



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**OBRÁBĚNÍ ROTAČNÍ SOUČÁSTI "TĚLESO"  
NA CNC SOUSTRUHU**

MACHINING OF ROTATING BODY-PART ON CNC LATHE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Vít Dlouhý

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2020

## Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Vít Dlouhý**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**  
Akademický rok: 2019/20

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 diplomové práce:

### Obrábění rotační součásti "těleso" na CNC soustruhu

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nalezení vhodné varianty obráběcího procesu s využitím CNC stroje, který je ve firmě k dispozici.

#### Cíle diplomové práce:

- Historie obráběcích strojů
- Využitelné metody třískového obrábění s jejich charakteristikou
- Přehled CNC strojů ze současné doby
- Charakteristika obráběné součásti
- Přiřazení vhodného stroje
- Kompletace nástrojové sady
- Varianty technologického procesu
- Vyhodnocení výroby

#### Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

JUROVÁ, Marie. Organizace přípravy výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 100 s. ISBN 978-8-214-3946-7.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. p. 651. ISBN 0-19-514206-3.

SIEMENS AG. Návody k programování, návod k obsluze. 4. vyd. Erlangen: Siemens, a. s., 2000. 469 s.

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. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na technologii třískového obrábění za využití CNC soustruhu, jenž byl využit pro obrobení požadované součásti z korozivzdorné oceli. K úvodu jsou uvedeny historické milníky související s obráběcími stroji. V následující kapitole je analyzován obráběcí proces a s ním související skutečnosti. Navazující kapitola obsahuje parametry společné pro moderní obráběcí CNC stroje. Následuje praktická část s charakteristikou obráběné součásti. Další kapitola zahrnuje výběr CNC soustruhu pro výrobu. Pokračovalo se výběrem vhodných rezných nástrojů a seřízením stroje pro danou součást. Byly aplikovány celkem tři varianty výroby s následným vyhodnocením. Závěrem byly konstatovány zjištěné skutečnosti, například výhody tvarových nástrojů nebo využití více vřeten během obrábění.

### Klíčová slova

technologie CNC obrábění, rezný nástroj, obrobek, korozivzdorná ocel, NC program, CNC soustruh

## ABSTRACT

This master's thesis is focused on the technology fundamentals of machining for the use of the CNC lathe which was used for machining the required parts are made of stainless steel. In the introduction are mentioned the historical milestones related to machine tools. In the following chapter is analyzed machining process and related fact. A follow-up chapter contains the parameters common to a modern machine tool CNC machines. Followed by the practical part with the characteristics of the machined components. The next chapter includes a selection of CNC lathe for production. Continued by selecting the appropriate cutting tool and adjusting the machine for the given component. They were applied a total of three variants of production with the subsequent evaluation. In conclusion, it became established fact, for example, the advantages of the shape tools or the use of more spindles during the machining.

### Key words

technology of CNC machining, cutting tools, workpiece, stainless steel, NC program, CNC lathe

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DLOUHÝ, Vít. *Obrábění rotační součásti "těleso" na CNC soustruhu* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124270>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

---



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Obrábění rotační součásti "těleso" na CNC soustruhu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

.....  
Bc. Vít Dlouhý

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce.

Také děkuji své rodinně za podporu během studia i při vypracování této diplomové práce.

---

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ .....	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD .....	9
1 Z HISTORIE OBRÁBĚCÍCH (CNC) STROJŮ .....	10
2 CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIE TŘÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ .....	13
2.1 Vznik třísky během obrábění .....	14
2.2.2 Druhy třísek.....	15
2.3 Vliv tepla na obráběcí proces .....	17
2.4 Obrobek a obrobitelnost materiálu .....	18
2.4.1 Klasifikace tříd slinutých karbidů dle ISO .....	21
2.4.2 Jakost obráběných povrchů .....	21
2.5 Řezné materiály .....	22
2.5.1 Rychlořezné oceli (HSS, RO).....	23
2.5.2 Slinuté karbidy (SK) .....	23
2.5.3 Cermety .....	24
2.5.4 Řezná keramika .....	24
2.5.5 Kubický nitrid boru a polykrystalický diamant.....	25
2.6 Opotřebení břitu nástroje.....	25
2.7 Řezné prostředí.....	26
2.8 Soustružení a některá jeho problematika .....	27
3 MODERNÍ OBRÁBĚCÍ CNC STROJE .....	30
3.1 Přehled požadavků pro obráběcí CNC stroje .....	31
3.2 Výhody (nevýhody) CNC strojů .....	31
3.3 Systém souřadnic CNC stroje .....	32
3.3.1 Vztažné body na CNC stroji .....	32
3.4 Korekce nástroje, opotřebení a geometrie .....	33
3.5 Základní struktura NC programu .....	34
3.6 Řídicí systémy CNC strojů.....	34
3.7 Pracovní režimy a ovládací panel CNC stroje .....	35
3.8 CIM a aplikace CAD/CAM v obrábění .....	36
3.9 Vysokovýkonné technologie pro CNC stroje .....	36
4 CHARAKTERISTIKA OBRÁBĚNÉ SOUČÁSTI.....	37

---

---

4.1 Materiál součásti a výběr polotovaru .....	38
5 VOLBA OBRÁBĚCÍHO STROJE .....	39
5.1 Volba upínače pro tyč polotovaru a pomůcky .....	40
5.2 Nastavení parametrů pro zásobník tyčí .....	42
6 KOMPLETACE NÁSTROJOVÉ SADY .....	44
6.1 Upínací tělesa nástrojů .....	47
6.2 Využití poháněcích jednotek .....	49
7 OPERACE PROVEDENÉ PŘED ZAHÁJENÍM VÝROBY .....	50
7.1 Kontrola procesní kapaliny .....	50
7.2 Vložení geometrie použitých nástrojů do systému .....	50
7.3 Zaměření nástrojů vzhledem k pracovnímu vřetenu .....	51
7.4 Určení nulového bodu obrobku .....	52
7.5 Upichovací operace (přeuchopení polotovaru) .....	53
7.6 Podprogram pro zarovnání nové tyče polotovaru .....	53
8 TECHNOLOGICKÉ VARIANTY VÝROBY .....	54
8.1 Výrobní varianta „A“ .....	54
8.2 Výrobní varianta „B“ .....	55
8.3 Výrobní varianta „C“ .....	57
8.4 Přehled přiřazených korekcí pro jednotlivé nástroje .....	58
9 VYHODNOCENÍ VÝROBY .....	60
9.1 Měřicí protokol a použité měřicí pomůcky .....	60
9.2 Opotřebením řezných nástrojů .....	62
9.3 Problémy vzniklé během výroby .....	66
9.4 Zhodnocení použitých variant .....	66
9.5 Odhad výrobních nákladů pro jednotlivé výrobní varianty .....	72
9.5.1 Výpočet nákladů na hodinu provozu CNC soustruhu .....	72
9.5.2 Výpočet výrobních nákladů s ohledem na výrobní množství .....	72
10 DISKUSE .....	76
10.1 Opotřebením břitu řezného nástroje .....	76
10.2 Seřízení stroje před zahájením výroby .....	77
10.3 Vliv obráběného materiálu obrobku .....	77
10.4 Alternativní možné postupy vzhledem ke stávajícímu stavu .....	79
ZÁVĚR .....	80
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	81
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	85
SEZNAM PŘÍLOH .....	88

---

## ÚVOD

Technologie třískového obrábění za využití moderních CNC obráběcích strojů otevřela nové možnosti průmyslové výroby. Důvodem zahájení vývoje CNC strojů byla potřeba zkvalitnit technologický proces obrábění a současně snížit potřebné výrobní časy. Vyvinuly se tak první stroje s číslicovým řízením (zkratka NC), jenž následně byly zdokonaleny a vybaveny průmyslovým počítačem (CNC). Aktuálně jsou CNC stroje v průmyslu značně zastoupeny a jsou dostupnější, než tomu bylo v minulosti. Tyto stroje disponují velkým výrobním potenciálem a možnostmi.

V současnosti však neustává vývoj a zdokonalování těchto strojů. Dochází k větší digitalizaci a automatizaci procesu výroby, iniciaci průmyslu 4.0 (čtvrtá průmyslová revoluce). I přesto je nezbytné plně využívat potenciál stroje i operátorů, kteří s těmito stroji pracují, ačkoliv vliv lidského faktoru na proces obrábění postupně klesá (automatizace). Zároveň se zvyšují výkonové charakteristiky používaných nástrojových materiálů. Nadále se využívají řezné nástroje z rychlořezné oceli, nicméně stále více se aplikují slinuté karbidy, řezná keramika nebo cermety. Výběr řezného nástroje souvisí především s druhem obráběného materiálu. Důležité je správný (optimální) výběr řezných parametrů pro minimalizaci výrobních nákladů.

Tato magisterská práce se zabývá návrhem technologie výroby požadované součásti z korozivzdorné oceli (obr. 1) za využití CNC soustruhu, který je k dispozici. Obrábění korozivzdorných ocelí vyžaduje speciální přístup oproti obrábění ocelí normálních jakostí (konstrukční oceli). Cílem bylo nalezení vhodné technologie výroby (zajištění stability řezného procesu) zahrnující výběr řezných nástrojů a parametrů v podmínkách vícestrojové obsluhy s následným vyhodnocením.



Obr. 1 Obrobená součást za využití CNC soustruhu.

## 1 Z HISTORIE OBRÁBĚCÍCH (CNC) STROJŮ

Období před 17. stoletím:

- první soustruh v primitivní podobě – osmé století před naším letopočtem,
- pro zdroj pohonu soustruhu se využil luk,
- pohon hrnčířského kruhu se používal až do 15. století,
- na počátku 16. století – dřevěná konstrukce soustruhu za využití kliky a setrvačnicku [1, 2].

Vývoj v 17. století – 18. století:

- první konstrukce obráběcích strojů za využití litiny,
- vynález parního stroje v roce 1711 (James Watt),
- první kovoobráběcí stroj vyvinutý Johnem Wilkinsonem – vyvrtávačka (1774),
- koncept moderního soustruhu – v roce 1794 Henry Munsday (odlité kovové lože a vodící šroub, jenž vede suport),
- nárůst pracovní přesnosti a produktivity [1, 2],
- do 18. století bylo primárním obráběným materiálem dřevo,
- obrábění kovů se omezovalo především na kovářské práce [3].

Rozvoj v 19. století:

- nový impulz – vynález spalovacího motoru v roce 1864,
- postupné nahrazení centrálního transmisního pohonu (kvůli nízké účinnosti),
- mechanický pohon za pomoci parních strojů byl postupně nahrazen elektromotorem [1],
- první univerzální frézka (dělicí přístroj a otočný stůl) – rok 1862,
- zahájení vývoje konsolových frézek a následné zdokonalování konstrukce [4],
- využití křížového suportu u soustruhů (bezpečné upnutí nástroje) a zavedení revolverového systému (rychlá výměna nástroje),
- rozvoj strojního parku vlivem zbrojního průmyslu,
- standardizace rozměrů, náhradní komponenty – hromadná výroba,
- vývoj řezných materiálů – využití uhlíkové oceli (malá trvanlivost bříty),
- předchůdce rychlořezné oceli (RO) – Mushetova ocel [3],
- představení RO v roce 1900 Fredrickem Taylorem – zvýšení produkce se zvýšením řezných rychlostí,
- postupné zvyšování výkonů pohonů, otáček pracovních vřeten i tuhosti (snížení chvění) [1].

## Pokroky ve 20. století:

- koncept soustruhu, který má prvky typické pro současné stroje (rok 1906),
- návrh pohonu s vlastním elektromotorem [1],
- pro konstrukci prvních NC strojů našlo uplatnění několik komponent – děrný štítek, magnetická páska, kuličkový vodící šroub, servomotor a automaticky naprogramovaný nástroj (APT),
- John T. Parsons – spojil výše uvedené komponenty do jednoho celku (počátek obráběcích NC strojů) [5],
- zdokonalení konceptu za přispění MIT – aplikace servomechanismů (systémy zpětné vazby), představení hotového návrhu v roce 1952 [6],
- rok 1955 – řídicí jednotka Numericord (nahrazení děrné pásky čtečkou magnetické pásky), došlo ke zjednodušení složitosti řídicích jednotek [7],
- první NC stroje byly přizpůsobeny pro NC řídicí systémy a odvozeny od běžných konvenčních obráběcích strojů,
- pohony – elektricky řízené hydromotory, následně elektricky řízené motory,
- optické odměřování, využití systému pravouhlého řízení (pohyb v jedné ose, následně možný pohyb v další ose) [8, 9],
- konec 50. let – vytvoření G-kódu (univerzálního programovacího jazyka) [10],
- první komerčně dostupný NC stroj – *MILWAKUEE-MATIC II* (společnost Kearney & Trecker) s rotačním zásobníkem – automatická výměna nástroje, [6],
- začátek 60. let – první obráběcí centra na nerotační součásti,
- konstrukce již speciálně upravena pro číslicové řízení (NC),
- nasazení tranzistorových NC systémů,
- aplikace kuličkových šroubů spolu s valivým a hydrostatickým vedením (70. léta), využití dotykových sond (procesní měření),
- NC řídicí systémy – vybaveny pamětí a editací partprogramů,
- vzniká první soustružnické obráběcí centrum s rotujícími řeznými nástroji (firma Herbert – 70. léta) [8, 9],
- 80. léta – rozvoj počítačů v konstrukci obráběcích strojů (CIM) [9],
- zabudovány sensory pro identifikaci pohybů, manipulátory obrobků [11],
- stavebnicová konstrukce, první grafické simulace procesu obrábění (Heidenhein),
- aplikace velkokapacitních zásobníků nástrojů spolu s mezioperační dopravou,
- zpřesnění výroby a nárůstu produktivity, pružné výrobní systémy,
- integrace CAD/CAM systémů a bezpečnostních funkcí (Sinumerik, rok 1996),
- mechatronické prvky, elektronická kompenzace chyb polohování, inprocesní kontrola měřicími sondami a korekce programu [8, 9].

Počátky 21. století:

- snižování výrobních časů (výměny nástrojů i obrobků),
- možnosti dálkové diagnostiky včetně ultrapřesného obrábění (rozmezí desetiny mikrometru),
- technologie vysokorychlostního a suchého obrábění (bez procesní kapaliny),
- rozvoj pětiosé technologie obrábění (kromě základních os X, Y, Z, přidány další dvě osy, které se otáčejí kolem Y nebo Z),
- efektivnější řízení (synchronizace os, sledování procesu zatížení) tendence propojení do sítí, nasazení umělé inteligence [8, 12].



## 2 CHARAKTERISTIKA TECHNOLOGIE TŘÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ

Technologie třískového obrábění se řadí na přední pozici výrobních metod ve strojírenské technologii. Tato technologie je nejvíce rozšířenou metodou při zpracování hutních polotovarů. Podstatou je silové působení řezného nástroje ve tvaru klínu na obráběný materiál. Během procesu dochází k oddělování částic materiálu v podobě třísek [13].

Fyzikálně lze proces obrábění kvalifikovat jako působení vnější energie pro narušení vzájemných vazeb částic obráběného materiálu s následným oddělováním od obráběného materiálu. Je možné využít více druhů energie pro oddělení částic materiálu. Nejčastější způsob je pomocí mechanické energie, tento druh obrábění je označován *řezání*. Nicméně lze využít pro obrábění i elektrickou, chemickou, akustickou případně světelnou energii [14].

Jedná se především o dynamický proces. Výstupem obrábění je obrobek (obrobený materiál) požadovaných geometrických tvarů, včetně jakostí a rozměrů. Na výsledek obrábění má vliv celá řada aspektů. Především geometrie břitu řezného nástroje, řezné podmínky, opotřebenosti nástroje, seřízení a stav stroje, obrobitelnost materiálu nebo tuhost soustavy (stroj, přípravek, nástroj, obrobek). Mezi základní metody třískového obrábění patří technologie soustružení, vrtání, vyvrtávání, vystružování, frézování nebo broušení [3, 14].

V praxi lze využít na CNC soustruhu kromě standardních soustružnických operací i možnost frézování a vytvářet tak rovinné nebo tvarové plochy (za využití poháněcí nástrojové jednotky, obr. 2).



Obr. 2 Proces třískového obrábění na CNC soustruhu (frézování obrobku poháněcí jednotkou s využitím procesní kapaliny).

## 2.1 Vznik třísky během obrábění

Proces obrábění a samotné tvoření třísky je velmi komplexní. Je důležité uvést, že se jedná o kontrolovaný odchod třísky z místa řezání obráběného materiálu (obr. 3) [3]. Mechanismy tvorby třísky při řezání se zakládají na geometrických modelech. Proces řezání lze popsat pomocí intenzivní plastické deformace jako obtékání řezného klínu obráběným materiálem. Pro zjištění podstaty tvorby třísky v průběhu obrábění je důležitý metalograficko-fraktografický rozbor. Vlivem působení řezného nástroje na obráběný materiál dochází k vyvolání silových účinků a zároveň k opačné reakci v obráběném materiálu (odpory) [15]. Materiál při obrábění prochází značnou rychlostí mezními stavy (pružné napjatosti, plastické deformace a oddělení částic na základě lomového porušení). Díky vysoké rychlosti deformace probíhají fyzikální mechanismy tvorby třísky velice rychle, až se může zdát, že dochází k okamžitému oddělení částic (element) třísky. Z toho vyplývá, že je značně obtížné sledovat jednotlivé časové úseky deformací [13].

Podstatnou charakteristikou je *rovina stříhu* (SP), která se nachází mezi zdeformovaným a stále ještě nedeformovaným materiálem. Do této roviny se přivádí podstatná část vynaložené energie (místo mezi břitem nástroje a místa, kde se utváří tříška). Vlastní obrábění je tedy realizováno v rovině stříhu, která je definovaná poměrem mezi tloušťkou vrstvy odřezávaného materiálu a tloušťkou tvářené třísky. Tato rovina je pod určitým úhlem vůči obrobku, tento úhel se označuje *úhlem roviny stříhu* ( $\varphi$ ) [3]. Obecně je dáno, že čím větší je hodnota úhlu střížné roviny, tím štíhlejší je tříška a zároveň je proces energeticky přijatelnější, jelikož je menší zatížení a ovlivnění vrstev obrobku. V obrábění se lze setkat s veličinou popisující velikost síly potřebné pro překonání soudržnosti obráběného materiálu účinkem řezného procesu. Jedná se o měrnou řeznou sílu ( $k_c$ ). Její hodnota souvisí s fyzikálními vlastnostmi obráběného materiálu, velikostí průřezu třísky, geometrií nástroje a řezným prostředím [13].



Obr. 3 Zachycení procesu řezání při soustružení (konvenční soustruh).

Místo v materiálu, kde dochází vlivem řezného nástroje k jeho přetváření se označuje *kořen třísky* (studium při přerušovaných řezech). Ten obsahuje tři základní oblasti plastické deformace (primární, sekundární, terciální) [13]. Ve vrstvě před řezným klínem řezného nástroje dochází k nárůstu tvrdosti materiálu, tedy ke zpevnění. Zpevněná vrstva materiálu má vyšší pevnost a tvrdost než původní obráběný materiál [15].

Vlivem velké třecí síly dochází mezi čelem nástroje a třískou ke vzniku *nárůstku* (oblast *sekundární plastické deformace*). Nárůstek (obr. 4) je složen z plasticky deformovaných částic obráběného materiálu. Utváří se tak umělý břit (částečně přebírá roli břitu řezného nástroje). Ten vzniká a zaniká periodicky během obráběcího cyklu. Tvorba nárůstku je nežádoucím jevem, lze mu zabránit změnou řezných podmínek (především řezná rychlost), případně použitím vhodné mazací kapaliny [3, 14].



Obr. 4 Nárůstek (zvýrazněná oblast) na břitu vyměnitelné břitové destičky ze SK.

### 2.2.2 Druhy třísek

Podstatným parametrem v procesu obrábění je tvar generovaných třísek (třísky jsou doprovodný produkt) při řezání obráběného materiálu řezným nástrojem. Tvar vznikajících třísek je důležitý pro efektivní využití nástroje včetně splnění požadované jakosti obrobku a rozměrů [16]. Je nežádoucí namotávání třísek na obrobek, které zvyšuje nebezpečí úrazu. Plynulé a souvislé třísky jsou nežádoucí, obzvláště u automatizovaných obráběcích center a provozů. Konstrukční koncept pracovního prostoru obráběcích strojů je uzpůsoben pro snadné odstraňování třísek [14, 16]. Na obr. 6 je zobrazena nepřijatelná situace nahromadění třísek v pracovním prostoru CNC soustruhu. Nejvhodnější je tedy elementární tříška (drobivá) [14]. K tomuto účelu se využívají konstrukční úpravy nástrojů (*čelní utvařeče*), které slouží pro usměrnění a lámání třísky. U CNC strojů lze využít přerušování posuvu po určité době nebo vykonané dráze obráběcího cyklu [13].

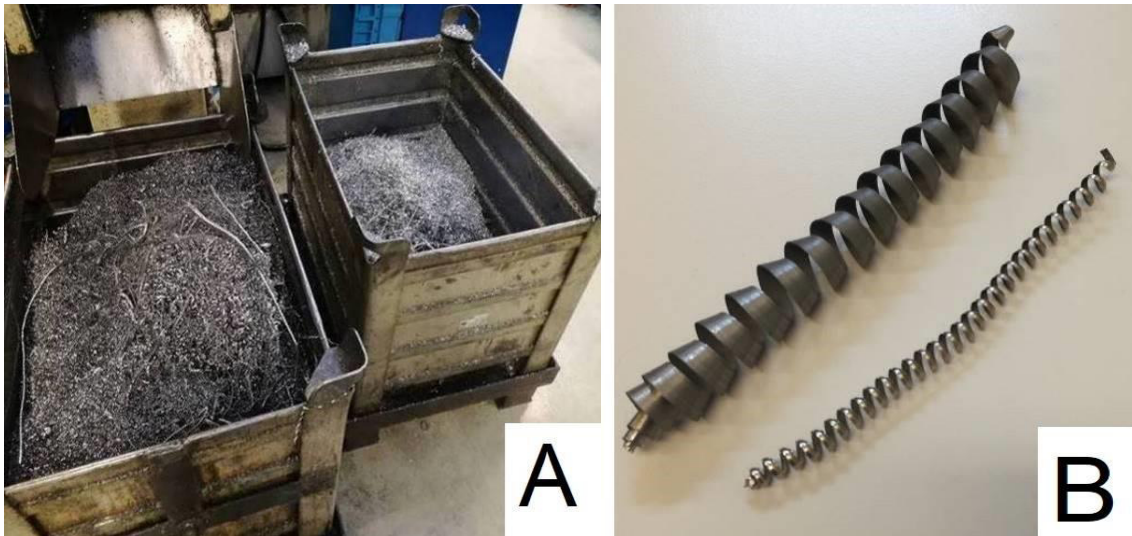
Kontrola vzniku třísky je především důležitá během soustružení nebo vrtání. Při frézování dochází ke vzniku relativně krátkých třísek. Naopak při vrtání a vyvrtávání je důležité kontrolované utváření třísky vzhledem k omezenému prostoru odvodu třísek (v krajní situaci může hrozit lom řezného nástroje). Utváření třísek ovlivňuje mnoho (negativních) faktorů. Například to jsou řezné síly, pevnost nástroje, vibrace nebo teploty [3].

Velikost a tvar třísek souvisí s:

- vlastnostmi obráběného materiálu (pevnost, tvrdost, stav a další aspekty),
- geometrií řezného nástroje,
- řeznými podmínkami (řezná a posuvová rychlost),
- druhem nástrojového materiálu,
- tribologií rozhraní tříška – nástroj [3, 13, 16].

Možné druhy třísek (obr. 5):

- stužkové (smotané, dlouhé),
- vinuté (krátké, dlouhé),
- spirálové (ploché, kuželové),
- obloukovité,
- šroubovité (ploché, kuželovité),
- elementární (nesoudržné),
- jehlovité [15, 16].



Obr. 5 Vytvořené třísky během třískového obrábění; A – třísky uložené v přepravce, B – ukázka třísek ve tvaru šroubovice.





Obr. 6 Zanedbání odchodu třísek z pracovního prostoru CNC soustruhu (vypnutý pásový dopravník).

### 2.3 Vliv tepla na obráběcí proces

Tepla je jedním z typických negativních projevů během třískového obrábění. Při tomto procesu se generuje určité množství tepla. Většina mechanické práce vynaložené během obrábění se mění na tepelnou energii, která působí na obrobek a nástroj [13, 15]. Jen malé množství energie se uloží jako elastická energie v odcházejících třískách a ve zbytkové napjatosti povrchu [13]. V zóně řezání je zdrojem tepla primární plastická deformace (rovina stříhu) společně se sekundární plastickou deformací (oblast třísky nad čelem řezného nástroje). Posledním zdrojem tepla je tření vzniklé mezi přechodovou plochou a hřbetem nástroje [15]. Většina tepla se projevuje v oblasti stříhu. Vznikající teplo má značný vliv na opotřebení a životnost nástroje [17]. Teploty v oblasti primární plastické deformace (podílí se na tvorbě třísky), ovlivní mechanické vlastnosti obráběného materiálu včetně řezných sil. Pokud dochází k postupnému nárůstu teplot, nástroj změkne a rychleji se opotřebuje (otěrem, případně plastickou deformací). Může v některých situacích také dojít k rozptýlení částic řezného nástroje do třísek, nebo k chemické reakci s procesní kapalinou nebo třískami. To vše v konečném důsledku způsobí selhání řezného nástroje [18].

Tepla ovlivňuje:

- mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- vlastnosti řezného nástroje,
- zbytkové pnutí v obráběném povrchu,
- zpevnění obráběného povrchu (tvrzená vrstva),
- podmínky tření (na čele i hřbetu nástroje) [13, 18].

Množství vznikajícího tepla závisí na:

- metodě obrábění (soustružení, vrtání, frézování apod.),
- geometrii řezného nástroje,
- tepelné vodivosti (obrobku i řezného nástroje),
- způsobu chlazení a mazání,
- řezných podmínkách [14].

Nejdůležitějším řezným parametrem se značným vlivem na množství tepla je řezná rychlost ( $v_c$ ). Vyšší  $v_c$  umožní zvýšit podíl odváděného tepla třískou (rychlejší deformace materiálu, tedy větší objem třísek), zatímco klesá velikost tepla odváděné obrobkem. Větší  $v_c$  tedy zvýší teploty ostří. Při zvyšování posuvu ( $f$ ), nebo šířky záběru ostří ( $a_p$ ), teploty nerostou takovým tempem [14, 15, 17].

Jednotlivé podíly generovaného tepla při procesu řezání (u soustružení):

- tříska – největší podíl (50 až 86 %, výjimečně až 95 %),
- obrobek (okolo 10 až 40 %),
- řezný nástroj (2 až 9 % podíl),
- okolní prostředí (přibližně 1 %) [13, 15].

Použitá metoda obrábění hraje značnou roli v množství tepla odváděné třískou. Teplota nesmí překročit kritickou teplotu řezání (pro zajištění životnosti řezného nástroje) [14].

Tvrdość obráběného materiálu je také podstatným hlediskem při vzniku tepla. Tvrdší materiál lépe odolává deformaci, následně dochází i ke vzniku většího množství tepla. Lze tento případ řešit snížením řezné rychlosti. Nejefektivnější odvod tepla ze zóny řezání je odvod třískami. Nicméně, pokud však je tepelná vodivost obráběného materiálu nízká (například u korozivzdorných ocelí), odvod tepla třískou je ztížen. Vlivem většího přeneseného tepla do ostří nástroje dochází k poklesu trvanlivosti nástroje. Pro takové situace je možné využít větší posuvy (vyšší objem odebraného materiálu), které zlepšují odvod tepla (zvětší tepelně ovlivněnou oblast se současným poklesem teploty u ostří), a ve výsledku zvýší trvanlivost nástroje [17]. Teploty během řezání se měří za pomoci termočlánků, pyrometrů nebo termokamery [13].

## 2.4 Obrobek a obrobiteľnosť materiálu

Výstupem procesu obrábění je obrobek (obr. 7), tedy obrobený materiál na požadované rozměry s jakostí povrchů [19]. S obrobkem souvisí materiálová schopnost, tedy vhodnost pro obrábění danou metodou za určitých podmínek. To vše lze označit termínem *obrobiteľnosť materiálu* [3]. Jedná se o souhrn fyzikálních vlastností materiálu spolu s chemickým složením na výsledný obráběcí proces. Obrobiteľnosť lze třídit do tříd obrobiteľnosti (index obrobiteľnosti), využívají se malá písmena s číslem [13]. Obrobiteľnosť lze zlepšit úpravou řezných parametrů, nástrojů, způsobem upnutí nebo řeznou kapalinou [3]. Obrobiteľnosť lze považovat za dobrou, pokud jsou nutné minimální energetické požadavky pro obráběcí proces, malé opotřebení řezného nástroje nebo dosažení dobrého utváření a odvodu třísek spolu s dobrou jakostí obráběného povrchu [19].



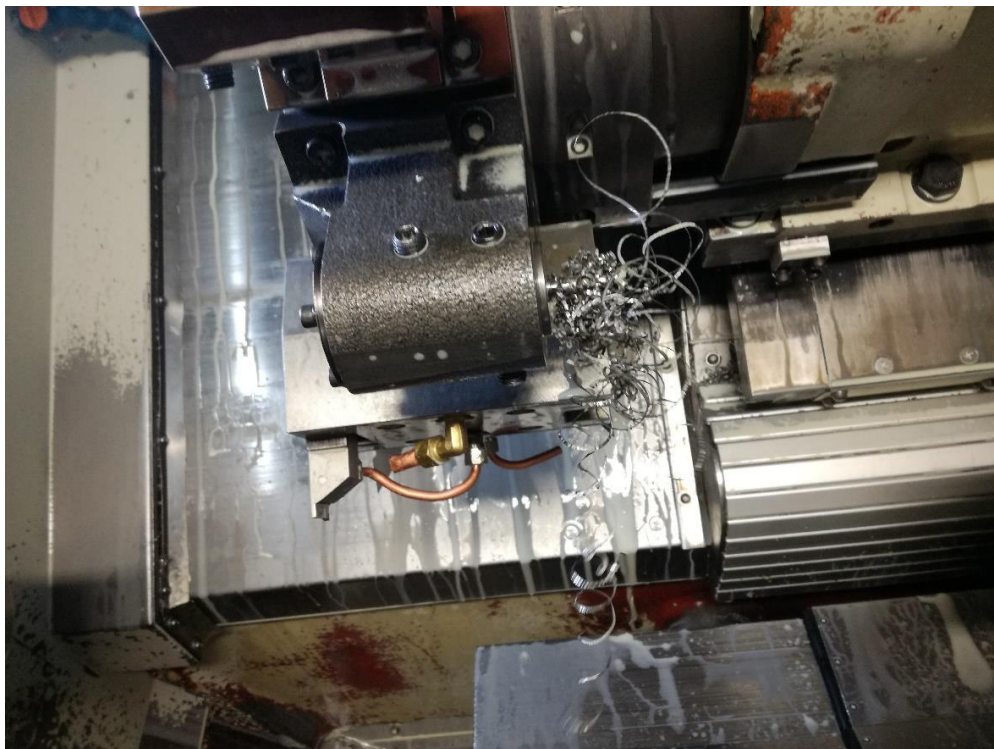
Korozivzdorné oceli mají vyšší obsah chromu (vytváří na povrchu ochrannou vrstvu oxidu chromu, která chrání před účinky koroze). Většinou s rostoucím obsahem legujících prvků se zároveň snižuje i obrobiteľnosť. Korozivzdorné oceli môžu mať feritickú, martenzitickú (obě tyto skupiny mají lepší kontrolovatelnost utváření třísky), austenitickou nebo duplexní strukturu. Austenitické a duplexní oceli mají horší utváření třísky (obr. 8) [20]. Při obrábění těchto materiálů hrozí tvorba nárůstku na břitu (obvykle v intervalu  $v_c = 40 - 90$  a  $180 - 400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ) [3].

Kromě velkého sklonu k deformačnímu zpevnění mají korozivzdorné oceli nižší tepelnou vodivost, což má za následek, že třískou je odváděno menší množství tepla. Do ostří nástroje je tedy přenášeno větší množství tepla [22].

Pro obrábění těchto ocelí je vhodný ostrý (avšak dostatečný) poloměr špičky břitu nástroje, který zajistí menší řezné síly a lepší kontrolu třísky. Nicméně proti plastické deformaci řezné

e vhodnější větší poloměr špičky. Příliš velký poloměr špičky by měl za následek vznik vibrací. Pro hrubovací operace je výhodné využít větší šířky záběru ostří s větší hodnotou posuvu spolu s redukovanou řeznou rychlostí. Je nutné také zajistit dostatečné přídavky na obrábění pro dokončovací operace (zamezení deformačnímu vytvrzení). Důležité je, kromě geometrie nástroje a vhodného řezného materiálu, současně vybrat vyhovující obráběcí stroj s vysokou tuhostí, spolehlivostí a využít procesní kapalinu. Samozřejmostí je také bezpečné upnutí a co nejmenší vyložení nástrojů. Je nutné věnovat pozornost tomu, aby nedocházelo k nadměrnému opotřeбенí nástroje [3].

Pro zlepšení obrobiteľnosti jsou korozivzdorné materiály opatřeny určitým obsahem síry. Naopak větší obsah uhlíku způsobí nárůst opotřeбенí, prvky Mo a N snižují obrobiteľnost těchto ocelí (zlepšují však odolnost proti kyselinám) [20].



Obr. 8 Akumulované třísky na nástroji při obrábění austenitické korozivzdorné oceli.



### 2.4.1 Klasifikace tříd slinutých karbidů dle ISO

Slinuté karbidy pro řezné nástroje jsou jedním z nejčastěji používaných řezných materiálů. Pro různé aplikace byly vyvinuty specifické slinuté karbidy. Pro označení jednotlivých skupin byl zaveden systém ČSN ISO 513 (značení písmem s následnou číslicí, například P10). Jsou tak definovány určité skupiny materiálů v jednotlivých případech obrábění v závislosti na namáhání břitu. Toto utřídění (tab. 1) je pozitivní pomůckou [3, 16]. Druh obráběného materiálu má významný vliv na volbu geometrie a třídy slinutého karbidu (nástroje) včetně řezných podmínek. Obráběné materiály byly dle ISO standardů seříděny do šesti hlavních skupin [20].

Tab. 1 Skupiny obráběných materiálů [20].

Druh obráběného materiálu	Označení písmenem	Barevná klasifikace
Ocel	<i>P</i>	Modrá
Korozivzdorná ocel	<i>M</i>	Žlutá
Litina	<i>K</i>	Červená
Neželezné kovy	<i>N</i>	Zelená
Žárovzdorné slitiny	<i>S</i>	Hnědá
Tvrzené materiály	<i>H</i>	Šedá

První skupina ISO *P*, reprezentuje největší segment obráběných materiálů. Zahrnuje nelegované i legované materiály nebo ocel na odlitky. Obrobitelnost je přijatelná (liší se obsahem uhlíku nebo tvrdosti materiálu případně v dalších aspektech). Třída ISO *M* zaštiťuje korozivzdorné oceli (minimálně 12 % Cr). Patří sem například austenitické a duplexní oceli. Mikrostruktura korozivzdorné oceli je závislá hlavně na chemickém složení. Skupina ISO *K* zahrnuje litinu, která tvoří krátké třísky. ISO *N* označuje neželezné kovy (jako měď, hliník, slitiny mosazi apod.), charakteristické je pro tento typ využití vysoké řezné rychlosti s ostrými břity nástroje (vynikající životnost). ISO *S* zahrnuje vysokolegované oceli (žárovzdorné superslitiny). Obrobitelnost je obtížnější při porovnání se skupinou ISO *M* (ještě menší životnost nástrojů). Poslední skupina ISO *H* reprezentuje tvrzené litiny a oceli (obtížně obrobitelné materiály) [20].

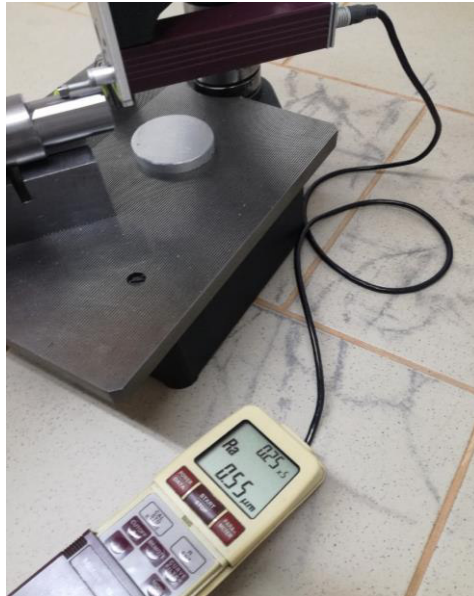
### 2.4.2 Jakost obráběných povrchů

Ve strojírenské výrobě je důležitým faktorem jakost (kvalita) obrobených povrchů [23]. Obrobené povrchy vykazují odchylky od požadovaných geometrických (ideálních) povrchů [24]. Obzvláště v některých aplikacích je důležitá kvalita povrchů (povrchy pro kuličková ložiska, ozubená kola, hřídele nebo vačky). Finální (dokončovací nebo jemné) obrábění je charakteristické menšími šířkami záběru ostří ( $a_p$ ) včetně posuvu ( $f$ ), současně s většími  $v_c$ . Vibrace nástroje nebo obrobku, tuhost obráběcího stroje a geometrie nástroje spolu s řeznými podmínkami ovlivní výslednou jakost povrchů [20, 23].

Pro utváření třísky v jednotlivých operacích (hrubování, střední obrábění a dokončování) jsou uzpůsobeny geometrie nástrojů. Existují hladicí břitové destičky (geometrie wiper), kdy lze dosáhnout lepší jakosti povrchu při větších hodnotách  $f$ . Využívají se diagramy utváření třísky pro jednotlivé operační sledy (hrubování, dokončování) v obrábění. Tento diagram znázorňuje závislost  $a_p$  na  $f$  [20]. Parametry

profilu povrchu lze vyhodnotit pomocí několika ukazatelů (obr. 9). Nejčastěji se využívají parametry R-profilu, konkrétně  $R_a$ ,  $R_z$  [24], případně parametr  $R_t$  [23].

Pro vyhodnocování se aplikují různé snímací systémy. Lze použít kromě dotykové metody i bezdotykové měření CCI (Coherence Correlation Interferometry), které umožní zjistit trojrozměrné charakteristiky povrchu (3D analýzy profilu a tvaru, případně 2D měření profilu povrchu) [25].



Obr. 9 Vyhodnocování profilu povrchu (dotyková metoda).

## 2.5 Řezné materiály

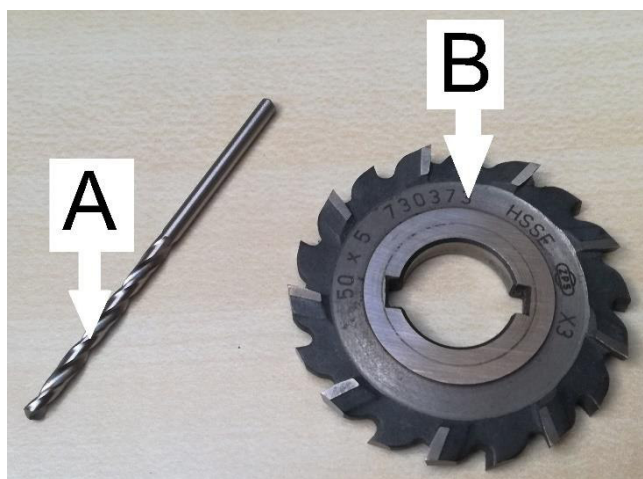
Druh použitého nástrojového materiálu je podstatný pro obráběcí proces. Výběr řezného materiálu je třeba pečlivě zvážit s ohledem na druh obráběcí operace, materiálu obrobku, kinematiku obrábění, obráběcí stroj, požadované jakosti a přesnosti provedení povrchu. Použitelné řezné podmínky a náklady na obrábění je nutné zhodnotit při volbě nástroje [3, 23]. Řezný materiál (obr. 10) musí mít dostatečnou tvrdost (odolnost proti opotřebení) houževnatost břitu, chemickou stabilitu a odolnost proti zatažení tepelným šokem [3].



Obr. 10 Ukázka řezných nástrojů (frézy, VBD, šroubovité vrtáky a další) z HSS a SK.

### 2.5.1 Rychlořezné oceli (HSS, RO)

Před rychlořeznou ocelí se využívala uhlíková ocel jako nástrojový materiál. Tento materiál však měl nízkou tvrdost (nedostatečná trvanlivost) a mohl být použit při malých  $v_c$ . Bylo nutné vyvinout nový řezný materiál s lepšími vlastnostmi, který by eliminoval tyto nedostatky. Počátkem 20. století tak došlo k zavedení rychlořezné oceli v technologii obrábění. Nástroje z HSS (obr. 11) se staly základem pro tehdejší soustružení. Postupně docházelo k vývoji tohoto řezného materiálu. S nástupem slinutých karbidů však podíl HSS na obrábění klesal [3, 23]. Nicméně i nadále se využívají díky své dobré houževnatosti a dostatečné tvrdosti při nižších pracovních teplotách (lze využít jako určitou alternativu i pro obrábění austenitických ocelí) [26]. Moderní způsoby povlakování umožnily HSS zlepšení jejich výkonů [27].



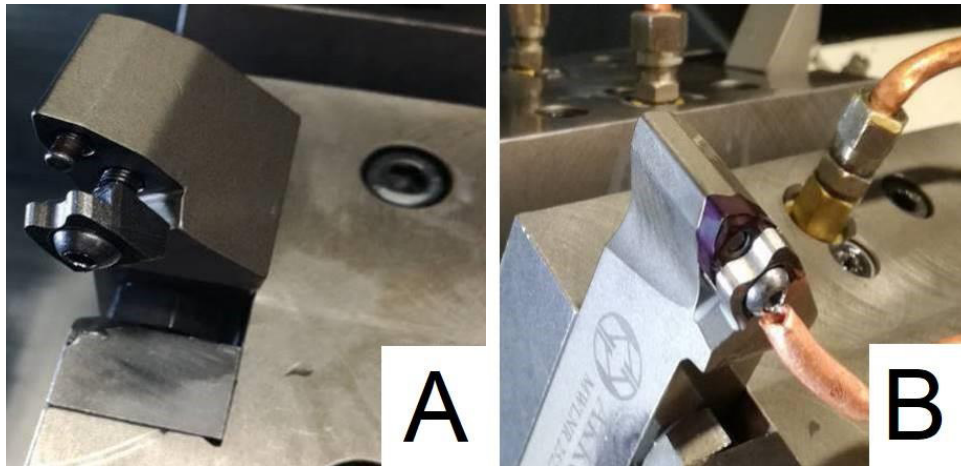
Obr.11 Nástroje z HSS; A – šroubovitý vrták, B – kotoučová fréza.

### 2.5.2 Slinuté karbidy (SK)

Často využívaným a důležitým řezným materiálem se stal slinutý karbid vyvinutý v Německu během 30. let 20. století. Zavedení tohoto řezného nástroje se stalo významným milníkem v technologii obrábění kovů. Vyrábí se pomocí technologie práškové metalurgie [3]. Základní složkou jsou tvrdé karbidy (WC, TiC, TaC, NbC) s kobaltovým pojivem. Složení a struktura karbidů se může lišit v závislosti na aplikačním použití. Při následném vývoji se využily nové metody povlakování (PVD, CVD), které umožnily vznik nejprve jednovrstvých, poté vícevrstvých povlaků [28]. Ačkoliv vrstva povlaku se pohybuje v řádu  $\mu\text{m}$ , došlo zároveň ke zvýšení  $v_c$ , trvanlivosti břitů a posuvů [3, 28]. V současnosti je převážná většina SK opatřena povlakem [20]. Povlakování SK umožnilo zvýšit produktivitu obrábění. Během vývoje se zdokonalil i způsob upnutí břitových destiček. Nejprve se řezné elementy ze SK upínaly za pomoci pájení k stopce nože. Tento způsob nebyl vyhovující (nevýhodou bylo napětí vzniklé při pájení nebo výměna). Dalším mezníkem (kromě zmíněného povlakování) bylo využití nového způsobu upínání. Konkrétně pomocí mechanického způsobu upnutí [3].

Tato změna byla významná pro rozvoj geometrie nástroje a utvařeče třísky [28]. V současnosti je převážná většina vyměnitelných destiček ze SK upínána mechanicky (šroub, kolík, samosvorné lůžko apod.). V příloze 1 a příloze 2 je uvedeno označování soustružnických těles s VBD ze SK dle ISO standardů. Výměna opotřebené břitové destičky je snadná a rychlá (obr. 12). I nadále pokračuje vývoj a snaha zvyšování výkonových charakteristik těchto řezných nástrojů [3]. Nové generace slinutých

karbidů nabízí potenciál pro zvýšení  $v_c$ , trvanlivosti břitu a vysokou spolehlivost procesu řezání. Kombinace řezných nástrojů z HSS (s možností vytváření povlaků) společně se SK je velice významná v oblasti obrábění kovů [29]. Mezi výrobce vyměnitelných břitových destiček ze SK patří například SANDVIK AB, Dormer Pramet s.r.o, ISCAR ČR s.r.o, nebo Sumitomo Electric Industries, Ltd [28].



Obr. 12 Pohled na těleso nože; A – mechanické upínání bez VBD (šroub a kolík), B – mechanicky připevněná vyměnitelná břitová destička ze SK.

### 2.5.3 Cermety

Cermet je kompozitní materiál vyrobený spékáním směsi složené z prášku kovů a keramiky [30]. Jedná se o slinutý karbid na bázi titanu. Cermety jsou charakteristické vysokou odolností proti opotřebení, chemickou stabilitou s malým sklonem k tvorbě nárůstku [3]. Nevýhodou je menší odolnost k tepelným trhlinám (lze jim předejít nevyužitím procesní kapaliny). Cermety lze povlakovat například metodou PVD [20]. Aplikují se při velkých  $v_c$  a malých hodnotách  $f$  spolu s menšími přídávky na dokončení. Ideální pro použití cermetů je stabilita procesu a obrábění bez přerušovaných řezů včetně včasné výměny opotřebovaného břitu. Používají se v technologii soustružení a pro určité frézovací operace (díky zlepšení odolnosti proti tepelnému šoku). Jsou alternativou pro obrábění korozivzdorných ocelí, nízkouhlíkových ocelí, a především pro dokončovací (jemné) obrábění (dosažení vynikající jakosti povrchů a dodržení náročných tolerancí) [3, 20].

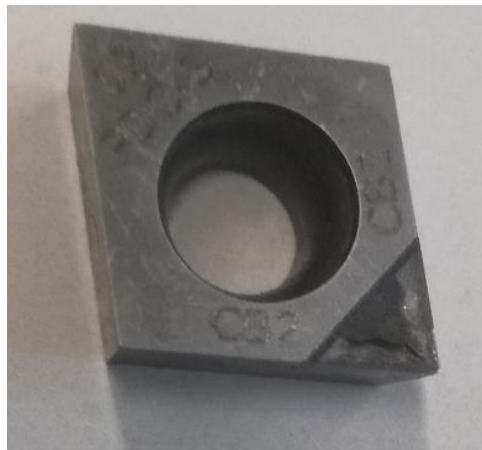
### 2.5.4 Řezná keramika

Keramické řezné materiály se vyznačují vysokou tvrdostí za tepla, jsou tvrdé a chemicky netečné k obráběnému materiálu. Existuje více používaných typů řezné keramiky, například oxidová, smíšená, vyztužená nebo na bázi nitridu křemíku. Mají vynikající trvanlivost břitu a možnost použití pro vysoké  $v_c$ . Negativní charakteristikou keramiky je nízká odolnost proti tepelným trhlinám spolu s malou lomovou houževnatostí. Podstatné pro úspěšné použití keramiky je stabilita upnutí, stroje, řezných podmínek, vedení řezu a přizpůsobení břitu. Při optimalizaci řezných parametrů a správných podmínek lze dosáhnout velkého objemu odebraného materiálu. Hlavní aplikační použití zahrnuje obrábění šedé litiny, žárovzdorných slitin a kalené oceli. Využívá se pro vysokorychlostní soustružnické operace, případně pro zapichovací a frézovací operace [3, 20].



### 2.5.5 Kubický nitrid boru a polykrystalický diamant

Mezi supertvrdé řezné materiály patří synteticky vyráběný diamant (PD) a kubický nitrid boru (CBN). Tyto nástrojové materiály se využívají pro speciální aplikace [28]. CBN se používá pro soustružení i frézování kalených ocelí a tvrzených litin (minimální tvrdost obráběného materiálu je 45 HRC). Umožňuje také vysokorychlostní hrubování šedé litiny. CBN je charakteristický dobrou houževnatostí a odolností proti tepelným rázům [20, 28]. Využívá se obrábění zasucha (bez procesní kapaliny, při nezbytném použití procesní kapaliny je nutný dostatečný přívod přímo na břit). Nevýhodou je vyšší cena. S břity z CBN lze získat výbornou jakost obrobeného povrchu (alternativa k broušení). Druhým významným zástupcem tvrdých řezných materiálů je PD. Vynikající tvrdost umožňuje odolávat abrazivnímu opotřebení. Nevýhodou je omezení použití za vyšších teplot a afinita k železu. Kvůli značné křehkosti se požaduje vysoká tuhost stroje a nástroje spolu s vysokými  $v_c$ . PD se používá hlavně pro obrábění načisto (jemné) u soustružení a vrtání. Malé břity jsou pevně uchyceny k břitové destičce ze SK (obr. 13). Typické aplikace PD jsou situace obrábění slitin neželezných kovů (slitiny Al) nebo kompozitů [3].



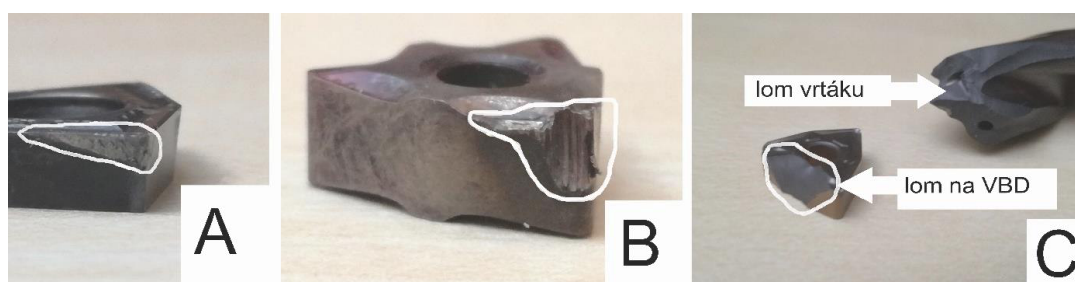
Obr. 13 Vyměnitelná břitová destička osazená břitem z PD.

### 2.6 Opotřebení břitu nástroje

Opotřebení je nežádoucí (negativní) projev při obráběcím procesu [3]. Břity nástrojů podléhají určitému druhu opotřebení, které je doprovázeno velkým množstvím tření [23]. Řezný nástroj je během obrábění vystaven značnému mechanickému a tepelnému namáhání. Při dosažení určité míry opotřebení je nutné vyměnit (případně přestrojit) otupený břit nástroje [14]. Tato míra se označuje pojmem *trvanlivost* břitu a uvádí se v minutách. Jde o dobu, kdy daný břit obrábí kov při zvolených parametrech a splňuje požadované jakosti opracování povrchu [3]. Kontrolovaný proces opotřebení by měl směřovat k opotřebení otěrem na hřbetu (abrazivní), které lze snadněji předvídat [31]. Existují další možné mechanismy opotřebení – difúzní, oxidační, adhezní a lomový [3]. Další pojem *životnost* nástroje označuje celkovou dobu, kdy lze nástroj efektivně používat pro obrábění (VBD mají více břitů), než bude vyřazen [14]. U hrubovacích operací dochází k většímu opotřebení, zároveň ale není kladen velký ohled na jakost obrobeného povrchu. U všech operací je požadovaný kontrolovatelný odchod třísky a zabránění nečekaného lomu (obr. 14). Dokončovací obrábění klade zvýšené nároky na kvalitu povrchu, a proto je míra opotřebení břitu nižší než u hrubování. Je tedy nutná výměna, jakmile již břit není schopen dosáhnout požadované jakosti povrchu [3].

Faktory ovlivňující míru opotřebení břitu:

- obráběný materiál – fyzikální a mechanické vlastnosti (velký vliv tepelné vodivosti), struktura a chemické složení,
- druh řezného materiálu,
- geometrie řezného nástroje,
- vibrace generované během obrábění (malá tuhost tělesa nástroje nebo nesprávné upnutí obrobku),
- podmínky obrábění – plynulý nebo přerušovaný řez,
- způsob obrábění a řezné prostředí,
- řezné parametry – řezná rychlost (Taylorův princip), posuv, šířka záběru ostří [3, 14, 31].



Obr. 14 Ukázka opotřebení nástrojů; A – přijatelné opotřebení na hřbetu VBD, B – nadměrné opotřebení VBD, C – lom nástroje.

Hlavním řezným parametrem ovlivňující trvanlivost břitu je  $v_c$ . Při zvyšování parametrů  $a_p$  nebo  $f$  dochází ke snížení trvanlivosti břitu pomalejším tempem. Nicméně pro obrábění korozivzdorných ocelí platí, že zvýšení  $a_p$  a  $f$  (na určité meze) vede naopak k prodloužení trvanlivosti (vyšší produktivita s nejnižšími náklady). Jednotlivé typy opotřebení jsou uvedeny v příloze 3. Popis Taylorovy rovnice se nachází v příloze 4 [3, 31].

## 2.7 Řezné prostředí

Řezné prostředí může pozitivně ovlivnit obráběcí proces. Cílem obrábění je získání obrobku s požadovanou tolerancí rozměrů a jakostí povrchu. Při aplikaci procesních kapalin lze dosáhnout vyšší trvanlivosti břitu nástroje, zlepšení jakosti obrobeného povrchu, snížení řezných sil, zmenšení teplotní deformace a zlepšení utváření třísky [15]. První základní funkcí procesních kapalin je mazání především při nižších  $v_c$ . Typickou operací, kdy se vyžaduje primárně mazací účinek, je řezání závitů. Druhý hlavní účinek je chladicí funkce, obzvláště při vyšších hodnotách  $v_c$ . Výběr procesní kapaliny souvisí také s dalšími aspekty, jako je zdravotní nezávadnost, ochrana proti korozi, odchod třísek (čisticí funkce), ekologie a ekonomické náklady [13, 23]. Jako chladicí a mazací látky mísitelné vodou se často použijí emulze typu oleje ve vodě. Emulze mají dobrý chladicí účinek a přijatelnou cenu. Při používání procesních kapalin je však nutné dbát na určitá pravidla. Důležitá je včasná výměna, kontrola koncentrace (záznam na kartě stroje) nebo odstraňování cizích látek (olej, třísky, obr. 15) pro prodloužení životnosti [32]. Po skončení životnosti emulze je nutná jejich ekologická likvidace. Lze využít externí společnosti nebo deemulgační stanice [33].



Obr. 15 Čištění nádrže CNC soustruhu od třísek.

## 2.8 Soustružení a některá jeho problematika

Technologie soustružení je jedna z nejvíce rozšířených metod obrábění kovů. Ačkoliv základní podstata soustružení je v principu jednoduchá, existují různé situace (operace), kdy se musí provádět určitá opatření a dodržovat jistá pravidla. Prvním krokem je analýza údajů související s obráběnou součástí. Konkrétně charakter požadované součásti (materiál obrobku, přesnost, geometrie a jakost povrchů). Každý obrodek vyžaduje specifický postup (například vnější nebo vnitřní soustružení) s určitými reznými parametry (hrubovací nebo dokončovací operace). Dle výkresu součásti lze ihned stanovit potřebný poloměr špičky vyměnitelné břitové destičky (požadované poloměry zaoblení rohů) pro dokončovací operaci [3, 20].

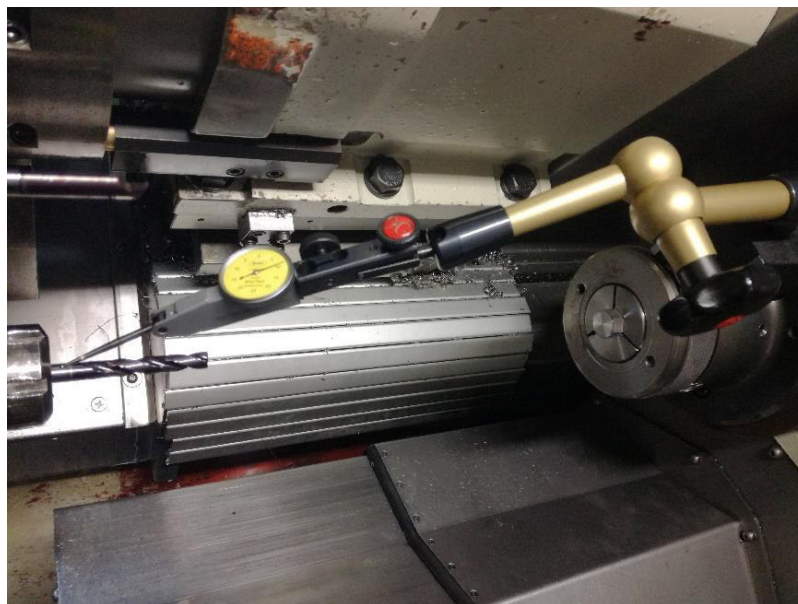
Z dané operace se stanoví druh i velikost potřebné stopky nástroje (značení dáno normou). Významná je velikost úhlu nastavení. Následně se vybere tvar břitové destičky (včetně její geometrie, velikost VBD je odvozena od zvoleného tělesa nástroje) a poloměru špičky. Výrobci břitových destiček udávají pro každý typ destičky aplikační rozsah a doporučené rezné parametry. Velikost stopky se volí maximálně možná pro upnutí v daném stroji. Důvodem je získání maximální tuhosti (stabilita břitu) [3]. Specifickým případem je vnitřní soustružení, kdy je často zapotřebí stopka nástroje štíhlá a dlouhá. To vede ke vzniku nežádoucích vibrací, které zkrátí životnost nástroje včetně horší jakosti povrchu [19]. Délka vyložení nástroje nesmí být zbytečně velká. Kromě výběru vhodného tělesa nože a destičky je důležité správné upnutí obrobku (kleštiny, sklíčidlo apod). U značně dlouhých obrobků je nutné využít podpěru (koník, případně vedlejší pracovní vřeteno, obr. 16). Během analýzy se berou v úvahu vznikající třísky a jejich odvádění z místa řezu (u vnitřního soustružení je toto náročnější). Správné seřízení stroje před zahájením výroby je významné pro dosažení požadované jakosti, trvanlivosti nástrojů a zajištění spolehlivosti obráběcího procesu. Například u upichování je důležité, aby upichovací nůž byl přesně v ose obrobku. Dalším aspektem může být velikost odchylky (házení) nástroje (vrtáku) vůči ose



obrobku (vřetena) během vrtání. Z toho důvodu se měří odchylka házení nástroje a provádí příslušná korekce (obr. 17). Je nutné věnovat pozornost také samotnému břítu vrtáku. Nesprávné nabroušení nebo nadměrné opotřebení břítu vrtáku může vést ke vzniku odchylky od požadovaného vrtaného rozměru. Současně při nesouměrnosti břitů (nesprávné nabroušení) může být jeden z břitů více zatížen a zvětšovat vrtaný průměr, případně dojde v krajní situaci až k lomu samotného vrtáku. Je možné uvést i problematiku řezání závitů na CNC soustruhu (přísuv, počet průjezdů). Řezné podmínky ( $v_c$ ,  $a_p$ ,  $f$ ) se vždy optimalizují pro příslušnou operaci s ohledem na nástroj, obráběný materiál, požadovanou jakost a přesnost rozměrů [3, 19, 20].



Obr. 16 Podepření dlouhého obrobku s vyžitím vedlejšího pracovního vřetena.



Obr. 17 Měření odchylky vrtáku (vzhledem k ose vedlejšího vřetena CNC soustruhu).



Následuje konečný výběr vhodného obráběcího stroje pro obrobení požadované součásti. Posuzuje se současně výkon, stabilita, možný počet otáček za minutu (vliv na  $v_c$ ), přívod procesní kapaliny, možnost využití více pracovních vřeten, velikost podavače tyčí a kapacita nástrojů v revolverové hlavě [20].

Na určitých typech CNC soustruhů lze také využít poháněcí nástrojové jednotky (obr. 18) a vytvářet rovinné a tvarové plochy (frézováním), což je výhodné [34]. Poháněcí nástrojové jednotky mohou mít chladicí kanálek pro vnitřní přívod procesní kapaliny. Výhodné toto řešení je za spojení nástroje s chladicími kanálky (vnitřní přívod procesní kapaliny) s použitím vhodného upínače (utěsněné kleštiny). Problém může nastat při zanesení chladicího kanálku v poháněcí jednotce nečistotami. To způsobí omezení přívodu procesní kapaliny a je nezbytná náprava (čištění od nečistot, kontrola maziva, obr. 19). Samozřejmostí při výrobě je včasná výměna opotřebovaných nástrojů, údržba (čištění lůžka, stroje) nebo výměna procesní kapaliny a kontrola její koncentrace. Velikost výrobní dávky hraje významnou roli při plánování výroby. Primárně u sériové a hromadné výroby je vyžadována maximální produktivita a optimalizace procesu výroby [3, 20, 34].



Obr. 18 Poháněná nástrojová jednotka v revolverové hlavě CNC soustruhu.



Obr. 19 Údržba poháněcí jednotky.

### 3 MODERNÍ OBRÁBĚCÍ CNC STROJE

Moderní obráběcí stroje s počítačem (číslicovým) řízením jsou vybaveny programovatelným průmyslovým počítačem (včetně softwarového vybavení), který provádí výpočty ze zadaných dat a kompletně řídí příslušný obráběcí stroj [7].

Počítač umožnil zjednodušení programování (editace programů), řízení stroje, plánování výroby a uchování dat. CNC stroje jsou přizpůsobeny pro automatizovaný provoz, to zahrnuje automatickou výměnu nástrojů a obrobků (včetně možnosti polohování). Stroje jsou opatřeny řídicím systémem a využívají stavebnicovou (modulární) konstrukci. Neustále se však zdokonaluje konstrukce, jelikož nároky na tyto stroje neustále narůstají [7, 35]. Pomocí počítačového programu (uloženého v paměti) jsou příkazy postupně řízeny pohyby obrobku nebo nástroje včetně změn režných parametrů [36].

Na CNC obráběcím centru lze realizovat více technologických operací. Například u obráběcího CNC soustruhu (obr. 20) lze využít technologie frézování a tím vyrobít obráběnou součást na jednom stroji s minimálním počtem upnutí. Výsledkem je snížení vedlejších přípravných časů a zefektivnění výrobního procesu. CNC stroje umožňují pružnou změnu výroby. Lze tak přizpůsobit výrobu odlišného výrobku velmi rychle [35, 36].

Výroba podporovaná počítačem (CIM) se podílí již od návrhu výrobku po její samotnou realizaci výroby s následnou expedicí a logistikou. Počítače tak zasahují do procesu výroby již v prvotních fázích vývoje (návrh, výzkum) [34, 35].



Obr. 20 Pohled na CNC soustruh.

### 3.1 Přehled požadavků pro obráběcí CNC stroje

CNC obráběcí stroje jsou uzpůsobeny pro automatizovaný provoz. Vyžadují však zvýšené nároky na konstrukci s porovnáním konvenčních (klasických) obráběcích strojů [6, 8].

Hlavní požadavky:

- vysoká tuhost soustavy – statická (stálé zatížení) a dynamická (proměnlivé),
- vyhovující odvod třísek (zejména u vysokovýkonných strojů),
- generování dostatečných sil (pro překonání řezných a třecích sil),
- plynulý a stabilní pohyb posuvové soustavy,
- pracovní vřeteno – přesný chod, rozsah otáček, teplotní stabilita, tuhost,
- pohon vřetena – rychlá reverzace a zastavení pohonu, regulační rozsah,
- spolehlivé a přesné (opakovatelné) upnutí nástrojů s vyhovujícím přívodem procesní kapaliny,
- dostatečná kapacita nástrojů,
- jednoduchá a spolehlivá výměna nástroje s minimálním časem na výměnu,
- výměna obrobků – přesné a tuhé upnutí obrobku v nejkratším čase,
- možnost diagnostiky, stavebnicová konstrukce a její spolehlivost s požadovanou životností [8, 11, 37].

### 3.2 Výhody (nevýhody) CNC strojů

Mezi výhody obráběcích CNC strojů patří:

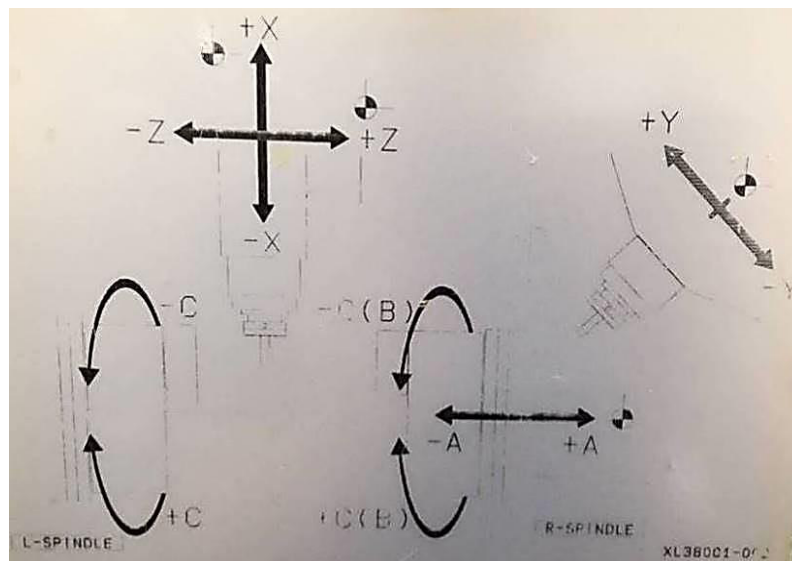
- snížení vedlejších (přípravných) a hlavních časů,
- vysoká výrobní přesnost a opakovatelnost,
- stálé obráběcí časy a jakost výrobků,
- možnost vytvářet tvarově složité tvary a plochy,
- jednoduché upínání nástrojů a minimální počet upnutí obrobků,
- pružnost (flexibilita) výroby – rychlé zavedení výroby nové součásti,
- celkové zvýšení produktivity (automatizovaný proces výroby) [36, 38].

Nevýhody CNC strojů:

- cena a počáteční investice na obráběcí CNC stroje je vyšší (se srovnáním s konvenčními obráběcími stroji),
- na obsluhu CNC strojů je potřeba méně pracovníků (vliv na nezaměstnanost díky automatizaci výroby a potřeby méně pracovních sil),
- možná pozvolná ztráta technických dovedností s ručně ovládanými obráběcími stroji, případně obecných pravidel technologie obrábění [39, 40].

### 3.3 Systém souřadnic CNC stroje

Systém stavění souřadnic je velice významný pro programování CNC stroje. Obráběcí CNC stroje aplikují kartézský systém stavění souřadnic (definováno normou ISO) pro řízení. Tento pravouhlý systém využívá základní osy X, Y, Z. Systém je koncipován jako pravotočivý. Rotační pohyby kolem základních os se označují písmeny A, B, C (jejich osy jsou rovnoběžné s X, Y, Z). Osa Z je vždy rovnoběžná s pracovní osou vřetena. Pro CNC soustruhu je osa Z rovnoběžná s osou obrobku, u CNC frézky s nástrojem. Platí že, kladný směr je od obrobku k nástroji (obr. 21). Často CNC soustruhy používají kromě primárních os (X a Z), ještě osu C pro frézovací operace [35, 38]. Pro (horizontální) soustruhy je podstatné (u osy X), zda mají nástroj za osou otáčení, nebo před osou otáčení. [41].



Obr. 21 Souřadnicový systém CNC u soustruhu Takisawa (osy X, Z, Y, C, A).

#### 3.3.1 Vztažné body na CNC stroji

Systém souřadnic má vždy přesně definovaný počátek. Tento počátek se nazývá *nulový bod* (souřadnice X0, Y0, Z0). Existují různé nulové body. Znalost těchto bodů je významná pro správné využití příkazů, zadávání geometrie a korekcí pro jednotlivé nástroje [35, 38].

Důležité vztažné body:

- *nulový bod stroje (M)* – definován výrobcem stroje, neměnný, je výchozí pro ostatní vztažné body a systémy, u soustruhů se nalézá v ose rotace obrobku na čelní ploše vřetena,
- *nulový bod obrobku (W)* – volen programátorem pomocí specifické přípravné funkce (G54, G55, G56, G57, G58, G59) dle možností řídicího systému (volí se do výhodné pozice, u soustruhu bývá na čele obrobku v ose Z, X=0),
- *referenční bod nástroje (T)* – poloha (geometrie) nástroje je uložena v paměti systému, vliv typu použitého nástroje (soustružnický nebo frézovací),
- *referenční bod stroje (R)* – slouží pro kalibraci inkrementálního odměřovacího systému, po každém spuštění stroje musí najet stroj do tohoto bodu (stisknutí tlačítka na ovládacím panelu, stroj automaticky najede do dané pozice, nezbytné pro všechny osy) [35, 38, 41].



Nejčastější funkce pro změření vzdálenosti nulového bodu obrobku vzhledem k nulovému bodu stroje (u CNC soustruhu) s řídicím systémem Fanuc je příkaz G54 (případně s G55 pro vedlejší pracovní vřetenou). Změřená hodnota od nuly stroje k nule programu se zadá do příslušné tabulky korekce. Vzdálenost je vždy od nuly stroje k nule obrobku, pokud je směr záporný, musí se dodržet znaménko mínus [38].

### 3.4 Korekce nástroje, opotřebení a geometrie

Během obrábění se často použije více řezných nástrojů různých velikostí. Každý nástroj má definovanou specifickou hodnotu v příslušné tabulce korekcí [41].

Druhy korekcí:

- *délková* – jednotlivé hodnoty se vztahují k osám souřadnicového systému,
- *rádiusová* – udává rozměr rádiusu špičky nástroje (nožů, fréz) včetně stanovení polohy nástroje k obráběné ploše,
- *výsledná* – jedná se o superpozici délkové a rádiusové korekce, tvoří ekvidistantu kontury obrobku [35].

Korekce *opotřebení (wear offset)* se využije při úpravě (korekci) rozměrů pro dodržení výrobních tolerancí. Je definovaná rozdílem mezi naprogramovanou hodnotou požadovaného rozměru a změřenou (skutečnou) hodnotou velikostí obrobku. Tato korekce je významná vzhledem k tomu, že během obrábění dochází k postupnému opotřebení břitu nástroje a současně dochází k interakci s okolním prostředím (změna teplot). Do určené tabulky korekce (daného nástroje) se zadá změřená odchylka rozměru (lze tisíce milimetru). Vychází se ze souřadnicového systému stroje, důležité je neopomenout znaménko (směr) a zohlednit polohu nástroje (soustružení vnější nebo vnitřní plochy) při zadávání hodnoty korekce. Korekce *geometrická (geometry offset)* je hodnota nástroje změřená (operátorem) vzhledem k nulovému bodu stroje (obr. 22). Při vložení nového nástroje se vždy musí zadat (změřit) nová hodnota geometrie. Každý nástroj použitý v programu má definované umístění v revolverové hlavě případně zásobníku (například T0101 pro systém Fanuc) a přiřazenou hodnotu korekce. [38] U strojů s možností měření v procesu obrábění (využití měřicích sond) je možné využití cyklu aktivní kontroly polohy břitu nástroje (nástroj je měřen snímačem), při rozdílu mezi skutečným a požadovaným rozměrem se provede automatická korekce. Kromě toho lze naprogramovat dobu trvanlivosti břitu nástroje. Při překročení nastavené hodnoty PLC zvolí vhodný náhradní nástroj a předá požadovaná data řídicímu systému [36].

C	OSA X	OSA Z	R	T
G 009	82.450	77.300	4.0000	
G 010	91.870	84.150	0.0000	
G 011	102.933	83.267	0.0000	
G 012	79.670	78.700	0.0000	
G 013	-0.070	-148.017	0.0000	
G 014	-7.267	-96.733	0.0000	
G 015	-20.090	-152.000	0.0000	
G 016	-20.030	-125.190	0.0000	

RELATIVNI			
U	129.430	H	0.000
W	263.413	V	0.000

A) \_ WKCD-1

JOG \*\*\*\*\* \*\* 11:51:00

OPOTRE GEOM1+ OPOTRE GEOM2 OPERAC

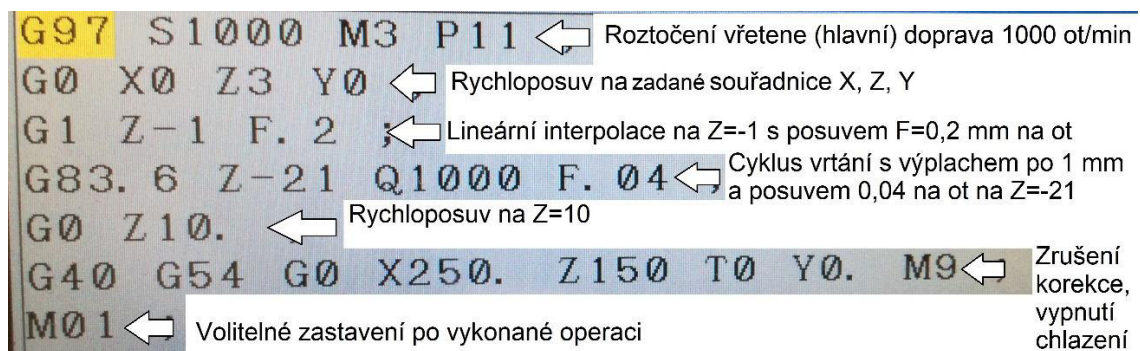
Obr. 22 Tabulka korekcí geometrie nástrojů.

### 3.5 Základní struktura NC programu

Pro řízení CNC stroje je vždy nezbytné zadat všechny potřebné informace. Organizace struktury programu pro CNC stroje je přesně definovaná (učena normou). NC program (part program) začíná obvykle číslem přiřazené k danému programu, pro ukončení programu se využívá pomocná funkce (M30). Nejmenší částí programu může být číslice, písmeno nebo symbol. Následuje slovo, tedy kombinace alfa numerických znaků. Jde například o přípravné (G) nebo pomocné funkce (M), posuv (F) a rychlost (S). Nadřazený slovu je blok programu (N) [38, 41]. Průběžné poznámky v programu se uvádí v závorkách, případně příslušnou funkcí G [35].

Požadované data (instrukce, obr. 23):

- druh pohybu (přípravné geometrické funkce G),
- cílové souřadnice (X, Y, Z a A, B, C pro rotaci kolem uvedených os),
- technologické parametry (F, S, T),
- pomocné funkce (M) [35, 41].



Obr. 23 Ukázka NC programu přímo na CNC soustruhu (řídící systém Fanuc).

Je možné využít dva odlišné přístupy pro programování. Režim absolutních souřadnic se aktivuje funkcí G90. U tohoto způsobu se všechny souřadnice vztahují vždy k nulovému bodu obrobku. Druhou alternativou s funkcí G91 je zadávání souřadnic inkrementálně (relativní programování) vždy s ohledem na stávající polohu, často se tak využívá u podprogramů a cyklů (opakování složitých tvarů). Tento způsob nicméně je náročnější na kontrolu chyb oproti programování v režimu absolutních souřadnicích [41, 42].

### 3.6 Řídící systémy CNC strojů

Řídící systém je nezbytný pro řízení obráběcích CNC strojů. Ovládá a řídí jednotlivé pohyby, mechanismy, manipulátory (zásobník nástrojů, obrobků) a funkce stroje včetně sledování samotného procesu obrábění. Systém reguluje pohyby v jednotlivých osách, u automatizovaných pracovišť umožňuje vykonávat více činností současně (obrábění, manipulace, diagnostika). Tyto možnosti přinesly mikroprocesory zabudované do těchto strojů [34, 36]. Aktuálně se pro CNC stroje využívají systémy se souvislým řízením ve více osách (dvuosé, tříosé, čtyřosé a vrchol pětiosé) [42]. Například řídicí systém Fanuc série 32i model B umožňuje 3D detekci kolize, dílenské programování (Manual Guide i), rychlostní obrábění, pětiosé obrábění a řízení několika os a vřeten. Tento typ je vhodný pro variabilní vícekanálové stroje s vysokou přesností a rychlostí obrábění [43].

V současné době jsou nevíce rozšířené řídicí systémy *Fanuc*, *Siemens* (Sinumerik) a *Heidenhain*. Existují další výrobci řídicích systémů, například *Okuma*, *Mazak*, *Hass*, *Fagor* a další. Řídicí systémy se neustále zdokonalují a vyvíjejí [34].

### 3.7 Pracovní režimy a ovládací panel CNC stroje

Během operování s obráběcími CNC stroji se lze setkat s několika režimy:

- MAUNAL – ruční ovládání, využívá se pro seřízení, výměnu nástroje, najíždění posuvem na obrobek nebo do požadované pozice,
- AUTO – automatický provoz stroje dle zadaných dat (programu),
- B-B – blok po bloku, po zpracování bloku se stroj zastaví a po opakovaném spuštění se zpracuje následující blok, slouží jako kontrola programu,
- EDIT – slouží k vytváření a úpravy programů přímo na stroji,
- MDI – režim manuálního zadávání dat (otáčení revolverové hlavy, načtení korekcí, spuštění otáček, najetí do požadované polohy apod.) [35, 38].



Obr. 24 Ovládací panel CNC soustruhu.

Ovládací panel (obr. 24) se může lišit dle typu stroje a výrobce. Vždy obsahuje alfanumerickou klávesnici, na které se zadávají data a vytváří se (nebo edituje) program. Lze uvést často využívaná tlačítka, jako *reset* (resetování programu), *offset* (tabulka korekcí), *input* (vstup), *alter* (změna), *EOB* (středník) a další. Dalším znakem je displej, kde se zobrazují data (případně simulace programu) a důležité informace.



Na panelu se nacházejí tlačítka pro aktivaci jednotlivých pracovních režimů. Panel slouží také pro řízení stroje (posuvů, otáček) v ručním režimu. Součástí je tlačítko nouzového zastavení a další ovládací prvky. Každý operátor se musí dokonale orientovat v ovládání daného CNC stroje [35, 38].

### 3.8 CIM a aplikace CAD/CAM v obrábění

CIM (počítačem integrovaná výroba) zastupuje inženýrské a výrobní činnosti s počítačovou technologií. Počítače umožnily snížit výrobní nároky, nárůst produktivity práce (využití strojů, plánování), snížení doby vývoje i výroby. Zároveň se podílejí na zvyšování jakosti výrobků a zisku. CIM zahrnuje více automatizovaných systémů počítačové podpory (CAD, CAQ, CAM a další) [44].

Aplikace CAD/CAM reprezentují vyšší stupeň počítačové podpory pro CNC programování strojů a umožňují simulovat operační sled technologických operací. Použití těchto aplikací je výhodné obzvlášť u tvarově náročných obrobků. Často se použijí pro obrábění forem, záпустek, ale i v běžné strojírenské výrobě. Aplikační použití závisí na ekonomických, technických a personalistických možnostech firem [34, 35].

Nejprve je nutné zpracování modelu (výkresu) obrobku v CAD aplikaci a následný import pro zpracování v CAM modulu. Prvním krokem je volba strategie obráběcího postupu (operační sled). Následuje volba nástroje s reznými parametry. V obráběcím procesu se zohledňuje nejen strategie obrábění, ale poloha a způsob obrábění vzhledem ke kontuře obrobku, způsob chlazení nebo možné kolize nástroje v pracovním prostoru. Po zadání všech požadovaných dat procesor vygeneruje data pro simulaci zhotoveného programu (programátor provede potřebné korekce). Pokračuje se výběrem postprocesoru (překladače) pro konkrétní řídicí systém. Dojde posléze k vytvoření požadovaného programu (jednotlivé bloky v ISO kódu). Program je nahrán do stroje a odzkoušen, případně upravován [35].

Problém v této oblasti může nastat při chybějících datech (nástroje, upínače) při programování. Další nesnází je najít kvalifikované pracovníky (programátory) pro práci s CAM aplikacemi. Na trhu figuruje více softwaru s CAM modulem, například *TopSolid*, *GibbsCAM*, *Espirit*, *Mastercam*, *Siemens NX*, *Solid Edge* a další [45].

### 3.9 Vysokovýkonné technologie pro CNC stroje

K těmto technologiím patří vysokorychlostní obrábění a *HSC* (obrábění se značně zvýšenými  $v_c$ ). *HSC* zahrnuje i suché a tvrdé obrábění. Technologie *HSC* získává postupně větší význam. Důvodem je snížení výrobních časů a významné zvýšení produktivity výroby. Pro tyto technologie je nutné využít konstrukčně uzpůsobené CNC stroje (například vysokootáčková integrovaná vřetena). Kromě vhodné konstrukce je podstatný výběr správného materiálu rezného nástroje. Využívají se povlakované SK, cermety, PD nebo CBN [34, 35].

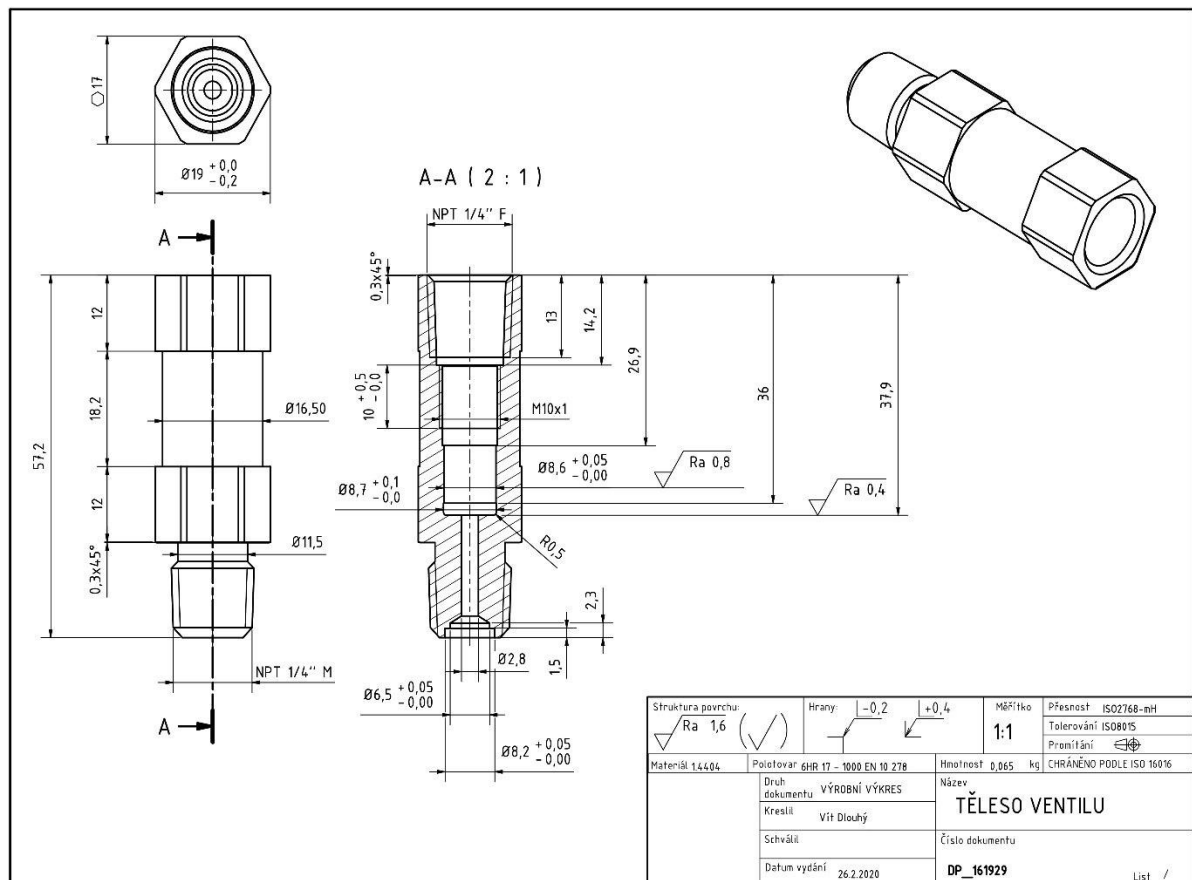
Vysokorychlostní obrábění je charakteristické vysokými rychlostmi pracovních posuvů, velkého objemu odebíraných třísek, vysokou jakostí povrchu, poklesem rezných sil a nízkým tepelným zatížením nástroje (téměř veškeré teplo je odváděno třískami). Kvůli aplikaci vysokých otáček je velká pravděpodobnost, že obrábění proběhne mimo oblast kritické frekvenci soustavy (stroj, nástroj, obrobek) [46]. U *HSC* obrábění je typické malé radiální zatížení nástroje a vřetene (malá hloubka řezu) [47].



## 4 CHARAKTERISTIKA OBRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

Úvodem je vhodná celková analýza požadované součásti před zahájením samotného plánování výroby. Požadovaný obrobek (obr. 25) obsahuje několik důležitých povrchů spolu s vnitřními i vnějšími závity. Na první pohled jsou patrné rotační i rovinné prvky (šestihhranné plochy). Funkční plochy mají vyšší nároky na přesnost (tolerance rozměru) a jakost povrchu (parametr profilu  $Ra$ ). Pro obrobení je zřejmé využití technologie obrábění vnějších i vnitřních ploch spolu s technologií vrtání. Kromě toho jsou definovány přechody (vnější a vnitřní sražení). Vzhledem k požadované výrobní dávce (3000 kusů obrobků po zhotovení ověřovací výrobní dávky 100 kusů) s uvedenými požadovanými parametry, přichází v úvahu možnost využití pro obráběcí proces CNC soustruh nacházející se v technickém zázemí podniku.

Obrobek plní funkci bezpečnostního ventilu pracující s vysokými tlaky. Díra skrz slouží pro upuštění přebytečného tlaku a musí korespondovat se středem osy rozměru  $\varnothing 8,6$  (přidán specifický požadavek na maximální přípustnou odchylku 0,1 mm). Na vnitřní rozměr  $\varnothing 8,6$  mm se lisuje vyztužené pouzdro – uzavírací kuželka, která je seřízená na určitou hodnotu tlaku. Následná čelní plocha slouží jako dosedací plocha (kladena maximální důležitost na jakost povrchu). Zde při montáži bude uložen těsnící kroužek. Zároveň je mezi čelem a rozměrem  $\varnothing 8,6$  mm odlehčení s rohovým rádiusem 0,5 mm. Strana s vnějším závitem NPT je uložena ve výfukovém kanálku (nutná přesná montáž a dosednutí součásti).



Obr. 25 Požadovaný obrobek s rozměry.

## 4.1 Materiál součásti a výběr polotovaru

Materiál pro požadovanou součást je korozivzdorná chromniklová (austenitická) ocel *X2CrNiMo 17-12-2* (ekvivalentní označení slitiny *EN 1.4404*, *ČSN 17 349*, *AISI 316L*). Jelikož se jedná o korozivzdornou ocel, je vhodné uvést některé typické mechanické vlastnosti pro austenitickou ocel a zastoupení jednotlivých chemických prvků ve slitině materiálu (tab. 2). Materiálový list se nachází v příloze 5.

Austenitické oceli se vyznačují nižšími hodnotami meze kluzu ( $R_e = 200 - 300$  MPa) s pevností v tahu (interval  $R_m$  550 – 650 MPa). Tyto oceli mají značnou tažnost A (přibližně 40 %) s vyhovující korozní odolností v oxidačním prostředí [48]. Austenitické oceli mají sníženou obrobiteľnosť (vysoký sklon k deformačnímu zpevnění, nižší tepelná vodivost) [22]. Jsou charakteristické dobrou tvařitelností spolu se svařitelností (nízké obsahy uhlíku), nemagnetické při optimálním chemickém složení. Zlepšení obrobiteľnosti lze dosáhnout legováním pomocí prvků, jako je S nebo Pb, avšak se současným poklesem korozní odolnosti. Celková korozní odolnost se zvýší s nárůstem obsahů Cr, Ni a legovacími prvky jako Mo, Cu a Si [49].

Struktura CrNiMo je po rozpouštěcím žháním tvořena austenitem s malým podílem (delta) feritu. Tyto oceli se vyrábějí jak stabilizované nebo nestabilizované. Přísada Mo zvyšuje odolnost proti rovnoměrné korozi (v prostředí neoxidujících minerálních kyselin), bodové a štěrbinové korozi. Snížení pevnostních charakteristik se často kompenzuje pomocí malého obsahu dusíku.

Austenitické korozivzdorné oceli se využívají především v chemickém, potravinářském, energetickém a farmaceutickém průmyslu. CrNiMo oceli nacházejí uplatnění v prostředí obsahující halogenidy, jako je průmyslová případně mořská voda nebo média chladicích systémů [49].

Tab. 2 Chemické složení slitiny *X2CrNiMo 17-12-2 (1.4404)* [50, 51].

Jednotlivé zastoupení prvků	Minimální obsah (%)	Maximální obsah (%)
Uhlík (C)	-	0,03
Chrom (Cr)	16,5	18,5
Nikl (Ni)	10	13
Molybden (Mo)	2	2,5
Mangan (Mn)	-	2
Křemík (Si)	-	1
Dusík (N)	-	0,11
Fosfor (P)	-	0,045

Vzhledem k vyskytujícím se rovinným plochám (šestihran) byl vybrán jako výchozí polotovar pro obrábění součásti šestihránná tyč tažená (tolerance h11) s velikostí 17 mm. Při alternativním polotovaru kruhové tyči je nezbytné plochy šestihranu frézovat, čímž by došlo k nárůstu výrobních časů i zvýšení objemu odpadu (trěsek). Z těchto důvodů byla vybrána šestihránná tyč. Tím se však dospěje k podmínkám lehce přerušovaného řezu při obrábění vnějších ploch a je nutné brát v úvahu tento aspekt při volbě nástrojů a řezných parametrů. Problém může nastat při prvním záběru materiálu (u hrubovací nebo zapichovací operace) vzhledem k průřezu polotovaru, díky rázovému zatížení břitu nástroje (snížení trvanlivosti břitu).

## 5 VOLBA OBRÁBĚCÍHO STROJE

Pro obrábění požadované součásti byl vybrán CNC soustruh. Jsou možné dvě varianty volby obráběcího stroje. První variantou je CNC soustruh Takisawa, druhou je CNC soustruh Nakamura Tome WT100 (lepší výkonové parametry – dvě revolverové hlavy, obr. 27), oba stroje se nachází v technickém zázemí podniku. Bohužel vzhledem pracovnímu plánu a vytížení je možný (nutný) výběr jednoho. Pro tento účel byla zvolena první uvedená varianta (druhý obráběcí soustruh byl využit na jiné výrobní účely).

CNC soustruh Takisawa TCY-160YS (obr. 26) je vhodný pro obrábění většího množství menších součástí (obrobků). Revolverová hlava s maximální kapacitou 12 nástrojů (na levé straně a 12 na druhé) se nachází za osou rotace vřeteny. Stroj je vybaven hlavním i vedlejším vřetenem (protivřetenem). Lze využít tedy přechopení obrobku během obrábění a následně obrábět druhou jeho stranu. Zároveň je možné využít poháněcí jednotky pro frézovací nebo vrtací operace. Souřadnicový systém tohoto soustruhu je zobrazen na obr. 21. Soustruh je vybaven zásobníkem tyčí, čerpadlem pro procesní kapalinu a dalším nezbytným příslušenstvím. Součástí je třískový dopravník pro automatizovaný odvod třísek nebo lopatka. Stroj není vybaven manipulátorem, využívá tedy principu vzduchu (případně výplachu) pro odejmutí hotového obrobku z protivřeteny. Ten je vymrštěn do lopatky, která obrobek následně uloží do určeného odebíracího prostoru pro vyjmutí (bez zastavení stroje). Je třeba věnovat pozornost a zamezit možnému poškození během této operace. Stroj je vybaven řídicím systémem Fanuc, verze 32i model B. Rok výroby stroje je 2015. Obrázek s popisem pracovního prostoru CNC soustruhu se nachází v příloze 6. Detail značení pozic na revolverové hlavě je obsažen v příloze 7.

Maximální průměr obrobku, který lze obrábět na tomto soustruhu je 220 mm a délka 491 mm. Limitní standartní hodnota otáček pro obě vřeteny je hodnota 4000  $\text{min}^{-1}$ , pro rotační nástroje 6000  $\text{min}^{-1}$ . Maximální průměr pro podavač je 42 mm (maximální rozměr pro průchod tyče vřeteníkem). Lze průběžně nastavovat velikost upínacího tlaku válce (závislost na upínací síle) pro obě sklíčidla dle potřeby (využití hydraulického systému) [52].



Obr. 26 Zvolený CNC soustruh (Takisawa TCY160ZS L5) pro výrobu.



Obr. 27 Alternativní CNC soustruh (Nakamura Tome WT100).

### 5.1 Volba upínače pro tyč polotovaru a pomůcky

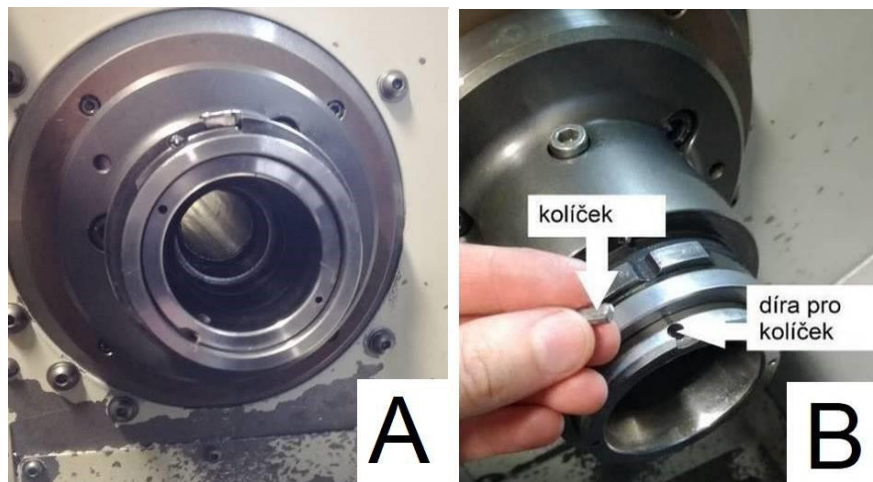
Pro upnutí výchozího polotovaru tyče byly zvoleny upínací kleštiny (šestihranný profil, obr. 28) s velikostí 17 mm (17 HEX 173E). Kleštiny upínají obrobek za vnější povrch. Jedná se o rychlé spolehlivé a přesné upnutí tyčového materiálu. Tento způsob upnutí se často aplikuje u menších rozměrů polotovarů. Čím menší je vůle mezi obrobkem (tyčí) a vnitřním rozměrem kleštiny, tím dokonalejší je upnutí. Roli hraje i vliv výrobní tolerance obrobků (hutního polotovaru). Při nevhodném upnutí mohou vznikat nechtěné otlaky (bodové stopy po upnutí kleštiny) na povrchu obrobku. Problém nastává, pokud se vnější plocha obrobku již neobrábí, tak tyto otlaky zůstanou na hotovém obrobku [53].



Obr. 28 Pomůcky (kleštiny, vložky, pouzdra další).



Vzhledem k tomu, že tyčový polotovár bude v délce 1000 mm (využití dělení na pásové pile), je potřeba využít vložky a pouzdra. Jinak by hrozilo házení polotovaru při roztočení vřetená, docházelo by k vibracím, nepřesnostem i možné kolizi s příslušenstvím stroje. Pro tento účel se používají příslušné vložky s pouzdry (obr. 28), které se vloží do vřeteníku (obr. 29) a zajistí spolehlivé vedení polotovaru. Je vhodné upozornit, že díky šestihrannému průřezu polotovaru tyče, je nutné použít pouzdra s vnitřním průměrem korespondujícím s rozměrem polotovaru (změřeným přes hranu šestihranu, proto volba pouzder s vnitřním  $\varnothing$  20 mm). Pouzdra a vložky se zajistí pojistným kroužkem (na obr. 28) v trubce ve vřeteníku, který je opatřen krytem. Trubka je připevněna šrouby na druhém konci vřeteníku pomocí příruby. Kleštinový upínač se vloží do vřetená a následně se zajistí pomocí příruby a šroubu (obr. 30). Vzhledem k průřezu polotovaru je nutná potřeba správného polohování vřeten k průchodu (podání) nové tyče a zároveň pro synchronizaci obou pracovních vřeten při operaci upichování (přeuchopení obrobku). K tomuto účelu se použije válcový kolíček, který zajistí potřebné polohování vzhledem k průřezu a současně obě kleštiny jsou opatřeny drážkou, ve kterých bude uložen tento kolíček (obr. 30). Díky možnosti polohování vřetená do určité polohy lze nastavit při výměně nové tyče přesné natočení kleštiny a zajistit tak automatické podání (nutno srazit vnější hranu u nové tyče pro zajištění průchodu).



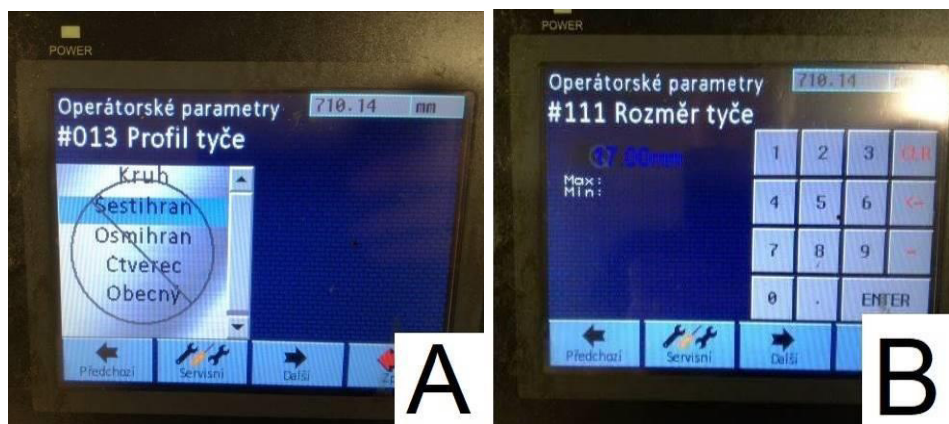
Obr.29 Pohled na hlavní pracovní vřeteno; A – průchod vřeteníkem, B – vkládání kolíku do díry.



Obr. 30 Pohled na hlavní pracovní vřeteno zvoleného CNC soustruhu; C – vložení kleštiny, D – zajištění kleštiny ve vřetenu.

## 5.2 Nastavení parametrů pro zásobník tyčí

Pro automatický provoz se využívá kromě automatické výměny nástrojů i zásobník (podavač) polotovarů tyčí. Jedná se o nezbytné příslušenství pro obráběcí CNC stroje (paletizace obrobků). Pro tyto podavače je nezbytné vždy nastavit několik parametrů před zahájením nové výrobní dávky. Podavače jsou vybaveny příslušným ovládáním a případně spolu s displejem (možné dotykové provedení). Prvním důležitým aspektem je velikost výchozího polotovaru a profil tyče (obr. 31). Ten lze zadat do příslušné tabulky na ovládacím displeji zásobníku. Dalším určujícím parametrem je zbytek tyče (obr. 32). Ten definuje okamžik, kdy následně dojde k automatické výměně tyče polotovaru za novou tyč ze zásobníku. Tato hodnota je velice důležitá. Jakmile dosáhne zbytek tyče této (nebo menší) hodnoty, automaticky se nabere nová a pomocí tlačítku se zasune do vřetena. Pro určení této hodnoty je důležité zohlednit nejen délku obrobku, ale i přídavek na upnutí. Jedná se o celkovou délku vysunutí tyče spolu s nezbytnou délkou pro dostatečné upnutí v kleštině. Zároveň se musí počítat s určitým přídavkem na popotažení tyče (pokud je aplikováno během upichování obrobku). Při nedostatečném přídavku může dojít ke kritické kolizi během upichování obrobku a zničení tělesa upichovacího nože případně poškození samotné kleštiny (obr. 33). Proto se vždy kontroluje výměna nové tyče a zbylý neobrobený konec tyče. Ideální je co nejkratší (bezpečný) zbytek tyče s maximálním možným stupněm využitím materiálu polotovaru. Kromě uvedených parametrů je vždy vhodné nastavit sklon lišty u zásobníku, kde jsou uloženy tyčové polotovary. Dále je například možné nastavit velikost podávací síly tlačítku a další uživatelské parametry. Aplikuje se využití samospádu, tedy vlastní hmotnosti tyčí, kdy se nová tyč posune (sklouzne) ve vhodný okamžik na nabírací lištu.



Obr. 31 Parametry podavače; A – nastavení profilu tyče, B – nastavení rozměru tyče.



Obr. 32 Parametr podavače – zadání délky konce tyče.





Obr. 33 Důsledek nastavení nedostatečného zbytku tyče polotovaru.

Na ovládacím panelu podavače lze přepínat mezi pracovními režimy (automatický nebo manuální). V případě potřeby lze aktivovat tlačítko nouzového zastavení (emergency stop). Zásobník tyčí je opatřen stejně jako samotný obráběcí stroj nezbytnými ochrannými kryty (obr. 34) a hlavním vypínačem. Obráběcí stroj je propojen pomocí příslušného konektoru s podavačem. Zásobník tyčí je obvykle v provedení pro jedno metrové tyče, využívají se i třímetrové verze podavačů. Tlačníky (tělesa připevněné k posuvové části podavače), které posouvají průběžně tyč, mají různé velikosti. Volí se, pokud je to možné, vždy maximální velikost. Tlačník však musí projít vřeteníkem a kleštinou. Tyč se posouvá vždy na doraz. Řešení dorazu je v tomto případě pomocí revolverové hlavy soustruhu (využití dorazu k tělesu zvoleného nástroje). Revolverová hlava najede do stanovené pozice a tlačník dorazí tyč k hlavě (na nulový bod). Následně se automaticky upne obrobek (zavře kleština). Následuje odjezd v ose Z (směrem od obrobku) poté do výchozí pozice výměny nástroje.

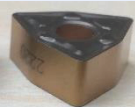









Obr. 34 Zásobník tyčového materiálu pro zvolený CNC soustruh.

## 6 KOMPLETACE NÁSTROJOVÉ SADY

Pro obrobení požadované součásti bude zapotřebí využít několika odlišných řezných nástrojů. Při výběru řezných nástrojů a parametrů se bral v potaz obráběný materiál (korozivzdorná ocel), druh obráběcí operace i řezné prostředí (využita procesní kapalina od společnosti QUAKER s.r.o.). Především se uplatnil jako řezný materiál SK. Použité vyměnitelné břitové destičky mají různou geometrii, tvar, řezné parametry a aplikační rozsah použití. Byly využity vyměnitelné břitové destičky od různých výrobců (tab. 3 a tab. 4). Pro operaci vrtání byly použity šroubovitě vrtáky ze SK s vnitřními chladičnými kanálky, případně šroubovitý vrták z HSS. Ve druhé výrobní alternativě došlo k určitým změnám nástrojů. Využily se speciální tvarové nástroje ze SK s vnitřním přívodem procesní kapaliny pro vrtání děr, konkrétně u rozměrů  $\varnothing 8,2$  a  $\varnothing 8,6$  mm.

Tab. 3 Kompletní nástrojová sada (nástroje pro všechny varianty).

Náhled	Označení (Počet použitelných břitů) Hlavní aplikační použití dle ISO	Doporučené řezné parametry ( $v_c$ , $a_p$ , $f$ ) Hodnoty pro skupinu M	Výrobce
	WNMG 060408 MM 2220 (počet břitů = 6) skupina = M	$v_c = 155 - 285 \text{ m.min}^{-1}$ $a_p = 0,5 - 3 \text{ mm}$ $f = 0,1 - 0,45 \text{ mm}$	SANDVIK AB
	VCMT 160402 SM IC807 (počet břitů = 2) skupina = P, M, K	$v_c = 100 - 300 \text{ m.min}^{-1}$ $a_p = 0,5 - 2,5 \text{ mm}$ $f = 0,05 - 0,2 \text{ mm}$	ISCAR ČR, s.r.o.
	16ERM 18NPT IC908 (počet břitů = 3) skupina = P, M, K	$v_c = 80 - 120 \text{ m.min}^{-1}$	ISCAR ČR, s.r.o.
	TGMF 304 IC908 (počet břitů = 2) skupina = P, M, K	$v_c = 55 - 140 \text{ m.min}^{-1}$ $a_p = 0,5 - 1,8 \text{ mm}$ $f = 0,07 - 0,12 \text{ mm}$	ISCAR ČR, s.r.o.
	ECM 06R-2.25D CTPP435 skupina = P, M, K	$v_c = 50 - 80 \text{ m.min}^{-1}$ $a_p = 0,25 - 3 \text{ mm}$ $f = 0,01 - 0,1 \text{ mm}$	CERATIZIT, s.r.o.
	vrták $\varnothing 6,5$ SK 3D IK skupina = P, M, K	$v_c = 60 \text{ m.min}^{-1}$ $f = 0,09 \text{ mm}$	ZCC-CT Co., Ltd.
	EC030M03N00CF02 KCU25 (počet břitů = 1) skupina = P, M	$v_c = 80 - 210 \text{ m.min}^{-1}$ $f = 0,05 - 0,15 \text{ mm}$	Kennametal, Inc.
	vrták $\varnothing 9$ SK 3D IK skupina = P, M, K	$v_c = 60 \text{ m.min}^{-1}$ $f = 0,11 \text{ mm}$	ZCC-CT Co., Ltd.
	vrták $\varnothing 8$ SK 5D IK WTX 180° skupina = P, M, K	$v_c = 50 \text{ m.min}^{-1}$ $f = 0,1 \text{ mm}$	CERATIZIT, s.r.o.

Tab. 4 Pokračování předchozí tabulky (tab. 3).

Náhled	Označení (Počet použitelných břitů) Hlavní aplikační použití dle ISO	Doporučené řezné parametry ( $v_c$ , $a_p$ , $f$ ) Hodnoty pro skupinu M	Výrobce
	vrták $\varnothing$ 8 SK 5D IK WTX 180° skupina = P, M, K	$v_c = 50 \text{ m.min}^{-1}$ $f = 0,07 \text{ mm}$	CERATIZIT, s.r.o.
	XCNT 040104ER CTPP430 (počet břitů = 2) skupina = P, M, K	$v_c = 50 - 120 \text{ m.min}^{-1}$ $a_p = 1 - 2,5 \text{ mm}$ $f = 0,02 - 0,12 \text{ mm}$	CERATIZIT, s.r.o.
	11IRM 1.50 ISO IC908 (počet břitů = 3) skupina = P, M, K	$v_c = 80 - 120 \text{ m.min}^{-1}$	ISCAR ČR, s.r.o.
	WBMT 060102L IC830 (počet břitů = 3) skupina = P, M	$v_c = 50 - 150 \text{ m.min}^{-1}$ $a_p = 0,4 - 2 \text{ mm}$ $f = 0,1 - 0,15 \text{ mm}$	ISCAR ČR, s.r.o.
	vrták $\varnothing$ 2,8 SK 3D skupina = P, M, K	$v_c = 55 \text{ m.min}^{-1}$ $f = 0,03 - 0,05 \text{ mm}$	ZCC-CT Co., Ltd.
	vrták $\varnothing$ 2,8 HSS CO skupina = P, M, N	$v_c = 4 - 12 \text{ m.min}^{-1}$ $f = 0,03 - 0,05 \text{ mm}$	M&V, s r.o. (STIMZET)
	T-AMS8-0012 skupina = P, M, K	$v_c = 20 - 90 \text{ m.min}^{-1}$ $a_p = 0,3 \text{ mm}$ $f = 0,02 - 0,05 \text{ mm}$	ARNO tools, GmbH
	XZ0437 skupina = P, M, K	$v_c = 30 - 50 \text{ m.min}^{-1}$ $f = 0,1 - 0,16 \text{ mm}$	Carbide, s.r.o.
	XV0634 skupina = P, M, K	$v_c = 30 - 50 \text{ m.min}^{-1}$ $f = 0,06 - 0,1 \text{ mm}$	Carbide, s.r.o.
	závitník M10x1 skupina = M	$v_c = 8 - 20 \text{ m.min}^{-1}$	CERATIZIT, s.r.o.

Každý z jednotlivých uvedených nástrojů se aplikuje pro obrobení specifického rozměru (plochy). Řezné parametry byly zvoleny dle druhu obráběného materiálu, řezného prostředí, obráběné plochy (vnitřní, vnější soustružení) s požadovanou jakostí a druhu obráběcí operace. U hrubování vnější plochy byla VBD *WNMG 060408 MM 2220* vystavena podmínkám lehce přerušovaného řezu. Totéž platí pro zapichovací a upichovací cyklus (VBD *TGMF 304 IC908* a *EC030M03N00CF02 KCU25*). Některé z použitých nástrojů využívají chladicí kanálky pro vnitřní přívod procesní kapaliny (lepší trvanlivost břitu, možnost zvýšení hodnoty  $v_c$ ). Je vhodné upozornit na fakt, že na zvoleném CNC soustruhu lze operovat maximálně s 12 nástroji na jedné straně revolveru. Tuto skutečnost je nutné zohlednit při návrhu technologie výroby a výběru řezných nástrojů (případně upínacích segmentů a těles).

Tab. 5 Aplikace všech použitých nástrojů se zvolenými řeznými rychlostmi.

Řezný nástroj (VBD)	Použití	Zvolená $v_c$
WNMG 060408 MM 2220	hrubování vnější plochy soustružení rozměru pod závit NPT 1/4" zarovnání čela (pro obě strany obrobku) soustružení rozměru $\varnothing 19$	$v_c = 150 \text{ m.min}^{-1}$
VCMT 160402 SM IC807	sražení závitu NPT (vnější) soustružení rozměru $\varnothing 11,5$ za závitem zarovnání čela	$v_c = 120 \text{ m.min}^{-1}$
16ERM 18NPT IC908	soustružení vnějšího závitu NPT 1/4"	$v_c = 70 \text{ m.min}^{-1}$
TGMF 304 IC908	soustružení rozměru $\varnothing 16,5$	$v_c = 100 \text{ m.min}^{-1}$
ECM 06R-2.25D CTPP435	soustružení rozměru $\varnothing 8,2$ (varianta „A“)	$v_c = 50 \text{ m.min}^{-1}$
VRTÁK $\varnothing 6,5$ SK 3D IK	vrtání díry $\varnothing 6,5$ (varianta „A“)	$v_c = 35 \text{ m.min}^{-1}$
EC030M03N00CF02 KCU25	upíchnutí polotovaru	$v_c = 80 \text{ m.min}^{-1}$
VRTÁK $\varnothing 9$ SK 3D IK	vrtání díry $\varnothing 9$ (hrubování)	$v_c = 35 \text{ m.min}^{-1}$
VRTÁK $\varnothing 8,5$ SK 5D IK WTX 180°	vrtání díry $\varnothing 8,5$ (hrubování, varianta „A“)	$v_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$
VRTÁK $\varnothing 8$ SK 5D IK WTX 180°	vrtání díry $\varnothing 8$ (hrubování, varianty „B“; „C“)	$v_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$
XCNT 040104ER CTPP430	soustružení rozměru pod vnitřní závit NPT sražení vnitřních hran (pro závit NPT a M10)	$v_c = 50 \text{ m.min}^{-1}$
11IRM 1.50 ISO IC908	soustružení vnitřního závitu NPT 1/4"	$v_c = 55 \text{ m.min}^{-1}$
WBMT 060102L IC830	soustružení rozměru pro závit NPT a $\varnothing 8,6$ (varianta A)	$v_c = 50 \text{ m.min}^{-1}$
VRTÁK $\varnothing 2,8$ SK 3D	vrtání díry $\varnothing 2,8$ (varianty „A“, „C“)	$v_c = 15 \text{ m.min}^{-1}$
VRTÁK $\varnothing 2,8$ HSS CO	vrtání díry $\varnothing 2,8$ (varianta „B“)	$v_c = 9 \text{ m.min}^{-1}$
T-AMS8-0012	soustružení dosedacího čela (Ra 0,4) soustružení rozměru $\varnothing 8,7$	$v_c = 25 \text{ m.min}^{-1}$
XZ0437	vrtání $\varnothing 8,6$ (tvarový nástroj)	$v_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$
XV0634	vrtání $\varnothing 8,2$ a $\varnothing 6,5$ (tvarový nástroj)	$v_c = 30 \text{ m.min}^{-1}$
Závitník M10x1	řezání závitu M10x1	$v_c = 5 \text{ m.min}^{-1}$

Pro obrábění korozivzdorných ocelí je z hlediska trvanlivosti břitu nástroje výhodné zvolit menší hodnoty  $v_c$  s většími hodnotami  $a_p$ ,  $f$  (výběr z doporučeného intervalu). Z tohoto důvodu se vybraly hodnoty s nižší  $v_c$ .

Výpočet řezné rychlosti dle rovnice [3]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [\text{m.min}^{-1}] \quad (6.0)$$

kde:  $v_c$  [ $\text{m.min}^{-1}$ ] – řezná rychlost,  
 $D$  [mm] – průměr obrobku,  
 $n$  [ $\text{min}^{-1}$ ] – otáčky obrobku.



## 6.1 Upínací tělesa nástrojů

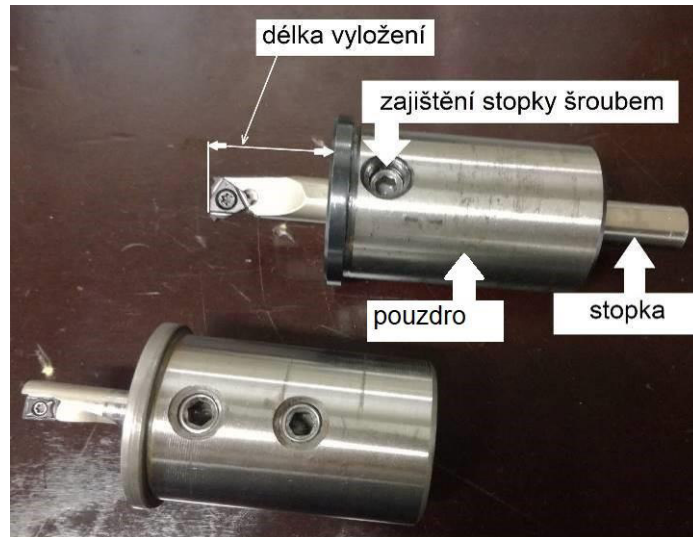
Každý z uvedených nástrojů má vlastní těleso držáku, případně upínací přípravek (kleštinu pro upnutí). Velikost průřezu stopky nástrojů byla volena maximální možná hodnota s ohledem na dostupná tělesa nástrojů. Délka vyložení jednotlivých nástrojů byla volena optimální (nejmenší možné hodnoty). Pro upnutí vrtáků se použily příslušné kleštinové upínače (obr. 35). Příslušná tělesa nástrojů využívají různé upínací segmenty (obr. 36 a obr. 37), které se připevňují k revolverové hlavě soustruhu. Upevnění je realizováno pomocí šroubů (spojovací prvek). Vodicí kameny slouží pro zajištění přesného ustavení segmentu v revolverové hlavě soustruhu (obr. 38).



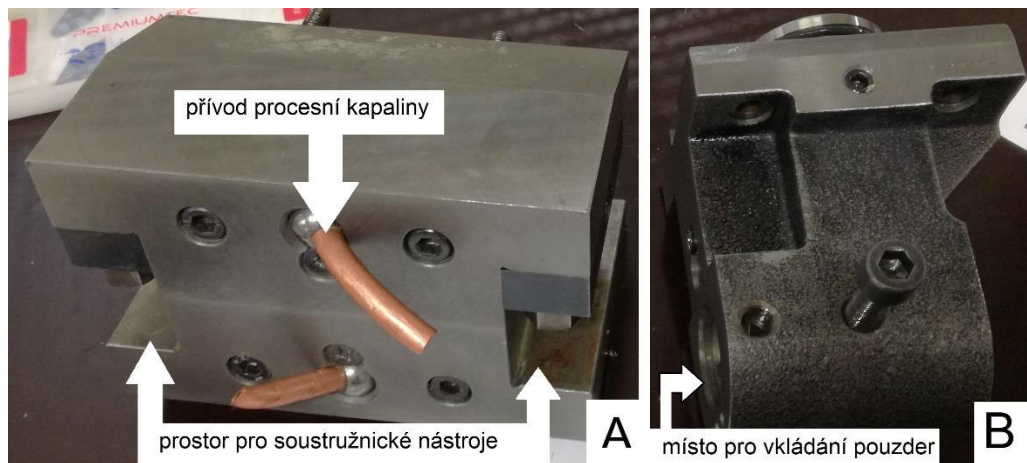
Obr. 35 Ukázka kleštinových upínačů.

Tab. 6 Upínací tělesa (stopky) pro zvolené nástroje (všechny varianty).

Řezný nástroj (VBD)	Upínací těleso (stopka, či kleština)
WNMG 060408 MM 2220	AKKO MWLNR 2525 M06
VCMT 160402 SM IC807	AKKO SVJCR 2020 K16
16ERM 18NPT IC908	AKKO SER 2525 M16C
TGMF 304 IC908	ISCAR TGDR 2020 3M
ECM 06R-2.25D CTPP435	-
VRTÁK $\varnothing$ 6,5 SK 3D IK	kleština 8 ER25 (utěsněná)
EC030M03N00CF02 KCU25	KENNAMETAL -EVSMML 2020 K0316C
VRTÁK $\varnothing$ 9 SK 3D IK	kleština 10 ER25 (utěsněná)
VRTÁK $\varnothing$ 8,5 SK 5D IK WTX 180°	kleština 10 ER25 (utěsněná)
VRTÁK $\varnothing$ 8 SK 5D IK WTX 180°	kleština 8 ER25 (utěsněná)
XCNT 040104ER CTCP425	AKKO – AEKR D2,25X8XC0401
11IRM 1.50 ISO IC908	AKKO SIR S10H11
WBMT 060102L IC830	CREATIVE TOOLS S08K SWUBR06
VRTÁK $\varnothing$ 2,8 SK 3D	kleština 6 ER25
VRTÁK $\varnothing$ 2,8 HSS CO	kleština 3 ER25
T-AMS8-0012	ARNO - HAMS 1608 R
XZ0437	kleština 10 ER25 (utěsněná)
XV0634	kleština 10 ER25 (utěsněná)
Závitník M10x1	kleština 7 ER25



Obr. 36 Upínání stopek nástrojů pro vnitřní soustružení.



Obr. 37 Upínací segmenty pro soustružnické nástroje; A – pro vnější, B – pro vnitřní.



Obr. 38 Upínání segmentů k revolverové hlavě.



## 6.2 Využití poháněcích jednotek

Na soustružnických centrech se často využijí poháněné nástroje. Nástroj je poháněn v nástrojové hlavě poháněcí jednotky. Lze rozlišit soustružení s poháněnými nástroji na axiální a radiální obrábění. Axiální obrábění se využije pro obrábění tvarů na průměru obrobku, osa rotace je rovnoběžná s osou rotace obrobku. U radiálního obrábění je osa nástroje kolmá na osu rotace obrobku [35].

Lze použít více typů poháněcích jednotek včetně možnosti využití vnitřního přívodu procesní kapaliny. Pro obrábění se aplikovaly poháněné nástroje (XZ0437 a XV0634) ze SK s vnitřním přívodem procesní kapaliny (obr. 39). Poháněcí jednotky jsou koncipovány i jako oboustranné (obr. 40), díky tomu je možné ušetřit jednu pozici nástroje. Použité nástroje jsou pravořezné. Je tedy nezbytná kontrola směru rotace upnutého nástroje v poháněcí jednotce (pomocné funkce M70, M71 u zvoleného CNC soustruhu). Při nesprávném smyslu rotace nástroje může hrozit lom nástroje.



Obr. 39 Použité nástrojové poháněcí jednotky (u varianty „B“).



Obr. 40 Oboustranná poháněcí nástrojová jednotka (u varianty „C“).

## 7 OPERACE PROVEDENÉ PŘED ZAHÁJENÍM VÝROBY

Před samotným zahájením výroby (prvního obrobku) se provedly standardní kontrolní a nezbytné činnosti. Toto zahrnovalo kontrolu procesní kapaliny, zadání geometrie použitých nástrojů do systému, určení nulového bodu obrobku, kontrola upichovacího cyklu a podprogramu pro zarovnání nové tyče polotovaru. Preventivní kontrolou bylo měření obvodového házení pracovních vřeten pomocí číselníkového úchylkoměru.

### 7.1 Kontrola procesní kapaliny

První kontrolou byla zjištěna koncentrace procesní kapaliny. K obrábění se aplikovala procesní kapalina Quackercool 3890, s doporučenou koncentrací 5 – 7 % (měření refraktometrem, obr. 41). Důležitý je také dostatečný přívod procesní kapaliny do zóny řezání (lepší odvod třísek, zvýšení trvanlivosti břitu nástroje a jakosti obrobeného povrchu). U vstupu čerpadla procesní kapaliny se využívají záchytná síta, která zamezují přístup nečistot k čerpadlu. Pokud však jsou tato síta zanesená nečistotami, může být přívod procesní kapaliny k čerpadlu (nepravidelný) nedostatečný. Proto se tato síta pravidelně čistí a kontrolují. Je nezbytné pravidelně doplňovat procesní kapalinu v nádrži soustruhu.



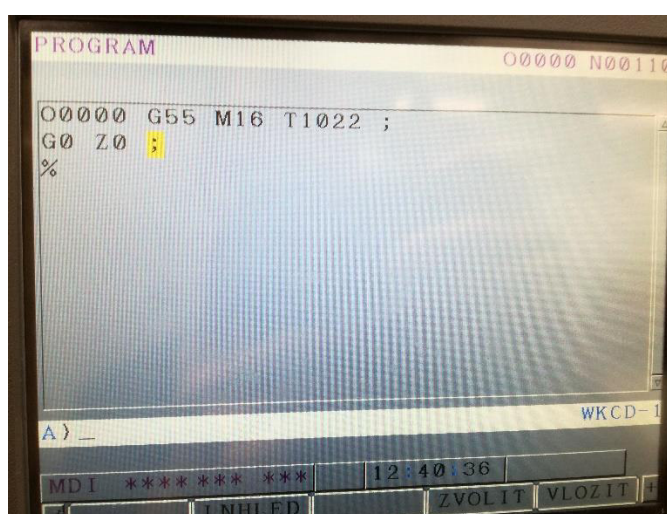
Obr. 41 Refraktometr pro měření koncentrace procesní kapaliny.

### 7.2 Vložení geometrie použitých nástrojů do systému

Po vložení jednotlivých těles nástrojů do revolverové hlavy bylo nezbytné přiřazení nástrojových korekcí pro každý z použitých nástrojů (obr. 42). V NC programu je na počátku každé obráběcí operace (cyklu) volán příslušný nástroj příkazem M16 (otočení hlavy revolveru) s následným parametrem T a specifickou číselnou hodnotou přiřazenou k nástroji. Například u použitého výrobního stroje s řídicím systémem Fancu při použití dvojitého soustružnického upínacího segmentu, parametr T1010 – označuje pozici 10 v revolverové hlavě na levé straně (směr k hlavnímu vřetenu), T1022 označuje tutéž pozici v revolveru s uložením nástroje na pravé straně revolveru (obr. 43, orientace k vedlejšímu vřetenu). Po vykonání obráběcího cyklu se korekce vyvolaného nástroje zruší příkazem G40 (obr. 23).

KOR. NAS/GEOM-1				POSUN. OSY Y-1			
C.	OSA X	OSA Z	R	C.	OSA Y	C.	OSA Y
G 009	82.490	77.300	4.0000	G 001	0.130	G 012	0.000
G 010	91.880	84.150	0.0000	G 002	-0.070	G 013	-0.130
G 011	103.000	83.267	0.0000	G 003	0.000	G 014	-0.070
G 012	79.840	78.700	0.0000	G 004	0.040	G 015	-0.050
G 013	-7.650	-82.630	0.0000	G 005	0.000	G 016	-0.170
G 014	0.000	-126.100	0.0000	G 006	-0.140	G 017	-0.130
G 015	-13.840	-82.610	0.0000	G 007	0.030	G 018	-0.120
G 016	-20.030	-125.190	0.0000	G 008	0.000	G 019	0.000
RELATIVNI				G 009	0.030	G 020	0.000
U	229.940	H	0.000	G 010	0.000	G 021	0.000
W	292.210	V	0.000	G 011	0.000	G 022	0.000

Obr. 42 Korekce nástrojů; A – tabulka geometrie nástrojů (osy X, Z), B – geometrie nástrojů pro Y osu.

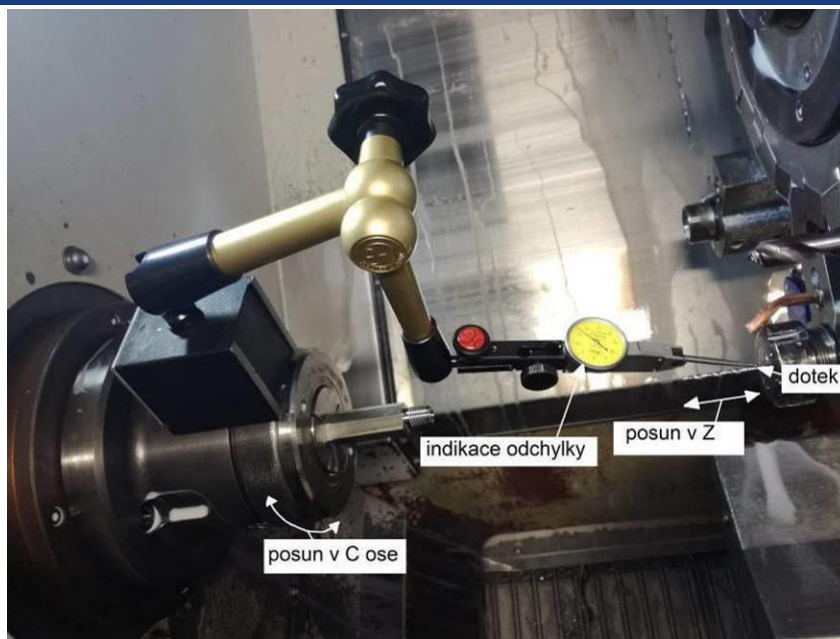


Obr. 43 Načtení korekce nástroje (včetně nulového bodu G55) v režimu MDI.

### 7.3 Zaměření nástrojů vzhledem k pracovnímu vřetení

Následovalo zaměření jednotlivých pracovních nástrojů (vrtáků) vůči ose rotace vřeteníku. Při správném postupu (minimální hodnotě obvodového házení) je zaručena předpokládaná trvanlivost břitu nástroje včetně geometrické přesnosti obrobeného rozměru. Výchozím aspektem je samozřejmě správné nabroušení vrtáků. Postupovalo se nejdříve připevněním číslcového úchylkoměru k pracovnímu vřetení. Následovalo načtení korekce příslušného nástroje (souřadnice X0 a Y0, souřadnice Z volena dle potřeby). Při dosažení vhodné pozice pro měření odchylek se pokračovalo dotekem hrotu úchylkoměru s pracovním nástrojem (stopkou). Na ovládacím panelu se v ručním režimu začalo pozvolna otáčet jedním směrem v ose C. Poté se sledovala velikost indikované odchylky (obr. 44). Stejný postup se vykonal i ve druhém smyslu rotace osy C. Určité omezení je při měření odchylky u vedlejšího (pravého) vřetení vzhledem k jistému omezení prostoru pro měření. Měření odchylek se provedlo preventivně i posuvem v ose Z. Pokud byla změřená odchylka nepřijatelná, provedla se korekce (posun) v jednotlivých osách X a Y v příslušné tabulce (geometrie nástroje, obr. 42).

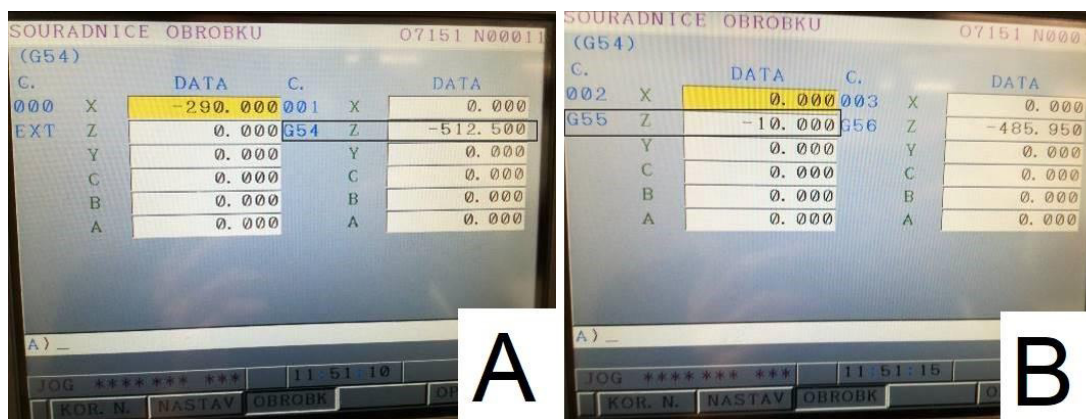




Obr. 44 Měření odchylek upnutého nástroje vůči pracovnímu vřetenu.

## 7.4 Určení nulového bodu obrobku

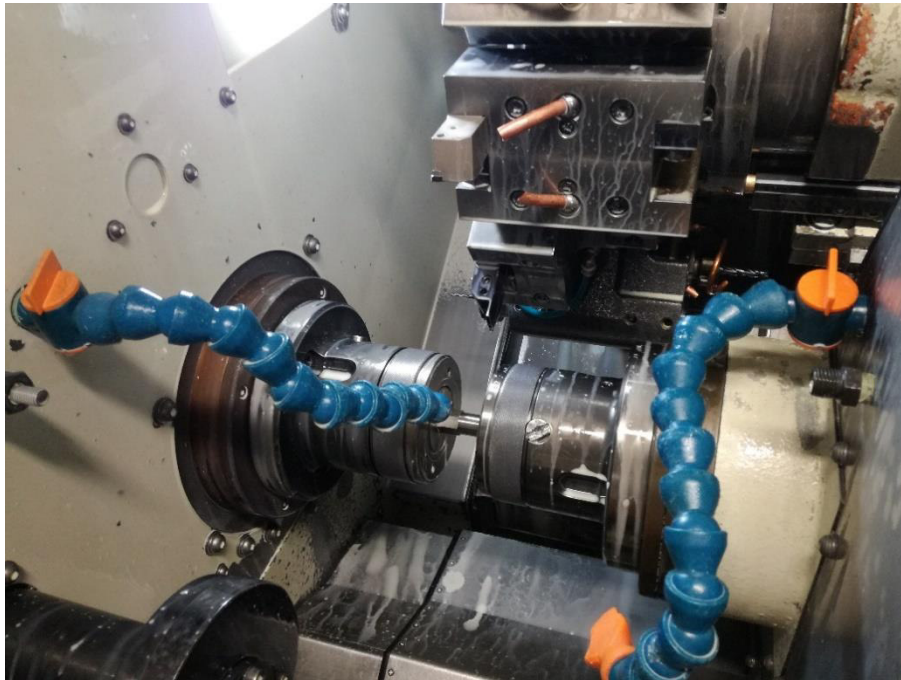
Před zahájením první obráběcí operace byl stanoven první nulový bod obrobku. Nejprve bylo nutné definovat nezbytnou délku vysunutí polotovaru z vřetena. Poté se aplikovalo načtení korekce nástroje (s již zadanou geometrií v systému) s následným změřením hodnoty v ose Z (hodnota v ose X=0) vůči nulovému bodu stroje. Pomocí zvoleného nástroje se najelo na čelo polotovaru (lehký dotek břitu). Následně se změřená hodnota zapsala do systému korekcí na příslušnou pozici (funkce G54 – první posunutí, G55 – druhé posunutí, obr. 45). Poté, co byla provedena upichovací operace a zarovnání čela příslušným nástrojem, se podobný postup využije pro změření druhé hodnoty posunutí nulového bodu (pro nulový bod vztahující se pro vedlejší vřeteno). Je tedy nutné opět načíst nástroj s přiřazenou geometrií a najet ručními posuvy na lehký kontakt před čelo upnutého polotovaru. Je třeba věnovat pozornost, že po načtení korekce nástroje se nesmí provést reset (jinak dojde k vymazání korekce).



Obr. 45 Nulové body obrobku; A – hodnota posunutí nulového bodu pro hlavní vřeteno, B – hodnota posunutí nulového bodu pro vedlejší vřeteno.

## 7.5 Upichovací operace (přeuchopení polotovaru)

Po obrobení polotovaru z jedné strany (provedené všechny obráběcí operace na hlavním pracovním vřetenu) bylo zapotřebí zjistit správnou hodnotu natočení vřeten (parametr B) tak, aby došlo k přesnému pootočení polotovaru (šestihranný průřez). S tím dále souvisí určení hodnot příjezdu pravého vřetena před obrobek a hodnota popotažení polotovaru. Popotažení je realizováno pomocí protivřetena, ve kterém je upnut polotovar (zavřené sklíčidlo, kleština). Pravé vřeteno vykoná pohyb na určenou souřadnici A, poté se zavře i levé sklíčidlo (kleština) a provede se upichovací operace. Je důležité, aby bylo dostatek prostoru pro upichovací nástroj (mezera mezi oběma vřeteny). Délka upnutí polotovaru ve vedlejším (pravém) vřetenu je výhodná maximální možná. Upichovací těleso nože musí být přesně v ose rotace obrobku. Při odlišné hodnotě může vzniknout zbytek materiálu ve středu polotovaru po upíchnutí (možné vyskytnutí problému při dorazu polotovaru k noži). Tento problém lze eliminovat posunutím v ose Y pro upichovací nůž. Přeuchopovací operaci je nutné zkontrolovat – natočení polotovaru, souřadnice, najetí upichovacího nože a protivřetene, obr. 46) před spuštěním cyklu. Pro tuto operaci se použije funkce M46 – synchronizace otáček vřeten. Je nezbytná dostatečná délka upnutí v levém pracovním vřetenu (nedostatečná viz. obr. 33).



Obr. 46 Kontrola před upichovací operací.

## 7.6 Podprogram pro zarovnání nové tyče polotovaru

Pro zarovnání nové tyče polotovaru se využil podprogram. Během výměny se nabrala nová tyč polotovaru a zasunula tlačítkem do vřeteníku. Zbytek tyče se odebral do lopatky, poté se nová tyč dorazila na stanovenou pozici. Dle podprogramu se vybral zvolený nástroj (s načtením korekce). Tento nástroj se posunul na určené souřadnice (přídavek 4 mm na zarovnání v ose Z) a následně se provedlo upíchnutí polotovaru se zvolenými řeznými parametry. I zde je nezbytné, aby použitý nástroj byl v ose rotace obrobku pro zamezení vzniku zbytku materiálu pro správný doraz. Odkaz na podprogram je v úvodní části výrobního NC programu (volání M98 P9005).



## 8 TECHNOLOGICKÉ VARIANTY VÝROBY

Pro výrobu požadovaného obrobku se realizovaly celkem tři výrobní varianty („A“, „B“, „C“). Sled výrobních operací s výrobními pomůckami je uveden v příslušných výrobních postupech. Varianta „A“ nebyla uzpůsobena pro vícestrojovou obsluhu, avšak obrobek byl kompletně hotov po ručním odebrání z kleštiny (řezání závitu M10). Varianty „B“ a variantu „C“ byly speciálně přizpůsobeny pro vícestrojovou obsluhu (řezání závitu M10 na jiném pracovišti). U varianty „C“ byl následně zadán zvýšený požadavek na vycentrování  $\varnothing$  2,8 mm, především vzhledem k  $\varnothing$  8,6 mm. Během výroby se neustále vyhodnocovaly kontrolní rozměry. Ukázka seřizovacího listu (pro variantu „B“) se nachází v příloze 8.

### 8.1 Výrobní varianta „A“

Tato první varianta (tab. 7, tab. 8) se aplikovala pro ověření vytvořeného NC programu a zvolených řezných podmínek pro řezné nástroje. Výrobní dávka zahrnovala 100 kusů obrobků. Pro tuto variantu se využilo programové zastavení (M0). Po namazání závitníku řezacím olejem (řezný olej 6005 GTL od společnosti Saptec s.r.o.) se spustil závitový cyklus operátorem.

Tab. 7 Výrobní postup varianty „A“.

VARIANTA "A"		VÝROBNÍ POSTUP		Název součástky : TĚLESO VENTILU	VÝROBNÍ DÁVKA: 100 KS
Dne : 10.03.2020		Vyhotovil : DLOUHÝ	Kontroloval :	Polotovar: TYČ 17 OK EN 10278 (MATERIÁL 1.4404)	
Číslo op. pořadové :	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště :	Dílna :	Popis práce v operaci :	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky :	$t_{as}$ [min]
Orientační:	Třídící číslo :				
00/00	PÁSOVÁ PILA PAEGAS 05960	SKLAD AR	ŘEZÁNÍ POLOTOVARU NA DÉLKU 1000 $\pm$ 0,5	PILOVÝ PÁS 3100x27x0,9	
01/01	PÁSOVÁ BRUSKA 09610	HALA AR	SRAŽENÍ HRAN PRO PRŮCHOD VŘETENÍKEM (PODÁNÍ)	BRUSNÝ PÁS 75 x 2000 ZK40 OCHRANNÉ BRÝLE	
02/02	AUTOMATICKÝ SOUSTRUH TAKISAWA TCY-160 44561	HALA AR	AUTOMATICKÝ DORAZ K HLAVĚ REVOLVERU		0,0833
			UPNUTÍ POLOTOVARU	KLEŠTINA 173E 17 HEX	
			ZAROVNÁNÍ ČELA; HRUBOVÁNÍ POVRCHU; ROZMĚR $\varnothing$ 19 -0,2	AKKO MWLNR 2525 M06 WNMG 060408 MM 2220	0,283
			SOUSTRUŽENÍ $\varnothing$ PRO VNĚJŠÍ ZÁVIT NPT 1/4" M	KLEŠTINA 8 ER25 (UTĚSNĚNÁ) VRTÁK $\varnothing$ 6,5 SK 3D IK	0,117
			VRTÁNÍ $\varnothing$ 6,5 +0,05 DO HLOUBKY 2,3 $\pm$ 0,1	KLEŠTINA 6 ER25 VRTÁK $\varnothing$ 2,8 SK 3D	0,633
			VRTÁNÍ $\varnothing$ 2,8 $\pm$ 0,1 DO HLOUBKY 14 $\pm$ 0,1	ECM 06R-2.25D CTPP435	0,1
			SOUSTRUŽENÍ $\varnothing$ 8,2 +0,05 DO HLOUBKY 1,5 $\pm$ 0,1	AKKO SER 2525 M16C 16ERM 18NPT IC908	0,3
			ŘEZÁNÍ VNĚJŠÍHO ZÁVITU NPT 1/4" M (HRUBOVÁNÍ)	AKKO SVJCR 2020 K16 VCMT 160402 SM IC807	0,483
			SRAŽENÍ ZÁVITU; SOUSTRUŽENÍ $\varnothing$ 11,5 $\pm$ 0,1; SRAŽENÍ U 6HR	AKKO SER 2525 M16C 16ERM 18NPT IC908	0,133
			ŘEZÁNÍ VNĚJŠÍHO ZÁVITU NPT 1/4" M (DOKONČENÍ)	ISCAR TGDR 2020 3M TGMF 304 IC908	0,217
SOUSTRUŽENÍ $\varnothing$ 16,5 $\pm$ 0,2 V DÉLCE 18,2 $\pm$ 0,1	EVSMML 2020 K0316C EC030M03N00CF02 KCU25	0,483			
UPÍCHNUTÍ POLOTOVARU (PŘEUCHOPENÍ) (PRO UPNUTÍ POLOTOVARU KLEŠTINA 173E 17 HEX )					

Tab. 8 Výrobní postup (pokračování varianty „A“).

02/02	AUTOMATICKÝ SOUSTRUH TAKISAWA TCY-160ZS L5 44561	HALA AR	ZAROVNÁNÍ ČELA; SRAŽENÍ HRANY U 6HR	AKKO MWLNR 2525 M06 WNMG 060408 MM 2220	0,1
			VRTÁNÍ $\varnothing 9 \pm 0,1$ DO HLOUBKY 26,9 +0,3	KLEŠTINA 10 ER25 (UTĚSNĚNÁ) VRTÁK $\varnothing 9$ SK 3D IK	0,583
			SOUSTRUŽENÍ $\varnothing$ PRO VNITŘNÍ ZÁVIT NPT 1/4" F	CREAT. TOOLS S08K-SWUBR06 WBMT 060102L IC830	0,35
			ŘEZÁNÍ VNITŘNÍHO ZÁVITU NPT 1/4" F (HRUBOVÁNÍ)	AKKO SIR S10H11 11IRM 1.50 ISO IC908	0,217
			SRAŽENÍ PRO VNITŘNÍ ZÁVIT NPT 1/4" F	CREAT. TOOLS S08K-SWUBR06 WBMT 060102L IC830	0,283
			ŘEZÁNÍ VNITŘNÍHO ZÁVITU NPT 1/4" F (DOKONČENÍ)	AKKO SIR S10H11 11IRM 1.50 ISO IC908	0,1
			VRTÁNÍ $\varnothing 8,5 \pm 0,1$ DO HLOUBKY 37,82 $\pm 0,02$	KLEŠTINA 10 ER25 (UTĚSNĚNÁ) VRTÁK $\varnothing 8,5$ SK 5D IK WTX 180°	0,283
			VRTÁNÍ $\varnothing 2,8 \pm 0,1$ DO HLOUBKY 45 $\pm 0,2$ (SVRTÁNÍ)	KLEŠTINA 6 ER25 VRTÁK $\varnothing 2,8$ SK 3D	0,32
			SOUSTRUŽENÍ $\varnothing 8,6 +0,05$ V DÉLCE 10,6 $\pm 0,1$	CREAT. TOOLS S08K-SWUBR06 WBMT 060102L IC830	0,4
			ZAROVNÁNÍ ČELA; RADIUS R 0,5	ARNO HAMS 1608 R	0,5
			SOUSTRUŽENÍ ODLEHČENÍ $\varnothing 8,7 +0,1$ V DÉLCE 1,9 $\pm 0,1$	T-AMS8-0012	0,3
			PROGRAMOVÉ ZASTAVENÍ NAMAZÁNÍ ZÁVITNÍKU, ŘEZÁNÍ ZÁVITU M10	KLEŠTINA 7 ER25 ZÁVITNÍK ŘEZACÍ M10x1	0,0833
			RUČNÍ VYJMUTÍ OBROBKU ZE SKLÍČIDLA (KLEŠTINY) ODMAŠTĚNÍ OBROBKU; VYFOUKÁNÍ STLAČENÝM VZDUCHEM		
			03/03	KONTROLNÍ PRACOVNÍSTĚ 09863	KONTROLA
KONTROLA VĚJŠÍHO ZÁVITU NPT 1/4" M	DIGITÁLNÍ ÚCHYLKOMĚR				
KONTROLA VNITŘNÍHO ZÁVITU M10x1 V DÉLCE 10 +0,5	ZÁVITOVÝ TRN NPT 1/4 -18				
KONTROLA VNITŘNÍHO ZÁVITU NPT 1/4" F	ZÁVITOVÝ KROUŽEK NPT 1/4 -18				
VIZUÁLNÍ KONTROLA SVRTÁNÍ $\varnothing 2,8 \pm 0,1$	ZÁVITOVÝ TRN M10x1				
VIZUÁLNÍ KONTROLA POVRCHŮ Ra 0,8; Ra 0,4	ČÍSLICOVÝ ÚCHYLKOMĚR PRO VNITŘNÍ MĚŘENÍ (KREMLIN)				
CELKOVÁ VIZUÁLNÍ KONTROLA OBROBKU	KALIBR - TRN $\varnothing 8,2 +0,05$				
ČETNOST MĚŘENÍ 100 % Z VÝROBNÍ DÁVKY	KALIBR - TRN $\varnothing 8,6 +0,05$				
04/04	SKLAD VÝROBKŮ	SKLAD VR	NAROVNÁNÍ DO PŘEPRAVEK NA PALETU		

## 8.2 Výrobní varianta „B“

Druhá výrobní alternativa (tab. 9) využila tvarové nástroje ze SK speciálně určené pro obrobení rozměrů  $\varnothing 8,2$  a  $\varnothing 8,6$  mm. K těmto nástrojům, se vybraly vhodné poháněcí jednotky (kapitola 6.2) a přiřadily se řezné parametry. Vrtání díry  $\varnothing 2,8$  mm bylo realizováno z jedné strany obrobku pomocí vrtáku z HSS. Byl přidán také cyklus výplachu třísek před řezáním vnitřního závitu NPT. Závít M10 byl řezán na přiřazeném pracovišti, následně bylo nutné odmastit obrobek. Výrobní dávka čítala celkem 3000 obrobků.

Tab. 9 Výrobní postup varianty „B“.

VARIANTA "B"		VÝROBNÍ POSTUP		Název součástky :	TĚLESO VENTILU	VÝROBNÍ DÁVKA:	3000 KS
Dne :	10.03.2020	Vyhotovil :	DLOUHÝ	Kontroloval :	Polotovary :	TYČ 17 OK EN 10278 (MATERIÁL 1.4404)	
Číslo op. pořadové :	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště :	Dílňa :	Popis práce v operaci :	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky :	t <sub>As</sub> [min]		
Orientační:	Třídící číslo :						
00/00	PÁSOVÁ PILA PAEGAS 05960	SKLAD AR	ŘEZÁNÍ POLOTOVARU NA DÉLKU 1000 ±0,5	PILOVÝ PÁS 3100x27x0,9			
01/01	PÁSOVÁ BRUSKA 09610	HALA AR	SRAŽENÍ HRAN PRO PRŮCHOD VŘETENÍKEM (PODÁNÍ)	BRUSNÝ PÁS 75 x 2000 ZK40 OCHRANNÉ BRÝLE			
02/02	AUTOMATICKÝ SOUSTRUH TAKISAWA TCY-160ZS LS 44561	HALA AR	AUTOMATICKÝ DORAZ K HLAVĚ REVOLVERU		0,0833		
			UPNUTÍ POLOTOVARU	KLEŠTINA 173E 17 HEX			
			ZAROVNÁNÍ ČELA; HRUBOVÁNÍ POVRCHU; ROZMĚR Ø 19 -0,2 SOUSTRUŽENÍ Ø PRO VNĚJŠÍ ZÁVIT NPT 1/4" M	AKKO MWLNR 2525 M06 WNMG 060408 MM 2220	0,25		
			ŘEZÁNÍ VNĚJŠÍHO ZÁVITU NPT 1/4" M (HRUBOVÁNÍ)	AKKO SER 2525 M16C 16ERM 18NPT IC908	0,3		
			SRAŽENÍ ZÁVITU; SOUSTRUŽENÍ Ø 11,5 ±0,1; SRAŽENÍ U 6HR	AKKO SVJCR 2020 K16 VCMT 160402 SM IC807	0,45		
			ŘEZÁNÍ VNĚJŠÍHO ZÁVITU NPT 1/4" M (DOKONČENÍ)	AKKO SER 2525 M16C 16ERM 18NPT IC908	0,133		
			VRTÁNÍ Ø 6,5 +0,05 VČETNĚ Ø 8,2 +0,05 (POH)	KLEŠTINA 10 ER25 (UTĚSNĚNÁ) CARBIDE XV0634	0,183		
			VRTÁNÍ Ø 2,8 ±0,1 DO HLOUBKY 45 ±0,2	KLEŠTINA 6 ER25 VRTÁK Ø 2,8 HSS CO	0,8		
			SOUSTRUŽENÍ Ø 16,5 ±0,2 V DÉLCE 18,2 ±0,1	ISCAR TGDR 2020 3M TGMF 304 IC908	0,2		
			UPÍCHNUTÍ POLOTOVARU (PŘEUCHOPENÍ) (PRO UPNUTÍ POLOTOVARU KLEŠTINA 173E 17 HEX)	EVSMML 2020 K0316C EC030M03N00CF02 KCU25	0,483		
			ZAROVNÁNÍ ČELA; SRAŽENÍ HRANY U 6HR	AKKO MWLNR 2525 M06 WNMG 060408 MM 2220	0,1		
			VRTÁNÍ Ø 9 ±0,1 DO HLOUBKY 26,9 +0,3	KLEŠTINA 10 ER25 (UTĚSNĚNÁ) VRTÁK Ø 9 SK 3D IK	0,583		
			VRTÁNÍ Ø 8 ±0,1 DO HLOUBKY 37,82 ±0,02	KLEŠTINA 8 ER25 (UTĚSNĚNÁ) VRTÁK Ø 8 SK 5D IK WTX 180°	0,283		
			VRTÁNÍ Ø 8,6 +0,05 DO HLOUBKY 37,82 ±0,02 (POH)	KLEŠTINA 10 ER25 (UTĚSNĚNÁ) CARBIDE XZ0437	0,2167		
			ZAROVNÁNÍ ČELA; RADIUS R 0,5 SOUSTRUŽENÍ ODLEHČENÍ Ø 8,7 +0,1 V DÉLCE 1,9 ±0,1	ARNO HAMS 1608 R T-AMS8-0012	0,5		
			SOUSTRUŽENÍ Ø PRO VNITŘNÍ ZÁVIT NPT 1/4" F	AKKO AEKR-D2.25X8XC0401 XCNT 040104ER CTPP430	0,3		
			VÝPLACH TRÍSEK		0,1		
			ŘEZÁNÍ VNITŘNÍHO ZÁVITU NPT 1/4" F (HRUBOVÁNÍ)	AKKO SIR S10H11 11IRM 1.50 ISO IC908	0,217		
			SRAŽENÍ PRO VNITŘNÍ ZÁVIT NPT 1/4" F; SRAŽENÍ PRO ZÁVIT M10	AKKO AEKR-D2.25X8XC0401 XCNT 040104ER CTPP430	0,283		
			ŘEZÁNÍ VNITŘNÍHO ZÁVITU NPT 1/4" F (DOKONČENÍ)	AKKO SIR S10H11 11IRM 1.50 ISO IC908	0,1		
VYHOZENÍ OBROBKU DO LOPATKY ODMAŠTĚNÍ DÍLCE; VYFOUKÁNÍ STLAČENÝM VZDUCHEM		0,0833					
03/03	VRTAČKA RADIÁLNÍ 04651	HALA AR	ŘEZÁNÍ ZÁVITU M10x1 ODMAŠTĚNÍ OBROBKU; VYFOUKÁNÍ STLAČENÝM VZDUCHEM	ŘEZACÍ ZÁVITNÍK M10x1	0,4		
04/04	KONTROLNÍ PRACOVISTĚ 09863	KONTROLA	KONTROLA ROZMĚRŮ DLE MĚŘICÍHO PROTOKOLU	DIGITÁLNÍ POSUVNÉ MĚŘÍTKO			
			KONTROLA VĚJŠÍHO ZÁVITU NPT 1/4" M	MITUTOYO, ROZSAZ 0-150			
			KONTROLA VNITŘNÍHO ZÁVITU M10x1 V DÉLCE 10 +0,5	DIGITÁLNÍ ÚCHYLKOMĚR			
			KONTROLA VNITŘNÍHO ZÁVITU NPT 1/4" F	ZÁVITOVÝ TRN NPT 1/4 -18			
			VIZUÁLNÍ KONTROLA SVRTÁNÍ Ø 2,8 ±0,1	ZÁVITOVÝ KROUŽEK NPT 1/4 -18			
			VIZUÁLNÍ KONTROLA POVRCHŮ Ra 0,8; Ra 0,4	ZÁVITOVÝ TRN M10x1			
			CELKOVÁ VIZUÁLNÍ KONTROLA OBROBKU KONTROLA Ra 0,8 (Ø 8,6 +0,05) - ČETNOST 1x ZA 660 MINUT ČETNOST MĚŘENÍ 10 % Z VÝROBNÍ DÁVKY	ČÍSLICOVÝ ÚCHYLKOMĚR PRO VNITŘNÍ MĚŘENÍ (KREMPLIN)			
	KALIBR - TRN Ø 8,2 +0,05 KALIBR - TRN Ø 8,6 +0,05						
05/05	SKLAD VÝROBKŮ	SKLAD VR	NAROVNÁNÍ DO PŘEPRAVEK NA PALETU				

## 8.3 Výrobní varianta „C“

Poslední varianta (tab. 10) se zaměřila na možnost vrtání  $\varnothing 2,8$  mm z obou stran s ohledem na minimalizaci odchyly osy díry k ostatním plochám (především vůči  $\varnothing 8,6$  mm). Byl tedy mírně pozměněn operační sled jednotlivých operací.

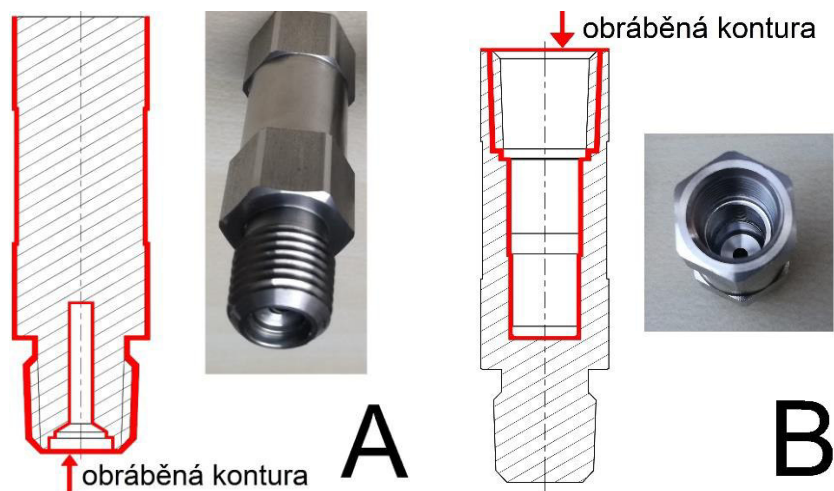
Tab. 10 Výrobní postup varianty „C“.

VARIANTA "C"		VÝROBNÍ POSTUP		Název součástky :	TĚLESO VENTILU	VÝROBNÍ DÁVKA:	1000 KS
Dne : 10.03.2020		Vyhotožil : DLOUHÝ		Kontroloval :		Polotovary: TYČ 17 OK EN 10278 (MATERIÁL 1.4404)	
Číslo op. pořadové :	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště :	Dílňa :	Popis práce v operaci :		Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky :	t <sub>as</sub> [min]	
Orientační:	Třídící číslo :						
00/00	PÁSOVÁ PILA PAEGAS 05960	SKLAD AR	ŘEZÁNÍ POLOTOVARU NA DÉLKU 1000 ±0,5		PILOVÝ PÁS 3100x27x0,9		
01/01	PÁSOVÁ BRUSKA 09610	HALA AR	SRAŽENÍ HRAN PRO PRŮCHOD VŘETENÍKEM (PODÁNÍ)		BRUSNÝ PÁS 75 x 2000 ZK40 OCHRANNÉ BRÝLE		
02/02	AUTOMATICKÝ SOUSTRUH TAKISAWA TCY-160ZS L5 44561	HALA AR	AUTOMATICKÝ DORAZ K HLAVĚ REVOLVERU			0,0833	
			UPNUTÍ POLOTOVARU		KLEŠTINA 173E 17 HEX		
			ZAROVNÁNÍ ČELA; HRUBOVÁNÍ POVRCHU; ROZMĚR $\varnothing 19 -0,2$		AKKO MWLNR 2525 M08	0,25	
			SOUSTRUŽENÍ $\varnothing$ PRO VNĚJŠÍ ZÁVIT NPT 1/4" M		WNMG 060408 MM 2220		
			ŘEZÁNÍ VNĚJŠÍHO ZÁVITU NPT 1/4" M (HRUBOVÁNÍ)		AKKO SER 2525 M16C 16ERM 18NPT IC908	0,3	
			SRAŽENÍ ZÁVITU; SOUSTRUŽENÍ $\varnothing 11,5 \pm 0,1$ ; SRAŽENÍ U 6HR		AKKO SVJCR 2020 K16 VCMT 160402 SM IC807	0,45	
			ŘEZÁNÍ VNĚJŠÍHO ZÁVITU NPT 1/4" M (DOKONČENÍ)		AKKO SER 2525 M16C 16ERM 18NPT IC908	0,133	
			VRTÁNÍ $\varnothing 6,5 +0,05$ VČETNĚ $\varnothing 8,2 +0,05$ (POH)		KLEŠTINA 10 ER25 (UTĚSNĚNÁ) CARBIDE XV0634	0,183	
			VRTÁNÍ $\varnothing 2,8 \pm 0,1$ DO HLOUBKY 14 ±0,2		KLEŠTINA 6 ER25 VRTÁK $\varnothing 2,8$ SK 3D	0,517	
			SOUSTRUŽENÍ $\varnothing 16,5 \pm 0,2$ V DÉLCE 18,2 ±0,1		ISCAR TGDR 2020 3M TGMF 304 IC908	0,2	
			UPÍCHNUTÍ POLOTOVARU (PŘEUCHOPENÍ) (PRO UPNUTÍ POLOTOVARU KLEŠTINA 173E 17 HEX )		EVSML 2020 K0316C EC030M03N00CF02 KCU25	0,463	
			ZAROVNÁNÍ ČELA; SRAŽENÍ HRANY U 6HR		AKKO MWLNR 2525 M08 WNMG 060408 MM 2220	0,1	
			VRTÁNÍ $\varnothing 9 \pm 0,1$ DO HLOUBKY 26,9 ±0,3		KLEŠTINA 10 ER25 (UTĚSNĚNÁ) VRTÁK $\varnothing 9$ SK 3D IK	0,583	
			VRTÁNÍ $\varnothing 8 \pm 0,1$ DO HLOUBKY 37,82 ±0,02		KLEŠTINA 8 ER25 (UTĚSNĚNÁ) VRTÁK $\varnothing 8$ SK 5D IK WTX 180°	0,283	
			VRTÁNÍ $\varnothing 8,6 +0,05$ DO HLOUBKY 37,82 ±0,02 (POH)		KLEŠTINA 10 ER25 (UTĚSNĚNÁ) CARBIDE XZ0437	0,2167	
			VRTÁNÍ $\varnothing 2,8 \pm 0,1$ DO HLOUBKY 45 ±0,2		KLEŠTINA 6 ER25 VRTÁK $\varnothing 2,8$ SK 3D	0,367	
			ZAROVNÁNÍ ČELA; RADIUS R 0,5		ARNO HAMS 1608 R	0,5	
			SOUSTRUŽENÍ ODLEHČENÍ $\varnothing 8,7 +0,1$ V DÉLCE 1,9 ±0,1		T-AMSB-0012		
			VRTÁNÍ $\varnothing 2,8 \pm 0,1$ - PROČIŠTĚNÍ		KLEŠTINA 6 ER25 VRTÁK $\varnothing 2,8$ SK 3D	0,283	
			SOUSTRUŽENÍ $\varnothing$ PRO VNITŘNÍ ZÁVIT NPT 1/4" F		AKKO AEKR-D2,25X8XC0401 XCNT 040104ER CTPP430	0,3	
VÝPLACH TRÍSEK			0,1				
ŘEZÁNÍ VNITŘNÍHO ZÁVITU NPT 1/4" F (HRUBOVÁNÍ)		AKKO SIR S10H11 11IRM 1.50 ISO IC908	0,217				
SRAŽENÍ PRO VNITŘNÍ ZÁVIT NPT 1/4" F; SRAŽENÍ PRO ZÁVIT M10		AKKO AEKR-D2,25X8XC0401 XCNT 040104ER CTPP430	0,283				
ŘEZÁNÍ VNITŘNÍHO ZÁVITU NPT 1/4" F (DOKONČENÍ)		AKKO SIR S10H11 11IRM 1.50 ISO IC908	0,1				
VYHOZENÍ OBROBKU DO LOPATKY			0,0833				
ODMAŠTĚNÍ OBROBKU; VYFOUKÁNÍ STLAČENÝM VZDUCHEM							
03/03	VRTÁČKA RADIÁLNÍ 04651	HALA AR	ŘEZÁNÍ ZÁVITU M10x1		ŘEZACÍ ZÁVITNÍK M10x1	0,4	
				ODMAŠTĚNÍ DÍLCE; VYFOUKÁNÍ STLAČENÝM VZDUCHEM			
04/04	KONTROLNÍ PRACOVISŤE 09863	KONTROLA	KONTROLA ROZMĚRŮ DLE MĚŘICÍHO PROTOKOLU		DIGITÁLNÍ POSUVNÉ MĚŘÍTKO MITUTOYO, ROZSAZ 0-150		
			KONTROLA VĚJŠÍHO ZÁVITU NPT 1/4" M		DIGITÁLNÍ ÚCHYLKOMĚR		
			KONTROLA VNITŘNÍHO ZÁVITU M10x1 V DÉLCE 10 ±0,5		ZÁVITOVÝ TRN NPT 1/4 -18		
			KONTROLA VNITŘNÍHO ZÁVITU NPT 1/4" F		ZÁVITOVÝ KROUŽEK NPT 1/4 -18		
			VIZUÁLNÍ KONTROLA SVRTÁNÍ $\varnothing 2,8 \pm 0,1$		ZÁVITOVÝ TRN M10x1		
			VIZUÁLNÍ KONTROLA POVRCHŮ Ra 0,8; Ra 0,4		ČÍSLICOVÝ ÚCHYLKOMĚR PRO VNITŘNÍ MĚŘENÍ (KREMPLIN)		
CELKOVÁ VIZUÁLNÍ KONTROLA OBROBKU		KALIBR - TRN $\varnothing 8,2 +0,05$					
KONTROLA Ra 0,8 ( $\varnothing 8,6 +0,05$ ) - ČETNOST 1x ZA 660 MINUT		KALIBR - TRN $\varnothing 8,6 +0,05$					
ČETNOST MĚŘENÍ 10 % Z VÝROBNÍ DÁVKY							
05/05	SKLAD VÝROBKŮ	SKLAD VR	NAROVNÁNÍ DO PŘEPRAVEK NA PALETU				



## 8.4 Přehled přiřazených korekcí pro jednotlivé nástroje

Pro každý z použitých řezných nástrojů se přiřadily uvedené korekce, na které se v NC programu odkazuje u jednotlivých operací (tab. 11, tab. 12, tab. 13). Operace vykonávané jednotlivými řeznými nástroji jsou uvedeny v tab. 5 (uvedeno také ve výrobních postupech). Pro objasnění pojmu *1. strana obrobku* a *2. strana obrobku* lze využít obr. 47. Nejprve jednotlivé řezné nástroje vykonaly dané operace na první straně (hlavní vřeteno). Po operaci upíchnutí a přeučopení polotovaru se zahájilo obrábění druhé strany na vedlejším pracovním vřetenu (zarovnání čela, vrtání nebo závitování dle operačního sledu korespondující s výrobním postupem). Přeučopení je nezbytné, jinak obrobení na jedno upnutí polotovaru není pro daný obrobek reálné (pro zvolený CNC soustruh).



Obr. 47 Znárodnění obráběné kontury pro jednotlivé strany obrobku (pro variantu „B“);  
A – první obráběná strana, B – druhá obráběná strana (vedlejší vřeteno).

Tab. 11 Korekce nástrojů v NC programu pro variantu „A“.

Řezný nástroj	Korekce nástroje
WNMG 060408 MM 2220	T1010
VCMT 160402 SM IC807	T1111
16ERM 18NPT IC908	T1212
TGMF 304 IC908	T0909
ECM 06R-2.25D CTPP435	T0202
VRTÁK $\varnothing$ 6,5 SK 3D IK	T0303
VRTÁK $\varnothing$ 2,8 SK 3D	T0101
EC030M03N00CF02 KCU25	T0808
2. strana obrobku	-
WNMG 060408 MM 2220	T1022
VRTÁK $\varnothing$ 9 SK 3D IK	T0315
VRTÁK $\varnothing$ 8,5 SK 5D IK WTX 180°	T0719
11IRM 1.50 ISO IC908	T0517
WBMT 060102L IC830	T0214
VRTÁK $\varnothing$ 2,8 SK 3D	T0113
T-AMS8-0012	T0416
Závitník M10x1	T0618



Tab. 12 Korekce nástrojů v NC programu pro variantu „B“.

Řezný nástroj	Korekce nástroje
WNMG 060408 MM 2220	T1010
VCMT 160402 SM IC807	T1111
16ERM 18NPT IC908	T0909
TGMF 304 IC908	T1212
XV0634 (POH)	T0404
VRTÁK ø 2,8 HSS CO	T0707
EC030M03N00CF02 KCU25	T0808
2. strana obrobku	-
WNMG 060408 MM 2220	T1022
VRTÁK ø 9 SK 3D IK	T0517
VRTÁK ø 8 SK 5D IK WTX 180°	T0214
XCNT 040104ER CTCP425	T0113
11IRM 1.50 ISO IC908	T0315
XZ0437 (POH)	T0618
T-AMS8-0012	T0719

Tab. 13 Korekce nástrojů v NC programu pro variantu „C“.

Řezný nástroj	Korekce nástroje
WNMG 060408 MM 2220	T1010
VCMT 160402 SM IC807	T1111
16ERM 18NPT IC908	T0909
TGMF 304 IC908	T1212
XV0634 (POH)	T0404
VRTÁK ø 2,8 3D SK	T0707
EC030M03N00CF02 KCU25	T0808
2. strana obrobku	-
WNMG 060408 MM 2220	T1022
VRTÁK ø 9 SK 3D IK	T0517
VRTÁK ø 8 SK 5D IK WTX 180°	T0113
XCNT 040104ER CTCP425	T0214
11IRM 1.50 ISO IC908	T0315
VRTÁK ø 2,8 3D SK	T0719
XZ0437 (POH)	T0416
T-AMS8-0012	T0618

## 9 VYHODNOCENÍ VÝROBY

Během výroby se neustále vyhodnocovaly a zapisovaly kontrolní rozměry dle měřicího protokolu za využití potřebných měřicích pomůcek. Všechny aplikované výrobní varianty se nakonec zhodnotily. K variantě „B“ se zaznamenalo opotřebení jednotlivých nástrojů. Při výrobě nastaly i neočekávané situace.

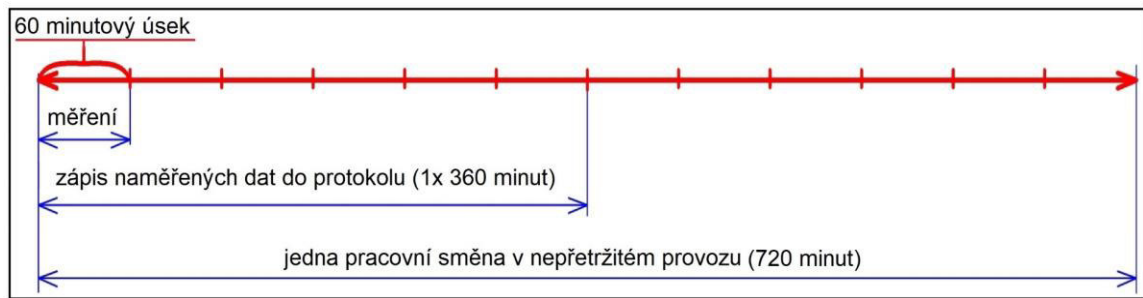
### 9.1 Měřicí protokol a použité měřicí pomůcky

K měření kontrolních rozměrů se určily potřebné měřicí pomůcky (tab. 14) a vytvořil se měřicí protokol (tab. 15) pro vyráběný obrobek. Vyobrazení těchto pomůcek je obsaženo dále v příloze 9. Četnost měření dle měřicího protokolu byla 1x za 60 minut, zápis naměřených dat probíhal 1x za 360 minut (polovina pracovní směny, časová osa obr. 48).

Tab. 14 Měřicí pomůcky.

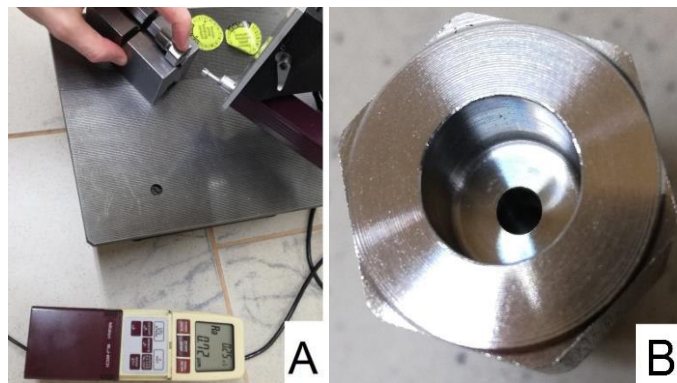
Náhled	Měřicí pomůcka
	Posuvné digitální měřidlo, rozsah 0-150
	Číslicový digitální úchylkoměr
	Číslicový úchylkoměr pro vnitřní měření
	Závitový trn NPT 1/4"
	Závitový kroužek NPT 1/4"
	Kontrolní trn $\varnothing 8,2 +0,05$
	Kontrolní trn $\varnothing 8,6 +0,05$
	Kontrolní trn $\varnothing 9 +0,1$





Obr. 48 Časová osa (jednotlivé úseky reprezentují kontrolní proceduru dle protokolu)

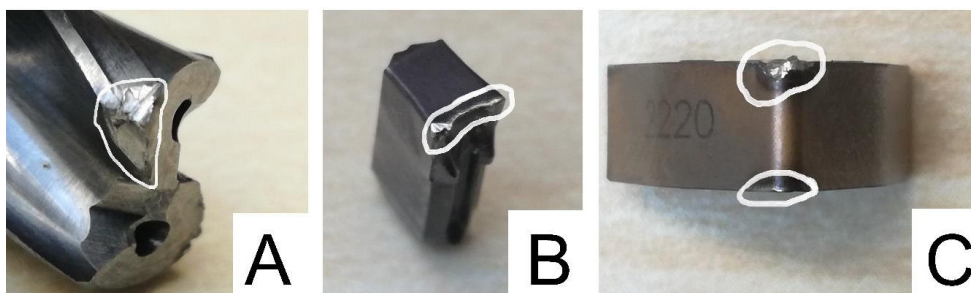
U každé z uvedených variant se kontroloval profil povrchu především vizuálně. Například pro změření profilu  $\varnothing 8,6$  mm (parametr Ra 0,8) se vzorek upíchl (provedl řez) k získání potřebného pracovního prostoru pro změření profilu povrchu (obr. 49).



Obr. 49 Vyhodnocení profilu povrchu; A – Změřená hodnota profilu pro  $\varnothing 8,6$  (dotyková metoda), B – detail měřeného vzorku.

## 9.2 Opatření řezných nástrojů

S ohledem na obráběný materiál polotovaru (korozi-vzdorná ocel) se věnovala zvýšená pozornost k opotřebení jednotlivých nástrojů. Opatřené VBD byly průběžně (včasně) vyměňovány při dosažení určitého stupně opotřebení nebo vyrobení daného počtu obroků. Trvanlivost břítu jednotlivých nástrojů se vzájemně odlišovala. Opatření se odvíjelo od použitých řezných parametrů, jednotlivých obráběcích operací a řezném prostředí s ohledem na obráběný polotovar. Primárním cílem bylo zajistit stabilitu obráběcího procesu během výroby v podmínkách více-strojové obsluhy. Ukázka opotřebení některých z použitých nástrojů je na obr. 50. V tab. 16 jsou uvedeny informativní počty obroků s operační dobou nástroje, po kterých následovala preventivní, případně nutná výměna opotřebených nástrojů. Tyto hodnoty se zaznamenávaly při výrobní variantě „B“ (záznam pro čtyři výměny).

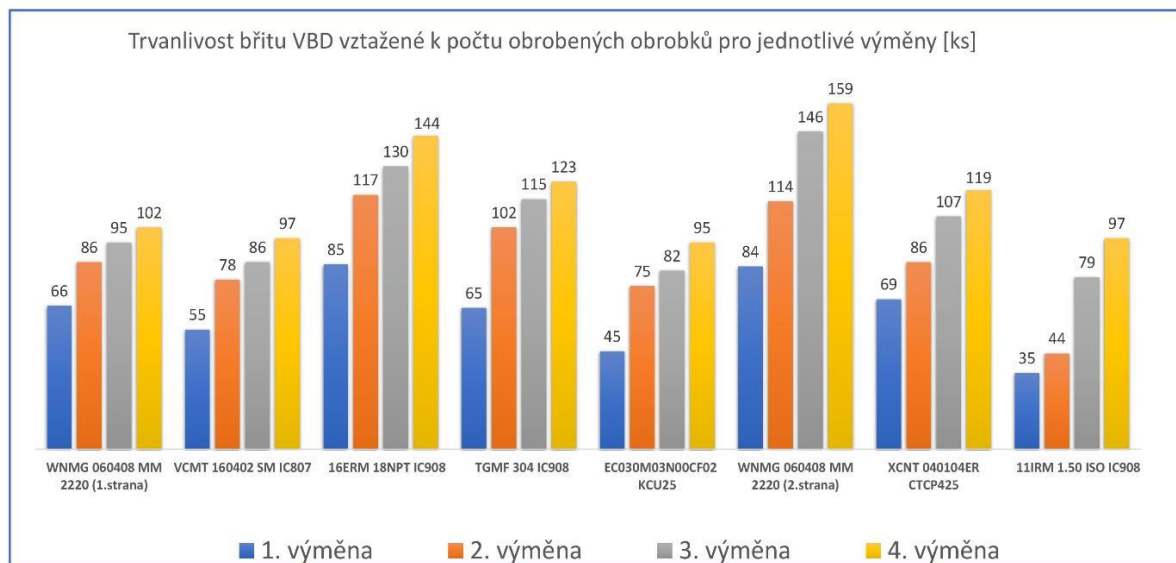


Obr. 50 Opatření břítu vrtáku a VBD (A – vrták  $\varnothing 8,5$  SK 5D IK WTX 180°, B – EC030M03N00CF02 KCU25, C – WNMG 060408 MM 2220).



Tab. 16 Trvanlivost břitů VBD u použitých řezných nástrojů vzhledem k počtu obrobků [ks] (hodnoty k jednotlivým výměnám, pro variantu „B“).

Řezný nástroj	1. výměna	2. výměna	3. výměna	4. výměna
WNMG 060408 MM 2220 (1.strana)	66	86	95	102
VCMT 160402 SM IC807 (ø 11,5 mm)	55	78	86	97
16ERM 18NPT IC908 (vnější NPT)	85	117	130	144
TGMF 304 IC908 (ø 16,5 mm)	65	102	115	123
VRTÁK ø 2,8 HSS CO	355	1264	1514	-
XV0634 (ø 6,5 a ø 8,2 mm)	2765	-	-	-
EC030M03N00CF02 KCU25 (upichování)	45	75	82	95
WNMG 060408 MM 2220 (2.strana)	84	114	146	159
VRTÁK ø 9 SK 3D IK	631	950	1125	-
VRTÁK ø 8 SK 5D IK WTX 180°	984	1130	-	-
XCNT 040104ER CTCP425	69	86	107	119
11IRM 1.50 ISO IC908 (vnitřní NPT)	35	44	79	97
T-AMS8-0012 (ø 8,7 mm)	1117	1223	-	-
XZ0437 (ø 8,6 mm)	1130	1167	-	-



Obr. 51 Graf trvanlivosti břitů vybraných VBD (u varianty „B“).

Jak je z obr. 51 patrné, postupně se u jednotlivých nástrojů během výroby zvyšoval počet obrobků mezi jednotlivými výměnami. První výměna byla preventivní, kdy následně proběhla výměna za nový břit VBD. Opatřovaný břit se vizuálně vyhodnotil (především dle opotřebení na čele břitů VBD). Postupně se tak zvyšoval počet obrobků k jednotlivým břitům a neustále se vyhodnocovalo opotřebení. Poslední výměna (počet obrobků) byla mezní hodnota, kdy při ponechání VBD by došlo v krajním případě k lomu špičky břitů (vznik rozměrových nepřesností, nedodržení požadované jakosti povrchů a možné poškození upínacího tělesa nástroje). Opatřování VBD bylo porovnáváno s ohledem na pracovní dobu (obráběcí čas, kdy nástroj je v záběru a odebírá materiál polotovaru) jednotlivých VBD. Je nutné však od operačních časů pro zmíněné VBD odečíst nezbytné ztrátové

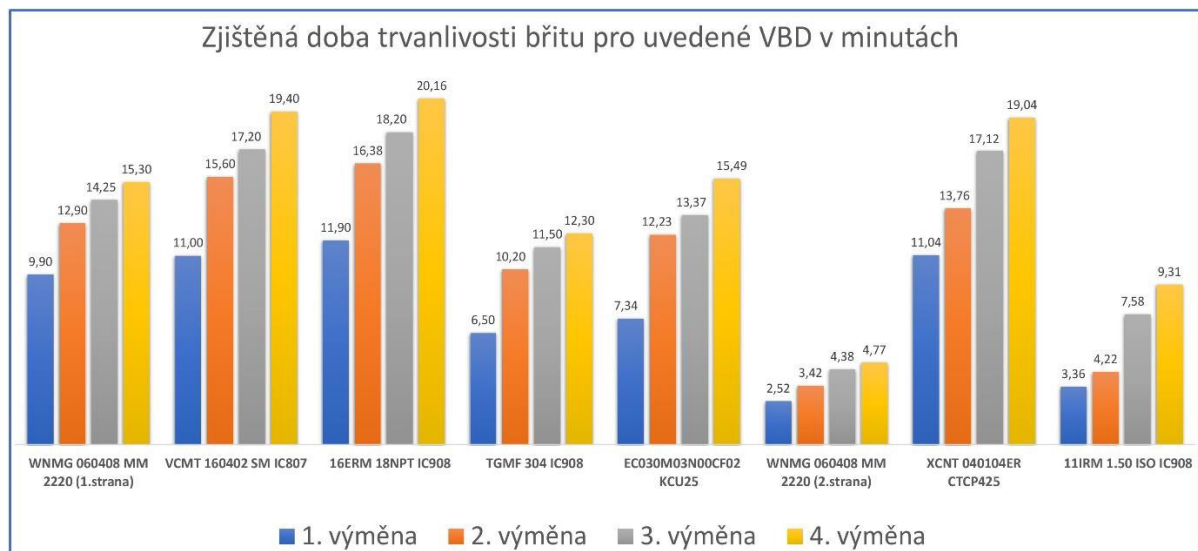
časy (výměna nástroje, nájezd do pracovní pozice rychloposuvem). Časová trvanlivost uvedených VBD je zobrazena v grafu (obr. 52). Pracovní čas (doba záběru) se určila z celkových operačních časů VBD (výrobní postup), od kterých se odečetly zjištěné ztráty, které se násobily počtem obrobků vyrobených do výměny. Ztráty lze určit výpočtem nebo časovým měřením. V tomto případě se využilo časové měření během obrábění. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v minutách vztahující se k jednotlivým výměnám (tab. 18).

Tab. 17 Přehled naměřených časů pro jednotlivé operace u varianty „B“ (hodnoty v minutách).

Operace	Celkový čas cyklu	Ztráty	Skutečná doba záběru ostří
Hrubování, soustružení povrchu pro vnější NPT	0,25	0,1	0,15
Soustružení povrchu (dokončení, $\varnothing$ 11,5)	0,35	0,15	0,2
Řezání vnějšího závitu NPT (hrubování)	0,3	0,16	0,14
Soustružení $\varnothing$ 16,5 mm	0,2	0,1	0,1
Vrtání $\varnothing$ 2,8 mm (skrz)	0,8	0,4	0,4
Vrtání $\varnothing$ 6,5 a $\varnothing$ 8,2 mm	0,183	0,1	0,083
Upíchnutí polotovaru	0,483	0,32	0,163
Soustružení čela polotovaru – 2.strana	0,1	0,07	0,03
Vrtání $\varnothing$ 9 mm (hrubování)	0,583	0,1	0,483
Vrtání $\varnothing$ 8 mm (hrubování)	0,283	0,12	0,163
Soustružení $\varnothing$ pro vnitřní závit NPT	0,3	0,14	0,16
Řezání vnitřního závitu NPT (hrubování)	0,216	0,12	0,096
Soustružení čela u $\varnothing$ 8,6 a povrchu $\varnothing$ 8,7 mm	0,5	0,15	0,35
Vrtání $\varnothing$ 8,6 mm	0,216	0,1	0,116

Tab. 18 Pracovní doba bříty VBD v minutách (pro jednotlivé výměny u varianty „B“).

Řezný nástroj	1. výměna	2. výměna	3. výměna	4. výměna
WNMG 060408 MM 2220 (1.strana)	9,90	12,90	14,25	15,30
VCMT 160402 SM IC807 ( $\varnothing$ 11,5 mm)	11,00	15,60	17,20	19,40
16ERM 18NPT IC908 (vnější NPT)	11,90	16,38	18,20	20,16
TGMF 304 IC908 ( $\varnothing$ 16,5 mm)	6,50	10,20	11,50	12,30
VRTÁK $\varnothing$ 2,8 HSS CO	142,00	505,60	605,60	-
XV0634 ( $\varnothing$ 6,5 a $\varnothing$ 8,2 mm)	229,50	-	-	-
EC030M03N00CF02 KCU25 (upíchnutí)	7,34	12,23	13,37	15,49
WNMG 060408 MM 2220 (2.strana)	2,52	3,42	4,38	4,77
VRTÁK $\varnothing$ 9 SK 3D IK	304,77	458,85	543,38	-
VRTÁK $\varnothing$ 8 SK 5D IK WTX 180°	160,39	184,19	-	-
XCNT 040104ER CTCP425	11,04	13,76	17,12	19,04
11IRM 1.50 ISO IC908 (vnitřní NPT)	3,36	4,22	7,58	9,31
T-AMS8-0012 ( $\varnothing$ 8,7 mm)	390,95	428,05	-	-
XZ0437 ( $\varnothing$ 8,6 mm)	131,08	135,37	-	-



Obr. 52 Trvanlivost břítu jednotlivých VBD vztahující se k pracovní době (v minutách)

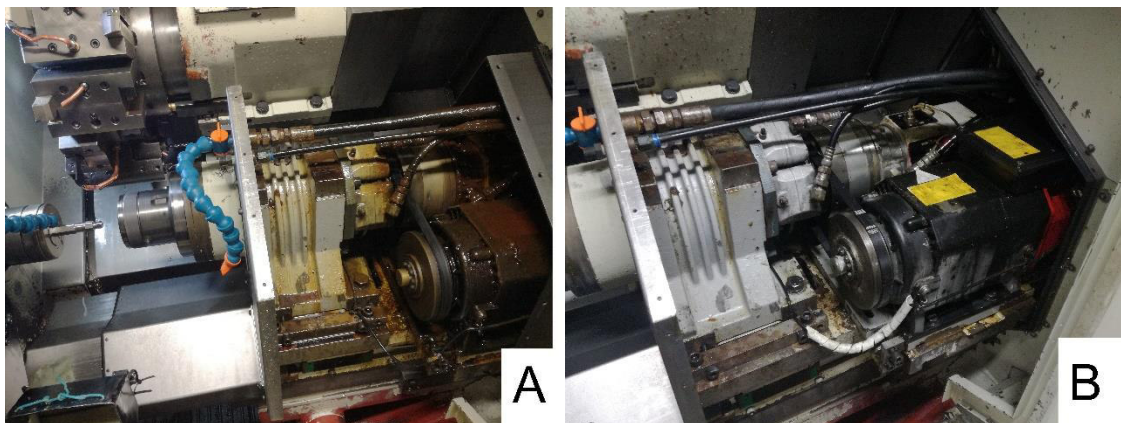
Z grafu (obr. 52) je zřejmé, že se čistě pracovní čas (bez vedlejších ztrát, jedná se o skutečnou dobu záběru ostří nástroje) pro jednotlivé VBD vzhledem k trvanlivosti břítu VBD liší při porovnání s předchozím grafem (obr. 51). Lze uvést příklad vyměnitelné břitové destičky *WNMG 060408 MM 2220*. Pro aplikaci na první straně obrobku se doba záběru odlišovala při porovnání s použitím této VBD na druhé straně (vedlejší pracovní vřeteno). Menší pracovní časy pro VBD použitou na druhé straně, jsou zapříčiněné způsobem použití, konkrétně zarovnání čela a sražení u šestihranu (dokončovací obrábění). Jamile dosáhlo opotřebení břítu určité meze, docházelo k vytváření (nežádoucích) ořepů u sražení profilu polotovaru, nebo případné nezarování čela polotovaru (projeví se změnou celkové délky obrobku). Proto byla v tomto případě VBD vyměněna již při menší míře opotřebení, než tomu bylo pro stejnou VBD použitou pro první stranu polotovaru (hlavní vřeteno). Zajímavostí je, že tato VBD použitá pro vedlejší vřeteno (druhá strana) vykazovala značný počet obrobených obrobků mezi jednotlivými výměnami (obr. 51). Doba pracovního záběru všech nástrojů se vzájemně odlišovala. V příloze 10 jsou obdobné grafy opotřebení u použitých vrtacích nástrojů.

Během výroby byla míra opotřebení nástrojů závislá na více parametrech. Prvním aspektem výrazně ovlivňující trvanlivost břítu byly zvolené řezné parametry ( $v_c$ ,  $a_p$ ,  $f$ ). Zvolené hodnoty  $v_c$  byly nižší s ohledem na obráběný materiál. Podstatné byly i další skutečnosti, jako způsob obrábění (hrubovací, dokončovací, vnitřní nebo vnější soustružení, vrtání), přívod procesní kapaliny do místa řezu, odvod třísek, tuhost tělesa (stopky) jednotlivých nástrojů (způsob a stabilita upnutí) a případné osobní (praktické) zkušenosti. Cílem bylo zajištění stability obráběcího procesu a maximální trvanlivost břítu nástrojů. Během výroby (varianty „B“ a varianty „C“) probíhala výměna opotřebovaných nástrojů (VBD) maximálně jednou za směnu (za 720 minut se vyrobilo v rozmezí 80 – 95 obrobků). Opotřebení břítu bylo postupné a snáze předvídatelné (průběžná výměna v určitých intervalech). Nezbytné bylo během výměny správně připevnit (vložit) VBD do lůžka tělesa nože. Pro kontrolu nástrojů se využilo automatické zastavení po obrobení 10 obrobků. Cenová relace jednotlivých nástrojů se nachází v příloze 11.

### 9.3 Problémy vzniklé během výroby

Během výroby uvedené součásti došlo ke dvěma nežádoucím situacím.

- První problém nastal při nastavení zbytku polotovaru (tyče). První hodnota parametru zbytku tyče byla nastavena na 90 mm. Bohužel vzhledem k tomu, že při upichovací operaci dochází k popotažení zbytku tyče, nastala situace, kdy upnutý zbytek v levé kleštině nebyl dostatečný. Výsledkem bylo zničení upichovacího tělesa nože, včetně poškození upínací kleštiny (obr. 33). Vzniklá situace byla vyhodnocena a provedla se korekce v nastavení zbytku tyče na 95 mm. Zároveň byla následně použita nová kleština pro upnutí tyče. Toto opatření se následně ukázalo jako dostatečné.
- Druhá situace se týkala technického stavu stroje. Konkrétně se jednalo o opotřebený a nedostatečně napnutý klínový řemen pro vedlejší vřeteno. Díky této skutečnosti stroj nemohl provést synchronizaci a došlo k automatickému zastavení před upichovací operací. Při upichovací operaci je nutná synchronizace otáček obou pracovních vřeten. Následně proběhla výměna zmíněného řemene za nový s následnou kontrolou (obr. 53). Obráběcí proces mohl poté opět pokračovat od nedokončené operace (upichování polotovaru).



Obr. 53 Náhled na vedlejší pracovní vřeteno CNC soustruhu; A – Pohled před opravou, B – po nápravě (výměna a správné napnutí řemene).

### 9.4 Zhodnocení použitých variant

První **varianta „A“** byla určena pro kontrolu NC programu a stability obráběcího procesu. Jednalo se o zkušební ověřovací sérii. V návaznosti na to byl vytvořen měřicí postup (protokol) pro uvedenou součást. Sledovala se i doba trvanlivosti břitu jednotlivých nástrojů, případně tvoření třísek a jejich odchod z místa řezu. Pozornost se věnovala především nebezpečí kumulace třísek na břitu řezného nástroje. Výroba nebyla uzpůsobena pro vícestrojovou obsluhu. Operátor vždy musel namazat řezací závitník M10 před řezáním vnitřního závitu (využití funkce M0). Toto řešení bylo aplikováno s ohledem na velikost výrobní dávky a obráběný materiál. Během obrábění se využila procesní kapalina Quakercool 3890. Tato kapalina má vyhovující chladicí účinek, avšak nižší mazací účinek než řezné oleje. Proto byl pro závitování závitu M10 zvolen řezný olej (GTL 6005) s vyhovujícími mazacími účinky.



Každý vyrobený obrobek v této výrobní dávce (pro variantu „A“) byl změřen dle měřicího protokolu. Během výroby se zjistilo, že zvolený řezný nástroj pro soustružení díry (včetně  $\varnothing 8,6$  mm) nevykazoval vyhovující trvanlivost břitu s rozměrovou stabilitou obrobenej plochy (opotřebení).

Současne se prováděly průběžně nezbytné korekce při určitém stupni opotřebení břitu (v krajním případě lomu špičky břitu byla nezbytná okamžitá výměna). Tento nedostatek se odstranil v následující variantě. Je vhodné upozornit, že kapacita použitých nástrojů (v hlavě revolveru) byla v maximální míře využita. Po splnění výrobní dávky se výroba vyhodnotila.

Výrobní **varianta „B“** byla přizpůsobena pro podmínky vícestrojové obsluhy. Zároveň se využily poznatky získané při výrobě předchozí výrobní dávky (varianta „A“). Pro obrobění rozměrů  $\varnothing 8,2$  a  $\varnothing 8,6$  mm se aplikovaly poháněcí jednotky se speciálně tvarovými nástroji (došlo ke změně operačního sledu). Aplikací těchto tvarových nástrojů se snížil potřebný výrobní čas na danou operaci, zároveň došlo k redukci potřebných nástrojů (rozměr  $\varnothing 8,2$  mm a  $\varnothing 6,5$  mm obrábí jeden nástroj v jedné operaci). Nezbytné bylo zaměření těchto nástrojů (vzhledem k ose pracovního vřetena) a dostatečný přívod procesní kapaliny. Změnou oproti první variantě byla technologie vrtání ( $\varnothing 2,8$  mm). Využil se cyklus vrtání s výplachem (G83.6) pouze z jedné strany. Během splnění výrobní dávky s následným vyhodnocením, bylo rozhodnuto o změně technologie vrtání  $\varnothing 2,8$  mm. Novým požadavkem pro následující výrobní dávku byla minimální odchylka osy díry  $\varnothing 2,8$  mm vzhledem k ose rozměrů  $\varnothing 8,6$  mm případně  $\varnothing 8,2$  mm.

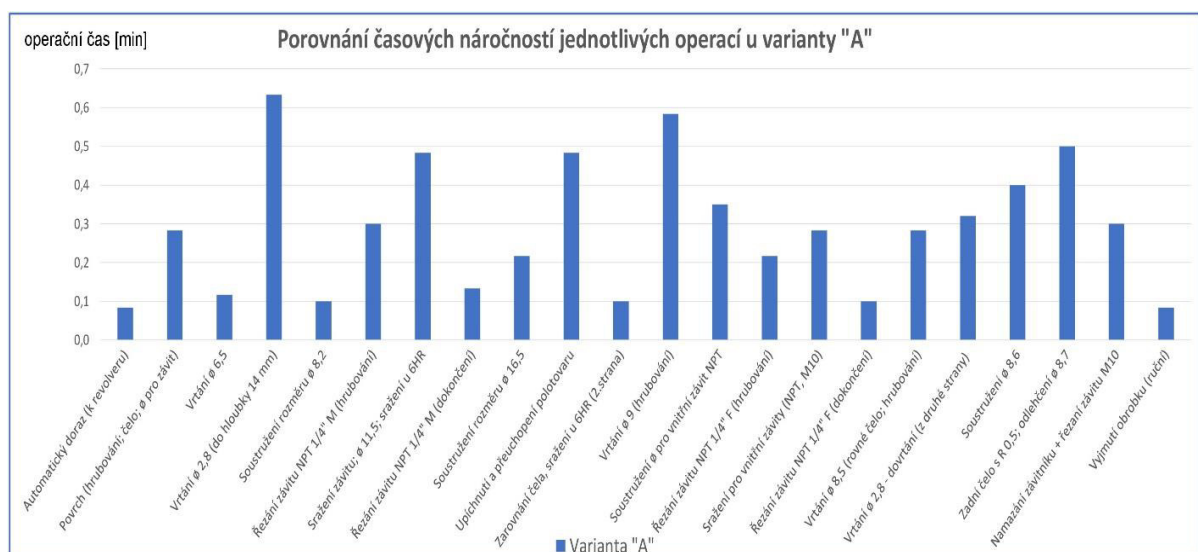
Další úpravou bylo aplikování výplachu třísek před závitovacím cyklem (vnitřní závit NPT, první průjezd). Ukázalo se, že po soustružení rozměru pro vnitřní závit docházelo k nežádoucímu hromadění třísek v obrobenej díře. Problém nastával při následném řezání vnitřního závitu. Trvanlivost břitu vyměnitelné břitové destičky pro řezání závitu byla nízká (kolísala v rozmezí 5 až 30 kusů). K této problematice je vhodné objasnit důvod výběru použité vyměnitelné břitové destičky (*ISCAR 11IRM 1.50 ISO IC908*, s lisovaným utvařečem třísek). Normalizované stoupaní kuželového závitu NPT 1/4“ je 1,41 mm a úhel profilu závitu je  $60^\circ$  (u zvolené destičky je profil  $60^\circ$  se stoupaním 1.5 mm, tedy standardní ISO profil). Výběr této VBD souvisel s praktickým hlediskem (skladové zásoby, nižší náklady na VBD s porovnáním VBD určené k řezání profilu závitu NPT a také pozitivní osobní zkušenost s uvedenou VBD). Nakonec se tato volba osvědčila a závit tedy splnil požadovanou funkci. Toto rozhodnutí se konzultovalo s kontrolními pracovníky spolu se zadavatelem výrobního požadavku. Změnou u variant „B“ a „C“ bylo řezání závitu M10x1 na jiném pracovišti. Trvanlivost nástrojů (obr. 51, obr. 52) a jakost obrobenej ploch byla vyhovující. Pro průběžnou kontrolu opotřebení břitů (případně zamezení kumulace třísek na nástrojích) bylo aplikováno automatické zastavení po obrobění určitého počtu obrobků (10 ks). NC program pro variantu „B“ se nachází v příloze 12.

Poslední výrobní alternativa (**varianta „C“**) využila všechny dostupné poznatky získané z předchozí výrobní dávky. Využila se oboustranná poháněcí nástrojová jednotka pro tvarové nástroje (úspora místa v hlavě revolveru soustruhu). Operační sled byl mírně pozměněn s ohledem na vrtání díry  $\varnothing 2,8$  mm postupně z obou stran. Po zaměření nástrojů došlo k minimalizaci odchylky jednotlivých os ( $\varnothing 2,8$  mm se nachází v ose obrobku). Varianta vrtání z obou stran byla aplikována vzhledem ke

skutečnosti, že při vrtání z jedné strany v příslušné délce vznikala nepřijatelná odchylka osy  $\varnothing$  2,8 mm od rozměru  $\varnothing$  8,6 mm (obr. 58). Trvanlivost jednotlivých nástrojů byla obdobná s variantou „B“. Závit M10 se řezal na jiném pracovišti.

Tab. 19 Časové rozložení jednotlivých operací (na CNC soustruhu) pro variantu „A“.

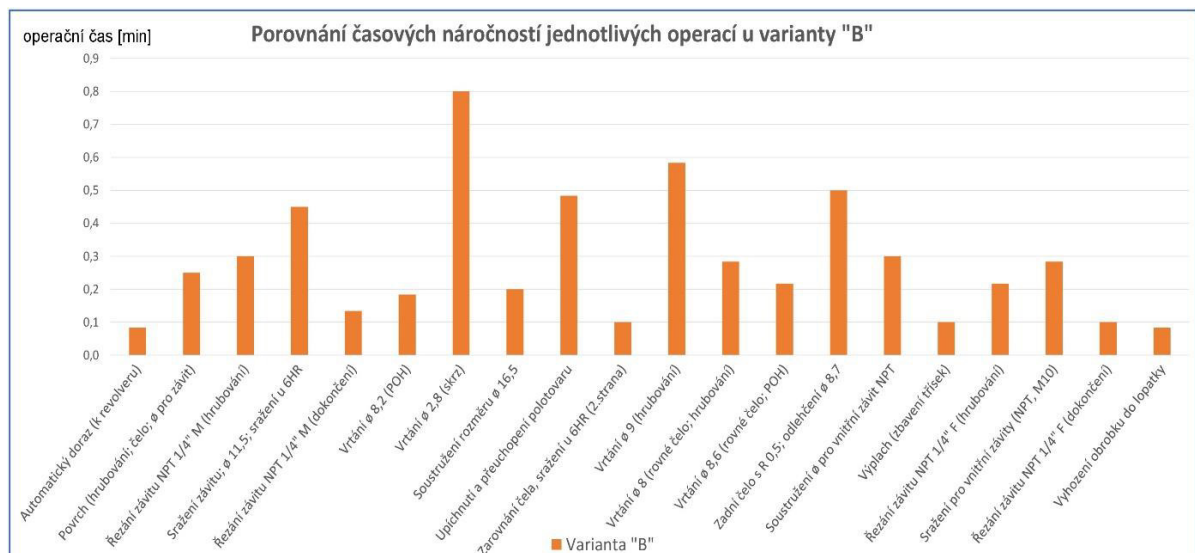
Operační sled	Operační čas v minutách
Automatický doraz (k revolveru)	0,083
Povrch (hrubování; čelo; $\varnothing$ pro závit)	0,283
Vrtání $\varnothing$ 6,5	0,117
Vrtání $\varnothing$ 2,8 (do hloubky 14 mm)	0,633
Soustružení rozměru $\varnothing$ 8,2	0,1
Řezání závitu NPT 1/4" M (hrubování)	0,3
Sražení závitu; $\varnothing$ 11,5; sražení u 6HR	0,483
Řezání závitu NPT 1/4" M (dokončení)	0,133
Soustružení rozměru $\varnothing$ 16,5	0,217
Upíchnutí a přeuchopení polotovaru	0,483
Zarovnání čela, sražení u 6HR (2.strana)	0,1
Vrtání $\varnothing$ 9 (hrubování)	0,583
Soustružení $\varnothing$ pro vnitřní závit NPT	0,35
Řezání závitu NPT 1/4" F (hrubování)	0,217
Sražení pro vnitřní závity (NPT, M10)	0,283
Řezání závitu NPT 1/4" F (dokončení)	0,1
Vrtání $\varnothing$ 8,5 (rovné čelo; hrubování)	0,283
Vrtání $\varnothing$ 2,8 - dovrtání (z druhé strany)	0,32
Soustružení $\varnothing$ 8,6	0,4
Zadní čelo s R 0,5; odlehčení $\varnothing$ 8,7	0,5
Namazání závitníku + řezání závitu M10	0,3
Vyjmutí obrobku (ruční)	0,083



Obr. 54 Graf časového rozložení k jednotlivým operacím u varianty „A“ (pro CNC soustruh).

Tab. 20 Časové rozložení jednotlivých operací (na CNC soustruhu) pro variantu „B“.

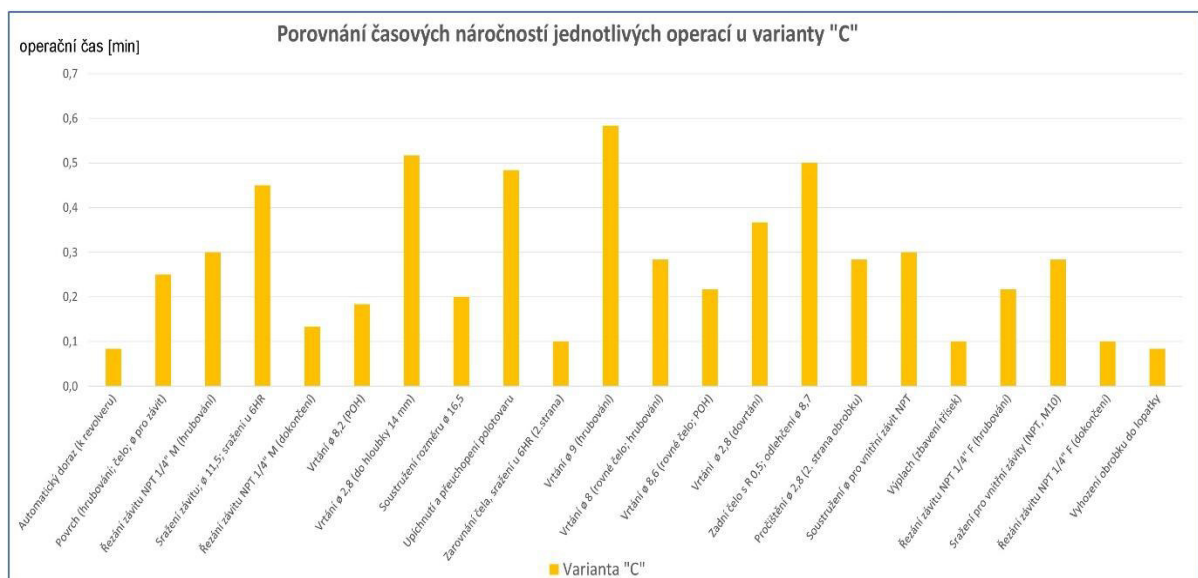
Operační sled	Operační čas v minutách
Doraz	0,083
Povrch (hrubování; čelo; $\varnothing$ pro závit)	0,25
Řezání závitu NPT 1/4" M (hrubování)	0,3
Sražení závitu; $\varnothing$ 11,5; sražení u 6HR	0,45
Řezání závitu NPT 1/4" M (dokončení)	0,133
Vrtání $\varnothing$ 8,2 (POH)	0,183
Vrtání $\varnothing$ 2,8 (skrz)	0,8
Soustružení rozměru $\varnothing$ 16,5	0,2
Upíchnutí a přeuchopení (polotovaru)	0,483
Zarovnání čela, sražení u 6HR (2.strana)	0,1
Vrtání $\varnothing$ 9 (hrubování)	0,583
Vrtání $\varnothing$ 8 (rovné čelo - hrubování)	0,283
Vrtání $\varnothing$ 8,6 (rovné čelo; POH)	0,217
Zadní čelo s R 0,5; odlehčení $\varnothing$ 8,7	0,5
Soustružení $\varnothing$ pro vnitřní závit NPT	0,3
Výplach (zbavení třísek)	0,1
Řezání závitu NPT 1/4" F (hrubování)	0,217
Sražení pro vnitřní závity (NPT, M10)	0,283
Řezání závitu NPT 1/4" F (dokončení)	0,1
Vyhození obrobku do lopatky	0,083



Obr. 55 Graf časového rozložení k jednotlivým operacím u varianty „B“ (pro CNC soustruh).

Tab. 21 Časové rozložení jednotlivých operací (na CNC soustruhu) pro variantu „C“.

Operační sled	Operační čas v minutách
Doraz	0,083
Povrch (hrubování; čelo; $\varnothing$ pro závit)	0,25
Řezání závitu NPT 1/4" M (hrubování)	0,3
Sražení závitu; $\varnothing$ 11,5; sražení u 6HR	0,45
Řezání závitu NPT 1/4" M (dokončení)	0,133
Vrtání $\varnothing$ 8,2 (POH)	0,183
Vrtání $\varnothing$ 2,8 (do hloubky 14 mm)	0,517
Soustružení rozměru $\varnothing$ 16,5	0,2
Upíchnutí a přeuchopení polotovaru	0,483
Zarovnání čela, sražení u 6HR (2.strana)	0,1
Vrtání $\varnothing$ 9 (hrubování)	0,583
Vrtání $\varnothing$ 8 (rovné čelo; hrubování)	0,283
Vrtání $\varnothing$ 8,6 (rovné čelo; POH)	0,217
Vrtání $\varnothing$ 2,8 (dovrtání)	0,367
Zadní čelo s R 0,5; odlehčení $\varnothing$ 8,7	0,5
Pročištění $\varnothing$ 2,8 (druhá strana)	0,283
Soustružení $\varnothing$ pro vnitřní závit NPT	0,3
Výplach (zbavení třísek)	0,1
Řezání závitu NPT 1/4" F (hrubování)	0,217
Sražení pro vnitřní závity (NPT, M10)	0,283
Řezání závitu NPT 1/4" F (dokončení)	0,1
Vyhození obrobku do lopatky	0,083



Obr. 56 Graf časového rozložení k jednotlivým operacím u varianty „C“ (pro CNC soustruh).



Tab. 22 Celkové výrobní časy požadované součásti pro jednotlivé výrobní varianty (dávky).

Varianta	Celkový výrobní čas
„A“	6,35 minut (včetně závitu M10)
„B“	5,65 minut (+ 0,4 minut na závitování M10)
„C“	6,02 minut (+ 0,4 minut na závitování M10)

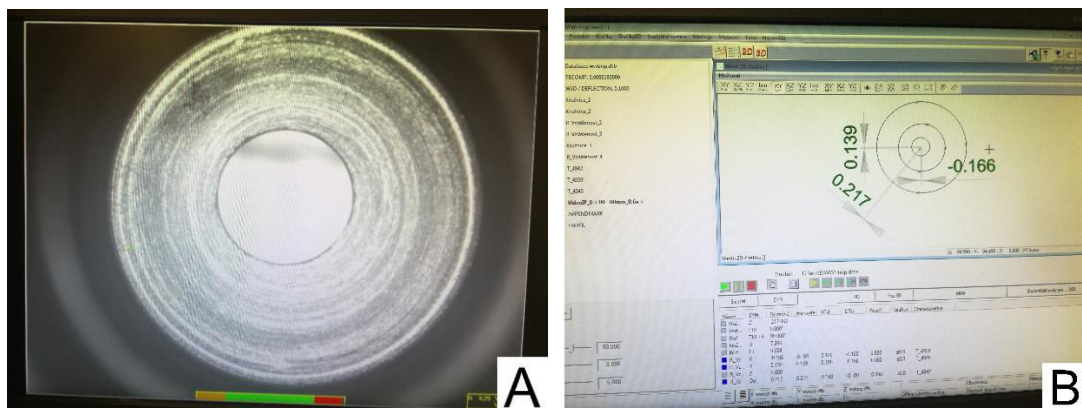
Dle tab. 22 je patrné, že největší časová náročnost výroby na CNC soustruhu byla pro variantu „A“. Nicméně obrobek byl již kompletně hotov (včetně závitu M10). Pro tuto variantu byla nutná neustálá přítomnost operátora (mazání závitníku), kdy probíhala výroba po jednom obrobku. Varianta byla proto využita pro vyrobení vzorků.

Následující varianta „B“, byla realizována a uzpůsobena pro vícestrojovou obsluhu. Závit M10 se řezal zvlášť (CNC soustruh obrobil kompletně součást kromě závitu M10) na příslušném pracovišti. Aplikovaly se tvarové nástroje, díky čemuž se snížil výrobní čas na danou operaci (obr. 57).



Obr. 57 Ukázka všech použitých řezných nástrojů pro variantu „B“.

Poslední varianta „C“ vycházela z předchozí varianty „B“. Byl však pozměněn operační sled. Důležitou změnou byla technologie vrtání  $\varnothing 2,8$  mm s ohledem na sousost děr (nový požadavek). Tím došlo k nárůstu výrobního času, nicméně výsledná sousost byla vyhovující. Závit M10 byl řezán opět na jiném pracovišti.



Obr. 58 Vyhodnocení sousosti díry  $\varnothing 2,8$  vzhledem k ostatním rozměrům; A – Pohled na díru  $\varnothing 2,8$  (na 3D měřicím centru), B – změřené odchylky od osy díry.

## 9.5 Odhad výrobních nákladů pro jednotlivé výrobní varianty

Pro odhad výrobních nákladů k jednotlivým alternativám je nezbytné vypočítat potřebné parametry související s provozem použitého CNC soustruhu pro výrobu uvedené součásti.

### 9.5.1 Výpočet nákladů na hodinu provozu CNC soustruhu

Výpočet nákladů pro provoz CNC stroje dle rovnice [54]:

$$N_{hs} = S_f + \frac{C_s + N_i + N_d - Li}{Z \cdot E_{ef}} \quad (9.5)$$

kde:

- $C_s$  – cena stroje (u dodavatele nebo výrobce) = 3 000 000 [Kč],
- $N_i$  – náklady na instalaci stroje = 25 000 [Kč],
- $N_d$  – náklady na demontáž stroje = 25 000 [Kč],
- $Li$  – likvidační hodnota stroje = 100 000 [Kč],
- $E_{ef}$  – efektivní časový fond (pro danou směnnost – nepřetržitý provoz) = 6700 [hod],
- $Z$  – doba životnosti (souvisí s dobou odepisování stroje) = 10 [r],
- $S_f$  – fixní hodinová sazba (mzda operátora, spotřeba náradí, energie) = 450 [Kč],
- $N_{hs}$  – náklady na hodinu provozu CNC stroje [Kč].

Po dosažení uvedených hodnot:

$$N_{hs} = 500 + \frac{3000000+25000+25000-100000}{5 \cdot 6700} = 495 \text{ [Kč]}$$

Tato hodnota je referenční pro všechny použité výrobní varianty.

### 9.5.2 Výpočet výrobních nákladů s ohledem na výrobní množství

Výrobní náklady na jeden obrobek závislé na výrobním množství dle rovnice [55]:

$$N_{zQ} = N_{pm} + N_{mAC} + N_{psAC} \quad (9.6)$$

kde:

- $N_{pm}$  – náklady na přímý materiál = odhad dle tržní nabídky 17 [Kč],
- $N_{mAC}$  – náklady na mzdy a povozní režii za čas  $t_{AC}$  [Kč],
- $N_{psAC}$  – náklady na provoz stroje za čas  $t_{AC}$  [Kč],
- $N_{zQ}$  – náklady na jeden obrobek závislé na výrobním množství [Kč].

Náklady na přímé mzdy a provozní režii za čas  $t_{AC}$  dle vzorce [55]:

$$N_{mAC} = \frac{t_{AC}}{60} \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) \cdot M_{tAC} \quad (9.7)$$

kde:

- $t_{AC}$  – jednotkový čas s podílem času směnového [min],
- $R$  – provozní režie mimo nákladů na provoz CNC stroje [%],
- $M_{tAC}$  – mzdový tarif stroje za čas  $t_{AC}$  [Kč].

Náklady na provoz stroje za čas  $t_{AC}$  dle vzorce [55]:

$$N_{psAC} = \frac{t_{AC}}{60} \cdot N_{hs} \quad (9.8)$$

Náklady na jeden obrobek nezávislé na počtu kusů ve výrobní dávce dle rovnice [55]:

$$N_{ndv} = N_{mBC} + N_{psBC} \quad (9.9)$$

kde:

- $N_{ndv}$  – náklady na jeden obrobek nezávislé na počet kusů ve výrobní dávce [Kč],
- $N_{mBC}$  – náklady na dávkové mzdy včetně provozní režie [Kč],
- $N_{psBC}$  – náklady na provoz stroje za čas  $t_{BC}$  [Kč].

Náklady na dávkové mzdy včetně provozní režie dle vzorce [55]:

$$N_{ndv} = \frac{t_{BC}}{60} \cdot \left(1 + \frac{R}{100}\right) \cdot M_{tBC} \quad (10.1)$$

kde:

- $M_{tBC}$  – náklady na jeden obrobek nezávislé na počet kusů ve výrobní dávce [Kč].

---

Náklady na provoz stroje za čas  $t_{BC}$  dle vzorce [55]:

$$N_{psBC} = \frac{t_{BC}}{60} \cdot N_{hs} \quad (10.2)$$

Výrobní náklady na výrobní množství dle rovnice [55]:

$$VN_Q = N_{nQ} + \left( N_{zQ} + \frac{N_{ndv}}{d_v} \right) \cdot Q \quad (10.3)$$

kde:

- $VN_Q$  – výrobní náklady na výrobní množství [Kč],
- $Q$  – výrobní množství [ks],
- $d_v$  – výrobní dávka [ks],
- $N_{nQ}$  – náklady nezávislé na  $Q$  (speciální nástroje, stroje, pomůcky) [Kč].



Tab. 23 Výchozí a vypočtené nákladové položky pro provoz vztažené k jednotlivým variantám [55, 56].

Položka		Varianta „A“	Varianta „B“	Varianta „C“
$N_{hs}$	[Kč]	495	495	495
$N_{pm}$	[Kč]	17	17	17
$t_{AS}$	[min]	6,35	5,65	6,02
$t_B$	[min]	480	480	480
$k_c$	[-]	1,1	1,1	1,1
$t_{AC}$	[min]	6,985	6,215	6,622
$t_{BC}$	[min]	528	528	528
$R$	[%]	150	150	150
$M_{tAC}$	[Kč]	100	100	100
$M_{tBC}$	[Kč]	150	150	150
$N_{nQ}$	[Kč]	0	5000	5000
$dv$	[Ks]	100	3000	1000
$Q$	[Ks]	100	3000	1000
$N_{mAC}$	[Kč]	29,10	25,90	27,59
$N_{psAC}$	[Kč]	57,63	51,27	54,63
$N_{zQ}$	[Kč]	103,73	94,17	99,22
$N_{ndv}$	[Kč]	3300	3300	3300
$N_{psBC}$	[Kč]	4356	4356	4356
$VN_Q$	[Kč]	10473,04	290508,75	105223,17
Výsledné náklady na jeden obrobek	[Kč]	104,73	96,84	105,22

Pro jednotlivé varianty se odhad vypočtených nákladů na provoz CNC stroje mírně liší (tab. 23). Výsledné hodnoty byly ovlivněny parametry, jako je velikost výrobní dávky, strojními časy, nebo dodatečnými náklady. Náklady na polotovary (17 Kč na jeden obrobek) i hodinový provoz CNC stroje byly stejné pro všechny aplikované varianty.

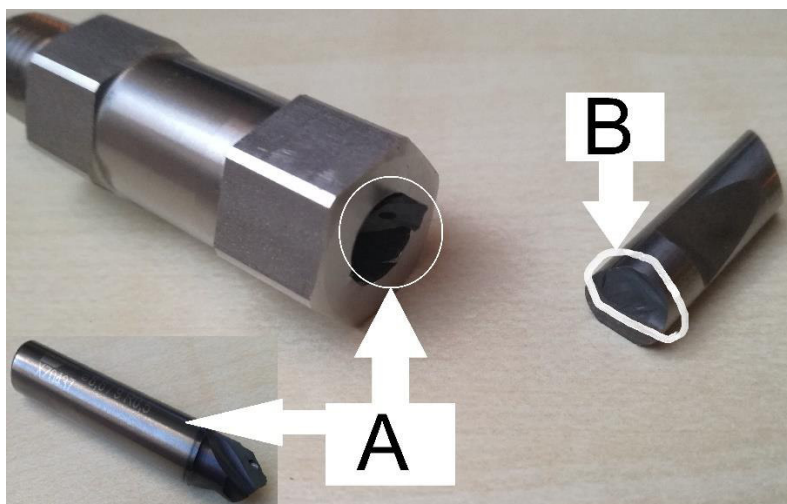
## 10 DISKUSE

Během výroby se objevily zajímavé skutečnosti. První byla hodnota různého opotřebení použitých řezných nástrojů. Dalším podstatným faktorem se ukázal vliv seřízení stroje na výrobní proces. Nezanedbatelný je druh obráběného materiálu. V závěru diskuse jsou nastíněny možné úpravy technologie výroby.

### 10.1 Opotřebení bříty řezného nástroje

Obecně je překládána trvanlivost bříty VBD 15 minut (pro soustružení). Jak se ukázalo tato hodnota je orientační, jelikož míra opotřebení závisí na řadě dalších aspektech. Podstatné jsou zvolené řezné parametry. Největší vliv na opotřebení má řezná rychlost. Hodnoty  $V_c$  se proto volily přiměřeně na nižších číselných hladinách (bylo možné využít vyšší řezné rychlosti). Zde je vhodné upozornit na praktický fakt, že v NC programu se nastavilo omezení maximálního počtu otáček na  $3500 \text{ min}^{-1}$  (vzhledem technickým možnostem stroje), což limitovalo vyšší hodnoty  $v_c$  (především pro obrábění malých průměrů při využití funkce G96). Hodnoty  $a_p$  a  $f$  pak byly voleny dle způsobu obrábění a typu VBD. Míra opotřebení se průběžně sledovala. VBD se postupně používaly na delší pracovní dobu (růst míry opotřebení bylo stále hodnoceno). Opotřebovaný břit byl vyměněn při dosažení mezní hodnoty opotřebení (vizuální vyhodnocování s využitím mikroskopu). Doba trvanlivosti se u jednotlivých nástrojů lišila. Bylo prokázáno, že pro VBD, které se používaly na dokončovací obrábění, byla míra opotřebení menší během výměny, než tomu bylo u VBD pro hrubovací operace (*WNMG 060408 MM 2220*). Především při obrábění korozivzdorných ocelí je vhodná častější výměna opotřebovaných nástrojů.

Při nadměrném zatížení bříty nástroje, může nastat jeho kritické selhání (lom, a to včetně nástrojů v následujících operacích). Na obr. 59 je zobrazen obrobek, kde došlo právě k tomuto lomu. Jedná se o tvarový nástroj XZ0437 s následným selháním dalšího řezného nástroje (obrábějící rozměr  $\varnothing 8,7 \text{ mm}$ ). Břit nástroje (XZ0437) byl nadměrně zatížen a došlo ke zmíněnému selhání. Pokud selže jeden z nástrojů, následující budou následovat (především při vrtání a následného soustružení díry).



Obr. 59 Selhání řezných nástrojů; A – Lom tvarového nástroje XZ0437, B – následný lom nástroje (T-AMS8-0012) navazující v operačním sledu.

## 10.2 Seřízení stroje před zahájením výroby

S opotřebením souvisí další parametr – správné seřízení stroje. Vhodné je volit optimální hodnoty vyložení nástrojů (velká hodnota vyložení může ohrozit tuhost a stabilitu upnutí nástroje). Navíc pokud se VBD neupne správným způsobem do určeného lůžka nože (špatně vložena VBD), dojde k rychlejšímu otupení jejího břitu s možností vzniku odchylek od požadovaných rozměrů a jakostí obráběných povrchů. Zároveň by tento fakt ohrozil stabilitu řezného procesu. Mohlo by dojít k poškození upínacího tělesa pro VBD a tím k jeho vyřazení. Podobná situace nastala při výměně VBD *WBMT 060102L IC830* (u varianty „A“), kdy VBD nedosedla správně do lůžka nože, vznikla ihned značná odchylka od rozměru  $\varnothing 8,6$  s nevyhovujícím rozměrem 37,9 mm.

Kromě správného upnutí nástrojů je důležité určit bezpečné hodnoty pojezdů (obzvláště rychloposuvu) při výměně nástroje nebo posuvu do pracovní polohy. Je nezbytné správné nastavení zbytku polotovaru tyče pro zásobník podavače. Při nedostatečné hodnotě může selhat celý nástroj a zničen upínač pro VBD (obr. 33). Přívod procesní kapaliny hraje také roli pro výslednou trvanlivost nástroje. Pokud se aplikuje vnitřní přívod procesní kapaliny (chladicí kanálky) tělesem nástroje a nástrojem samotným, je nutné dbát zvýšené pozornosti na zanášení chladicího kanálku nečistotami (možná situace). To by omezilo nebo mohlo zcela zamezit přívod procesní kapaliny. Při nedostačeném přívodu procesní kapaliny (nebo špatném seřízení stroje) může nastat lom nástroje bez ohledu na obráběný materiál (obr. 60).



Lom nástroje v obrobku

Obr. 60 Lom nástroje (šroubovitý vrták ze SK).

## 10.3 Vliv obráběného materiálu obrobku

Další skutečností byl vliv obráběného materiálu na obráběcí proces. Při obrábění korozivzdorné austenitické oceli často vznikají nevhodné soudržné třísky (nebezpečí kumulace třísek na nástroji, obr. 8) a jejich odvod z místa řezu může být problematický (možnost použití utvařečů VBD pro lepší tváření třísky). Každý materiál má určité specifikace (například tepelná vodivost nebo sklon k deformačnímu zpevnění). Následné porovnání vyráběné součásti je vhodné pro reprezentaci vlivu obráběného materiálu na obráběcí proces. První obrobek byl z korozivzdorné oceli (austenitické 1.4404, obr. 61). Během výroby byla postupně nutná výměna (ať už nucená či plánovaná) opotřebených nástrojů, především u VBD byla nutná výměna 1x za 720 minut. Strojní čas se u použitých výrobních alternativách lišil (přibližně od 6 minut do 6,5 minut).

Druhý obrobek je vyrobený z (automatové) mosazné slitiny CuZn39Pb3 (obr. 61 stejné všechny rozměry s předchozím obrobkem). Celkový výrobní čas pro tento obrobek byl 3,05 minut. Avšak je nutno podotknout, že na snížení času měl zároveň pozitivní vliv zvolený obráběcí stroj se dvěma revolverovými hlavami (obr. 27, možná alternativa). Důležitá byla skutečnost, že při obrábění z tohoto materiálu vznikaly především elementární třísky (není tomu však vždy – závisí na řezném materiálu, druhu obráběcí operace a specifické vlastnosti obráběné slitiny). Opotřebení nástrojů bylo na jiné úrovni. Pokud byla tedy nutná výměna u prvního obrobku průběžně 1x za 720 minut (pracovní směna), tak zde nic takového nebylo nutné. Výsledkem bylo potvrzeno, že obráběný materiál významně ovlivní obráběcí proces. To ovšem neznamená, že při obrábění materiálů s lepší obrobitelností se proces obrábění nemusí sledovat ani průběžně vyhodnocovat.



Obr. 61 Ukázka rozměrově stejného obrobku z různých materiálů; A – Obrobek z korozivzdorné oceli, B – totožný obrobek z mosazné slitiny.

Třísky v automatizovaném procesu obrábění.

- Pro automatizovaný proces obrábění jsou vhodné drobné třísky (elementy) pro snazší odstraňování z pracovního prostoru obráběcího stroje.
- Malé třískové elementy mohou mít i vedlejší negativní dopady. Jedná se o značné znečištění jemnými třískami v nádrži obráběcího stroje (obr. 62), ve které se nachází procesní kapalina (emulze nebo řezný olej). Může tak dojít k omezení přívodu procesní kapaliny k pracovnímu čerpadlu, nebo rozliti procesní kapaliny mimo nádrž stroje. Proto je nutné pravidelné čištění nádrže obráběcích strojů včetně pravidelné výměny procesní kapaliny.
- Otázkou zůstává, jak nadále maximalizovat množství třísek transportované dopravníkem (využití například pásových nebo šnekových) tak, aby v nádrži obráběcího stroje zůstávalo minimum třísek.



Obr. 62 Třísky naplavené v nádrži CNC soustruhu.



---

## 10.4 Alternativní možné postupy vzhledem ke stávajícímu stavu

Závěrem diskuse lze uvést další možnosti pro výrobu dané součásti. Jedná se například o alternativu využití další poháněcí jednotky pro vrtání  $\varnothing 2,8$  mm. Poháněcí jednotku lze využít i pro řezání (frézování) vnitřního závitu NPT. Vystává však otázka, o kolik by se tímto postupem snížil výrobní čas na jednom obrobku a jaká by byla trvanlivost břitu závitové frézy. Nicméně další poháněcí jednotka nebyla k dispozici v daný okamžik, a proto bylo realizováno uvedené řešení.

Obecně existují určité časové limity nebo omezení rychlostí posuvů. Proces výroby je vždy možné i nadále pružně upravovat s ohledem na výrobní požadavky a dostupné nástroje. Je možné změnit celý operační sled a obráběné kontury pro obě pracovní vřetena zaměnit. Program lze upravovat přímo v paměti CNC soustruhu. Nicméně je vždy nutné vycházet z dostupných nástrojů a upínačů s přihlédnutím na ekonomické aspekty.

---

## ZÁVĚR

Technologie obrábění s využitím CNC strojů přinesla nové možnosti do průmyslové výroby. Obráběcí CNC stroje disponují značnými přednostmi a výrobním potenciálem při porovnání s konvenčními obráběcími stroji.

Pro výrobu požadované součásti se využily tři výrobní varianty, které se následně vyhodnotily. Primárním cílem bylo zajištění stability obráběcího procesu v podmínkách vícestrojové obsluhy (varianty „B“ a „C“). Poslední varianta („C“) vycházela z poznatků získaných během výrobního procesu. V této variantě výroby došlo k nárůstu času vzhledem ke změně vrtání středové díry pro zajištění vyhovující sousosti. Výrobní postup lze dále upravovat dle měnící se situace a požadavků. Požadovaná součást byla vyrobena dle výkresové dokumentace a zadané výrobní kvóty byly splněny.

Zjištěné skutečnosti a fakta souvisejí s danou problematikou.

- Bylo ověřeno, že obráběný materiál značně ovlivní obráběcí proces (porovnání slitiny mosazi a korozivzdorné oceli). Obzvláště specifické je obrábění korozivzdorné oceli, ze které je uvedená součást obrobena. U těchto materiálů je náročnější odvod třísek z místa řezu. Přívod procesní kapaliny je další důležitý faktor při procesu obrábění.
- Pro obrábění byly zvoleny nižší řezné rychlosti (vyšší trvanlivost bříty). Doporučené řezné parametry lze dále přizpůsobit specifickým situacím při výrobě. Jednotlivé použité nástroje vykazovaly odlišné doby trvanlivosti bříty. Byly zvoleny vhodné řezné nástroje s upínacími tělesy, které byly v momentu zavádění výroby součásti k dispozici.
- Dalším podstatným aspektem v obráběcím procesu je samotné seřízení stroje (upnutí nástrojů, nastavení elektrického podavače tyčí, nastavení posuvů pro výměnu nástroje, přeuchopení polotovaru apod.)
- Ukázala se výhodná aplikace tvarových nástrojů, díky kterým lze zkrátit výrobní časy a ušetřit místo pro další nástroj v hlavě revolveru soustruhu. S tím souvisí možnost využití poháněcích jednotek, díky kterým lze obrábět tvarové plochy a tvary (pro tyto jednotky musí být stroj kompatibilní).
- CNC stroje disponující více pracovními vřeteny umožňují obrobení součástí s minimálním počtem upnutí polotovaru a současně snižují potřebný výrobní čas. Technický stav obráběcího stroje se zároveň podílí na výsledku obráběcího procesu.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. VELÍŠEK, Karol. *Obrábacie stroje*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2001. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-1498-4.
2. *Malé dějiny soustruhu* [online]. [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: [http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef\\_gruber/clanky/soustr.pdf](http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/clanky/soustr.pdf)
3. Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
4. *Z historie vývoje fréz, frézovacích strojů a frézování* [online]. [cit. 2020-01-18]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/z-historie-vyvoje-frez-frezovacich-stroju-a-frezovani/>
5. *Factory Automation: 6 historických vynálezů, bez kterých by se neobešly žádné moderní CNC stroje* [online]. [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/6-historicky-vynalezu/>
6. MAREK, Jiří a Oldřich UČEŇ. *CNC obráběcí stroje*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN 978-80-248-2329-4.
7. *History of CNC Machining* [online]. [cit. 2020-01-21]. Dostupné z: <https://medium.com/cnc-life/history-of-cnc-machining-part-1-2a4b290d994d>
8. MAREK, J. *MM Průmyslové spektrum, speciální vydání: Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM publishing, 2006, 282 s. ISSN 1212-2572.
9. *10 dat z historie obrábění na CNC strojích. Kam sahá historie CNC obrábění?* [online]. [cit. 2020-01-19]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/10-dat-z-historie-obrabeni-na-cnc-strojich-kam-saha-historie-cnc-obrabeni/>
10. *CNCCookbook: What is CNC Machining and CNC Machines?* [online]. [cit. 2020-01-12]. Dostupné z: <https://www.cnccookbook.com/what-is-cnc-machining-and-cnc-machines/>
11. BRYCHTA, Josef, Robert ČEP a Jana PETRŮ. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-2941-8.
12. *The History Of Cnc Machines* [online]. [cit. 2020-01-21]. Dostupné z: <https://www.ukessays.com/essays/information-technology/examining-the-history-of-cnc-machines-information-technology-essay.php>
13. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
14. HÁJÍČEK, Josef a Stanislav KOMÍŽ. *Technologie strojního obrábění III*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986, 320 s. ISBN 80-03-00086-6.
15. VASILKO, Karol. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov: Fakulta výrobných technológií TU v Košiciach, so sídlom v Prešove, 2007, 481 s. ISBN 978-80-8073-759-7.
16. HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část* [online]. [cit. 2020-01-26]. 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)

17. *MM průmyslové spektrum: Příručka pro technology - Není teplota příliš vysoká nebo nízká?* [online]. [cit. 2020-01-29]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-neni-teplota-prilis-vysoka-nebo-nizka.html>
18. STEPHENSON, David A. a John S. AGAPIOU. *Metal cutting theory and practice*. New York: Marcel Dekker, c1997. ISBN 0-8247-9579-2.
19. *MM průmyslové spektrum: Příručka pro technology - Obrobitelnost* [online]. [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-obrobitelnost.html>
20. *AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o.: Technická příručka*. 2010, 802 s.
21. *GARANT příručka obrábění*. 2006. 641 s.
22. *MM průmyslové spektrum: Příručka pro technology - Obrobitelnost nerezových ocelí* [online]. [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-obrobitelnost-nerezovych-oceli.html>
23. SHAW, Milton Clayton. *Metal cutting principles. 2nd ed.* New York: Oxford University Press, 2005. ISBN 0-19-514206-3.
24. FRISCHHERZ, Adolf a Herbert PIEGLER. *Technologie zpracování kovů*. 4. vyd. Praha: SNTL, c2001. ISBN 80-902655-1-0.
25. *MM průmyslové spektrum: Pokrokové 3D měření a hodnocení povrchu* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/pokrokovye-3d-mereni-a-hodnoceni-povrchu.html>
26. *MM průmyslové spektrum: Obrábanie austenitických ocelí nástrojmi z HSS* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/obrabanie-austenitickych-oceli-nastrojmi-z-hss.html>
27. *PVD povlakování nástrojů STIMZET* [online]. [cit. 2020-02-07]. Dostupné z: [https://www.stimzet.cz/data/povlakovani\\_cz.html](https://www.stimzet.cz/data/povlakovani_cz.html)
28. HUMÁR, Anton. *MATERIÁLY PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE* [online]. [cit. 2020-01-26]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat\\_pro\\_rez\\_nastroje/materialy\\_pro\\_rezne\\_nastroje\\_v2.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf)
29. *MM průmyslové spektrum: EMO Hannover 2013, část 3 - řezné nástroje* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/emo-hannover-2013-cast-3-rezne-nastroje.html>
30. *MM průmyslové spektrum: Nová generace povlakovaných cermetů* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nova-generace-povlakovanych-cermetu.html>
31. *MM průmyslové spektrum: Příručka pro technology: Proces obrábění kovů - životnost nástrojů* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-proces-obrabeni-kovu-zivotnost-nastroju.html>



- 
32. *MM průmyslové spektrum: PRODLOUŽENÍ ŽIVOTNOSTI ŘEZNÝCH KAPALIN* [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prodlouzeni-zivotnosti-reznych-kapalin.html>
33. *MM průmyslové spektrum: Efektivní likvidace obráběcích kapalin* [online]. [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/efektivni-likvidace-obrabecich-kapalin.html>
34. BRYCHTA, Josef. *Progresivní technologie v obrábění a NC programování obráběcích strojů*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3522-8.
35. ŠTULPA, Miloslav. *CNC obráběcí stroje a jejich programování*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 978-80-7300-207-7.
36. ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-7183-207-3.
37. LAŠOVÁ, Václava. *KKS/ZSVS základy stavby obráběcích strojů*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012. [153] s. ISBN 978-80-261-0126-0.
38. SMID, Peter. *CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming*. 2nd ed. New York: Industrial Press, c2003. ISBN 0-8311-3158-6.
39. *ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF CNC MACHINES* [online]. [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: <http://www.technologystudent.com/cam/cncman4.htm>
40. *CNC Machining: Advantages and Disadvantages* [online]. [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: <https://mainstaymfg.com/cnc-machining-advantages-and-disadvantages/>
41. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
42. *Factory Automation: Řídicí systémy CNC strojů? Poznejte různé typy řízení* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-ruzne-typy-rizeni/>
43. *CNC Series 30i / 31i / 32i-MODEL B* [online]. [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/cnc/cnc-system/series-30i-31i-32i>
44. VASKÝ, Jozef a Eduard NEMLAHA. *CAD/CAM systémy*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2003. Edícia skrípt. ISBN 80-227-1882-3.
45. *MM průmyslové spektrum: Nový pohled na moderní CAM programování v praxi* [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/novy-pohled-na-moderni-cam-programovani-v-praxi.html>
46. *MM průmyslové spektrum: HSC obrábění rotačních obrobků* [online]. [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/hsc-obrabeni-rotacnich-obrobku.html>
-

- 
47. HRABOVSKÝ, Adam. *Porovnání výkonných hrubovacích operací v CAM softwarech* [online]. Brno, 2014 [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=84779](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84779). BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
48. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, c1999. ISBN 80-7204-130-4.
49. *MM průmyslové spektrum: Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály* [online]. [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy-2-2.html>
50. *Korozivzdorné oceli v potravinářském a nápojářském průmyslu: Tabulka 2. Typická složení korozivzdorných ocelí* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: [https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro Inox/StSt in FoodandBeverage CZ.pdf](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro%20Inox/StSt%20in%20FoodandBeverage%20CZ.pdf)
51. *M-WOITE: Material 1.4404* [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <http://www.m-woite.de/en/materials/14404.shtml>
52. *CNC lathe Takisawa: TCY-Series* [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.takisawa.co.jp/english/product/cnc/tcy.html>
53. ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
54. OSIČKA, Karel. *Přednáška: Technologické a ekonomické aspekty provozu CNC obráběcích strojů*. 2020. Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, ústav strojírenské technologie.
55. OSIČKA, Karel. *Přednáška: Výběr optimální varianty obráběcího stroje*. 2020. Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, ústav strojírenské technologie.
56. OSIČKA, Karel. *Přednáška: Třídění spotřeby času ve strojírenské výrobě*. 2020. Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, ústav strojírenské technologie.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
∅	mm	průměr obrobku
μm	-	jednotka délky (mikrometr)
A	%	tažnost
Al	-	hliník, chemický prvek
a <sub>p</sub>	mm	axiální šířka záběru ostří
APT	-	automaticky naprogramovaný nástroj
AUTO	-	automatický pracovní režim CNC stroje
B-B	-	pracovní režim CNC stroje (blok po bloku)
CAD	-	počítačová podpora projektování
CAM	-	počítačová podpora obrábění
CAQ	-	počítačová podpora řízení kvality
CBN	-	kubický nitrit bóru
CCI	-	koherentní korelační interferometrie (měřicí technika při hodnocení povrchu)
CIM	-	počítačová podpora výroby
CNC	-	počítačem číslově řízené
Cr	-	chrom, chemický prvek
CrNiMo	-	chromniklmolybdenová ocel
C <sub>s</sub>	Kč	cena stroje
C <sub>T</sub>	-	konstanta
Cu	-	měď, chemický prvek
CVD	-	chemické napařování (metoda povlakování)
EDIT	-	editační režim CNC stroje
E <sub>ef</sub>	hod	efektivní časový fond
f	mm	posuv na otáčku
HRC	-	hodnota tvrdosti materiálu dle Rockwella
HSC	-	vysokorychlostní obrábění
HSS	-	High Speed Steel – rychlořezná ocel
k <sub>c</sub>	MPa	měrná řezná síla
k <sub>c</sub>	-	přirážka směnového času
L <sub>i</sub>	Kč	likvidační hodnota stroje
m	-	exponent

MANUAL	-	manuální pracovní režim CNC stroje
MDI	-	režim manuálního zadávání dat
MIT	-	Massachusettský technologický institut
Mn	-	mangan, chemický prvek
Mo	-	molybden, chemický prvek
M <sub>tAC</sub>	Kč	mzdový tarif stroje za čas t <sub>AC</sub>
M <sub>tBC</sub>	Kč	náklady na 1 ks nezávislé na počet kusů ve výrobní dávce
N	-	dusík, chemický prvek
n	min <sup>-1</sup>	otáčky obrobku
NbC	-	karbid niobu
NC	-	numerické řízení
N <sub>d</sub>	Kč	náklady na demontáž stroje
N <sub>hs</sub>	Kč	náklady na hodinu provozu CNC stroje
N <sub>i</sub>	Kč	náklady na instalaci stroje
N <sub>mAC</sub>	Kč	náklady na mzdy a provozní režii za čas t <sub>AC</sub>
N <sub>mBC</sub>	Kč	náklady na dávkové mzdy včetně provozní režie
N <sub>ndv</sub>	Kč	náklady na 1 ks nezávislé na výrobním množství
N <sub>nQ</sub>	Kč	náklady nezávislé na výrobním množství
N <sub>pm</sub>	Kč	náklady na přímý materiál
N <sub>psAC</sub>	Kč	náklady na provoz stroje za čas t <sub>AC</sub>
N <sub>psBC</sub>	Kč	náklady na provoz stroje za čas t <sub>BC</sub>
NPT	-	americký kuželový trubkový závit
N <sub>zq</sub>	Kč	náklady na 1 ks závislé na výrobním množství
P	-	fosfor, chemický prvek
<i>P, M, K, N, S, H</i>	-	označení tříd slinutých karbidů dle ISO
Pb	-	olovo, chemický prvek
PD	-	polykrystalický diamant
PLC	-	programovatelný logický automat
POH	-	poháněcí nástrojová jednotka
PVD	-	fyzikální napařování (metoda povlakování)
Q	ks	výrobní množství
R	%	provozní režie mimo nákladů na provoz CNC
Ra	μm	střední aritmetická úchylka profilu



$R_e$	MPa	mez kluzu materiálu
$R_m$	MPa	mez pevnosti materiálu
RO	-	rychlořezná ocel
$R_t$	$\mu\text{m}$	celková výška profilu
$R_z$	$\mu\text{m}$	nejvyšší výška profilu
S	-	síra, chemický prvek
$S_f$	Kč	fixní hodinová sazba
Si	-	křemík, chemický prvek
SK	-	slinutý karbid
SP	-	rovina stříhu
TaC	-	karbid tantalu
$t_{AC}$	min	jednotkový strojní čas s podílem směnového
$t_{AS}$	min	jednotkový strojní čas
$t_B$	min	dávkový čas
$t_{BC}$	min	dávkový čas s podílem směnového
Ti	-	titan, chemický prvek
TiC	-	karbid titanu, chemická sloučenina
V	-	vanad, chemický prvek
VBD	-	vyměnitelná břitová destička
$v_c$	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	řezná rychlost
$VN_Q$	Kč	výrobní náklady na výrobní množství
W	-	wolfram, chemický prvek
WC	-	karbid wolframu
Z	r	doba životnosti
$\pi$	-	konstanta
$\varphi$	$^\circ$	úhel roviny stříhu

---

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Značení soustružnických nožů s VBD pro vnější soustružení dle normy ISO 504:1975 /2014 (ČSN 220501)
- Příloha 2 Značení soustružnických nožů s VBD pro vnitřní soustružení (dle normy ČSN ISO 514)
- Příloha 3 Základní typy opotřebení břitu nástrojů
- Příloha 4 Taylorova rovnice
- Příloha 5 Materiálový atest pro materiál obrobku
- Příloha 6 Popis pracovního prostoru zvoleného CNC soustruhu
- Příloha 7 Detail značení pozic na revolverové hlavě zvoleného CNC soustruhu
- Příloha 8 Seřizovací list pro variantu „B“
- Příloha 9 Měřicí pomůcky přímo na pracovišti u CNC soustruhu
- Příloha 10 Data a grafy související s trvanlivostí pro uvedené nástroje
- Příloha 11 Cenová relace nástrojů
- Příloha 12 NC program pro variantu „B“
- Příloha 13 Souhlas firemního podniku ke zpracování diplomové práce

# Příloha 1

Značení soustružnických nožů s VBD pro vnější soustružení dle normy ISO 504:1975 /2014 (ČSN 220501) [53]:

1
Způsob upínání
C
P
M
S
X

2
Tvar destičky
S  C  80°
T  D  55°
R  K  55°
W  V  35°
L  X Special

3
Tvar nože - úhel nastavení
A  B  C  D  D
E  F  G  H  J
K  L  M  N  P
Q  R  S  S  T
U  V  W  X SPECIÁLNÍ  Y
Z  K

4
Úhel hřbetu $\alpha_n$
N $\alpha_n = 0^\circ$ C $\alpha_n = 7^\circ$ P $\alpha_n = 11^\circ$

5
Směr řezu
R
L
N

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
**C K J N R - 32 25 L 19 - S**

6
Výška držáku (mm)
08 10 12 16 20 25
32 38 40 45 50

7
Šířka držáku (mm)
08 10 12 16 20 25
32 40 50

8
Celková délka
l, [mm]
H 100
J 110
K 125
L 140
M 150
N 160
P 170
Q 180
R 200
S 250
T 300
U 350
V 400
W 450
X Spec.
Y 500

9
Velikost destičky
S C D V K W T R
d [mm]
6,00
6,35
8,00
9,525
10,00
12,00
12,70
15,875
16,00
19,05
20,00
25,00
25,40

10
Údaje výrobce
M Způsob upínání "S" s podložkou
S Se seřizovacími šrouby

Značení soustružnických nožů s VBD pro vnitřní soustružení (dle normy ČSN ISO 514) [53]:

1	
Provedení držáku	
S	Ocelový držák
A	Ocelový držák s chladičím otvorem

2				
Průměr držáku (mm)				
08	10	12	16	20
25	32	40	50	60

1	2	3	-	4	5	6	7	8	9	-	10
A	40	T	-	P	C	L	N	L	12	-	X

3	
Celková délka	
	l, [mm]
H	100
J	110
K	125
L	140
M	150
N	160
P	170
Q	180
R	200
S	250
T	300
U	350
V	400
W	450
X	100
Y	500

4	
Způsob upínání	
C	
P	
M	
S	
X	

2	
Tvar destičky	
S	
T	
R	
W	
L	
C	80°
D	55°
K	55°
V	35°
X	Special

3									
Tvar nože - úhel nastavení									
A	B	C	D	D					
90°	75°	90°	45°						
E	F	G	H	J					
60°	90°	90°	107°30'	93°					
K	L	M	N	P					
75°	95°	50°	62°30'	117°30'					
Q	R	S	S	T					
107°30'	75°	45°		60°					
U	V	W	X	Y					
93°	72°30'	60°	SPECIÁLNÍ	85°					
Z									

7		
Úhel hřbetu		
N	C	P
$\alpha_n = 0^\circ$	$\alpha_n = 7^\circ$	$\alpha_n = 11^\circ$

9							
Velikost destičky							
	S	C	D	V	K	W	T
d [mm]							
6,00							06
6,35		06	07	11			11
8,00							08
9,525	09	09	11	16	19	06	16
10,00							10
12,00							12
12,70	12	12	15			08	22
15,875	15	16					27
16,00							16
19,05	19	19					19
20,00							20
25,00							25
25,40	25	25					25

8	
Směr řezu	
R	
L	

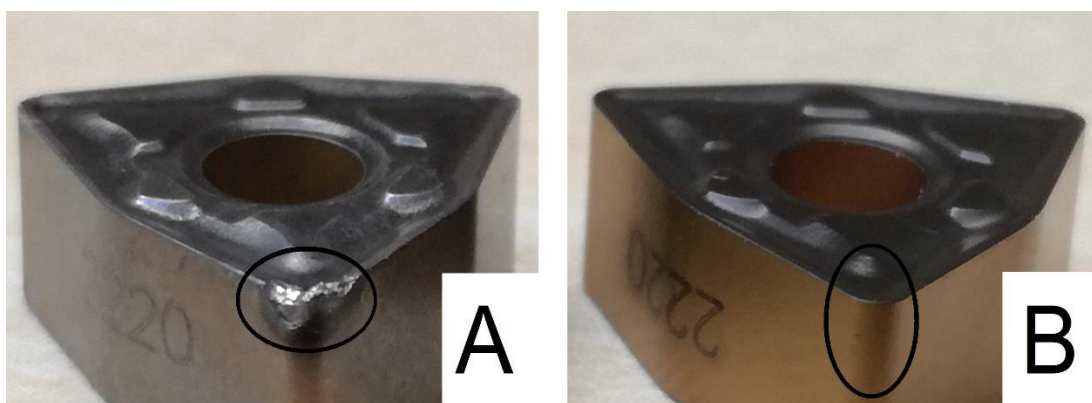
10	
Údaje výrobce	
X	Speciální provedení stopky
·	
87	
90	Hodnota úhlu K u nože tvaru "Z"
93	
·	

### Základní typy opotřebení břitu nástrojů

Základní typy opotřebení břitu nástrojů:

- opotřebení hřbetu břitu (preferovaný typ),
- opotřebení ve tvaru žlábků na čele břitu,
- plastická deformace břitu,
- opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu,
- hřbenové trhliny na ostří (tepelné trhliny kolmé na ostří),
- únavový lom (typické pro značné změny řezných sil),
- vydrolování ostří (často u přerušovaných řezů),
- lom břitu nástroje (nebezpečné),
- tvorba nárůstku [3].

Ukázka vyměnitelné břitové destičky ze SK; A – opotřeбенý břit, B – neopotřeбенý břit.





## Taylorova rovnice

Na počátku 20. století bylo odhaleno (F. W. Taylor), že největší účinek na trvanlivost (opotřebení) bříty řezného nástroje souvisí s řeznou rychlostí. Ze zjištěných skutečností byla odvozena Taylorova rovnice (10.4) [16]:

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} \text{ [min]} \quad (10.4)$$

kde:

$C_T$  – konstanta [–], (obvykle  $10^9 \div 10^{13}$ )

$v_c$  – řezná rychlost [ $m \cdot min^{-1}$ ]

$m$  – exponent [–]

Materiálový atest pro materiál obrobku



23842 Borsio Parini (LC) - Via Giuseppe Roda 1 - Italia  
 Tel.: +39031878111 - Fax: +39031878312  
 Internet: www.rodacciai.com - e-mail: info@rodacciai.com

190606-05

Azienda con sistema di gestione certificato da IGQ secondo UNI EN ISO 9001:2015

The Company's Quality Management System is certified by IGQ according to UNI EN ISO 9001:2015

**ABNAHMEPRUEFZEUGNIS** Inspection Certif. N. 001217 Datum 4/01/2019  
**NACH** According to . . . . . EN 10204:2004 3.1

**KUNDE** - Customer

IBERO STAHL GMBH

PILGERSTRASSE, 27  
 45473 MUELHEIM/R

**BESTELLUNG** - Order N. BL 104247 Datum 15/10/2018  
**LIEFERSCHEIN** - Delivery note N. 00067/13 Datum 4/01/2019

**Gewicht** KG 2.608,00 **LOT. Nr.** 2018/A/55233  
**TOLERANZ** EN10278 h11 + 0,000 - 0,110 mm **STABLAENGE** 3.000 - 3.050 mm

**WERKSTOFF** - Grade  
 NORM EN 10088-3:2014 X2CrNiMo17-12-2 +2H 1.4404/316L  
 NORM EN 10088-3:2014 X5CrNiMo17-12-2 +2H 1.4401/316

**Marke** RODACCIAI . . . . . 316 PLUS

**SCHMELZE** - Heat . . . . . 466144

**PROFIL** - Shape . . . . . SECHSKANT

**ABMESSUNG** - Size . . . . . mm 17,00

**LIEFERZUSTAND** - Form of delivery . . . . . GEZOGEN

**SCHMELZANALYSE %** - Cast analysis % by mass

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Co
0,019	1,680	0,400	0,0280	0,032	16,530	10,010	2,050	0,440	0,160
<b>N</b>									
0,0370									

**MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN**

Mechanical properties of the delivered material

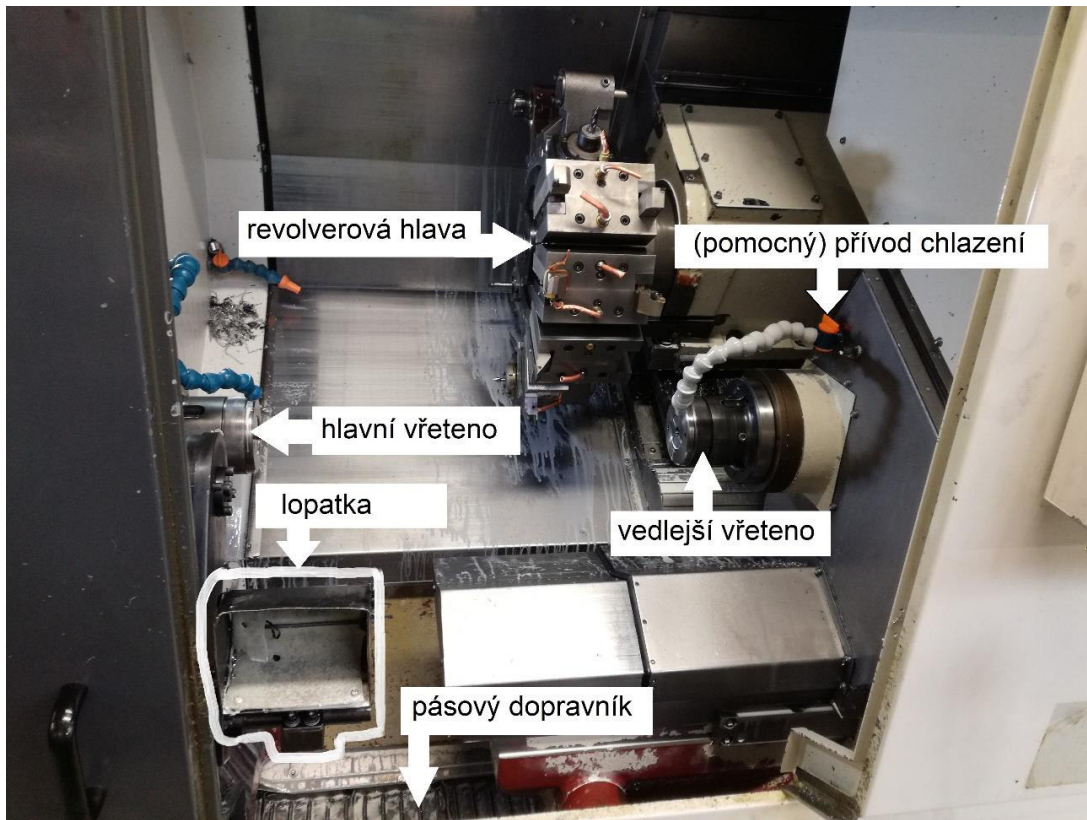
		Festge
Zugfestigkeit	Rm (MPa)	688,0
Pruefdehngrenze	Rp (1) (MPa)	635,0
Pruefdehngrenze	Rp (0,2) (MPa)	565,0
Bruchdehnung	A 5 (%)	39,0
Haerte	HBW	209,0
Brucheinschnuerung	Z (%)	67,0
Kerbschlagzaehigkeit	KV+20°C Joule	171,0

**ANMERKUNGEN** - Notes

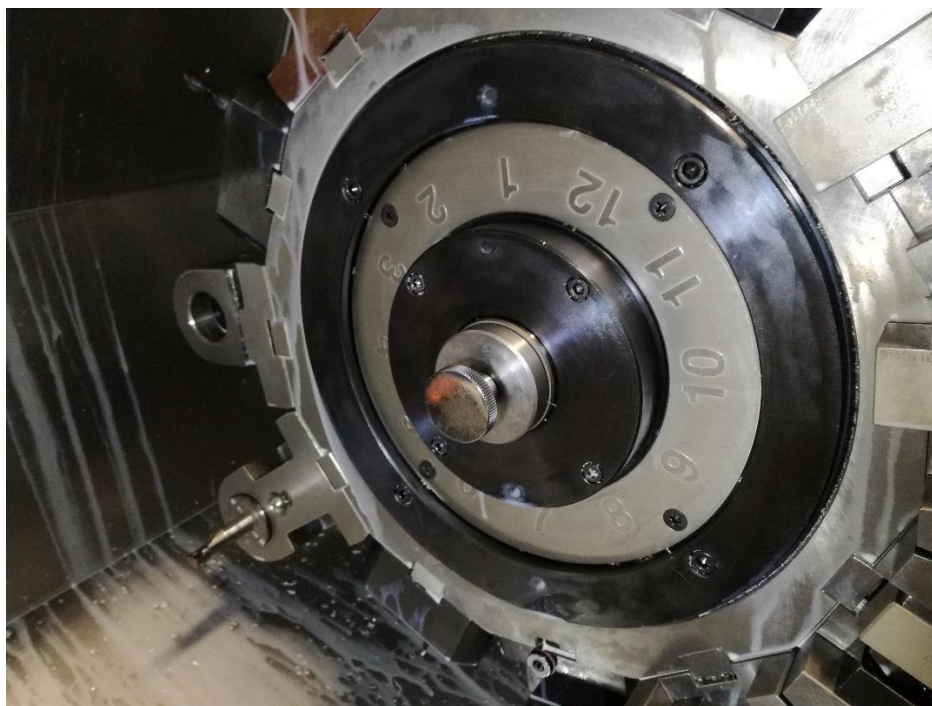
Verwechslung, Abmessung und Oberflaeche geprueft entsprechen  
 Qualitaetssicherungshandbuch: ohne Beanstandung  
 Erschmelzungsart : E + A. O. D.

Zustand 2H gem EN 10088-3 rissgeprüft O-flächengütekl.2 nach EN10277-1

Pracovní prostor zvoleného CNC soustruhu



Detail značení pozic na revolverové hlavě zvoleného CNC soustruhu

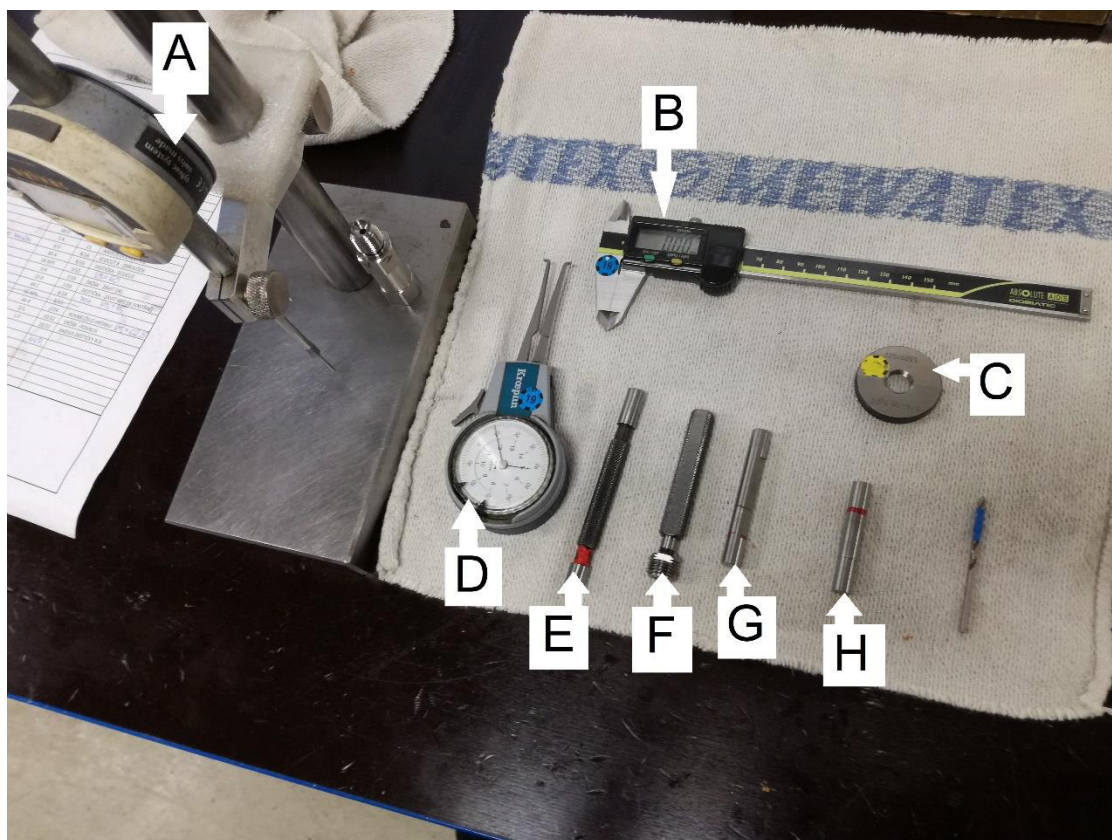


## Seřizovací list pro variantu „B“

SEŘIZOVACÍ LIST			
název výrobku: TĚLESO VENTILU			
VARIANTA "B"		POZNÁMKA: DP 161929 materiál: 17 OK 1.4404	
seřizovač: Dlouhý Vít	STROJ: TAKISAWA 3	strojní čas na 1 obrobek: 5,65 minut (bez M10)	
místo uložení programu: CNC programy\TAKISAWA\těleso ventilu			
název držáku/nástroje:	skladové umístění	pozice	použití / poznámka
VRTÁK Ø 2,80 HSS CO	2 I	3	VYSUNUTÍ= 34 mm ←
XV0634 - TVAROVÝ VRTÁK (Ø 6,5 + Ø 8,2)	44 R	4	POH, VYSUNUTÍ= 48 mm ←
D_EVSML 2020 K0316C	72 C	8	TĚLESO - ÚPICH
EC030M03N00CF02 KCU25	15 J	8	DESTIČKA - ÚPICH
D_SER 2525 M16C	3/3	9	TĚLESO (ZÁVIT)
16ERM 18NPT IC908	28 J	9	DESTIČKA-ZÁVIT NPT 1/4 (VNĚJŠÍ)
D_MVLNR 2525 M06	3/3	10	TĚLESO - POVRCH - HRUBOVÁNÍ
WNMG 060408 MM 2220	1 P	10	RADIUS DESTIČKY R.8
D_TGDR 2020 3M	3/3	12	TĚLESO (GRIP)
TGMF 304 IC908	17 C	12	DESTIČKA - GRIP TL.3
D_SWJCR 2020 K16	69 D	11	TĚLESO - POVRCH
VCMT 160402 SM IC807	5 A	11	RADIUS DESTIČKY R.2
D_VRTÁK S VBD AEKR-D2,25X8XC04	6/3	1/13	ECOCUT 8 - ODLEHČEN (DÍRA)
XCNT 040104ER CTCP425	80 A	1/13	DESTIČKA - ECOCUT
VRTÁK Ø 9,00 TK 3D IK	58 B(P)	5/17	VYSUNUTÍ = 60 mm →
D_SIR S10H11	3/4	3/15	TĚLESO (ODLEHČENÉ) - ZÁVIT NPT (IR)
11IRM 1.50 ISO IC908	23 D	3/15	DESTIČKA - ZÁVIT NPT (VNITŘNÍ)
XZ0437 - TVAROVÝ VRTÁK (Ø 8,6)	44 R	6/18	POH, TŘI BŘITY; VYSUNUTÍ = 45 mm →
VRTÁK Ø 8 TK 5D IK (WNT)	44 R	2/14	ROVNÉ ČELO; VYSUNUTÍ = 62,5 mm →
D_MVLNR 2525 M06	3/3	10/22	TĚLESO - POVRCH (ČELO)
WNMG 060408 MM 2220	1 P	10/22	RADIUS DESTIČKY R.8
D_HAMS 1608R	44 R	7/19	TĚLESO - DÍRA ČELO; (VYS.= 54,5 mm →)
T-AMS8-0012	44 R	7/19	SPECIÁL VBD - ČELO DÍRA
KALIBRY: závitový kroužek 1/4 18 NPT závitový trn 1/4 18 NPT kontrolní trn Ø 8,2 - 8,25 kontrolní trn Ø 8,6 - 8,65 kontrolní trn Ø 9 - 9,1			
BEZ ZÁVITU M10-->ZÁVITOŘEZ			
KLEŠTINOVÉ UPÍNAČE POLOTOVARU: 17 HEX 173E			
POUZDRA: FUTRA Ø 20			
ZBYTEK POLOTOVARU = 95 mm			



Použité měřicí pomůcky k vyhodnocení rozměrů na pracovišti u CNC soustruhu



Měřicí pomůcky na pracovišti CNC soustruhu:

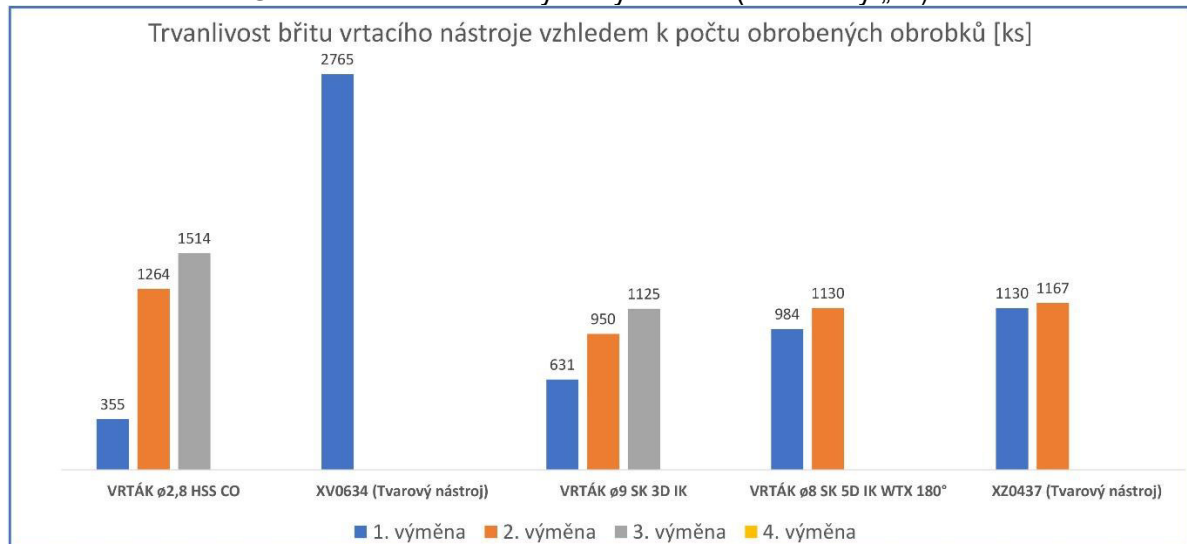
- A – číslcový digitální úchylkoměr,
- B – posuvné digitální měřidlo, rozsah 0-150,
- C – závitový kroužek NPT 1/4",
- D – číslcový úchylkoměr pro vnitřní měření,
- E – kontrolní trn  $\varnothing 9 +0,1$ ,
- F – závitový trn NPT 1/4",
- G – kontrolní trn  $\varnothing 8,6 +0,05$ ,
- H – kontrolní trn  $\varnothing 8,2 +0,05$ .

Data a grafy související s trvanlivostí pro uvedené nástroje

Tab. 24 Trvanlivost břitů u použitých vrtacích nástrojů vzhledem k počtu obrobků (jednotlivé výměny pro variantu „B“).

Řezný nástroj	1. výměna	2. výměna	3. výměna	4. výměna
VRTÁK ø 2,8 HSS CO	355	1264	1514	-
XV0634 (Tvarový nástroj)	2765	-	-	-
VRTÁK ø 9 SK 3D IK	631	950	1125	-
VRTÁK ø 8 SK 5D IK WTX 180°	984	1130	-	-
XZ0437 (Tvarový nástroj)	1130	1167	-	-

Graf trvanlivosti břítu vybraných VBD (u varianty „B“).

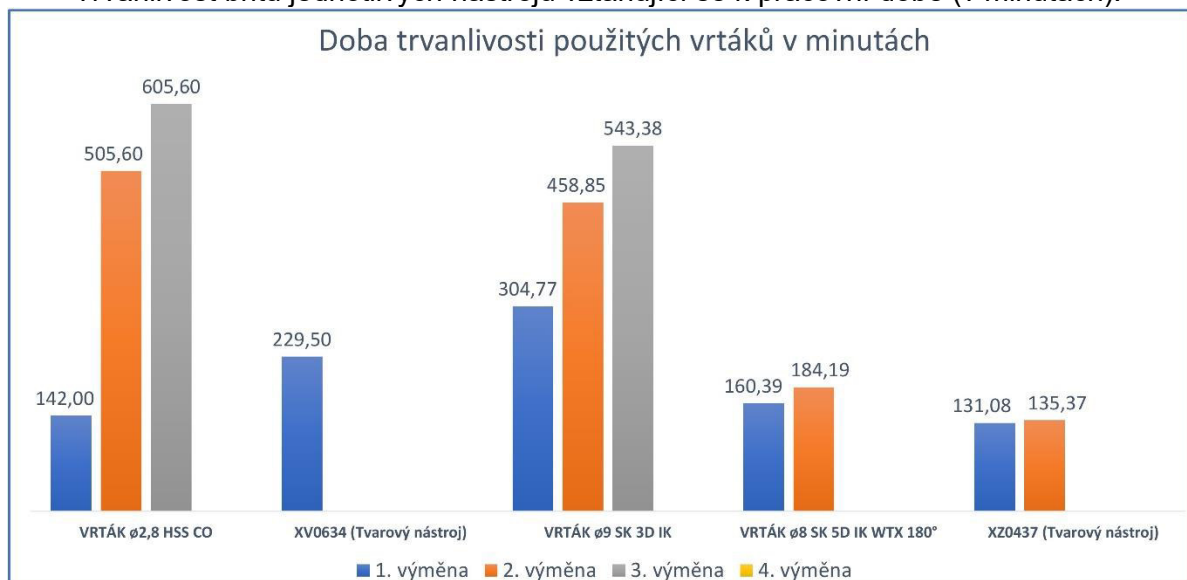


Data a grafy související s trvanlivostí pro uvedené nástroje

Tab. 25 Pracovní doba vrtacích nástrojů v minutách (pro jednotlivé výměny pro variantu „B“).

Řezný nástroj	1. výměna	2. výměna	3. výměna	4. výměna
VRTÁK ø 2,8 HSS CO	142,00	505,60	605,60	-
XV0634 (Tvarový nástroj)	229,50	-	-	-
VRTÁK ø 9 SK 3D IK	304,77	458,85	543,38	-
VRTÁK ø 8 SK 5D IK WTX 180°	160,39	184,19	-	-
XZ0437 (Tvarový nástroj)	131,08	135,37	-	-

Trvanlivost břítu jednotlivých nástrojů vztahující se k pracovní době (v minutách).

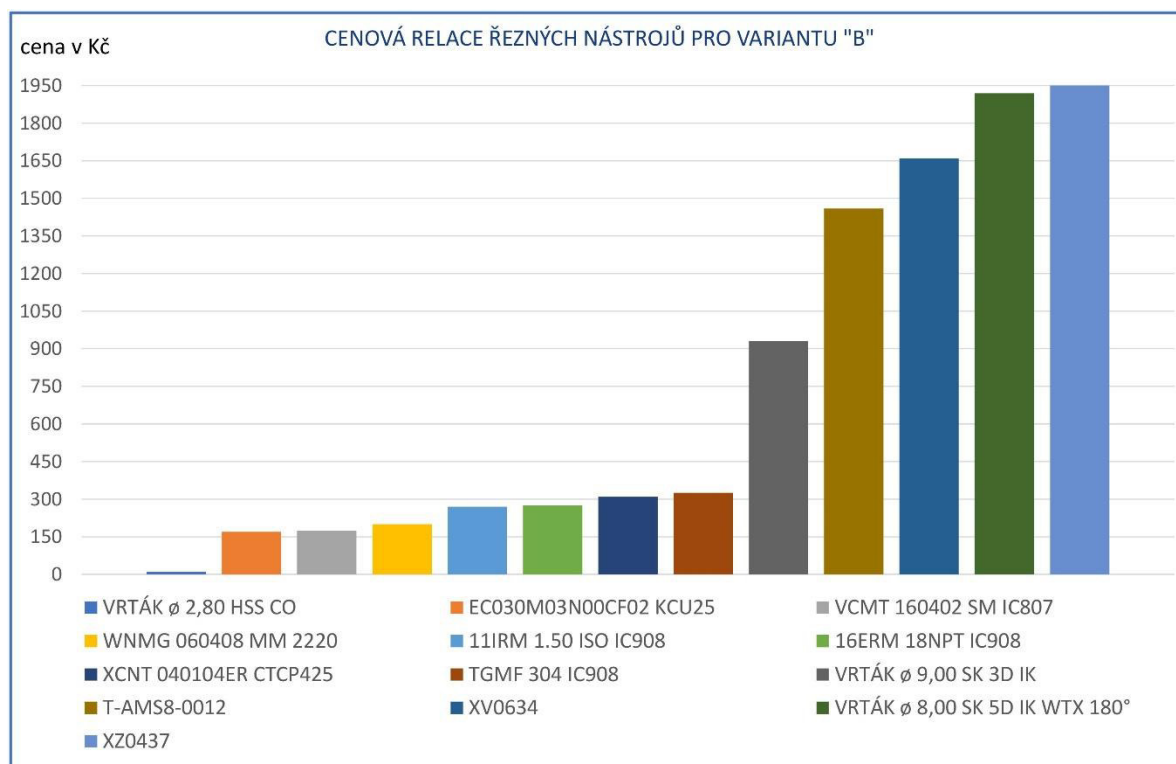


## Cenová relace nástrojů

Tab. 26 Cenová relace řezných nástrojů u výrobní varianty „B“ (vzestupně dle ceny nástroje)

ŘEZNÝ NÁSTROJ	CENA [Kč]
VRTÁK ø 2,80 HSS	10
EC030M03N00CF02 KCU25	170
VCMT 160402 SM IC807	175
WNMG 060408 MM 2220	200
11IRM 1.50 ISO IC908	270
16ERM 18NPT IC908	275
XCNT 040104ER CTCP425	310
TGMF 304 IC908	325
VRTÁK ø 9,00 SK 3D IK	930
T-AMS8-0012	1460
XV0634	1660
VRTÁK ø 8,00 SK 5D IK WTX 180°	1920
XZ0437	1950

Graf cenové hladiny jednotlivých nástrojů (u varianty „B“).



NC program pro variantu „B“

O7151(TELESO VENTILU)  
(DP161929)  
(TS3)  
(KON.TYCE.95)  
M22  
G90 (ABSOLUTNI PROGRAMOVANI)  
G50S3500P11 (OMEZENI OTACEK HLAVNIHO VRETENE)  
G10L2P1Z-512.5(G54)(N.BOD 1STRANA)  
G10L2P2Z-10.(G55)(N.BOD 2STRANA)  
G28V0A0(REFERENCE OSY A,Y)  
(1 OPERACE HLAVNI VRETENO)  
M22(DORAZ)  
M93(LOPATKA ZAVRIT)  
G54G0X250Z130.Y0.  
M16T1030  
/2M98P9005(PODPROGRAM NA ZAROVNANI TYCE)  
G0X0Z5  
Z.1  
M69(OTEVRENI LEVEHO SKLICIDLA)  
M84(VOLANI PODAVACE TYCI)  
M68 (ZAVRENI LEVEHO SKLICIDLA)  
G4U.5(CASOVA PRODLEVA)  
G0W20  
G54G0X250Z130.T0Y0.  
M01  
;  
N10  
M22(POVRCH TRIGON R.8)  
(WNMG 060408 MM2220)  
G28V0A0  
G54G0X250Z130Y0.  
M16T1010(OTOCENI HLAVY, NACTENI KOREKCE T10)  
G99  
G54G18M8  
G50S3500P11  
G96S150M3P11(KONST. VC 150M)  
G0X16.5Z2



NC program pro variantu „B“

G1Z-14.8F.15  
X20  
G0Z.2  
G1X-1.6F.1  
X10.3W.05F.3  
,A135X13.4F.15  
,A178.23Z-14.8  
X16  
,A120X18.95F.1  
Z-58F.15  
G0X30  
G40G54G0X250.Z130T0Y0.M9(ZRUSENI KOREKCE)  
M01(VOLITELNE ZASTAVENI)  
;  
N9  
M22(ZAVIT NPT1/4 M HRUB.)  
(16ERM 18NPT IC908)  
G28V0A0  
G54G0X250.Z130Y0.  
M16T0909(NACTENI KOREKCE T9)  
G99M8  
G54G18  
G50S3200P11  
G97S1600M3P11(KONST. OTACKY)  
X14Z3Y0  
G4U.5  
G76P020560Q100R0  
G76X11Z-13P1200Q150R-.449F1.41(ZAVIT. CYKLUS)  
G0Z10  
G40G54G0X250.Z130T0Y0.M9  
M01  
;  
N11  
M22(SRAZENI ZAVITU-OSTRY R0.2)  
(VCMT 160402SM IC807)  
G28V0A0  
G54G0X250Z130Y0.  
M16T1111(KOREKCE T11)

NC program pro variantu „B“

G99  
G54G18  
G50S3500P11  
G96S120M3P11M8M6(KONST. VC 120M)  
X16Z0  
G1X4F.06  
X10.2F.1  
,A135X13.4F.1  
,A178.23Z-12.5  
,A225X13F.05  
Z-14.8  
G1X16.9  
,A120X21  
G0Z2  
X4  
G1Z.02F.06  
X9.5F.1  
,A135X13.4F.1  
,A178.23Z-10.5  
,A215X11.5F.02  
Z-15F.05  
G1X17  
,A120X21  
W-.2  
,A300X16  
G40G54G0X250.Z130T0Y0.M9(ZRUSENI KOREKCE)  
M01  
;  
M22(NPT1/4 M NACISTO)  
(16ERM 18NPT IC908)  
G28V0A0  
G54G0X250.Z130Y0.  
M16T0909(KOREKCE T9)  
G99  
M8  
G54G18  
G50S3200P11  
G97S1600M3P11(KONST. OTACKY)

NC program pro variantu „B“

X14Z3Y0  
G76P020560Q1000R0  
G76X11Z-13P1200Q1000R-0.449F1.41(ZAVIT. CYKLUS)  
G0Z10  
G40G54G0X250.Z170T0Y0.M9(ZRUSENI KOREKCE)  
M01  
;  
N4  
M22(VRTAK TVAR PR6.5/8.2)  
(XV0634 POH)  
G28V0A0  
G54G0X250.Z170Y0.  
M16T0404(KOREKCE T04)  
G99M8  
G54G18  
G50S2500P11  
M5S0P11(ZASTAVENI LEVEHO VRETENE)  
M70P12S1200(POH NASTROJ VPRED)  
M76(LEVE VRETENO REZIM OSY C)  
M73(LEVE VRETENO BRZDA OSY C)  
G0X0Z3Y0  
G1Z-3.5F.06  
G0Z10.  
M72(POH NASTROJ STOP)  
M74(VYPNUTI BRZDY OSY C LVR.)  
M75(LEVE VRETENO SOUSTRUZNICKY REZIM)  
G40G54G0X250.Z170T0Y0.M9(ZRUSENI KOREKCE)  
M01  
;  
N7  
M22(VRTAK 2.8 HSS CO)  
G28V0A0  
G54G0X250.Z170Y0.  
M16T0707(KOREKCE T07)  
G99M8  
G54G18  
G50S2500P11  
G97S1000M3P11(KONST. OTACKY)

NC program pro variantu „B“

G0X0Z3Y0  
G1Z-1F.2  
G83.6Z-21Q1000F.04(VRT. S VYPLACHEM)  
G0Z10.  
G40G54G0X250.Z150T0Y0.M9(ZRUSENI KOREKCE)  
M01  
;  
N12  
M22(GRIP 3)  
(TGMF 304 IC908)  
G28V0A0  
G54G0X250Z150Y0.  
M16T1212(KOREKCE 12)  
G99  
G54G18  
G50S3200P11  
G97S2000M3P11M8(KONST. OTACKY)  
G0X23Z-30  
G1X16.5F.06  
G1Z-44.2F.09  
G1X20F.12  
Z-45.2  
G1X16.5F.06  
G0X30  
G40G54G0X250.Z130T0Y0.M9(ZRUSENI KOREKCE)  
M5S0P11(ZASTAVENI LEVEHO VRETENE)  
M01  
;  
N110  
(PREUCHOPENI ZA 6HRAN)  
(EVSML 2020 K0316C)  
(EC030M03N00CF02 KCU25)  
M22  
G28V0A0  
G54G0X250Z130Y0.  
M74(VYPNUTI BRZDY OSY C LVR.)  
M16T0808(KOREKCE 8)  
G99

NC program pro variantu „B“

G54G18  
G0X150Z-40Y-.18(POZICE PRO UPICH)  
M76(LEVE VRETENO REZIM OSY C)  
G28G0C0  
G0C0(NATOCENI OSY C)  
M176(PRAVE VRETENO REZIM OSY C)  
G28G0B0  
G0(B29.5)B89.26(NATOCENI PROTIVRETENA)  
M79(OTEVRENI PRAVEHO SKLICIDLA)  
M166(M166)(OFUK STREDEM ZAPNOUT)  
G4U1(PRODLEVA)  
G0A-504(NAJETI PRED)  
M167(OFUK STREDEM VYPNOUT)  
M75M175(SOUSTRUZNICKY REZIM)  
G1G98A-554F1000(PREUCHOPENI)  
M78(ZAVRENI PRAVEHO SKLICIDLA)  
G4U.2(PRODLEVA)  
M69(OTEVRENI LEVEHO SKLICIDLA)  
G1A-533.5(POPOTAZENI OSY A)  
M68(ZAVRENI LEVEHO SKLICIDLA)  
G1A-533.4  
M46(SYNCHRON.ZAPNUTI)  
G50S3000P11  
G96S80M3P11(KONST. VC 80M)  
G0X22M8M6(NAJETI NAD MATERIAL)  
G1G99X-.5F.04(UPICH)  
G0A-100(ODJETI PROTIVRETENE)  
G0W1  
G0X150M9  
G28G0A0  
M45(SYNCHRON.VYP.)  
M5S0P11  
M32  
G40G54G0X250Z300T0Y0. (ZRUSENI KOREKCE)  
M01  
;  
N22  
M22(TRIGON R.8 CELO)



NC program pro variantu „B“

(WNMG 060408 MM2220)

G28V0A0

G40G54G0X250.Z300Y0.

M16T1022(KOREKCE 22)

G99M8

G55G18

G50S3500P21

G97S2000M3P21(KONST. OTACKY, PRAVE VRETENO)

G0X20.Z-1Y.15

G1Z.7F.1

Z0,A255

X-2

G0Z-5

G40G54G0X250.Z300T0Y0. (ZRUSENI KOREKCE)

M01

;

N17

M22(VRTAK 9 TK 3D IK)

G28V0A0

G54G0X250.Z300.Y0.

M16T0517(KOREKCE 17)

G99M8M6

G55G18

G50S2500P21

G97S1200M3P21(KONST. OTACKY, PRAVE VRETENO)

G0X0Z-3Y0

G1Z2F.06

G1Z28.6F.06

G0Z-20.

G40G54G0X250.Z300.T0Y0.M9(ZRUSENI KOREKCE)

M01

;

N14

M22(VRTAK 8.TK 5D IK ROVNE CELO)

(WNT 10721085)

G28V0A0

G54G0X250.Z300.Y0.

M16T0214(KOREKCE 14)

NC program pro variantu „B“

G99M8M6  
G55G18  
G50S2500P21  
G97S1200M3P21(KONST. OTACKY, PRAVE VRETENO)  
G0X0Z-3Y0  
G1Z24F.5  
Z37.82F.06  
G0Z-20.  
G40G54G0X250.Z300.T0Y0.M9(ZRUSENI KOREKCE)  
M01  
;  
N18  
M22(VRTAK TVAR PR8.6/9 R.5)  
(XZ0437 POH)  
G28V0A0  
G54G0X250.Z300.Y0.  
M16T0618(KOREKCE 18)  
G99M8  
G55G18  
G50S2500P21  
S0M5P21(ZASTAVENI PRAV. VRETENE)  
M176(REZIM OSY C PRAV. VRETENO)  
M173(BRZDA OSY C PRAV. VRETENO)  
M70P12S1200(POH NASTROJ VPRED)  
G0X0Z-3Y0  
G1Z24F.5  
Z37.8F.16  
G0Z-20.  
M72(POH NASTROJ STOP)  
M174(VYPNUTI BRZY OSY C PRAV. VRET.)  
M175(SOUSTRUZNICKY REZIM)  
G40G54G0X250.Z300.T0Y0.M9(ZRUSENI KOREKCE)  
M01  
;  
N19  
M22(ZADNI CELO PR. 8.7)  
(T-AMS8-0012 ARNO)  
G28V0A0

NC program pro variantu „B“

G54G0X250.Z300.Y0.  
M16T0719(KOREKCE 19)  
G99M8  
G55G18  
G50S2500P21  
G97S1000M3P21(KONST. OTACKY, PRAVE VRETENO)  
G0X3Z-2Y0  
G1Z12F.5  
Z34F.25  
Z37.9F.03  
X8.6,R.2F.02  
Z36  
U-.5  
G0Z-20.  
G40G54G0X250.Z300.T0Y0.M9(ZRUSENI KOREKCE)  
M01  
;  
M22(ECOCUT 8 HRUB.)  
(XCNT 040104ER CTPP430)  
G28V0A0  
G54G0X250.Z300.Y0.  
M16T0113(KOREKCE 13)  
G99  
G55G18  
G50S2500P21  
G97S1400M3P21M8M6(KONST. OTACKY, PRAVE VRETENO)  
G0X11.9Z-2Y0  
G1Z-.1F.2  
,A358.21Z14.2F.07  
G0Z-20.  
G40G54G0X250.Z300.T0Y0.M9(ZRUSENI KOREKCE)  
M01  
M22  
;  
(VYPLACH TRISEK)  
M8(CHLAZENI ON)  
G4X3(PRODLEVA)  
M166(OFUJ STREDEM ZAPNOUT)

NC program pro variantu „B“

G4X3(PRODLEVA)  
M167(OFUJ STREDEM VYPNOUT)  
M01  
;  
N15  
M22(NPT1/4 F HRUB.)  
(11IRM 1.5 ISO IC908)  
G28V0A0  
G54G0X250.Z300Y0.  
M16T0315(KOREKCE 15)  
G99M8  
G55G18  
G50S3200P21  
G97S1600M3P21(KONST. OTACKY, PRAVE VRETENO)  
X10Z-3Y-.05  
G76P000500Q80R0  
G76X13.7Z13P900Q200R.449F1.41(ZAVIT.CYKLUS)  
G0Z-10  
G40G54G0X250.Z300T0Y0. (ZRUSENI KOREKCE)  
M1  
;  
M22(ECOCUT 8 VNITRNI SRAZENI)  
(XCNT 040104ER CTPP430)  
G28V0A0  
G54G0X250.Z300.Y0.  
M16T0113(KOREKCE 13)  
G99M8M6  
G55G18  
G50S2500P21  
G97S1400M3P21(KONST. OTACKY, PRAVE VRETENO)  
G0X11Z-2Y0  
G1Z1.6F.2  
,A135X15F.06  
Z-.2F.3  
X11.9Z0,C1.4F.1  
,A358.21Z14.2F.1  
G1X8.9,C.5F.04  
W.7

NC program pro variantu „B“

G0Z-20.  
G40G54G0X250.Z300.T0Y0.M9(ZRUSENI KOREKCE)  
M01  
;  
M22(NPT1/4 F NACISTO)  
(11IRM 1.5 ISO IC908)  
G28V0A0  
G54G0X250.Z300Y0.  
M16T0315(KOREKCE 15)  
G99M8  
G55G18  
G50S3200P21  
G97S1600M3P21  
X10Z-3Y-.05  
G76P000500Q600R0  
G76X13.7Z13P900Q300R.449F1.41  
G0Z-10  
G40G54G0X250.Z300T0Y0. (ZRUSENI KOREKCE)  
M1  
;  
N111  
M22(VYHOZENI DILCE)  
G40G54G0X250Z300T0Y0(ZRUSENI KOREKCE)  
M16T0808(NATOCENI VOLNE POZICE)  
M9  
G28U0  
G0Z10  
M5S0P21  
M31  
M82(LOPATKA OTEVRIT)  
G0A-410  
G97S20M3P21(KONST. OTACKY PRAV. VRT)  
M79(PRAVE SKLICIDLO OTEVRIT)  
M8(CHLAZENI ON)  
G4U2(PRODLEVA)  
M9(CHLAZENI OFF)  
M166(OFUJ STREDEM ZAPNOUT)  
G4U1(PRODLEVA)



NC program pro variantu „B“

M167(OFUJ STREDEM VYPNOUT)

G28A0

M5S0P21(ZASTAVENI PRAV. VRT.)

M9

M32

M93(LOPATKA ZAVRIT)

G40G54G0X250.Z130T0Y0.(ZRUSENI KOREKCE)

M12(POCITADLO OBROBKU)

M30(KONEC PROGRAMU)

%

Souhlas firemního podniku ke zpracování diplomové práce

**AR-KOVO, s.r.o.**  
**Nádražní 219**  
**58291 Světlá nad Sázavou**  
**IČ: 64793729**  
**DIČ: CZ64793729**

## Potvrzení

Tímto se uděluje souhlas pro využití interních firemních materiálů za účelem vypracování diplomové práce našemu zaměstnanci (p. Dlouhý Vít).

Datum: 7. 2. 2020

**Ing. Jiří Arlt**  
Telefon 569 456 885  
GSM 604 118 851  
Email: [arlt.j@ar-kovo.cz](mailto:arlt.j@ar-kovo.cz)


**AR - KOVO, s.r.o.**  
Nádražní 219  
582 91 Světlá n. Sáz.  
IČ: 647 93 729  
DIČ: CZ64793729