti výroby. Při obrábění musíme volit správné chlazení rezného nástroje. Tím se docílí kvalitní a přesné obrábění.

V současné době jsou na číslicově řízené obráběcí stroje kladeny vysoké požadavky. Mezi které řadíme nízké náklady na výrobu, dlouhou životnost stroje, přesnou a kvalitní výrobu a v neposlední řadě úsporu času, který nám vzniká především automatickou výměnou nástrojů a obrobků. Číslicově řízený obráběcí stroj můžeme používat jako samostatný stroj či jako plně automatizovanou obráběcí linku, která obsahuje více obráběcích strojů.

Číslicově řízenou techniku nepoužíváme jen u obráběcích strojů, její využití je například i u tvářecích či lakovacích strojů a její plně automatická výroba v mnoha oblastech využití není výjimkou.

## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### 8.1 Literatura

- [1] MAREK, Jiří a Oldřich UČEŇ. *CNC obráběcí stroje*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010, 103 s. ISBN 978-80-248-2329-4.
- [2] ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-7300-207-8.
- [3] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 2. vyd., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010, 420 s. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [4] KRÁL, Mojmir. *Základy CNC obráběcích strojů*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, 59 s. Učebnice pro odborné školy (Fragment). ISBN 80-7200-295-3.
- [5] ŠČERBEJOVÁ, Marta. *Strojírenská technologie*. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1993, 132 s. ISBN 80-7157-083-4.
- [6] BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje*. 1. vyd. Brno: VUT, 1992, 216 s. ISBN 80-214-0470-1.
- [12] RIPKA, Pavel. *Senzory a převodníky*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 135 s. ISBN 80-01-03123-3.
- [13] KRÁL, Pavel a Jan ŠRAJER. *CNC obráběcí centra*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2008, 79 s. ISBN 978-80-7375-163-0.
- [14] MAREK, Jiří. *MM průmyslové spektrum: Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Speciální vydání. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2006, 284 s. ISSN 1212-2572.
- [16] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. 1. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 612 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [23] BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. 2., přeprac. vyd. Brno: VUT, 1991. 214 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0361-6.
- [24] TYČ, Ondřej. *Automatická výměna nástrojů na obráběcích stroji*. 2007. 38 s. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [25] DEMEČ, Peter. *Systémy automatickej výmeny nástrojov na číslicovoriadených strojích*. 2005. 34 s. Študijný materiál. TU v Košiciach

- [26] ŘASA, Jaroslav a Přemysl POKORNÝ. *Strojírenská technologie 3*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2001, 221 s. ISBN 80-7183-227-8.

## 8.2 Internetové zdroje

- [7] Automatisierungsforum Mai 2012: Neuheiten zur Antriebstechnik. *Siemens Deutschland* [online]. 2013 [cit. 2015-02-27]. Dostupné z: [http://www.siemens.de/industry/automation/mitte/downloads/Documents/Forum\\_Mai\\_2012\\_Antriebstechnik\\_News\\_LS.pdf](http://www.siemens.de/industry/automation/mitte/downloads/Documents/Forum_Mai_2012_Antriebstechnik_News_LS.pdf)
- [8] Annn Yang Machinery Co., Ltd. *Konvenční soustruhy* [online]. © 2015 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: [http://www.annnyang.com/cs/category/Konvennsoustruhy/category\\_A02.html](http://www.annnyang.com/cs/category/Konvennsoustruhy/category_A02.html)
- [9] Turning Centers. *Hyundai Wia Machine Europe GmbH* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://www.hyundai-wia.de/products/turning-centers.html>
- [10] Arbeitsmedizin und Arbeitssicherheit. *B•A•D Gesundheitsvorsorge und Sicherheitstechnik GmbH* [online]. © 2014 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://www.bad-gmbh.de/de/glossar/buchstabe/d.html>
- [11] NĚMEC, Václav a Stanislav DLOUHÝ. *Programování CNC obráběcích strojů* [online]. Ledec nad Sázavou, 2013 [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: [http://www.gvi.cz/Aton/FileRepository/aton\\_file\\_repository\\_HtmlEditorRepositoryDoc/Root/Projekty/Cnc.pdf](http://www.gvi.cz/Aton/FileRepository/aton_file_repository_HtmlEditorRepositoryDoc/Root/Projekty/Cnc.pdf)
- [15] KELLER, Petr. *Programování a řízení CNC strojů* [online]. Liberec, 2005 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/cnc\\_cadcam/pnc\\_2.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_2.pdf)
- [17] HAMERNÍK, Jan. *Základy obrábění* [online]. 2003, 11.11.2006 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/obrabeni.htm>
- [18] DRIML, Bohuslav. *Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování* [online]. 2004 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep22.pdf>
- [19] NOVÁ, Elena. *Frézování* [online]. 2013 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: [http://uvp3d.cz/drtic/?page\\_id=2477](http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2477)
- [20] PRAMET. *Příručka obrábění* [online]. 2004 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: [http://www.isstechn.cz/objekty/prirucka\\_obrabeni.pdf](http://www.isstechn.cz/objekty/prirucka_obrabeni.pdf)

- [21] JANIČKOVÁ, Petra. *Broušení* [online]. 2013 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: [http://uvp3d.cz/drtic/?page\\_id=2445](http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2445)
- [22] KURČÍK, Jan. *Broušení* [online]. © 2012 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T17.pdf>
- [27] ELUC: Elektronická učebnice. *Přínosy CNC techniky a bezpečnost práce* [online]. 2016 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1321>
- [28] Haas Automation Inc *System mazání* [online]. © 2016 [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://int.haascnc.com/whatsnew.asp?intLanguageCode=1029>

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

L	délka obrobku	mm
D	průměr obrobku	mm
n	počet otáček	min <sup>-1</sup>
v	řezná rychlost	m·min <sup>-1</sup>
P <sub>pc</sub>	celkový příkon obráběcího stroje	W
P <sub>0</sub>	příkon potřebný pro překonání pasivních odporů stroje při jeho chodu naprázdno	W
P <sub>1</sub>	příkon potřebný pro dosažení hlavního pohybu	W
P <sub>2</sub>	příkon potřebný pro dosažení posuvu	W
η	účinnost stroje	–
s	posuv	mm
h	hloubka řezu	mm
F	řezná síla	N
F <sub>x</sub>	axiální složka řezné síly	N
F <sub>y</sub>	radiální složka řezné síly	N
F <sub>z</sub>	tangenciální složka řezné síly	N
M <sub>k</sub>	krouticí moment	N·m
C	materiálová konstanta	–
D <sub>n</sub>	průměr nástroje	mm
s <sub>o</sub>	posuv	mm
f <sub>z</sub>	posuv na zub	mm
v <sub>f</sub>	velikost posuvu	mm·min <sup>-1</sup>
z <sub>elf</sub>	počet efektivních břitů na nástroji	–
f <sub>ot</sub>	posuv na otáčku	mm·ot <sup>-1</sup>
f <sub>min</sub>	minutový posuv	mm·min <sup>-1</sup>
A	průřez třísky	mm <sup>2</sup>
a <sub>p</sub>	axiální hloubka řezu	mm
Q	objem odebraného materiálu	cm <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup>
a <sub>e</sub>	radiální hloubka řezu	mm
d <sub>f</sub>	průměr příruby	mm
v <sub>o</sub>	obvodová rychlost obrobku	m·min <sup>-1</sup>

$A_s$	střední průřez třísky	$\text{mm}^2$
$B$	šířka brusného kotouče	$\text{mm}$
$\varphi_{\max}$	úhel krajního styku	$^\circ$
$f_{zd}$	příčný posuv v úvratích stolu	$\text{mm} \cdot \text{zd}^{-1}$



## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Faktory ovlivňující vývoj obráběcích strojů [16] .....</i>	<i>8</i>
<i>Obr. 2: Řídicí panel společnosti Siemens [7] .....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 3: Části číslicově řízeného soustruhu 1. Kryt 2. Revolverová nástrojová hlava 3. Hlavní vřeteno, vodící šroub 4. Hydraulické upínací zařízení 5. Hlavní hnací motor 6. Hydraulika 7. Upínací pouzdro 8. Suport, saně 9. Rám 10. Sběrný žlábek třísek 11. Dopravník třísek 12. Koník 13. Ovládací pult 14. Monitor 15. Elektrická skříň 16. Motor posuvu 17. Bezpečnostní okno [10] .....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 4: Obecné blokové schéma CNC obráběcího stroje [4].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 5: Přímé a nepřímé odměřování [15].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 6: Přímé impulsní odměřování 1. Pevné měřítko 2. Jezdec 3. Světelný zdroj 4.-5. Optická soustava 6. Fotosnímače [11] .....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 7: Nepřímé impulsní odměřování 1. Otočný kotouč s ryskami 2. Pevný kotouč s ryskami 3. Světelný zdroj 4. Optická soustava 5. Fotosnímače [11] .....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 8: Induktosyn [12].....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 9: Konvenční soustruh ANNN YANG DY-1000x2100G [8].....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 10: CNC soustruh HYUNDAI-WIA L210A [9] .....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 11: Rozdělení CNC obráběcích strojů [3] .....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 12: Rozdělení soustružnických strojů [3] .....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 13: Popis tříčelistového sklíčidla a mechanismus utahování sklíčidla [16].....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 14: Modulární výstavba hlavních konstrukčních uzlů [1].....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 15: Řezné síly a odpory [17] .....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 16: Rozdělení CNC vyvrtávacích strojů [1] .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 17: Varianty stolové, křížové a deskové vyvrtávačky [3] .....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 18:Upnutí obrobku při vrtání [16] .....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 19: Schéma vrtání [20].....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 20: Silové poměry na vrtáku.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 21: Rozdělení frézovacích strojů [3] .....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 22: Přehled možných koncepcí stolových frézek s jedním pohybem v obrobku [6]29</i>	
<i>Obr. 23: Válcové frézování a) nesousledné b) sousledné [16].....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 24: Schéma frézování [20] .....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 25: Odběr třísek brusným nástrojem [16].....</i>	<i>32</i>

<i>Obr. 26: Upínání a orovňávání kotouče [16]</i> .....	33
<i>Obr. 27: Rozdělení CNC brousících strojů [3]</i> .....	33
<i>Obr. 28: Parametry při broušení [22]</i> .....	34
<i>Obr. 29: Morfologie automatické výměny nástrojů a její typy [3]</i> .....	35
<i>Obr. 30: Zásobník a) diskový b) kruhový [26]</i> .....	36
<i>Obr. 31: Řetězový zásobník [26]</i> .....	36
<i>Obr. 32: Revolverová hlava (Sauter) [3]</i> .....	37
<i>Obr. 33: Vřetenové revolverové hlavy [24]</i> .....	37
<i>Obr. 34: Vřetenové revolverové hlavy [24]</i> .....	38
<i>Obr. 35: Velkoobjemový řetězový zásobník nástrojů (Demmeler) [3]</i> .....	38
<i>Obr. 36: Systém automatické výměny nástrojů a) typu zásobník – vřeteno s bubnovým zásobníkem b) typu zásobník – vřeteno s revolverovým zásobníkem [25]</i> .....	39
<i>Obr. 37: Systém mazání Haas [28]</i> .....	41
<i>Obr. 38: Zařízení pro dopravu třísek</i> .....	42

## **11 SEZNAM TABULEK**

*Tab. 1 Dosahovaná přesnost rozměrů a drsnost povrchu při broušení [22] ..... 34*