



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

CNC OBRÁBĚNÍ SOUČÁSTI HŘÍDEL PŘEVODOVKY

CNC MACHINING OF SHAFT FROM GEARBOX

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Denis Konvičný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Denis Konvičný
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:

CNC obrábění součásti hřídel převodovky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

CNC stroj je svým charakterem výhodný pro výrobu zadané součásti. Jednotlivé etapy výrobního procesu jsou doloženy technickou dokumentací. Využívá se především SW návrhů.

Cíle diplomové práce:

- SW návrh součásti hřídel převodovky
- Rozbor použitelných technologií
- Příprava dat pro CNC obrábění
- Seřízení stroje
- Výroba prototypu
- Vyhodnocení výsledků

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 978-80-214-3946-7.

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.

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

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.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá výrobou součástí hřídel převodovky pomocí CNC obráběcího stroje, programováním hřídele v softwarech Tebis 4.0 R8, Sinumerik SinuTrain 7.5 a kontrolou přesnosti výroby za pomoci technologie 3D skenování, která umožnila porovnat CAD model a sken vyrobené součásti.

Klíčová slova

CNC obráběcí stroj, hřídel, Tebis 4.0 R8, Sinumerik SinuTrain 7.5, 3D sken

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the production of gearbox shaft components using a CNC machine tool, shaft programming in Tebis 4.0 R8 software, Sinumerik SinuTrain 7.5, and manufacturing accuracy checking using 3D scanning technology, which allows you to compare the CAD model and the scan of the manufactured part.

Key words

CNC machine tool, shaft, Tebis 4.0 R8, Sinumerik SinuTrain 7.5, 3D scan

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KONVIČNÝ, Denis. *CNC obrábění součástí hřídel převodovky* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124708>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 75 s. 16 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **CNC obrábění součásti hřídel převodovky** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

23.06.2020

.....
Datum.....
Bc. Denis Konvičný

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady, které mi při vypracování diplomové práce věnoval a firmě MCAE Systems, s.r.o. za pomoc při realizaci experimentu. Také chci poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu při studiu.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1 PŘEHLED VÝVOJE CNC.....	9
1.1 Historie NC a CNC strojů.....	9
2.2 Charakteristika CNC strojů.....	9
1.1.1 Technologické parametry	9
1.2.2 Přesnost CNC obráběcích strojů	10
1.3 Vývojové etapy CNC obráběcích strojů	11
1.4 Faktory a směry vývoje číslicově řízených strojů	12
1.5 Konstrukce CNC obráběcího stroje	14
1.5.1 Rámy	15
1.5.2 Pohony	20
1.5.3 Odvod třísek a uložení obráběcího stroje	23
1.5.4 Krytování stroje	24
1.6 Rozdělení CNC strojů.....	24
1.6.1 Dělení na základě technologických operací.....	25
1.6.2 Dělení na základě počtu současně řízených os	25
1.6.3 Dělení na základě typu operace	26
1.6.4 Dělení na základě odebírání třísek.....	26
1.7 Automatizované výrobní soustavy.....	26
1.7 Mechatronika v konstrukci CNC obráběcích strojů	27
1.8 Výhody a nevýhody CNC obráběcích center	28
1.9 Upínání a výměna nástrojů	28
1.9.1 Revolverové hlavy	29
1.9.2 Zásobníky nástrojů.....	29
1.10 Upínání obrobků	30
1.11 Korekce nástrojů	32
1.11.1 Korekce délkové	32
1.11.2 Korekce rádiusové	32
1.12 Souřadnicový systém CNC obráběcího stroje	33
1.13 Nulové a jiné vztažné body na CNC obráběcích centrech.....	34

1.14	Typy programování.....	36
1.14.1	Absolutní programování	36
1.14.2	Inkrementální programování.....	36
1.15	Směry vývoje CNC strojů.....	37
2	VSTUPNÍ PODMÍNKY ZADANÉHO TÉMATU	37
2.1	Výkres a model navržené součásti.....	38
2.2	Použitý materiál a jeho vlastnosti	38
3	NÁVRH STROJE ŘÍDICÍHO SYSTÉMU	39
3.1	Popis obráběcího centra	40
3.2	Řídicí systém stroje.....	42
3.2.1	Sinumerik SinuTrain 7.5.....	43
3.2.1	Tebis 4.0 R8.....	47
3.2.3	Porovnání použitých CAM programů.....	52
3.3	Pracovní režimy stroje	53
4	KONTROLA ROZMĚRŮ POMOCÍ OPTICKÉ DIGITALIZACE	54
4.1	ATOS ScanBox a ATOS Capsule	56
4.2	GOM Inspect Professional.....	59
4.3	Porovnání CAD modelu od skenu součásti	60
5	TECHNOLOGICKÝ POSTUP	61
5.1	Výpočet strojních časů.....	61
6	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	64
6.1	Výpočet celkového času výroby zadané dávky	64
6.2	Výpočet spotřeby energie	64
7	EKOLOGIE V OBRÁBĚNÍ.....	66
7.1	Třídění odpadu.....	66
	ZÁVĚR	67
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	68
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	73
	SEZNAM PŘÍLOH.....	75

ÚVOD

Počátky číslicově řízených strojů spadají až do první poloviny minulého století. S rostoucím vývojem počítačové techniky se rozvíjeli i NC stroje, které byly rovněž závislé i na mechanickém pohonu. V roce 1950 byly zavedeny hydromotory a o několik let později elektricky řízené pohony. Aby se dosáhlo správného polohování, byla nutná znalost optických principů. [1]

V současnosti číslicově řízené obráběcí centra nahradily klasické obráběcí stroje ve většině výrobních podniků a staly se nezbytnou součástí dnešního průmyslu. S pomocí CNC strojů je možné dosáhnout mnohem rychlejší a přesnější výroby než na klasických obráběcích strojích a rovněž je možné součást předem pro kontrolu nasimulovat v programu stroje, aby nedocházelo ke kolizím. Simulace obsahuje i výrobní čas součásti, takže je možné naplánovat celou výrobu. Za pomoci programu a možnosti obrábění v několika osách je možné obrábět složité díly nebo provádět různé operace přímo na jednom stroji. Úprava programu je velice jednoduchá a rychlá, není tedy potřeba psát celý program znovu v případě drobných změn. Nevýhodou CNC stroje je nutná přítomnost obsluhy stroje a používání kvalitního náradí, protože při výrobě jsou neustále kladeny vyšší požadavky na používané nástroje. [2]

Diplomová práce se zabývá návrhem a výrobou hřídele převodovky (obr. 1). Na začátku je rozebírána obecná charakteristika CNC stroje – od historie, konstrukce a možností stroje, až po programování řídicích systémů. Dále je v diplomové práci uveden popis výroby navrženého hřídele, a to od volby materiálu, typu CNC stroje, programování v příslušných softwarech po jeho následnou kontrolu za pomoci využití technologie 3D skenování.



Obr. 1 Vyrobená hřídel.

1 PŘEHLED VÝVOJE CNC

V kapitole je zachycena historie, vývoj, konstrukce, rozdělení a také moderní trendy číslicově řízených strojů [1, 2].

1.1 Historie NC a CNC strojů

První stroje, programově řízené, se označovaly jako NC stroje. Programy těchto strojů byly zaznamenány na děrných páscích, respektive na děrných štítcích. V této podobě našly uplatnění především u složitých součástí ve velkosériové výrobě. Dokonce v současné době lze vidět tyto stroje v některých dílnách, avšak změnu ve výrobních procesech způsobily počítačově číslicově řízené stroje, označované CNC. Právě počítače umožňují výrazně usnadnit a zrychlit programování, řízení strojů a uložit data pro pozdější využití. CNC stroje umožnily produktivnější a levnější výrobu, což vedlo ke snížení počtu pracovníků a výrobních ploch [1, 2].

Zvyšující se požadavky na přesnost a kvalitu povrchu vedou k neustálému zlepšování výkonů počítačů a modernizaci softwaru, což vede ke snížení jejich cen. Proto se CNC stroje mohly stát důležitou součástí všech společností strojírenského průmyslu. V současnosti mezi známé výrobce CNC strojů patří například stroje od společnosti MAS nebo HAAS a řídicí systémy od společnosti Siemens, Fanuc a Heidenhain. Všichni uvedení výrobci řídicích systémů mají několik verzí, které lze vložit do CNC obráběcího stroje v závislosti na počtu řízených os, počtu kanálů, možnosti obráběcích operací, variability a způsobu programování stroje [1, 2, 3, 4].

2.2 Charakteristika CNC strojů

Pod pojmem číslicové řízení neboli CNC (zkratka z anglického názvu Computer Numerical Control, v České republice je možné se setkat i s názvem „počítačem řízené obráběcí stroje“) se rozumí činnost číslicového počítače pro řízení pohybu nástroje nebo obrobku nadefinovanou rychlostí programátorem po dané trajektorii v rovině nebo prostoru. Jedná se o řízení procesu obrábění i pomocných funkcí, a to formou číslicově kódovaných informací a příkazů. Pro dosažení obrobku dané součásti jsou nutné informace:

- Geometrické – určující rozměry součásti,
- technologické – otáčky, posuv,
- pomocné informace – potřebné k organizaci programu, např. zapínání procesní kapaliny [1, 2, 3, 4].

CNC obráběcí stroj je numericky řízen a zároveň je konstrukčně navržen s automatickou výměnou nástrojů. Starší generace číslicově řízených obráběcích strojů využívaly NC řídicí systémy, které byly v současnosti nahrazeny CNC řídicími systémy. Číslicové řízení (NC - zkratka z anglického názvu „Numerical Control“) představuje automatické řízení, využívající číselná data během činnosti stroje [1, 2, 3, 4, 8].

1.1.1 Technologické parametry

U obráběcích strojů typu CNC se musí nastavit základní parametry jako řezné podmínky, otáčky – řezná rychlost a velikost posuvu [3, 4].

- Řezné podmínky – největší vliv pro určení řezných podmínek na konkrétní výrobek má obráběný materiál a jeho povrch. Mezi další důležité parametry patří druh, typ a způsob obrábění a rovněž jakost a přesnost obráběné plochy, výkon stroje, obráběcí nástroj, tuhost soustavy a další. Pro správné nastavení řezných podmínek je zapotřebí dlouhodobé zkušenosti obsluhy i operátora. Proto je výrobcí nástrojů pro danou technologii přímo doporučují ve svých katalozích [3, 4].
- Otáčky (řezná rychlost) – otáčky zůstávají nezměněny, jestliže nebudou upraveny přímo v programu, popřípadě ručně na stroji. Správná řezná rychlost má vliv na výslednou jakost povrchu. V tab. 1 je zobrazena řezná rychlost pro různé druhy materiálu a v následující tab. 2 pak řezná rychlost pro různé technologie obrábění [3, 4].

Tab. 1 Orientační oblasti HSC obrábění pro vybrané druhy materiálů obrobku [5].

Materiál	Řezná rychlost [$m \cdot min^{-1}$]
Ocel	800 – 1100
Slitiny Ti	100 – 150
Slitiny Ni	160 – 280
Litina	900 – 1600
Slitina Al	3000 – 6000
Plasty zpevněné vlákny	2800 – 8000
Bronz, mosaz	1100 - 3000

Tab. 2 Orientační oblasti HSC obrábění pro jednotlivé technologie obrábění [5].

Operace	Řezná rychlost [$m \cdot min^{-1}$]
Soustružení	800 – 8000
Vrtání	100 – 1100
Frézování	560 – 6000
Frézování závitů	120 – 400
Protahování	12 – 70
Broušení	6000 – 9500
Vystružování	10 – 250
Řezání	70 - 200

1.2.2 Přesnost CNC obráběcích strojů

Geometrická přesnost – je důležitá při dokončovací operaci obrábění (obrábění načisto). Mezi geometrické tolerance patří úchytky rovnoběžnosti, kolmosti, rovinnosti, přímosti, kruhovitosti, válcovitosti, souososti, polohy, sklonu, tvaru a házení. Geometrická přesnost se stanoví pro pracovní prostor obráběcího stroje s přihlédnutím k lineárním a rotačním, popřípadě jiným pohybům podle geometrické identifikace funkčních částí obráběcího stroje [3, 4].

Popisuje vzájemný vztah mezi funkčními plochami jednotlivých částí obráběcího stroje, které se vlivem působení různých sil při obrábění mění. Tyto změny jsou však při využití přesného obrábění poměrně malé [3, 4].

Přesnost polohování – Délka životnosti obráběcího stroje a částečně i přesnost obrobeného dílce závisí na správně stanovené technické diagnostice. Aby se zamezilo vzniku mnoha poruchových činitelů, jenž by mohli vést ke snížení životnosti strojních částí a zvýšení nepřesnosti výrobku, provádí se pravidelné kontroly technického stavu i diagnostiky obráběcího stroje. U obráběcích strojů se 3 osami, jenž mají alespoň 21 stupňů volnosti, je možné se setkat s odchylkami od skutečných hodnot lineárního polohování, přímosti, kolmosti mezi osami a úhlových natočení. Všechny tyto chyby negativně ovlivňují výslednou přesnost polohování stroje a rovněž i rozměrovou a tvarovou přesnost obrobku. Technický stav a diagnostika se kontrolují kalibračními systémy, jenž proměří obráběcí stroj a dle zjištěných hodnot určí odchylky od mezinárodních norem [3, 4].

Pracovní přesnost obráběcího stroje – je ovlivňována základními faktory:

- Přesným zpracováním funkčních částí obráběcího stroje,
- kvalitní montáží dílců a sestavy,
- tuhostí částí strojů (vřeteno, vodící dráhy, ložiska),
- správným nastavením nástroje vůči obrobku,
- deformacemi způsobenými vlivem tepla [3, 4].

Kromě těchto faktorů mají vliv na pracovní přesnost i nástroje, obráběné součásti a postup obrábění. Než budou obráběcí stroje přesunuty do výroby, musí projít zkouškou geometrické a pracovní přesnosti [3, 4].

1.3 Vývojové etapy CNC obráběcích strojů

Existuje šest etap vývoje CNC obráběcích strojů:

První vývojová etapa

První NC stroje byly klasické stroje obsahující jednoduché řídicí systémy, které umožňovaly řízení v pravoúhlých cyklech. Postupně však začaly být nevyhovující pro malou přesnost, spolehlivost a pro nedostačující možnosti technologie výroby [2, 10, 11, 19].

Druhá vývojová etapa

Stroje druhé vývojové etapy byly již dokonalejší, jejich součástí byly revolverové hlavy a jednoduché zásobníky nástrojů, výjimečně i dopravníky třísek. Využívalo se integrovaných obvodů, mechanická část obsahovala servomotor, který umožňoval řízení v obecných cyklech a automatickou výměnu nástrojů. Opotřebované nástroje se měnily ručně, nebyly součástí automatizovaných linek [2, 10, 11, 19].

Třetí vývojová etapa

Jednalo se o stroje, které byly přizpůsobeny především pro provoz ve výrobě a jenž se vyznačovaly souvislým řízením ve třech osách. Zvýšila se přesnost a produktivita práce. Stroje byly opatřeny velkokapacitními zásobníky nástrojů. Řídicí systém ovládal automatickou volbu nástroje i obrobku a rovněž jejich systém dopravy [2, 10, 11, 19].

Čtvrtá vývojová etapa

Čtvrtá etapa představuje obráběcí stroje plně automatizované, včetně automatické výměny opotřebovaných nástrojů. Tyto stroje umožňovaly řízení ve více než třech osách a bylo u nich využito progresivnějších metod, jak v konstrukci, tak i ve využití. Poprvé je možné se setkat s řešením nežádoucích vlivů, které se doposud zanedbávaly, jako například vliv prostředí, kvalita energetických zdrojů, teplota, prašnost a otřesy [2, 10, 11, 19].

Pátá vývojová etapa

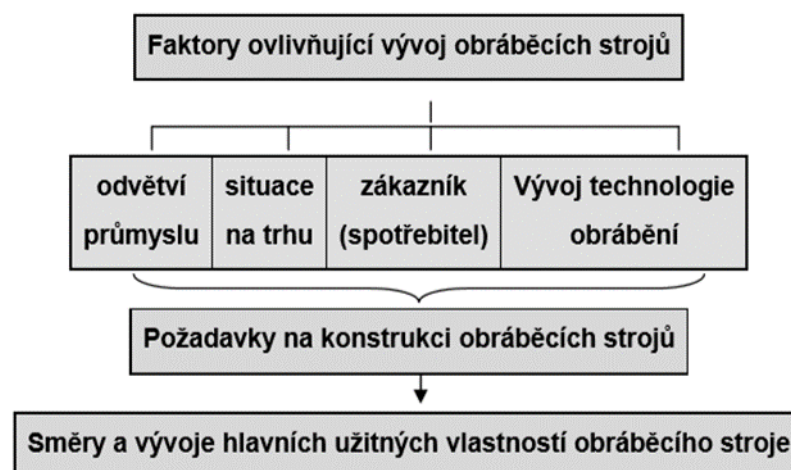
CNC obráběcí stroje byly doplněny o mechatronické prvky, jako je elektronická korekce chyb polohování, využití měřicích sond pro měření obrobku při obrábění i opravě programu pro zachování požadovaných rozměrů a úchylek předepsaných výkresovou dokumentací. Zavedla se elektronická náhrada chyb polohování, měření rozměrů obrobku využitím měřicích sond při obrábění i oprava programu pro dodržení rozměrů a úchylek požadovaných výkresovou dokumentací [2, 10, 11, 19].

Šestá vývojová etapa

V této vývojové etapě jde o zdokonalení technologických parametrů strojů na základě zkušeností z dřívějších vývojových etap např. zkrácení času výměny nástrojů a obrobků, zvýšení rychlosti obrábění, efektivnější víceosé řízení a ultra přesné obrábění až na desetiny mikrometrů. CNC stroje jsou konstruovány a vyrobeny podle přání a požadavků zákazníků [2, 10, 11, 19].

1.4 Faktory a směry vývoje číslicově řízených strojů

Faktory, které mají vliv na vývoj CNC obráběcích strojů (obr. 2) vedou ke vzniku požadavků zákazníků a ty následně vytvářejí směry vývoje zásadních, užitečných vlastností těchto strojů. Mezi užité vlastnosti ovlivňující směry vývoje patří: zvýšení přesnosti a výrobního výkonu, kvalita a jakost povrchu, spolehlivost stroje, ekologizace vedoucí ke zlepšení životního prostředí, plná automatizace stroje [3, 4].



Obr. 2 Faktory ovlivňující vývoj obráběcích strojů [3].

Odvětví průmyslu

Směr vývoje u CNC obráběcích center určoval dříve letecký a kosmický průmysl a je tomu tak i v současné době. Toto pole je specifické používáním nových typů materiálů, které potřebují nové technologické postupy, nástroje a stroje. Významná jsou i jiné pole průmyslu, jako je dopravní (automobilový, železniční), petrochemický, lodní a energetický. Všechna tato pole průmyslu potřebují specifickou konstrukci obráběcího centra od těžkých konstrukcí až po přesné a rychlé, obráběcí centra [3, 4].

Vývoj technologie obrábění

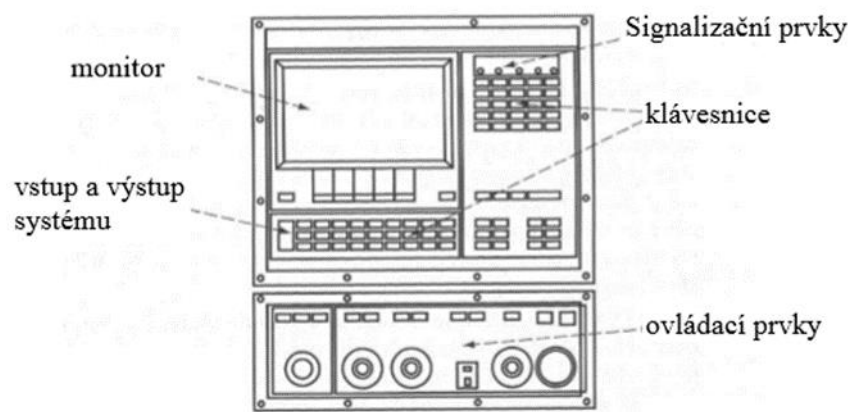
Směry vývoje lze popsat v následujících bodech:

- Nárůst řezných výkonů – vysoce výkonné obrábění HPC (High Performance Cutting, označované také jako High Productive Cutting). V případě HPC jde na rozdíl od HSC – vysokorychlostní obrábění (High Speed Cutting) o zvyšování nejen řezné rychlosti, ale taky o posuv a hloubku řezu, aby se dosáhlo za krátký čas vysokého úběru objemu třísek. HPC potřebuje velkou a termosymetrickou konstrukci, která má dobrý odvod třísek, tuhé upnutí nástroje, tuhé a výkonné náhony,
- nárůst posuvových a manipulačních rychlostí – zřetelně ovlivňují vývoj obráběcích center,
- vysokorychlostní suché a tvrdé obrábění (HSC) – v principu jde o odebrání malého průřezu třísky s vysokými řeznými rychlostmi. Tvrdé obrábění má využití pro kalené materiály s tvrdostí 60 až 80 HRC, které byly dříve obráběny za pomoci broušení. Mezi používané nástrojové materiály patří povlakovaný slinutý karbid (TiAlN), polykrystalický diamand (PCD), kubický nitrid bóru (CBN), řezná keramika a cermety. Termínu minimální mazání se rozumí dodávání lubrikantu do místa řezu v co nejmenší možné míře. Vytvoří se z něj aerosol v dopravním vzduchu a ten má za úkol mazací funkci, díky čemuž je snižována teplota v místě řezu. Lubrikanty mohou být dodávány buď interně (skrže vřeteno) či externě,
- zvyšování teplotní, statické a dynamické stability – docílí se jí termosymetrickou konstrukcí rámu, vinutím motorů, ložisek i uložením, odvodem tepla z třísek nebo záměrným žebrovaním,
- zvyšování polohovací a pracovní přesnosti – tohoto bodu lze dosáhnout buď mechanickou nebo elektronickou kompenzací,
- diagnostika a aktivní kontrola – docílení co nejmenších ztrátových časů,
- konstrukce spolehlivých uzlů – lze docílit zkušenostmi, výběrem vyhovujících prvků a spolehlivou konstrukcí,
- stavebnicovost a rekonfigurovatelnost – konstrukce obráběcích center (změna stroje na jiný druh obrobku) a výroby (změna technologie na jiný druh obrobku),
- uživatelská přívětivost – je označována malou zastavěnou plochou, ergonomií nebo instalací bez nutnosti základu [3, 4].

1.5 Konstrukce CNC obráběcího stroje

Blokové schéma (příloha 5) CNC stroje se skládá z:

- Počítač – je složený z řídicího panelu a obrazovky. Řídicí systém nahraný v počítači umožňuje vytvářet a upravovat požadovaný NC program,
- blok systémového řízení a správy paměti,
- ovládací panel – je využíván operátorem pro chod celého stroje. Skládá se z několika charakteristických částí jako je monitor, vstup a výstup systému, signalizační prvky, klávesnice a ovládací prvky. Ovládací panel je znázorněn na obr. 3,



Obr. 3 Ovládací panel CNC stroje [1].

- blok pružného řízení,
- interpolátory – zajišťují současný pohyb po zadané dráze,
- porovnávací obvody (komparátory) – dochází k porovnání potřebných hodnot v programu CNC stroje s hodnotami, které jsou naměřeny ve skutečnosti. Přes řídicí obvody a polohovací obvody se ovládají dílčí servomotory tak dlouho, dokud se neodstraní odchylka. Následně je vyslán impuls k zastavení stroje a načtení následného bloku NC programu. Komparátory také zajišťují zařazení zpomalovacích bodů, a to před dosažením konce dráhy,
- přizpůsobovací obvody – tyto obvody způsobují, že se logické signály převádí za pomoci relé, stykačů a tyristorového řízení na elektrické a ovládají jednotlivé části stroje (motory, spojky, ventily apod.),
- pohony,
- odměřovací zařízení,
- upínání,
- chlazení,
- snímání otáček vřetena,
- obrobek,
- čtecí zařízení [1, 6, 7, 19].

1.5.1 Rámy


Lože a stojany, případně sloupy, příčník a konzoly jsou hlavní části rámu obráběcího stroje. Na tuhosti, odolnosti proti opotřebení, dynamické stabilitě a stálosti tvaru uvedených částí závisí především přesnost obrábění. Pro správné navržení těchto prvků je nutné dodržovat jednoduché požadavky:

- Kvalitní materiál rámu,
- dobrá tepelná a dynamická stabilita,
- umožnění správného odvodu třísek,
- dobrá statická tuhost,
- jednoduchá a efektivní výroba,
- nízká hmotnost,
- správné uložení,
- jednoduchá manipulovatelnost [3, 4].

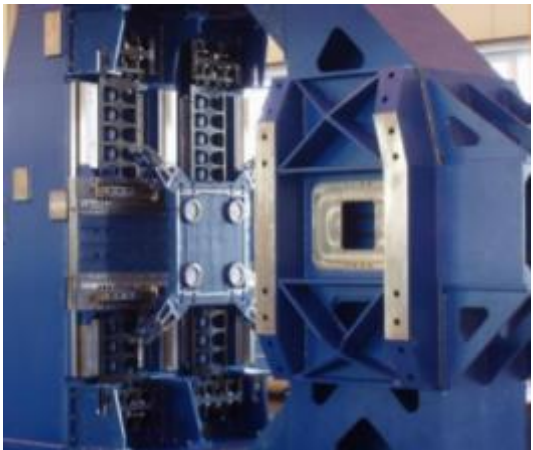
Pro výrobu rámu je možné využít různé druhy materiálu, avšak nejčastěji se používá šedá litina, ocel a ocelolitina. V posledních letech se začal hodně používat i beton a polymerní beton. Pro zvolení vhodného materiálu rámu je nutné brát ohled na jeho technické a provozní vlastnosti, které musí stroj zvládnout. Používané materiály jsou uvedené v tab. 3 až tab. 10 [3, 4].

Materiály pro konstrukci rámu a jejich vlastnosti:

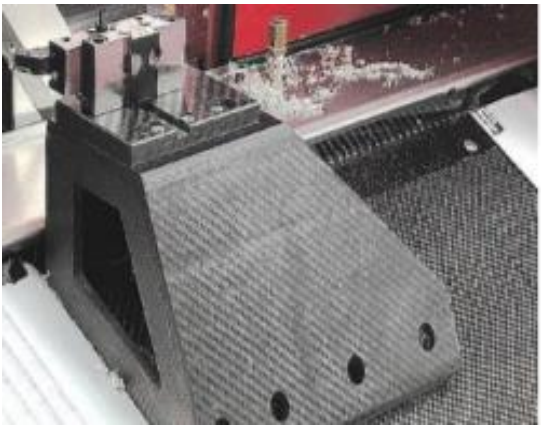
Tab. 3 Odlitky ze šedé nebo tvárné litiny [13].

Výhody	Nevýhody	Ukázka
Ekonomicky výhodné pro velké série; větší materiálové tlumení než u oceli; lepší obrobiteľnosť než u oceli	Malý měrný modul pružnosti; nevhodné pro malé série kvůli ceně forem; technologická omezení proporcí, přechodů a tvarování (pouze jednoduché tvary), vyšší hmotnost než svařená konstrukce	


Tab. 4 Svařence z oceli třídy 11 dle normy ČSN 41 1300 [13].

Výhody	Nevýhody	Ukázka
Ekonomicky výhodné pro kusovou výrobu; vysoký modul pružnosti, možná konstrukce složitých tvarů; velké přechody tloušťek stěn a konstrukce žebrování	Horší obrobiteľnosť než u litiny, komplikovanější zaškrabávání; malé materiálové tlumení; větší vnitřní pnutí než u litiny a dražší odstranění vnitřního pnutí	

Tab. 5 Vláknové kompozity na bázi uhlíkových vláken [13].

Výhody	Nevýhody	Ukázka
Výborné hodnoty měrného modulu pružnosti; nízká nebo nulová teplotní roztažnost; vysoké hodnoty materiálového tlumení; možnost navrhnout díly s optimálně orientovanou tuhostí	Komplikované spojování s jinými částmi stroje; drahá výroba (složitě ruční vrstvení materiálů, vysoká cena použitých materiálů), omezená možnost zásahu u sestavené konstrukce	

Tab. 6 Přírodní žula (granit) [13].

Výhody	Nevýhody	Ukázka
Nulové vnitřní pnutí; materiálové tlumení na stejné úrovni jako je šedá litina; ideální rozměrová stálost	Drahá a komplikovaná výroba přesných dílů; nutnost broušení ploch; složité spojování s dalšími částmi stroje; omezené možnosti změny hotové konstrukce	

Tab. 7 Keramika na bázi $A_1\alpha S_i$ [13].

Výhody	Nevýhody	Ukázka
Minimální hodnota teplotní roztažnosti; ideální rozměrová stálost; možnost třískového obrábění u polotovarů	Komplikované spojování s jinými částmi stroje; drahá výroba, omezené rozměry dílů, vysoká hmotnost	


Tab. 8 Polymerní betony [13].

Výhody	Nevýhody	Ukázka
Ekonomicky výhodné pro větší série strojů; materiálové tlumení na stejné úrovni jako je šedá litina; lze konstruovat velice komplikované tvary strojů; možnost do dílů vložit elektrické fluidní rozvody a také ocelové inserty pro další obrobění	Drahá výroba (potřeba kovové formy); Složité a drahé spojení s dalšími částmi stroje; malá možnost zásahu do hotové konstrukce (není možné vyřezat závit nebo jednoduše vyvrtat díru); problematické obrábění, rámy se musí odlévat „na hotovo“	

Tab. 9 Vysokopevnostní beton HPC [13].

Výhody	Nevýhody	Ukázka
Nízká hodnota tepelné vodivosti; výborná schopnost materiálového tlumení; výroba komplikovaných tvarů během pokojové teploty; do betonu je možné zalévat různé vestavěné ocelové části	Neznalost techniků při návrhu konstrukce, neznalost výpočtů pevnosti; dlouhodobé neověření v praxi	

Tab. 10 Hybridní struktury a materiály [13].

Výhody	Nevýhody	Ukázka
Možnost získání určitých vlastností u konkrétních dílů v závislosti na jejich použití, např. tuhost, tlumení kmitů; nižší náklady během výroby (úspora drahých materiálů); občas nižší hmotnost	Drahý vývoj a výroba (vysoké nároky na konstruktéry); Nestandardní technologie výroby (potřeba kombinovat technologii přípravy a zpracování materiálů)	

Tuhost rámu

Nejdůležitější hlediska pro návrh rámu jsou deformace, pevnost a tuhost (statická, dynamická, teplotní) [3, 4].

- Statická tuhost – dělí se podle typů zatížení na tlakovou, tahovou, ohybovou a tuhost v krutu. Správně navržený rám CNC stroje přenáší jak ohybové, tak i krutové zatížení. Odolnost částí rámu (loží, stojanů, příčníků) je možné zvýšit účelným žebrováním [3, 4].
- Dynamická tuhost – je odolnost proti kmitání. Tento jev je velice nežádoucí, protože zvyšuje namáhání součástí, zhoršuje jakost obráběné plochy, snižuje trvanlivost nástrojů a způsobuje hluk. Vznik může být zapříčiněn negativními vlastnostmi stroje [3, 4].

Negativní vlastnosti stroje:

- Špatné vyvážení rotujících částí (vřetena, nástroje, obrobku, hřídelí, spojek, ozubených kol, rotoru elektromotoru apod.),
- setrvačné síly součástí, které vykonávají přímočarý nebo kruhový vratný pohyb nepřesnosti převodových mechanismů (házení ložisek, ozubených kol, apod.),
- nesymetričnost rotačních součástí (hřídele s drážkou), kdy se ukáže variabilní hodnota tuhosti a vznikne periodická deformace během otáčení,
- periodické síly, a to dané pohonem (zubová nebo pístová čerpadla) nebo vnější přenesené z okolí na stroj [3, 4].

Zásady přispívající k odstranění vynuceného kmitání:

- Rotující součásti je zapotřebí perfektně dynamicky vyvážit na speciálních strojích,
- zvýšení jakosti výroby ozubených kol, ložisek, dalších částí stroje a vylepšit jejich následnou montáž,
- snížením šířky záběru ostří nástroje se zmenší amplitudy vynuceného kmitání, ale za cenu zmenšeného výkonu,

- zvýšením tuhosti hlavních částí stroje má vliv na přírůstek frekvence vlastních kmitů technologické soustavy, a právě díky tomu se potlačí vliv budící síly, pakliže ji nelze odstranit,
- pokud se frézuje, využívá se frézovací hlavy s nestejnou roztečí zubů nebo torzní tlumič [3, 4].
- Teplotní tuhost – za chodu jsou obráběcí stroje vystavovány účinků několika zdrojů tepla, které v závislosti na čase a zatížení působí změny teploty dílčích uzlů stroje. Rušící vlivy působící na teplotní stabilitu obráběcích strojů je možné zařadit podle tab. 11 [3, 4].

Tab. 11 Rozdělení teplotních rušivých účinků [3].

Teplotní rušivé účinky	Vnitřní	Obráběcí proces	Nástroj, obrobek, chlazení, třísky
		Pohony (ztráty)	Motory, spojky, čerpadla, ložiska, hydraulika, převody, mazání
	Vnější	Tepelné záření	Topná tělesa a slunce
		Pohyb vzduchu	-
		Teplota okolí	-

Vylepšení teplotní tuhosti je možné dosáhnout následnými opatřeními:

- Odvod tepla
 - odvod tepla, které vzniká z převodů a ložisek,
 - dimenzování ploch pro lepší odvod tepla,
 - chlazení při řezném procesu,
 - opatření plynulého odvodu třísek z pracovního prostoru,
- kompenzace
 - použití materiálu, který obsahuje různé součinitele roztažnosti,
 - nahřátí některých částí stroje,
 - aktivní NC kompenzace teplotních deformací (použití teplotně stabilizačních zařízení, především pro velmi přesné a nákladné stroje),
- konstrukční opatření
 - zvětšení účinnosti veškerých prvků a uzlů,
 - položení zdrojů tepla mimo vnitřní prostor stroje, je-li to možné,
 - dodržování zásad symetričnosti konstrukce uzlů, které jsou vystaveny účinku oteplování,
 - správné zvolení dělicích uzlů tak, aby deformace v kritickém směru byly co nejmenší (směr deformace se musí zvolit ve směru tečny k obráběné ploše),

- klimatizace
 - kontrolování proudění vzduchu,
 - konstantní teplota v hale ($20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$),
 - clonění záření [3, 4].

1.5.2 Pohony

CNC obráběcí stroj obsahuje 2 druhy pohonů, a to buď pohony stroje nebo pohony posuvů [1, 2, 14].

a) Pohony stroje

Je nutné, aby hlavní pohon vřetena stroje zaručil plynulou změnu otáček při obrábění, vysoké zpomalení i zrychlení. Vřeteníky u obvyklých konvenčních strojů mohou docílit $6\ 000$ až $8\ 000\ \text{min}^{-1}$ nebo $10\ 000$ až $12\ 000\ \text{min}^{-1}$. Elektrovřetena a vřetena s vlastním pohonem mohou docílit až $20\ 000\ \text{min}^{-1}$. Z důvodu řešení ložisek, jejich mazání a chlazení se montují snímače teploty, zatížení ložisek a chvění [1, 2, 14].

Funkcí vřetena je zajistit nástroji (v případě frézky, vrtačky, brusky) nebo obrobku (v případě soustruhů) přesný rotační pohyb (takový, při kterém se dráhy dílčích bodů obrobků nebo nástroje odlišují od kružnice pouze v náležitých mezích. U CNC obráběcích strojů je vřeteno vloženo z 99 % do valivých ložisek [3, 4].

U obráběcích center vřeteno hraje velice důležitou roli, proto jsou na jejich konstrukci vynaloženy náročné požadavky:

- Perfektní vedení – poloha vřetena nesmí být v prostoru změněna,
- vysoká přesnost provozu – musí být určena velikost axiálního a radiálního házení,
- ztráty v uložení vřetena musí dosáhnout co nejmenších hodnot,
- musí jít definovat vůli vzniklou opotřebením v uložení vřetena,
- vřeteno musí být tuhé – jeho přesnost provozu a deformace má hlavní vliv na přesnost práce obráběcího stroje,
- dlouholetá provozní spolehlivost a životnost [3, 4].

Při valivém uložení vřetena CNC obráběcího centra se musí dodržet postup šesti opatření podle tab. 12 [3, 4].

Tab. 12 Postup opatření při valivém uložení vřetena [3].

1.	Druh ložisek a jejich uspořádání	Stanoví se druh ložiska a jeho uspořádání vzhledem k provozním podmínkám
2.	Rozměry ložisek	Vypočítá se životnost a ekvivalent dynamického namáhání
3.	Třídy přesnosti ložisek	Vybere se třída přesnosti vzhledem k požadované přesnosti
4.	Uložení ložisek a druh klecí	Určení předpětí, lícování, druh materiálu klece a tuhost ložiska
5.	Mazání	Podle provozních podmínek se stanoví druh mazání
6.	Montáž a demontáž	Posoudí se metoda montáže a demontáže

b) Pohony posuvů

V současné době se používají při stavění obráběcích strojů pro realizaci posuvu elektromechanické posuvové soustavy nebo náhony lineárními servomotory [3, 4].

Elektromechanické posuvové soustavy – se skládají z elektrického servomotoru připojeného na hřídel kuličkového šroubu. Obsahují elektromotor, výkonový polovodičový měnič pro napájení a ovládání motoru a regulátor pro ovládání polohy, přesněji řečeno otáček. Obvykle bývají jedním z prvků motoru podle typu použitého doměřování snímače rychlosti, případně polohy. Složení soustavy:

Konstrukční členy na hřídeli

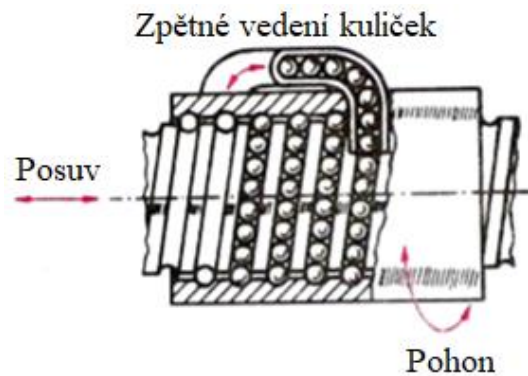
Řemeny, které se využívají u CNC obráběcích center jsou klínové a synchronní. Bývají vyztuženy ocelovými nebo skleněnými vlákny. Řemenice synchronních řemenů obsahují bočnice z lisovaného ocelového plechu a mají vyhnutý náběh (okolo 15°). Obvykle se upevňují za pomoci kuželových svěrných pouzder. U CNC obráběcích center se používají speciální mechanické převodovky cykloidní, excentrické a vlnové [3, 4].

Kuličkový šroub a matice

Frekvenčně řízené pohony na střídavý proud se uplatňují stále častěji. Mají mnohem menší poruchovost než motory stejnosměrné. Nejvíce se využívají kuličkové šrouby (obr. 4), které poskytují požadovanou přesnost stroji do velikosti mikronů. Mají na starost přesný a rychlý pohyb bez vůle s co nejmenším třením. U CNC obráběcích center přímočarý pohyb může být buď hlavním posuvným řezným pohybem nebo pomocným pohybem. Je-li použit náhon kuličkového šroubu a matice, tak způsobuje motor otáčivý pohyb, který je transformován přes kuličkový šroub na přímočarý pohyb. Existují dva typy provedení. První je, že šroub rotuje a matice stojí a druhý typ provedení je, že rotuje matice a šroub stojí. Někdy se využívají oba případy. V závitech mezi šroubem a maticí obíhají kuličky. Šroub a matice jsou z oceli, povrchy závitů bývají kalené a broušené. Závit se vyrábějí s vysokou přesností. Mezi hlavní přednosti kuličkového šroubu a matice patří vysoká účinnost, možnost kompletního odstranění vůle a možnost vytvoření předpětí (velmi vysoká přesnost a tuhost), minimální oteplování během chodu, malé opotřebení a s tím spjatá vysoká životnost, potlačení zrodu trhavých pohybů nebo možnost převodu přímočarého pohybu na rotační. Pro nynější neustále se zvětšující rychlosti posuvů přidělují výrobci do strojů kuličkové šrouby s velkým stoupáním a šrouby s více chody [1, 2, 3, 4, 14].

Hlavní konstrukční zásady pro uložení pohybového šroubu:

- Nejprve volit ložiska s přímkovým stykem (válečková, jehlová),
- snížit na co nejmenší možnou míru počet opěrných, vložených kroužků, protože každá styčná plocha zmenšuje tuhost,
- dosedací a připojovací plochy by měly být opracovány s velmi vysokou jakostí povrchu,
- je žádoucí předepnout dílčí ložiska,
- každý člen uložení má mít maximální tuhost [3, 4].



Obr. 4 Kuličkový šroub s maticí [14].

Pastorek a hřeben

Použití posuvových šroubů pro pohony posuvů CNC pracovních stolů s dlouhými zdvihy není vhodné (vysoké otáčky, tuhost). Zde se vyplatí princip pohonu ozubeným hřebenem a pastorkem. Proti šroubu a matici má nižší převod, nižší tuhost a vyšší účinnost [3, 4].

Šnek a šnekový hřeben

Princip hydrostatického šnekového hřebenu se často používá pro posuvové soustavy s vysokou hodnotou převodu. Žádoucí oblast využití je hlavně u velkých obráběcích strojů pro pohon posuvů pracovních stolů jako například u portálových frézek. Hlavní výhody jsou vysoká tuhost a co nejmenší možná míra tření [3, 4].

Lineární motor – technologické aplikace současné doby používané na CNC obráběcích centrech se pohybují mezi dvěma krajními hodnotami, vysokorychlostní obrábění HSC a výkonné obrábění HPC. Jako pohonná soustava pro HPC se používá náhon lineárních souřadnic s kuličkovým šroubem, pro HSC zase lineární motor (obr. 5) [3, 4].



Obr. 5 Válcový lineární motor [15].

Vedení CNC obráběcích strojů – mohou být buď kluzná nebo valivá a přímočará. Kluzná se používají podle třecích poměrů na hydrodynamické otevřené a hydrostatické otevřené, uzavřené servostatické. Vodicí plochy se dělí na prizmatickou, válcovou, plochou nebo rybinovou. U valivých a přímočarých se s ohledem na požadavky CNC obráběcích center zvedají nároky na perfektní plynulost posuvových pohybů [3, 4].

Výhody:

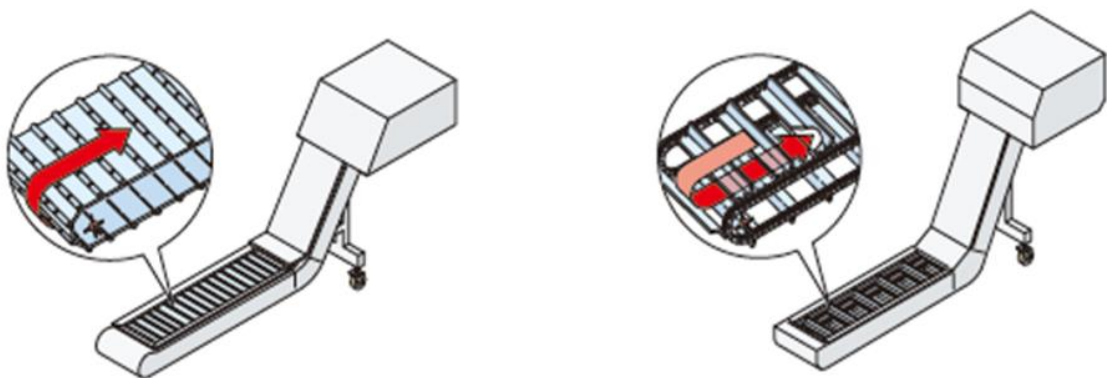
- Menší součinitel tření,
- co nejmenší možná míra opotřebení a v závislosti na tom dlouhá životnost,
- možnost definování vůle a předepnutí,
- vysoká přesnost pohybu i při malých rychlostech [3, 4].

Nevýhody:

- Náročnost na přesnost výroby a v závislosti na tom často vyšší cena,
- větší rozměry než kluzná vedení,
- hůře tlumí chvění [3, 4].

1.5.3 Odvod třísek a uložení obráběcího stroje

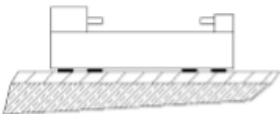
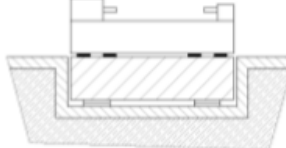
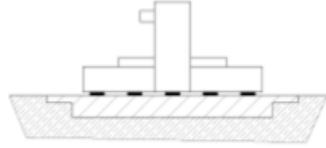
Stroje, které pracují v automatickém cyklu musí mít zajištěn plynulý a automatický odvod třísek z pracovního prostoru. Především u výkonných, velkých hrubovacích a produkčních strojů se musí vzít ohled na odstranění třísek. Správný odvod třísek od stroje se musí řešit nejen s ohledem na zabránění deformaci částí obráběcích center, vystavených sálavému teplu nebo přímému styku s horkými třískami (možný vznik teplotní dilatace stroje a obrobku, která může ovlivnit výslednou přesnost výroby), ale také z provozně bezpečnostních důvodů při nahromadění velkého množství odvedených třísek od nástroje, hlavně v oblasti pracoviště. Nejlepší způsob je, pokud stroj umožňuje gravitační odvod třísek. Při tomhle řešení se musí dbát na to, aby každá plocha, na kterou dopadá tříska měla úhel sklonu alespoň 50 %. Jestliže to nelze provést, musí se využít splachování a odplavování třísek, avšak odplavování třísek (z úspory místa) u obráběcích strojů se řeší špatně, a právě proto se používají různé typy dopravníků pomocí kterých se docílí plynulého odvodu třísek mimo vlastní stroj. Obvykle se používají článkové a hrablové třískové dopravníky (obr. 6). Podle druhu obráběného materiálu a podle typu třísek se volí správný typ dopravníku. Článkové dopravníky se používají pro přepravování velkého množství třísek a jsou vyhovující především pro přepravu dlouhých třísek. Hrablové dopravníky se zase používají k přepravě drobných třísek, které jsou za pomoci hrabel stírány ze dna dopravníku a odváděny ven. Pro snížení objemu třísek se používají drtiče odpadu namontované na konci dopravníků [1, 3, 4, 11, 16].



Obr. 6 Článkový a hrablový dopravník [17].

Uložení obráběcích center na základ vede ke zvýšení tuhosti stroje. Tuhé spojení základu a stroje zvedne celkovou tuhost několikanásobně. Správné uložení stroje na základ záleží na typu stroje a požadavků na jeho přesnost a tuhost. V praxi se používá několik druhů uložení, jak lze vidět v tab. 13 [3, 4].

Tab. 13 Možnosti uložení obráběcího stroje [3].

Typ uložení stroje na základ			
Použití	Volné ustavení na základové desce nebo podlaze	Uložení na samostatném izolovaném základě	Uložení na samostatném základě
Oblast využití	Malé (lehké) stroje	Přesné obráběcí stroje	Střední a velké obráběcí stroje
Tuhost obráběcích o stroje	Dobrá vlastní tuhost (samonosný rám)	Nízká celková tuhost rámu (nesamonosný rám)	Nízká celková tuhost rámu (nesamonosný rám)
Význam ovládacích prvků	Ustavení stroje + tlumení	Tlumení + ustavení stroje + tuhé spojení se základem	Ustavení stroje + tuhé spojení se základem

1.5.4 Krytování stroje

Kvůli bezpečnosti práce a s ohledem na hygienu bývá pracovní prostor uzavřený. Ochranné kryty se používají pro ochranu obsluhy stroje proti odletujícím třískám, pohybujícím se částem stroje a odstříku procesní kapaliny. Pohyblivé části ochranných krytů obsahují elektronické bloky pro případ lidské chyby (nezavření dvířek). Existují dva typy krytů, a to buď vnitřní (oddělují pohyblivé mechanismy od pracovního prostoru) nebo vnější (tvoří rozhraní mezi vnějším prostorem a pracovním okolím). Vnější ochranné kryty bývají obvykle vybaveny protihlukovou výplní. U čelních dveří je nutnost mít průhledné okno z bezpečnostního materiálu, aby dokázal zachytit odletující části. Dvířka se používají pro vstup do pracovního prostoru. Kvůli zvýšení bezpečnosti práce mají moderní ochranné dveře lišty, které při sevření předmětu (například ruky) ihned způsobí pootevření dvířek. Jestliže jsou dvířka pootevřená, stroj nemůže být spuštěn. Jestliže chce obsluha stroje ochranné dveře otevřít, většinou musí stlačit bezpečnostní tlačítko. Prostor obrábění má kryty z každé strany. Velmi důležité je krytování vrchní části stroje, protože zabraňuje rozšíření škodlivých emisí prachu a kapalin do okolního prostoru. Emise jsou z pracovního prostoru odsávány za pomoci odsávacích zařízení. Případná kapalina je obvykle svedena do okruhu procesní kapaliny [1, 2, 11].

1.6 Rozdělení CNC strojů

CNC stroje se rozdělují podle několika kritérií. Mimo níže zmíněného rozdělení mohou nastat různé kombinace jako například jednoprofesní CNC frézka se sériovou kinematikou pro vysokorychlostní obrábění [2, 11].

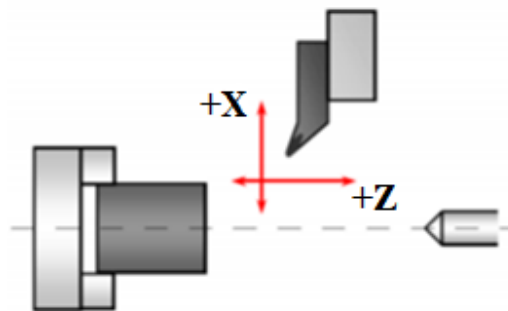
1.6.1 Dělení na základě technologických operací

CNC obráběcí stroje se řadí do dvou hlavních skupin, a to buď obráběcí stroje jednoprofesní, které jsou určeny pro jeden druh operace (patří mezi ně stroje, které mohou na obrobku provést při jednom upnutí jen jeden typ operace jako je například soustružení, vrtání, frézování, apod.) nebo číslicově řízené stroje víceprofesní, které jsou určeny pro několik typů operací při jednom upnutí a právě tyto stroje se obvykle označují za obráběcí centra [2, 10].

1.6.2 Dělení na základě počtu současně řízených os

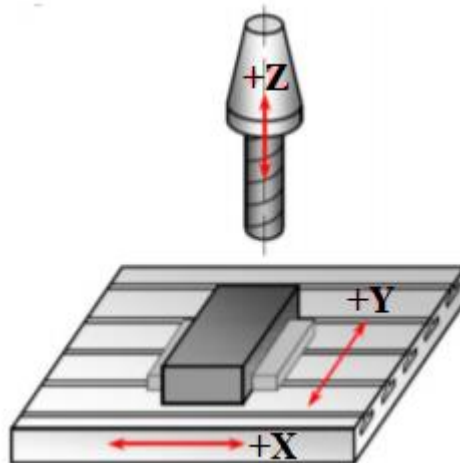
CNC stroje se mohou dělit i podle počtu současně řízených os na:

- Jednoosé obrábění (1D) – patří sem stroje, které konají pohyb pouze ve směru jedné osy, využívá se například u vrtaček [2, 18],
- dvouosé obrábění (2D) – patří sem stroje, které konají základní otáčivý pohyb za pomoci sklíčidla a jejich support se pohybuje ve směru X a Z (obr. 7). V případě frézky se jedná o tzv. 2,5D obrábění. Protože najíždí na šířku záběru ostří nástroje (osa Z) a následně frézuje v osách X a Y [2, 12, 18],



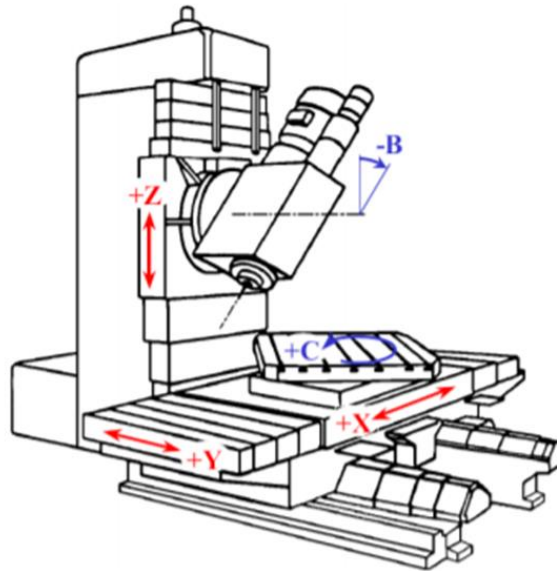
Obr. 7 Zobrazení os – CNC soustruh [19].

- tříosé obrábění (3D) – patří sem stroje, jejichž nástroj koná pohyb rotační a pohyblivý stůl může konat pohyb ve třech osách (X, Y, Z). Do tříosého obrábění se řadí hlavně frézky (obr. 8), které mohou frézovat obrobky různých tvarů [2, 12],



Obr. 8 Zobrazení os – CNC frézka [19].

- pětiosé obrábění (5D) – skládá se ze tří standardně situovaných os (X, Y, Z), které umožňují pohyb. Aby byla možná rotace kolem os X a Y, tak musí být správně umístěny další dvě osy. Na obr. 9 lze vidět pětiosé obráběcí centrum [2, 12].



Obr. 9 Pětiosé vertikální frézovací centrum [19].

1.6.3 Dělení na základě typu operace

CNC stroje lze dělit podle typu operace na:

- Soustružnické,
- frézovací,
- vrtací a závitovací,
- vyvrtávací,
- brousicí,
- ozubárenské [2, 13].

1.6.4 Dělení na základě odebrání třísek

CNC stroje se dělí také podle technologie odebrání třísek na:

- Vysokorychlostní (HSC),
- vysokovýkonné (HPC),
- suché,
- obvyklé [13].

1.7 Automatizované výrobní systémy

Automatizace výroby je proces, který má dosáhnout zvýšení produktivity a kvality výroby, rovněž má také vyřadit lidi z přímých obslužných činností ve výrobě. Automatizované výrobní systémy obsahují jeden nebo více technologických pracovišť,

kteří mají všechny hmotné a informační toky automatizované a tvoří jednotnou soustavu. Existují čtyři typy pracovišť:

- Pružná výrobní buňka – tvoří jedno, nanejvýš tři technologická pracoviště, obvykle typu obráběcích strojů, která bývají propojena automatickou mezioperační manipulací s díly. Na obr. 10 lze vidět obráběcí stroj od firmy Mazak,
- pružná výrobní soustava – bývá tvořena velkým počtem technologických pracovišť, především obráběcích strojů vzájemně propojených mezioperační dopravou dílů a pomůcek. Slouží pro větší objemy dílů, obvykle s menším počtem druhů,
- pružná výrobní linka – strukturu tvoří hlavně několikavřetenové obráběcí stroje doplněné dalšími druhy jednovřetenových obráběcích strojů nebo jednoúčelových strojů. Používá se v oblasti středně sériové výroby s opakovaně zadávanými díly o menším sortimentu,
- tvrdá automatická linka – její struktura je hlavně realizována stanicemi tvořenými jednoúčelovými stroji, které bývají propojeny dopravou obrobků obvykle s technologicky vázaným taktem. Slouží pro pole velkosériových výrob, kde bývá jejich nasazení obvykle velice efektivní [3, 4].



Obr. 10 Robotizovaná buňka Mazak e-BOT [20].

1.7 Mechatronika v konstrukci CNC obráběcích strojů

Termín mechatronika byl vymyšlen pro označení prvků/komponent, které mají funkce rozšířené implementací elektroniky a počítačového ovládání. Kvůli zvýšení rychlosti zpracování informace se ve strojírenství čím dál více používá integrace technických systémů. Mechatronické systémy jsou rozšířením mechanického systému prostorovou či funkční integrací senzorů a aktuátorů a použitím řídicích systémů. Je nutné rozeznat následující systémové stupně:

- Mechatronické komponenty výrobního stroje – obsahují pohony posuvů a hlavní pohony,
- integrace pomocných mechatronických komponent do základních komponent výrobního stroje – účelem je potlačit nesprávnou funkci stroje autonomními komponenty, které buď působí přímo jako pomocné aktuátory ke kompenzaci geometrických chyb poblíž zdroji poruchy nebo je účelem vylepšit chování komponent základní konstrukce výrobního stroje pro potřeby řídicího systému vyššího stupně,
- mechatronický systém výrobního stroje – pole aplikací, pro které je to vyhovující, je kalibrace strojů nebo odstranění kvazistatických zdrojů chyb jako například tepelných dilatací.

Rozvržení funkčnosti:

- Vyrobit jednoduše ovladatelné moduly s autonomní funkčností s co nejsnadnějším rozhraním,
- co nejvíc využít dané řídicí jednotky a senzory, aby se zamezilo zanesení poruch z jiných prvků,
- pracovat v minimální vzdálenosti od polohy, kde je počátek k akčnímu zásahu [3, 4].

1.8 Výhody a nevýhody CNC obráběcích center

Mezi výhody obráběcích center patří:

- Produktivnější a hospodárnější výroba,
- je možné kdykoliv uložit, přepsat, změnit nebo jen upravit výrobní program,
- poskytují výrobu dílů, které mají tvar zadán za pomoci matematických funkcí,
- zlepšení kvality výrobků díky zmenšení chyb a nepřesností zapříčiněné výrobními pracovníky,
- poskytují rychlé zavádění nových druhů strojů do výroby,
- výrobní čas je předem určen programem, a proto nezáleží na obsluze, takže je možné naplánovat celou výrobu [2, 11].

Mezi nevýhody obráběcích center patří:

- Vyšší míra jak investičních výdajů, tak servisních výdajů,
- užívání dokonalejších nástrojů i náradí,
- pracovníci musí mít vyšší kvalifikaci v oblasti programování, výroby, servisu, údržby a seřizování [2, 11].

1.9 Upínání a výměna nástrojů

V případě soustružení se musí upínat několik nástrojů pro obrábění. Především jde o nástroje, které se používají na obrábění vnějších ploch a o nástroje pro obrábění kovu.

V případě CNC obráběcích center bývají nástroje měřeny a následně seřizeny kvůli zadání jejich hodnot do korekcí mimo svůj stroj na specializovaném pracovišti [2, 10, 21].

1.9.1 Revolverové hlavy

V současné době jsou revolverové hlavy nejvíce používaným typem upínání nástrojů u CNC obráběcích center, jelikož v revolverové hlavě jsou nástroje pevně upnuty (obr. 11). Výměna nástroje bývá vykonávána za pomoci programu. Do zvolené polohy bývá natočením začleněn do zvoleného procesu zvolený nástroj. Revolverová hlava má tvar „n-bokého“ hranolu, v závislosti na počtu nástrojů [2, 11, 21].

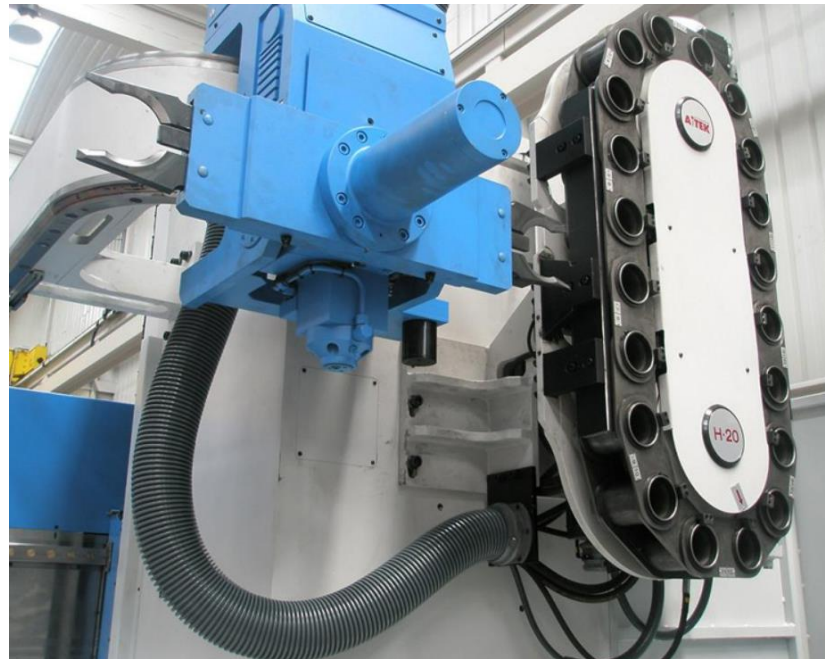


Obr. 11 Příklad revolverové hlavy [22].

1.9.2 Zásobníky nástrojů

Oproti revolverovým hlavám obsahují zásobníky nástrojů vyšší kapacitu. Mohou taky obsahovat zařízení na hlídání životnosti, odhalení opotřebení i poškození nástrojů. Podle řešení stroje a podle kapacity se rozdělují na:

- Zásobník kruhový – patří do kategorie zásobníků s malou kapacitou. Tento zásobník obsahuje kolem dvaceti úložných míst. Největší předností jeho konstrukce jsou malé stavební rozměry, a především jeho jednoduchost,
- zásobník řetězový (obr. 12) – patří do kategorie hodně používaných zásobníků, jelikož mezi jeho předností patří upnutí velkého počtu nástrojů (až 100 kusů) a příznivé využití prostoru (možnost přizpůsobení stavebních rozměrů prostorovým podmínkám stroje),
- zásobník hvězdicový – jeho osa nástroje je kolmá nebo šikmá k ose rotace zásobníku. Nežádoucí jsou především větší rozměry vnějšího průměru,
- zásobník velkokapacitní – používá se pro velké množství nástrojů za docela malých rozměrů zásobníku. Nežádoucí je ale komplikovanější manipulační cyklus mezi připravovanou polohou pro výměnu nástroje a úložnými místy v zásobníku,
- zásobníky centrální – slouží jako zásobníky pro několik strojů. Centrální zásobník nástrojů má dvě oblasti, kde v první oblasti bývají umístěny nové nástroje a ve druhé oblasti opotřebované. Obsluha stroje pak ihned pozná, které nástroje potřebují výměnu [2, 11, 23].



Obr. 12 Řetězový zásobník nástrojů [54].

1.10 Upínání obrobků

Správné upnutí obrobku musí zaručit pro všechny obráběné díly stejnou polohu. Musí být dostatečně pevné, a přitom nesmí docházet k deformacím obrobku. Je nutné, aby upnutí obrobku bylo provedeno rychle. V případě CNC obráběcích center se upínání vykonává za pomoci kódových příkazů M. V automatizované výrobě je možné se s ručním upínáním díky požadované produktivitě práce setkat jen velmi málo. Při soustružení se pro upínání obrobků rotačních součástí nejvíce používá upnutí do sklíčidla (obr. 13), sklíčidla a hrotu nebo upínání do kleštiny, a naopak v případě nerotačních součástí se pro upínání používají lícní desky nebo magnetické desky [1, 2].



Obr. 13 Sklíčidlo [27].

Upnutí do sklíčidla lze provést za vnější plochu, ale i vnitřní plochu. Obvykle bývá ovládané hydraulicky a obsahuje sadu tvrdých a měkkých čelistí. Pro upnutí tyčí s taženými, broušenými nebo loupanými povrchy se používá upínání do kleštiny (obr. 14). Součástí

upínače jsou upínací kleštiny, a právě ty slouží pro upínání kruhového čtyřhranného a šestihranného materiálu. Potom lze upínat dlouhé tyče za pomoci hrotu a čelního unašeče [1, 2, 16].



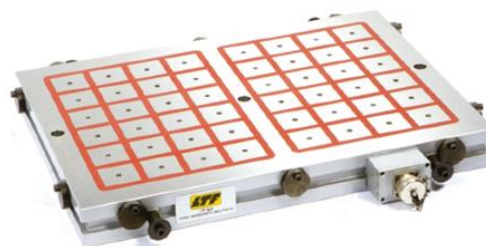
Obr. 14 Kleštiny [26].

Lící desky (obr. 15) mají proti univerzálnímu sklíčidlu jiný tvar, velikost, konstrukci a taky rozdílný rozsah použití. Do lící desky lze upínat nerotační součásti a excentrické součásti. Všechny čelisti se pohybují samostatně, drážky se používají pro upínky a protizávaží. Velkou nevýhodou lícních desek je potřeba vyvažování z důvodu házení [1, 2].



Obr. 15 Lící deska [28].

Mezi speciální upínací zařízení patří elektro-permanentní upínací deska (obr. 16), která poskytuje rychlé upnutí a obrábění z pěti stran, avšak nevýhodou je, že lze obrábět pouze magnetické materiály [1, 2, 24].



Obr. 16 Elektro-permanentní magnetická deska [29].

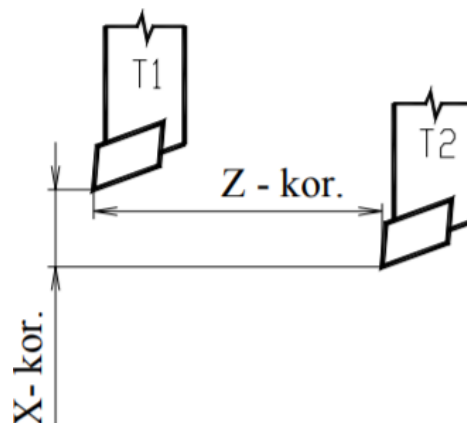
1.11 Korekce nástrojů

Korekce nástrojů lze zjistit předem přímo na stroji, avšak tahle metoda nedosahuje vysoké přesnosti, a proto se většinou odečítá korekce mimo stroj v seřizovacích zařízeních. Vykonává se tzv. „naškrábnutím“ obrobené plochy. Na místo se musí přijet dalším nástrojem a tím se odhalí odchylky od původního korekčního nástroje. Existují dva typy korekce [1, 2, 4, 14, 21]:

1.11.1 Korekce délkové

Zohledňují se délkové vzdálenosti. Velikost korekce je vztažena k nulovému bodu výměny nástroje (nástrojů s držákem). Je nutné, aby nalezené délky dílčích souřadnic znal řídicí systém, ten podle těchto údajů koriguje dráhu nástroje, kterou zapsal programátor. Při špatném seřizení korekcí nástroje může dojít od výroby neshodného kusu až po havárii stroje. Na obr. 17 jsou znázorněny délkové korekce na nástroji. Jsou dvě možnosti uložení zjištěných korekcí:

- Do tabulky korekcí, kde nejvíce používaný způsob má tvar T1D1 (T1 značí nástroj na pozici jedna, D1 značí korekce nástroje, stejně to platí i pro jiné značení nástrojů T2D2 apod.). Pokud to umožňuje řídicí systém, tak se zapisují pod stejným značením D i korekce rádiusové (poloměrové) a poloha nástroje kvůli obráběné ploše. Již se implementují čipy do nástrojů, které si automatizovaně zapisují z měřicího přístroje informace, jež jsou zapotřebí pro práci se zvoleným nástrojem. Zapsané informace jsou nástrojem po umístění přeneseny do řídicího systému,
- další možností korekce je přímo na stroji, kde je umístěn dotek a za pomoci ovládní v ručním režimu na něj operátor najede. Po styku nástroje s místem doteku se automaticky zapíší hodnoty do paměti ke zvolenému nástroji [1, 2, 4, 14, 21].

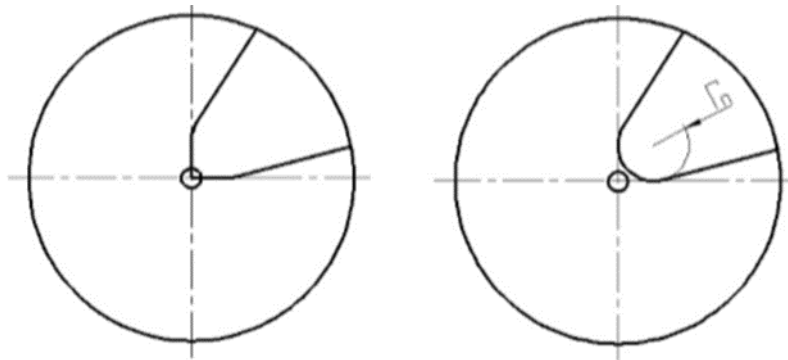


Obr. 17 Měření délkových korekcí nástroje na soustruhu [34].

1.11.2 Korekce rádiusové

Rádiusové neboli poloměrové korekce se zjišťují u každého nástroje. U základních strojů, které neobsahují v řídicím systému funkce G40, G41, G42, není možné použít rádiusové korekce (je možné vypočítat ručně ekvidistantu, ta koriguje dráhu nástroje a do programu se může zadat ručně). Na obr. 18 lze vidět rozdíl mezi teoretickou a skutečnou špičkou nástroje. Soustružnický nástroj má vždy zaoblenou špičku. Vyrobena geometrie kontury se bude lišit od zadané, pokud se nebude počítat právě s velikostí zaoblení špičky

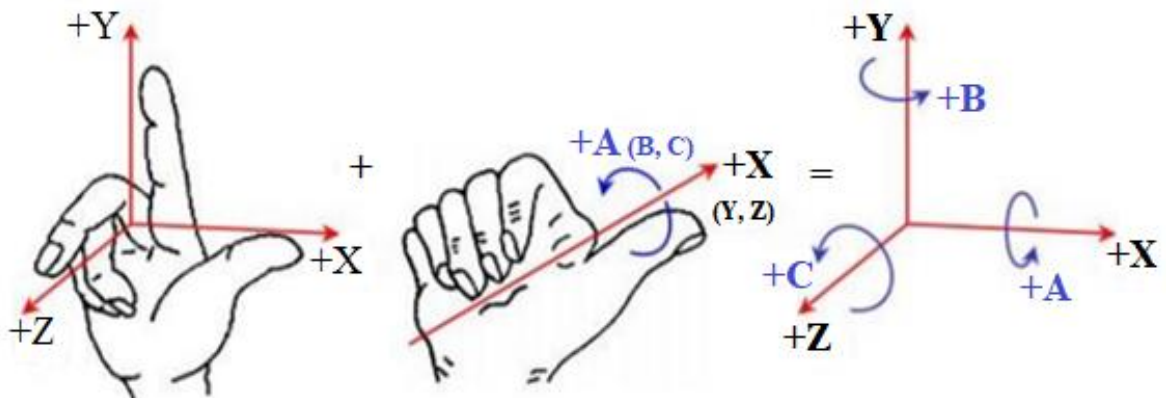
nástroje. Během soustružení bod na rádiu tvoří konturu obrobku. Aby se dosáhlo požadované geometrické přesnosti, je nutné provést korekční výpočty. Ruční výpočty jsou velice pracné, a právě proto je řeší software v NC programu. Funkce G41 a G42 spouští matematický výpočet ekvidistanty, která je vzdálená o poloměr rádiu od zadané geometricky vhodné kontury. Po téhle ekvidistantě se hýbe střed rádiu špičky nástroje. Z toho vyplývá, že střed rádiu nože se hýbe po ekvidistantě, která je odlišná od zadaného NC programu. Velikost rádiu nástroje se zjistí za pomoci mikroskopu. Hodnoty rádiu se zadávají dohromady s délkovými korekcemi do nástrojové tabulky [1, 2, 4, 14, 21].



Obr. 18 Teoretická a skutečná špička nástroje [21].

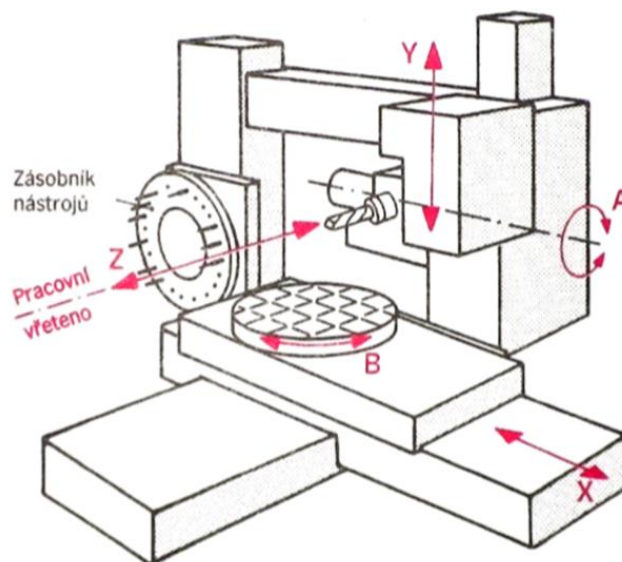
1.12 Souřadnicový systém CNC obráběcího stroje

U CNC obráběcích center je využíván hlavně kartézský systém souřadnic. Celý systém je pravotočivý s pravými úhly a obsahuje osy X, Y, Z. Rotační pohyby, které jsou rovnoběžné s osami X, Y, Z, jsou označovány A, B, C (obr. 19). Osa Z je rovnoběžná s osou pracovního vřetene, zatímco kladný směr postupuje od obrobku k nástroji. Označení dílčích os lze vykonat za pomoci pravidla pravé ruky, kde prsty ukazují kladný směr dané osy (rovněž na obr. 19). Kartézský souřadnicový systém hraje velkou roli při řízení celého stroje, protože nástroje se uvnitř pohybují buď na základě zadaných příkazů z řídicího panelu CNC obráběcího stroje nebo na základě příkazů zahájených v NC programu. Na základě potřeb je možné souřadnicový systém v programu otáčet a posouvat. Je potřebný pro správné měření nástrojů. Při zjišťování korekcí nástrojů bývá souřadnicový systém položen v bodě, kde dochází k výměně nástroje nebo na špičce nástroje [1, 2, 6, 14, 30].



Obr. 19 Definování kartézských souřadnic a pravotočivá soustava [30].

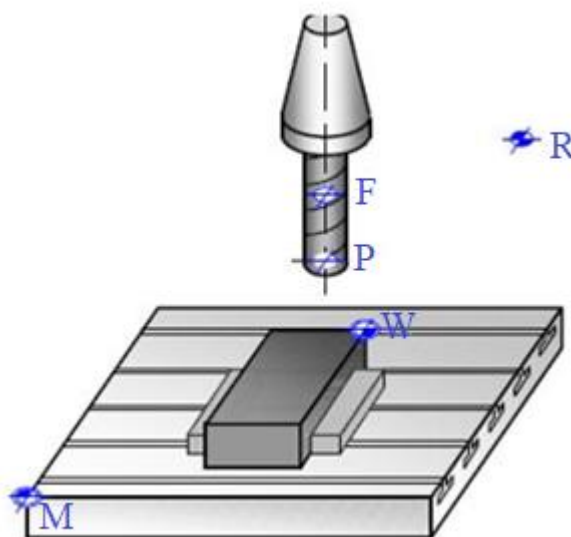
Jestliže stroj obsahuje více vřeten nebo natáčivé vřeteno, pak se volí pro určení osy Z taková poloha, při které bude tato osa kolmá na plochu upínání obrobku. V případě výroby složitých tvarových dílů bývají nutné doplňkové přímočaré a rotační pohyby (obr. 20). Písmena jsou řazena abecedně. Směry os otáčení si lze představit šroubováním pravého šroubu ve směru náležející osy [1, 2, 6, 14, 30].



Obr. 20 Obráběcí centrum s hlavními a rotačními osami [14].

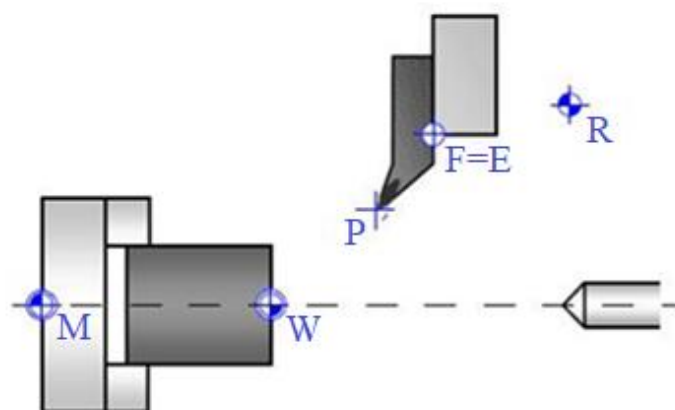
1.13 Nulové a jiné vztahné body na CNC obráběcích centrech

Souřadnicový systém řídicího systému CNC obráběcího centra je uveden v činnost okamžitě po zapnutí stroje. Všechny souřadnicové systémy mají vlastní počátek neboli nulový bod, který je nutno přesně definovat. Všechny nulové body mají na základě použití své názvy. V případě frézky jsou nulové a vztahné body znázorněny na obr. 21 a v případě soustruhu na obr. 22. Základní typy nulových bodů jsou [1, 2, 33]:



Obr. 21 Rozmístění vztahných bodů na CNC frézce [19].

- **M (nulový bod stroje)** – bod je definován výrobcem. Tento bod je počáteční pro všechny souřadnicové systémy. Z pohledu programátora je tenhle bod pevně definován a nemůže se měnit. Bod však lze posouvat do vybrané polohy. V případě soustruhů se nulový bod M nachází v ose rotace obrobku v poloze čela vřetene. V případě frézky bývá tento bod položen v poloze na kraji stolu frézky v obou osách,
- **R (referenční bod stroje)** – bod je definován výrobcem. Nachází se v pracovním prostoru stroje, vzdálenosti s nulovým bodem jsou uloženy v paměti řídicího systému. Obstarávají přesné nastavení odměřovacího systému obráběcího stroje a eliminuje možné chyby. Realizace referenčního bodu bývá za pomoci koncových spínačů, ovšem v moderních strojích, které již využívají absolutní odměření polohy, se nepoužívají. Pro správný chod stroje se musí provést dvě věci, které souvisí s bodem R a to:
 - **aktivace referenčního bodu** – dojde ke spojení mechanické a výpočetní části stroje,
 - **najetí na referenční bod** – začíná spojení odměřovacího zařízení s řídicím systémem stroje,
- **W (nulový bod obrobku)** – tento bod si určuje sám programátor v poloze obrobku, od něj pak následně počítá tvar zadané součásti. Tento počátek souřadnic lze měnit dle potřeby. Jestliže jsou díly tvarově souměrné, bod W se většinou pokládá na osu souměrnosti, eventuálně na vrchní ploše polotovaru. Pro nastavení slouží náležitá G funkce,
- **F (vztažný bod suportu nebo vřetene)** – je bod výměny nástroje a nachází se na upínací nebo dosedací ploše nosiče nástroje. Nástroj má v bodě F nulové hodnoty, proto se jeho skutečná dráha koriguje za pomoci délkových korekcí,
- **E (bod nastavení nástroje)** – posledním důležitým bodem je bod nastavení nástroje. Tento bod se na držáku nástroje po upnutí ztotožní s bodem F a používá se pro externí zjištění korekcí nástroje,
- **P (bod špičky nástroje)** – charakteristický bod pro různé druhy nástrojů. V případě soustružnického nástroje leží na teoretické špičce nože a u rotačních nástrojů (fréza) leží na čelní ploše v ose rotace nástroje [1, 2, 19, 31, 32, 33].



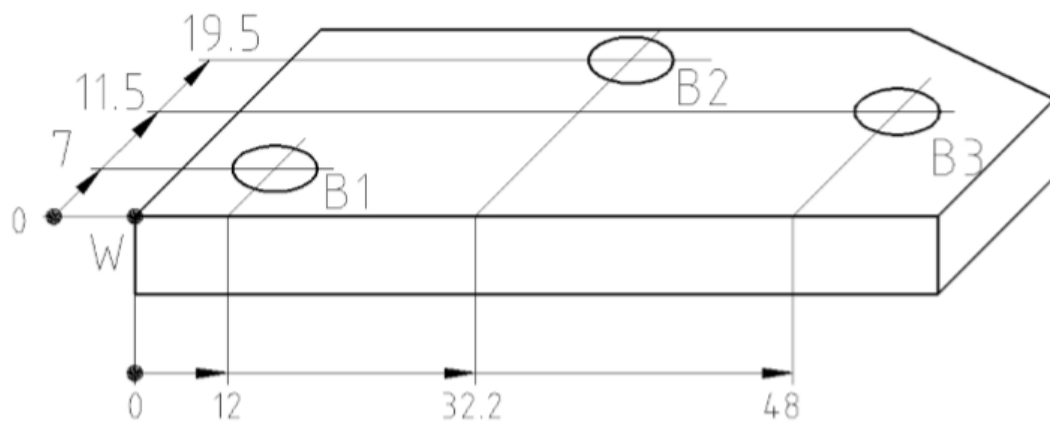
Obr. 22 Rozmístění vztažných bodů na CNC soustruhu [19].

1.14 Typy programování

Na CNC obráběcím centru je možné programovat absolutně nebo inkrementálně (přírůstkově), avšak nejrozšířenější je programování absolutní, proto se tedy očekává, že ho stroj, přesněji jeho řídicí systém, bude mít přednastavené, i tak se ale doporučuje na začátku programu přiřadit náležitou funkci [2, 21].

1.14.1 Absolutní programování

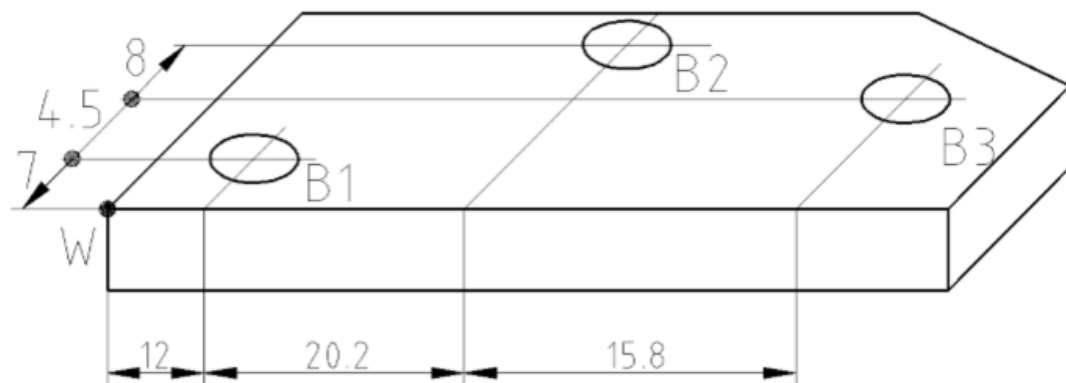
Všechny programované rozměry bývají vztaženy k bodu W (nulový bod), jak je vyobrazeno na obr. 23. V průběhu programování je ze souřadnic patrná poloha daného bodu dílu. Během kontroly lze ihned najít hledaný rozměr. V ISO kódech má zápis funkcí G90 [2, 21, 35, 36].



Obr. 23 Součást s absolutními rozměry [14].

1.14.2 Inkrementální programování

Rovněž se označuje jako relativní nebo přírůstkové programování. Rozměr bývá uváděn jako patřičný přírůstek s ohledem na předchozí polohu nástroje (obr. 24). Během kontroly se musí prohlédnout celý program až po hledaný rozměr. Při přírůstkovém programování hrozí riziko součtu chyb a z toho důvodu se častěji programuje v absolutních souřadnicích. V ISO kódech má zápis funkcí G91 [2, 21, 35, 36].



Obr. 24 Součást s inkrementálními rozměry [14].

1.15 Směry vývoje CNC strojů

Většina výrobců a dodavatelů se snaží jít směrem zdokonalení technologií CNC obrábění kvůli snížení nákladů, ekologického odpadu, zvyšování produktivity. Proto se klade největší důraz na zvýšení přesnosti obrábění, zkrácení výrobních časů, robotizaci výroby a novější řídicí systémy. Na trhu se začínají ukazovat systémy, které dokážou omezit vliv vibrační nástroje na povrchu obrobku. Snaží se docílit co nejlepšího chlazení pracovního prostoru a nástrojů. Chlazení může být daleko za bodem mrazu, a to až do teploty $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, což má příznivý vliv například při obrábění titanu. Důležitou roli pro vývoj do budoucna hrají určitě upínače nástrojů, které musí plnit hned několik požadavků jako například:

- Přenášet síly a kroutící momenty při vysokých otáčkách,
- být správně vyváženy, aby na něm nevznikaly vibrace,
- možnost přivádět procesní kapalinu do těla upnutého nástroje [2, 37, 38].

V současnosti již několik průmyslových podniků využívá CNC stroje dodávané z Číny, a to z důvodu nízké ceny stroje a náhradních dílů pro případnou výměnu při poruše. S velkou pravděpodobností se v budoucnu CNC stroje z Číny rozšíří i mezi další podniky. Mezi nejlepší čínské výrobce CNC strojů, kteří se snaží prorazit na evropský trh, patří například společnost Taian Crystal Machinery Co., Ltd.

2 VSTUPNÍ PODMÍNKY ZADANÉHO TÉMATU

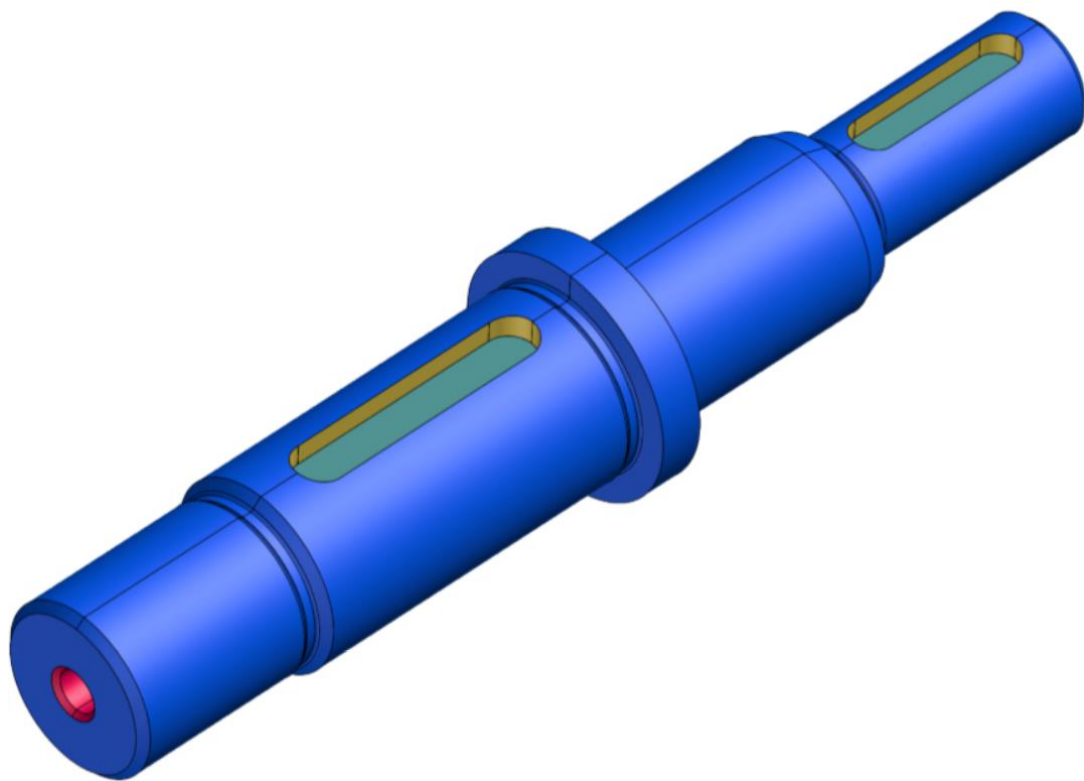
Pro sestavení navrženého hřídele je nutno znát výkres dané součásti, popřípadě její model, dále pak materiál, ze kterého bude součást vyrobena, a jeho vlastnosti. Je důležité mít také znalost nástrojů, kterými bude součást obráběna a znát možnosti obrábění zvoleného obráběcího stroje. V případě CNC obráběcích center mít rovněž znalost programování v daném programu. Diplomová práce se zabývá výrobou již zmíněného navrženého hřídele, na jehož výrobu a následnou kontrolu bylo využito 5 softwarů. Typ softwaru a jeho použití během výroby je zapsáno v tab. 14.

Tab. 14 Seznam použitých softwarů.

Využití:	Software:
CAD model	Tebis 4.0 R8
CAM programování	Sinumerik SinuTrain 7.5
	Tebis 4.0 R8
Výkres	AutoCAD 2019
3D sken	ATOS Professional 2019
	GOM Inspect Professional 2019

2.1 Výkres a model navržené součásti

Součást byla navržena dle strojnických tabulek a slouží pouze jako ukázka pro výrobu hřídelí podobného typu. Výkres navrženého hřídele je možné vidět v příloze 1. Na výkrese jsou zobrazeny a zakótovány například zkosené hrany, zaoblené hrany, závity, díry, drážky, zápichy apod. Na základě výkresové dokumentace je technolog schopný navrhnout technologický postup (od výběru materiálu, druhů operací, typů nástrojů a strojů až po tepelné zpracování). Výkres je rovněž důležitý pro programátora, ať už součást programuje přímo technolog či nikoliv, jelikož dle zadaného výkresu sepisuje program. Model navržené součásti byl vytvořen v programu Tebis 4.0 R8 a následně byl převeden do programu GOM Inspect 2019 pro další kontrolu (obr. 25). V programu AutoCAD od firmy Autodesk byl dále proveden výkres součásti.



Obr. 25 Model navrženého hřídele v programu GOM Inspect Professional.

2.2 Použitý materiál a jeho vlastnosti

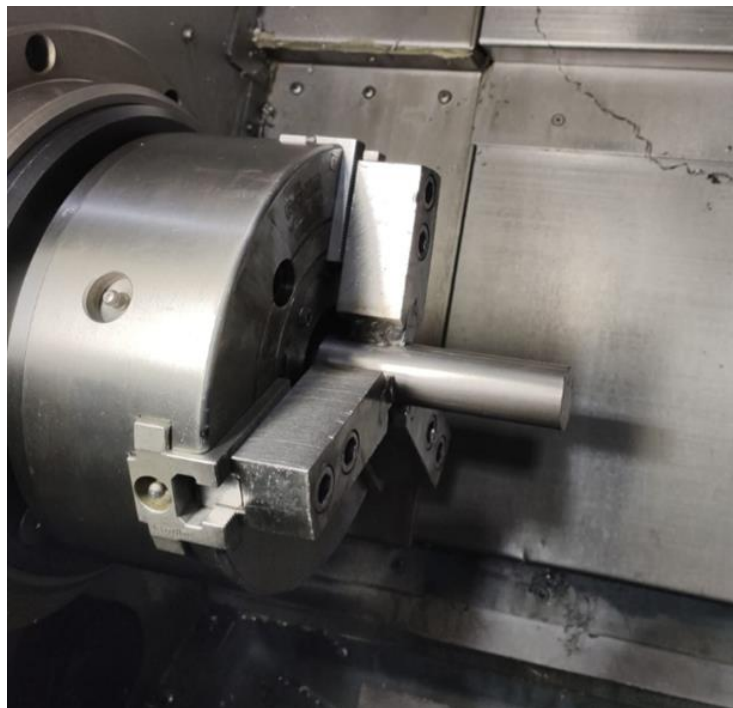
Pro výrobu navrženého hřídele byl vybrán materiál, který je dostupný z hlediska financí a vyhovující pro výrobu a ukázkou dané součásti. Byl vybrán tyčový polotovár o průměru 28 mm z materiálu ocel ČSN 11 600 (obr. 26), což je neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti s vyšším obsahem uhlíku. Ocel je vhodná pro strojní součásti namáhané staticky i dynamicky a neklade se na ně požadavek vysoké svařitelnosti. Také se používá pro součásti vystavené velkému měrnému tlaku. Nejčastěji se používá pro hřídele, ozubená kola, řetězová kola, šrouby a matice, pera, klíny, čepy, kolíky, pístnice, podpěry, objímky, ozubené hřebeny, kladky, spojky, kluzné kameny, segmenty a vložky axiálních ložisek, upínací elementy, distanční kroužky, tělesa fréz, pásy a pruhy ke tvarování ohybem. V chemickém složení oceli musí být maximálně 0,045 % fosforu a síry [2, 39, 40].

Z hlediska mechanických vlastností dosahuje tepelně nezpracovaná ocel ČSN 11 600 hodnot:

- Pevnost v tahu R_m 590 až 710 MPa,
- mez kluzu R_e min. 325 MPa,
- tvrdost HB max. 205,
- třída odpadu 001 [2, 40].

Tepelné zpracování oceli ČSN 11 600:

- Kování 800 až 1100 °C,
- kalení do vody 830 až 860 °C,
- kalení do oleje 840 až 870 °C,
- normalizační žihání 850 až 870 °C,
- žihání na měkko 680 až 720 °C,
- popouštění 560 až 670 °C [39].



Obr. 26 Upnutý polotovar z oceli ČSN 11 600.

3 NÁVRH STROJE ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

Při návrhu stroje pro obrábění požadované součásti se musí brát ohled na možnosti obráběcího stroje a jeho systému. Pro zhotovení navrženého hřídele musí stroj zvládat několik druhů operací a musí být schopen dosáhnout požadovaných přesností.

3.1 Popis obráběcího centra

Pro výrobu navrženého hřídele byl zvolen typ CNC obráběcího centra MAS SP 280 SY, protože zvládá operace soustružení, frézování, vrtání, řezání závitů apod. Jedná se o jednu z pěti variant CNC obráběcích center typu MAS SP 280 (obr. 27) [41].



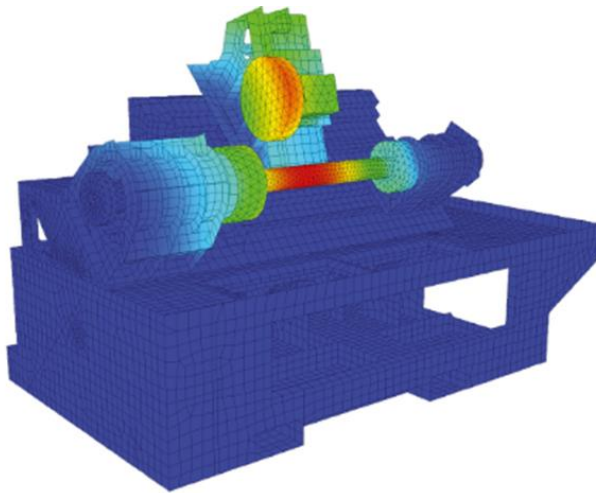
Obr. 27 Obráběcí stroj MAS SP 280 [41].

Základní informace o strojích MAS SP 280:

- CNC soustruhy, které mají max. obráběný průměr 280 mm, poskytují výrobu s vysokou produktivitou a také obrábění z pravého vřetene,
- pět technologických variant umožňuje obrábět součásti od malosériové výroby až po specializované hromadné výroby,
- dynamika a stabilita pohybu os bývá testována výpočtovými metodami,
- deformace mechanických částí strojů se ověřují numerickými výpočty – FEM,
- vřetenové jednotky poskytují velký výkon při obrábění,
- velký a těžký základ stroje a lože poskytuje strojům vysokou tuhost,
- tuhost tříosého provedení horního suportu umožňuje virtuální pohyb osy Y_1 , který je složen interpolací reálných os X_1 a Y' svírající úhel 30° ,
- suporty lineárních os, těleso koníka a pravý vřeteník se pohybují po valivém vedení, a to poskytuje strojům velmi přesné polohování,
- synchronní motory, které jsou vestavěné, umožňují vysokou dynamiku funkcí vřetena a výkonnou rotační osu C,
- programovatelný pohyb koníka snižuje potřebné zákroky obsluhy stroje do obráběcího procesu,

- možnost zvolení řídicího systému SIEMENS, FANUC, HEIDENHAIN a díky tomu tak dosáhnout jak regulačního, tak programátorského pohodlí,
- jednoduchá obsluha stroje i programování [41].

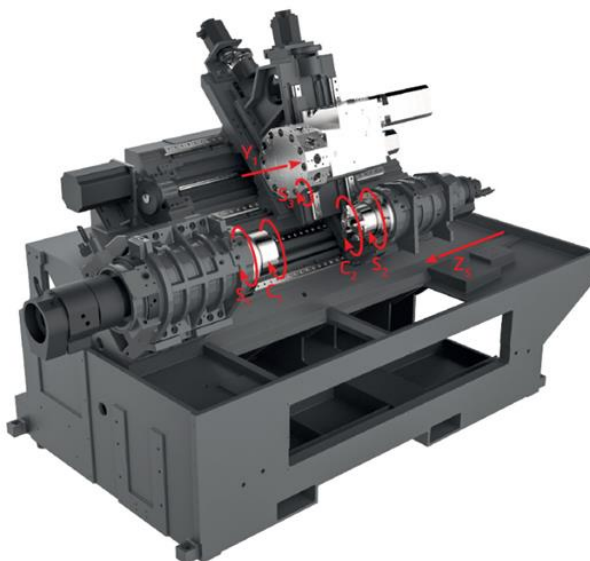
Nosná konstrukce obráběcího centra z pohledu statické tuhosti a dynamických vlastností bývá optimalizována metodou konečných prvků (obr. 28). Kinematické řešení pracovního prostoru je znázorněno na obr. 29 a uvedeno v tab. 15. Základní koncepce stroje potom na obr. 30. Kompletní technické parametry stroje MAS SP 280 SY jsou zobrazeny v příloze 4 [41].



Obr. 28 FEM – model [41].

Tab. 15 Kinematické řešení stroje [41].

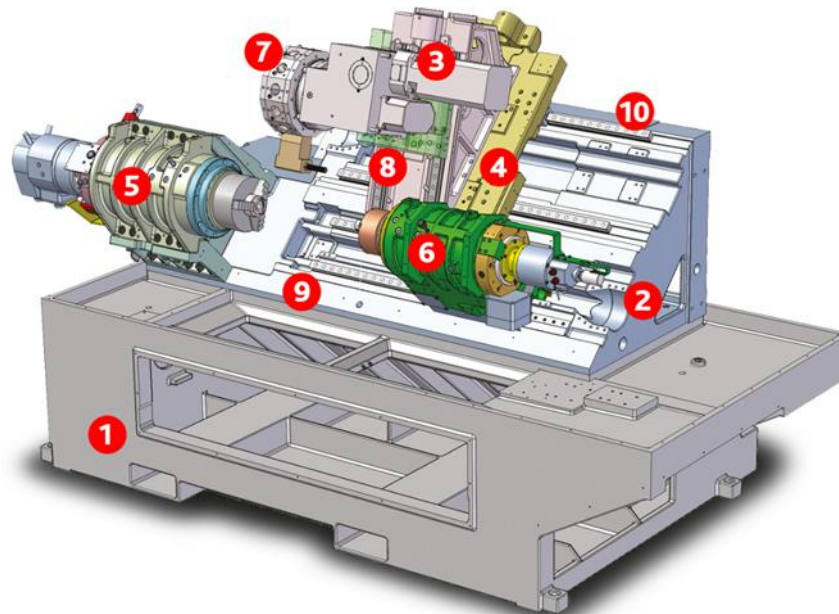
Typ stroje	Hlavní vřetenové jednotky S1; S2 (protivřetenno)	Rotační osy vřeten	Nástrojové vřetenno	Lineární osy suportů
SP 280 SY	(Elektrovřetenno A_5) S_1, S_2	C_1, C_2	S_3	X_1, Y_1, Z_1, Z_S



Obr. 29 Pracovní prostor stroje MAS SP 280 SY [41].

Mezi standardní příslušenství stroje patří:

- Průchozí upínací válec (levý vřeteník),
- neprůchozí upínací válec (pravý vřeteník),
- aretace levého i pravého vřetena (elektrovřeteno),
- osvětlení stroje,
- chlazení nástrojů – 7 bar,
- zapojený koník,
- technická dokumentace,
- přímé odměřování v ose X_1 ,
- absolutní odměřování lineárních os [41].



Obr. 30 Základní koncepce stroje: 1 - základ stroje, 2 - lože, 3 - saně (posuv v Y), 4 - saně (posuv v ose Z_1), 5 - hlavní vřeteno, 6 – protivřeteno, 7 – nástrojová hlava, 8 – valivé vedení (osa X_1), 9 - valivé vedení (osa Z_5), 10 - valivé vedení (osa Z_1) [41].

3.2 Řídicí systém stroje

Řídicím systémem je ovládán celý stroj. Programuje se v něm postup výroby součásti. U většiny případů lze součást naprogramovat na počítači a program přenést zpátky do stroje a naopak. Pro výrobu součásti byl zvolen program Sinumerik SinuTrain 7.5 na stroji MAS SP 280 SY, kterým byla vybavena školní dílna. Rovněž byla součást naprogramována mimo stroj na počítači v programu Tebis 4.0 R8 pro výrobu do dílen, které umožňují komplexnější výrobu pomocí různých strojů. Seznam použitých nástrojů v systému Sinumerik SinuTrain 7.5 je zobrazen v příloze 11 (na výrobu se použily nástroje na místech 1,2,6,9,10,11) a fotodokumentace použitých nástrojů v příloze 12.

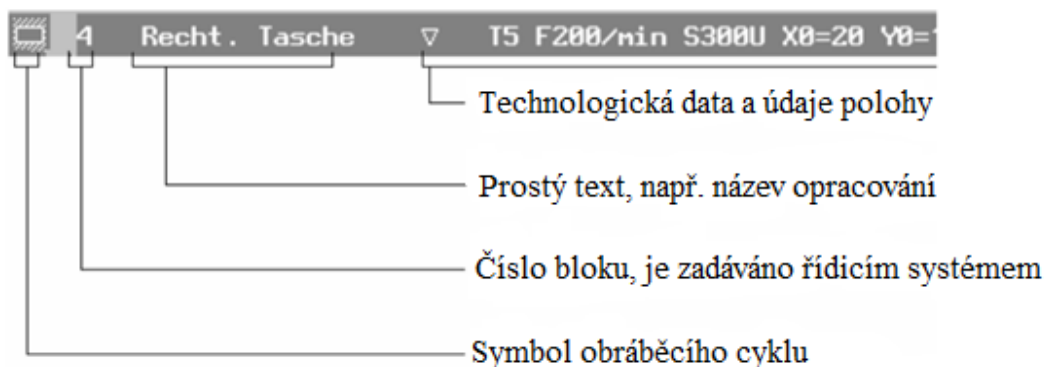
3.2.1 Sinumerik SinuTrain 7.5

Stroj od firmy MAS, který byl využit při obrábění navrženého hřídele, byl vybaven řídicím systémem Sinumerik SinuTrain 7.5 od firmy Siemens AG. Je to mikroprocesorový řídicí systém pro CNC obráběcí stroje. Programování může být provedeno buď přímo na stroji z ovládacího panelu (funkce ShopTurn) nebo mimo stroj na počítači s následným přenosem dat přes sériové rozhraní (programování pomocí G-kódů). Seznam vybraných příkazů stroje obsahující systém Sinumerik SinuTrain 7.5 je zobrazen v příloze 10. Pro vyzkoušení správnosti programu slouží grafické simulace. Paměť je schopna ukládat až 200 hlavních programů a podprogramů [2, 42].

Struktura programu:

Technologický postup programu je složen ze tří částí (obr. 32):

- Záhloví programu – zahrnuje parametry, které zůstávají platné po dobu celého programu, jako jsou například rozměry surového obrobku nebo návratové roviny,
- programové bloky (obr. 31) – slouží k definování dílčích kroků obrábění, přitom se zadávají technologické údaje a polohy,



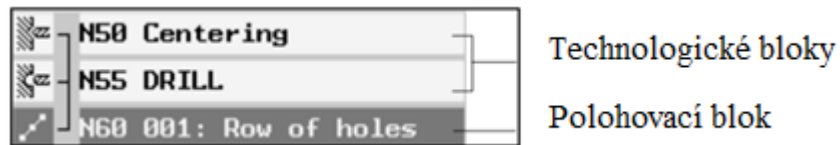
Obr. 31 Programový blok [42].

- konec programu – signalizuje stroji, že obrábění součásti skončilo. Také se zde může zadat počet obrobků, které se budou obrábět [42].

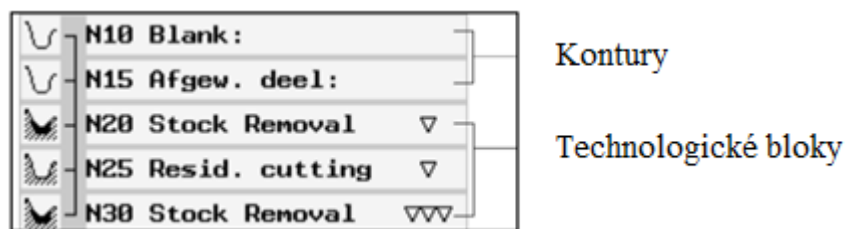


Obr. 32 Struktura programu [42].

V případě funkce soustružení kontury, frézování kontury nebo vrtání se programují technologické bloky a kontury. Tyto programové bloky se automaticky spojí řetězcem a ve struktuře programu jsou spojeny hranatou závorkou. Technologické bloky (obr. 34) určují druh obrábění a jejich pořadí (např. navrtávání středících důlků a následné vrtání). V polohovací blocích (obr. 33) se určí polohy pro vrtání nebo frézování (např. umístění vrtaných děr na kružnici na čelní ploše) [42].



Obr. 33 Ukázka technologického bloku a bloku polohování [42].



Obr. 34 Ukázka kontury a technologického bloku [42].

Založení programu

Každý nový obrobek, který je zapotřebí vyrobit, musí obsahovat svůj vlastní program, ve kterém bude nadefinovaný dílčí postup obrábění. Během založení nového programu se automaticky definuje záhlaví a konec programu. V záhlaví se definuje posunutí počátku souřadného systému, nastavení měřicích jednotek (milimetry nebo palce), polotovaru (válec, trubka, obdélník nebo mnohoúhelník) a jeho rozměry, nástrojovou dráhu, která zabezpečuje bezkolizní pohyb. Dále pak bod pro výměnu nástroje, bezpečnostní vzdálenost nástroje k obrobku dosažené rychloposuvem, mezní hodnoty otáček, koníka (pro rozšíření návratové dráhy, aby nedošlo ke kolizi během pohybu os) [42].

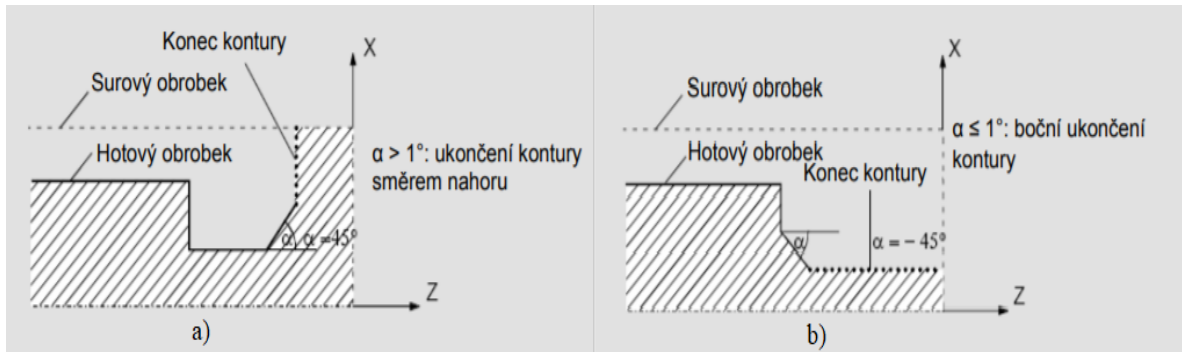
Vytváření konturových prvků

Prvně se vytvoří nová kontura a zvolí se počáteční bod. Pro definování kontury slouží prvky typu svíslá přímka, vodorovná přímka, diagonální přímka, kruh / kruhový oblouk. Pro všechny konturové prvky se definují parametry ve vstupní obrazovce. Během určování parametrů se zobrazí různé obrázky, které tyto parametry vysvětlují. Mezi dvěma konturovými prvky lze provést zaoblení hrany, sražení hrany nebo v případě přímek odlehčený zápich. Přejímový prvek se vloží na konec křivky kontury a volí se ve vstupní obrazovce parametrů zvoleného konturového prvku [42].

Oddělování třísky

Pro obrábění kontury v podélném nebo příčném směru, popřípadě rovnoběžně s konturou slouží funkce „Oddělování třísky“. Aby mohla být kontura obrobena, je nutné nejprve nadefinovat její parametry. Systém ShopTurn během oddělování třísky vychází ze surového obrobku, který může být představován válcem, přídatkem na kontuře hotové součásti nebo jakoukoliv konturou surového obrobku. Kontura surového obrobku musí být nadefinována jako uzavřená konturová křivka před definováním hotové kontury. V případě, že se obě kontury neprotínají, systém ShopTurn určí konec mezi surovým a hotovým

obrobkem. Pokud je úhel mezi přímkou a osou Z větší než 1° , zakončení bude vykonáno směrem nahoru a jestliže bude menší nebo roven 1° , tak v tom případě bude stranou, jak je zobrazeno na obr. 35 [42].



Obr. 35 Zakončení mezi surovým a hotovým obrobkem směrem: a) nahoru, b) stranou [42].

Soustružení

Při hrubování záběry zabíhají až po naprogramovaný přídavek rozměru pro dokončování. Pokud systém ShopTurn při hrubování potřebuje, tak si zmenší nadefinovanou hloubku přísuvu, aby mohly vznikat průchody nástroje stejné velikosti. Dokončování se provádí stejným směrem jako hrubování. Během dokončování systém ShopTurn automaticky zapne a vypne korekci rádiusu nástroje [42].

Vrtání

Při vrtání se programují dílčí kroky pracovního postupu v posloupnosti, které jsou potřebné během obrábění. Příklad vrtání je zobrazen na obr. 36. Používají se technologické cykly:

- Středové vrtání,
- středový závit,
- navrtávání středících důlků,
- vrtání,
- vystružování,
- vrtání hlubokých děr,
- vrtání závitů,
- frézování závitů [42].

V případě středového vrtání lze zvolit, jestli má docházet k ulamování třísky nebo jestli má nástroj vyjíždět z obrobku, aby se mohly odstranit třísky. Při obrábění se otáčí hlavní vřeteno, případně protivřeteno [42].

	N35 Centering		T=CENTERDRILL F0.5/min V10M Z1=5inc
	N40 DRILL		T=DRILL F200/min S1000rev. Z1=10inc
	N45 001: Hole full cir.		Z0=0 R10 N308

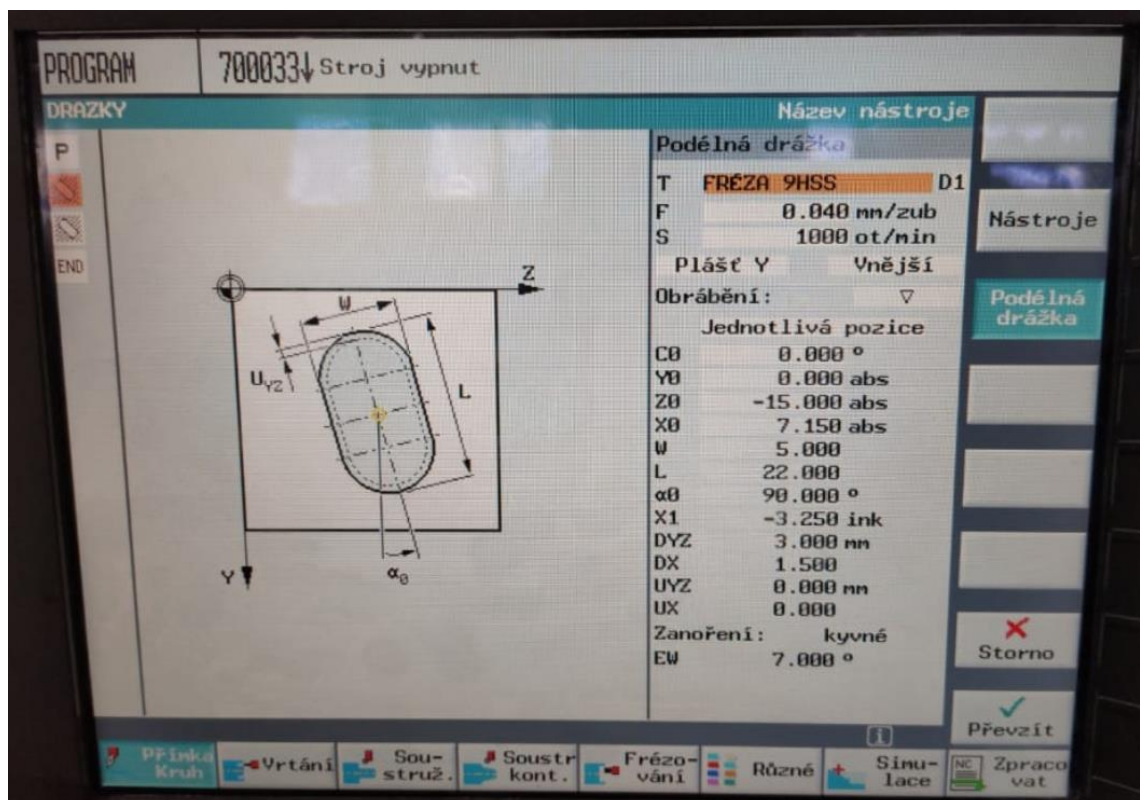
Obr. 36 Příklad vrtání [42].

Frézování

Pro frézování jednoduchých geometrických tvarů jak na čelní, tak na plášťové ploše obrobku se používají následující funkce:

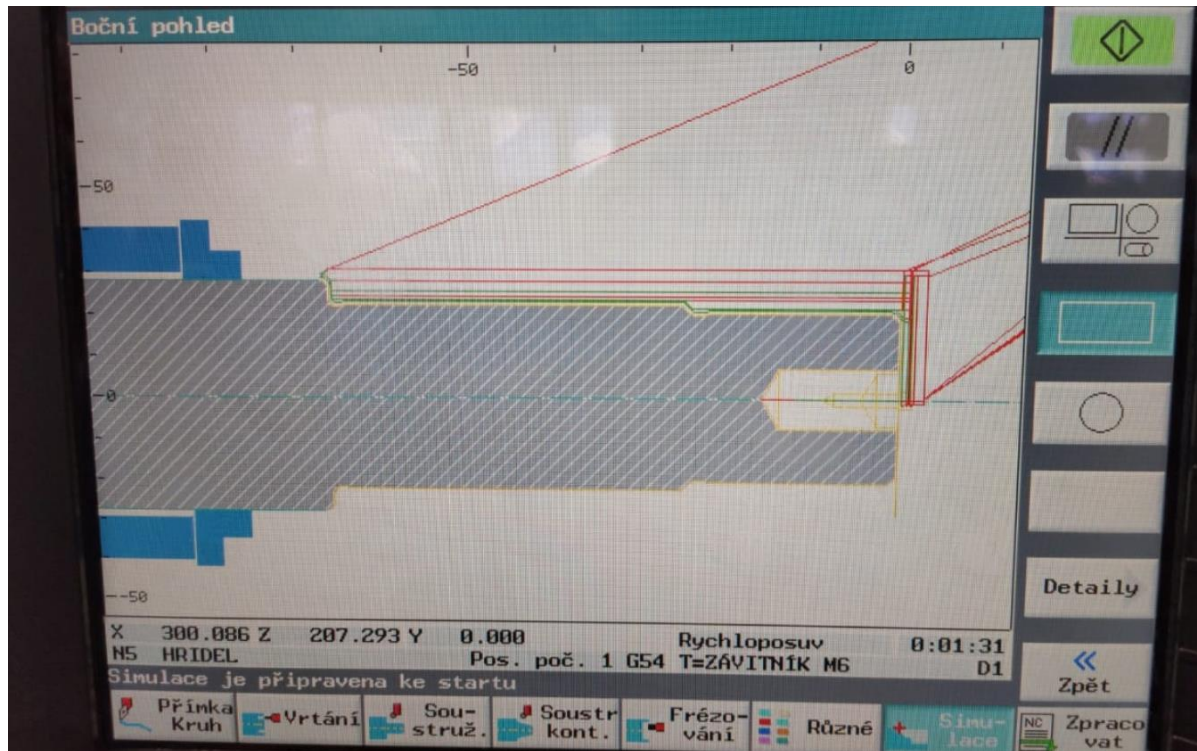
- Pravoúhlá kapsa,
- kruhová kapsa,
- pravoúhlý čep,
- kruhový čep,
- podélná drážka,
- kruhová drážka,
- otevřená drážka,
- vícehran,
- gravírování [42].

Pokud je zapotřebí vyfrézovat kapsy nebo drážky pouze na jednom místě, zadá se tato poloha do technologického bloku. V případě frézování požadovaného tvaru na několika místech je nutné tyto polohy programovat v samostatném bloku za technologickým blokem. Při frézování navrženého hřídele byla použita funkce podélná drážka (obr. 37). Při jejím použití je možné si zvolit způsob obrábění a to nahrubo, načisto a sražení hran [42].



Obr. 37 Frézování podélné drážky v programu Sinumerik SinuTrain 7.5.

Pro výrobu navrženého hřídele v softwaru Sinumerik SinuTrain 7.5 byla využita i kontrola přímo v programu, a to ve formě simulace, která je velice přehledná a s jejíž pomocí programátor zjistí, zda nedojde ke kolizi. Rovněž simulace ukazuje strojní čas výroby a taky druh nástroje při zvoleném obrábění a současně jeho polohu. Pokud nastane kolize, program sám poukáže na chybu a nahlásí číslo řádku nebo funkci, kde chyba nastala. Na obr. 38 je znázorněna simulace obrábění levé části hřídele (kontury typu A). Oddělené simulace vyrobeného hřídele jsou uvedeny v příloze 8.

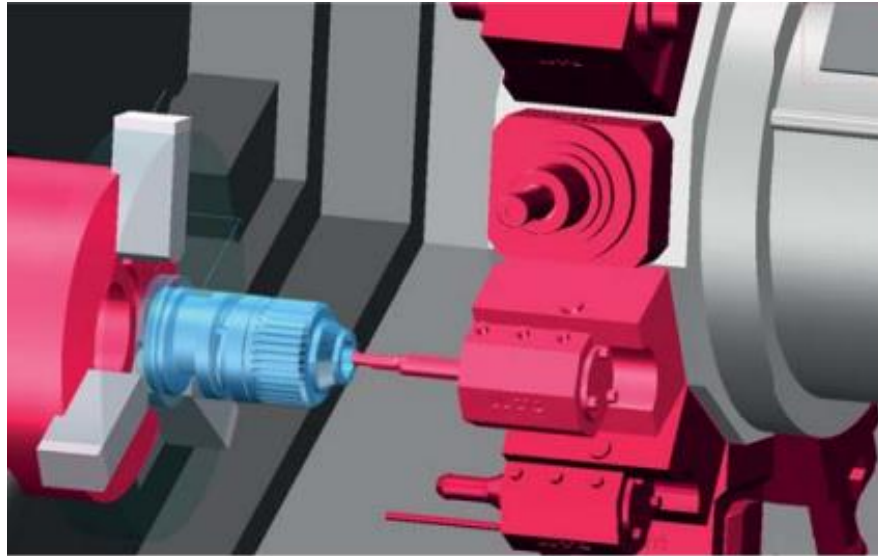


Obr. 38 Simulace obrábění navrženého hřídele v programu Sinumerik SinuTrain 7.5.

3.2.1 Tebis 4.0 R8

Software Tebis 4.0 R8 je CAD neparametrický modelář doplněný o CAM moduly. Využívají se především moduly pro frézování, ale rovněž obsahuje modul i pro soustružení.

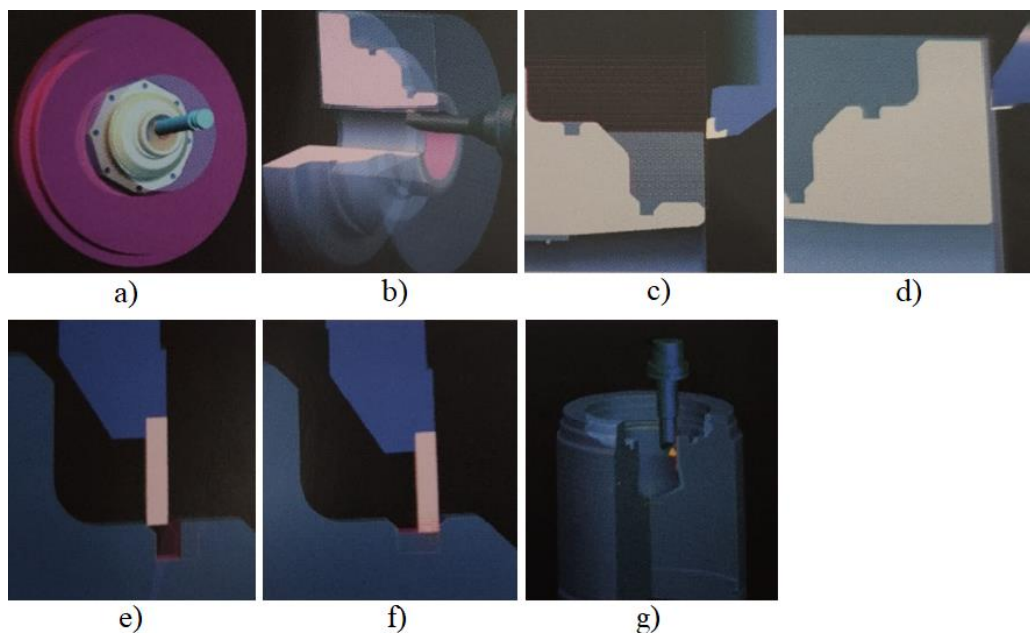
Modul Tebis soustružení obsahuje všechny funkce potřebné pro podélné, čelní, konturové soustružení obrysů a drážek, stejně tak umožňuje i čelní vrtání, dokonce i mimo střed (příklad soustružení v systému Tebis je zobrazen na obr. 39 a druhy obrábění na cnc soustruhu, které jsou možné v Tebisu v soustružnickém modulu jsou zobrazeny na obr. 40). Rovněž lze snadno vyrobit válcové, kónické nebo rovinné závity. Modul soustružení je plně integrován do správce úloh a do simulátoru Tebis, takže NC programování je ještě efektivnější. Uživatel má všechny výhody procesního řetězce end-to-end v rámci jednoho uživatelského rozhraní. Polotovár prochází všemi operacemi a průběžně se aktualizuje. S pouhými několika kliknutími myši v systému Tebis CAD / CAM je možné vytvářet optimalizované NC programy. Tyto NC programy jsou kontrolovány kolizí u sestav nástrojů, i když je součást složitá. Celé výrobní know-how společnosti je uchováno, uloženo v NC šablonách a je kdykoli přístupné pro budoucí procesy. Pracovní prostředí systému Tebis 4.0 R8 je zobrazeno v příloze 7 [45].



Obr. 39 Příklad obrábění v systému Tebis [43].

I přes vysoký stupeň automatizace má uživatel stále rozsáhlé možnosti pružně reagovat na všechny požadavky, vždy s cílem minimalizovat časy programování a výroby, aniž by byly ohroženy vysoké standardy spolehlivosti. Rozhodnutí o správném nastavení, nejvhodnějších technologických parametrech a chování jednotlivých součástí stroje již byla učiněna během programování místo v dílně [45].

Systém automaticky rozpozná, zda musí být oblast obrobena zevnitř nebo zvenku. Pro vytvoření rotačního profilu lze vybrat libovolnou 2D křivku. Existuje také možnost automaticky odvodit profil z 3D dat, jako jsou svazky nebo sítě, což se doporučuje zejména pro komponenty s neúplnou symetrií rotace [45].



Obr. 40 Druhy obrábění na cnc soustruhu v programu: a) vrtání mimo střed, b) rotační vnitřní obrábění, c) rotační konturové obrábění, d) čelní obrábění, e) svislé drážkování, f) příčné drážkování, g) řezání závitu [45].

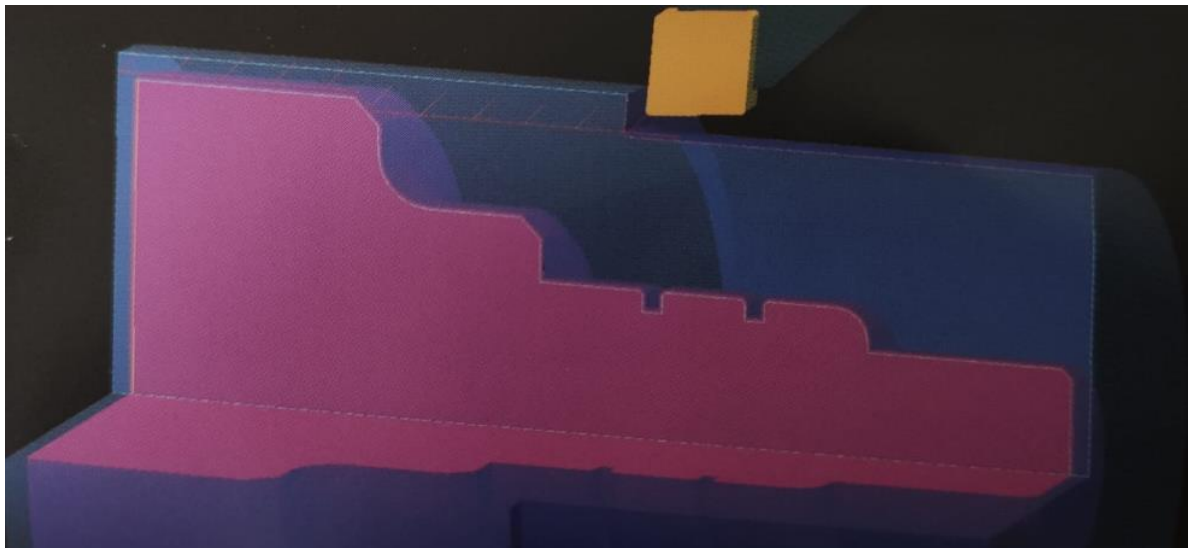
Jestliže nelze obrábět pouze jedním sklonem nástroje, lze během programování NC předdefinovat několik směrů náklonu. Stroj je pak schopen běžet bez přerušení. Další velkou výhodou je, že systém provádí kolizní kontrolu pro všechny operace během výpočtu. Jakmile dojde ke kolizi se sestavou nástroje, systém automaticky zmenší odpovídající oblast. Specifické oblasti v rámci obráběcího kroku lze snadno a rychle odstranit výběrem odpovídajících dílčích křivek, aniž by došlo k odstranění globálního výběru součásti. Systém automaticky vypočítá plochy a odstraní pouze tolik materiálu, kolik je potřeba. Maximální optimalizace zajišťuje, že je překročena nejkratší vzdálenost mezi dvěma body. Zatahovací a vyklápěcí pohyby vyžadují ještě méně času. Spolehlivost procesu je zajištěna, protože systém provádí automatickou kontrolu kolize [45].

Popis výrobního procesu v systému Tebis (zobrazen v příloze 3)

- 1) Modul soustružení Tebis pracuje s jakýmkoli typem vstupních dat bez ohledu na to, zda jsou poskytovány jako výkresy, křivky, povrchy nebo tělesa.
- 2) Externí data lze importovat pomocí standardních nebo přímých rozhraní. Kromě údajů o geometrii a konstrukci lze přenášet také informace o výrobě a toleranci.
- 3) Během plánování výroby uživatel kontroluje úplnost knihoven Tebis a může přidat veškeré potřebné nástroje a stroje. Uživatel také zkontroluje, zda existují NC šablony, které byly vytvořeny při programování souvisejících komponent a které lze nyní použít jako šablonu. V případě výkresu lze parametrický obrys profilu vygenerovat rychle a snadno zadáním měření a úhlů pomocí nástroje Tebis Sketcher. Kompletní obrábění pomocí Tebis je díky logickému strukturování ještě snazší. Například je možné předem označit oblasti součásti, které je třeba obrobit jiným způsobem. Pak je zřejmé, jaké oblasti je třeba otočit, frézovat nebo vyvrtat.
- 4) Systém následně generuje rotační profil, pro který si uživatel může vybrat 2D křivky, jakož i objemy a síť. Ten je zvláště doporučován pro komponenty s neúplnou rotační symetrií.
- 5) Během NC programování uživatel definuje nastavení a sekvence, ve kterých budou jednotlivé operace prováděny. Soustružnické operace lze kombinovat navzájem, ale také se všemi vrtnými a frézovacími operacemi v libovolném požadovaném pořadí. Bez ohledu na sled frézování, vrtání nebo soustružení je polotovar předáván všemi operacemi a průběžně aktualizován.
- 6) Všechny operace pro každou komponentu jsou uloženy ve strukturovaných seznamech. To umožňuje systému generovat šablony NC, které pak mohou být přeneseny do jiných souvisejících komponent. Geometrické prvky lze také automaticky přiřadit.
- 7) Knihovna nástrojů Tebis spravuje komponenty, jako jsou břitové destičky a frézy s řezným materiálem, řezná data, držáky, nástavce a kleštiny. Všechny komponenty mají informace o své geometrii a spojích, takže je lze integrovat do realistických sestav nástrojů. Šablony NC a všechny NC obráběcí kroky přistupují k těmto nástrojům. U drážek a soustružnických nástrojů jsou podporovány také otevřené 3D geometrie. Soustružnické nástroje lze snadno vytvořit zadáním kódu ISO.

- 8) Knihovna Tebis také spravuje stroje a hlavy strojů. Rovněž zde jsou definovány parametry pro skupiny strojů, rozsah otáček, připojení vřetena a vnitřní chlazení. Nejenže je integrována geometrie stroje, ale také kinematika a nástroje. Uložen je také postprocesor stroje.
- 9) Simulátor Tebis přináší trojrozměrnou realitu workshopu přímo do světa virtuálního programování. Všechny stroje a nástroje jsou mapovány jako detailní 3D modely, všechny pohyby stroje a nástroje mohou být přesně zkontrolovány z hlediska kolize a přilnavosti k oblasti obrábění.
- 10) Postprocesory Tebis poskytují flexibilní spojení mezi NC programováním a stroji. Umožňují exportovat dráhy nástroje jako NC programy pro jakékoli NC řízení a stroj [45].

U všech operací obrábění kontur (obr. 41) můžete určit, zda mají být podříznuté oblasti přímo obráběny nebo vynechány. Rovněž je podporována orientace vřetena. Pomocí jednoho nástroje lze zcela obrobít celou řadu podříznutých oblastí. Pro hrubování můžete integrovat dokončovací řez, který umožní další vyhlazení kontury zbytkového materiálu mezi dráhami hrubování. Tvorba třísek je v Tebisu vždy plně řízena. Obrábění může být přerušeno po volně definované délce dráhy, což umožňuje včasné rozbití třísek pro měkké a houževnaté materiály jako měď a hliník. Díky tomu jsou různé materiály řezány v souladu s pečlivě definovanými reznými údaji, a to i při velmi vysokých rychlostech [45].

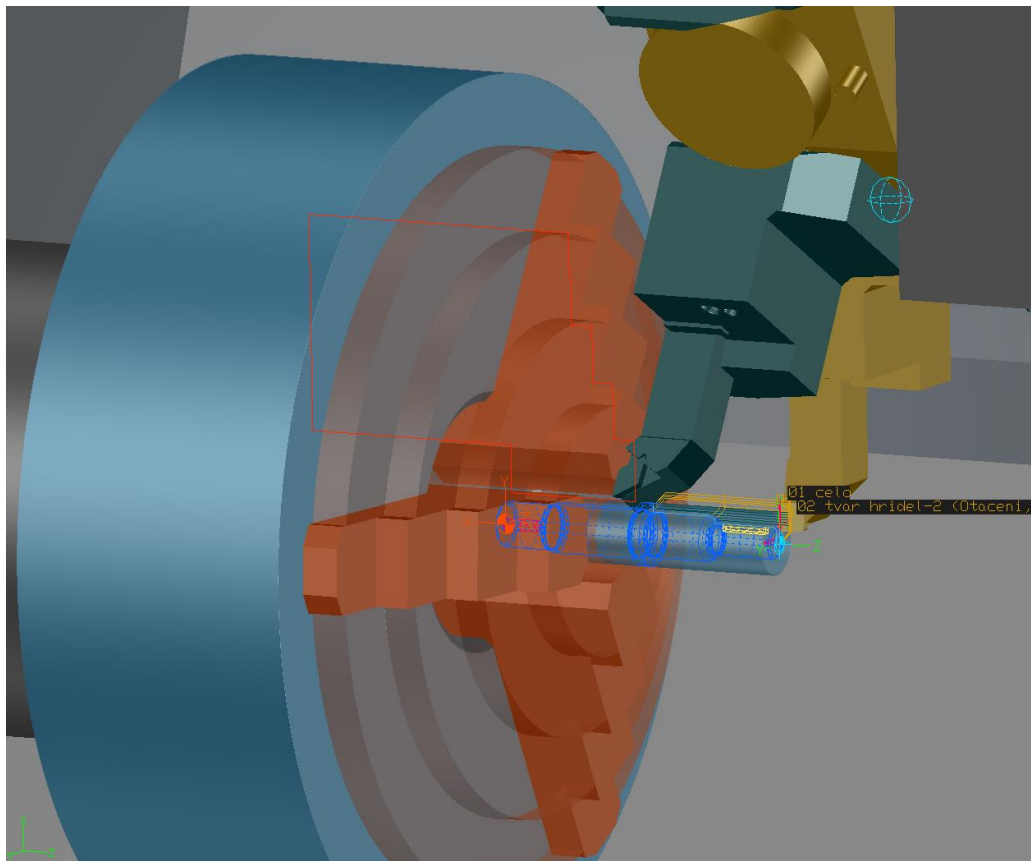


Obr. 41 Obrábění kontury v systému Tebis [45].

Ve drážkovacích funkcích jsou k dispozici dvě hranové reference. Navíc plně řezané rozpoznávání zajišťuje delší životnost řezačky. A uživatel rozhodne, co se stane, když bude fréza zcela zasunuta. Pokud je to žádoucí, nástroj provede proces čištění nebo zatáhne posuv. V rámci operace obrábění lze předem přesně řídit modifikace jednotlivých hodnot parametrů, jako je posuv, rezná rychlost, přesné zastavení a doba prodlevy. Odpovídající části je třeba pouze zvýraznit na obrysu. Hodnoty parametrů jsou stále dostupné po každém přepočtu. Programové změny na řízení jsou eliminovány [45].

Uživatel se již při NC programování rozhodne, zda součásti stroje, jako jsou upínací zařízení nebo koník s pouzdem, by se měly otevírat nebo zavírat v určité poloze Z na začátku programu nebo na konci programu. Příkazy jsou přímo přenášeny na postprocesor, což eliminuje časově náročné úpravy na stroji [45].

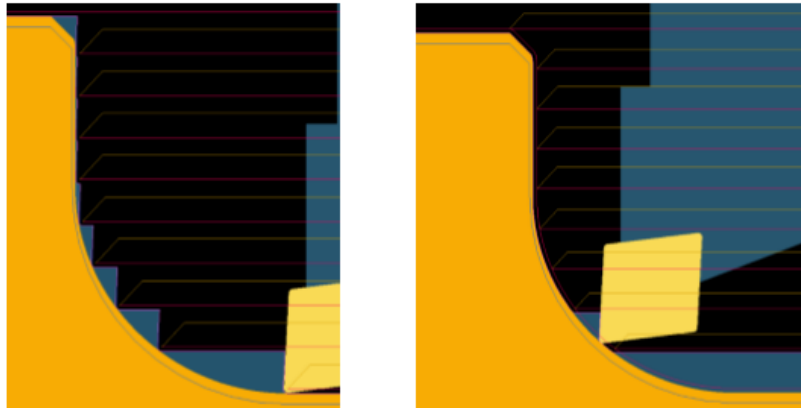
Při aktivovaném sledování materiálu je polotovar aktualizován v reálném čase po každém řezu. Komponenty a obrobene oblasti, jakož i oblasti, které mají být obrobene, jsou zvýrazněny různými barvami. Kromě toho může být úhel otevření v rotačním pohledu volně definován. To poskytuje výrazně lepší zobrazení polohy nástroje při vnitřním obrábění. Jednotlivé komponenty, jako je součást, prázdné nebo chráněné prvky, lze zobrazit nebo skrýt. Simulace zůstává jasná a umožňuje vizuální reprezentaci aktuálního stavu výroby za všech okolností (obr. 42). Oddělená simulace výroby hřídele v programu Tebis 4.0 R8 je zobrazena v příloze 16 [45].



Obr. 42 Detail simulace obrábění navrženého hřídele v programu Tebis 4.0 R8.

V závislosti na dělení řezu může vzniknout zbytkový materiál. Zadáním kontury se na kontuře soustružení vytvoří stejná úroveň zbytkového materiálu. Velikost zbytkového materiálu závisí na přídávku X a Z označeném geometrií součásti. Parametr X a Z označuje možnou tloušťku třísky pro další „dokončovací řez“ nebo „čistý řez“ na obrysu. Parametr „vyhlazování“ zabraňuje vytváření kroků mezi jednotlivými dráhami hrubování, jak lze vidět na obr. 43 [44].

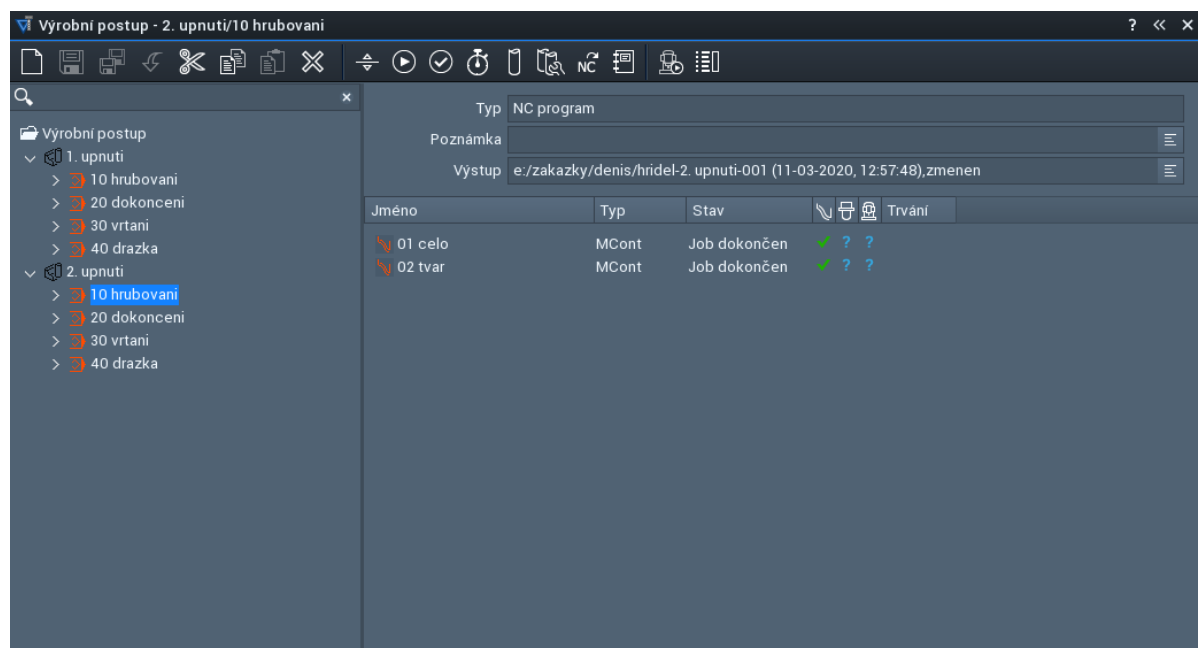
Výběr prvku vygeneruje rotační profil polotovaru. Tomuto profilu lze stále přiřadit délku ve směru + Z / -Z. Hodnota X je poloměr, což znamená, že se velikost pro válec zdvojnásobí [44].



Obr. 43 Parametr vyhlazování [44].

3.2.3 Porovnání použitých CAM programů

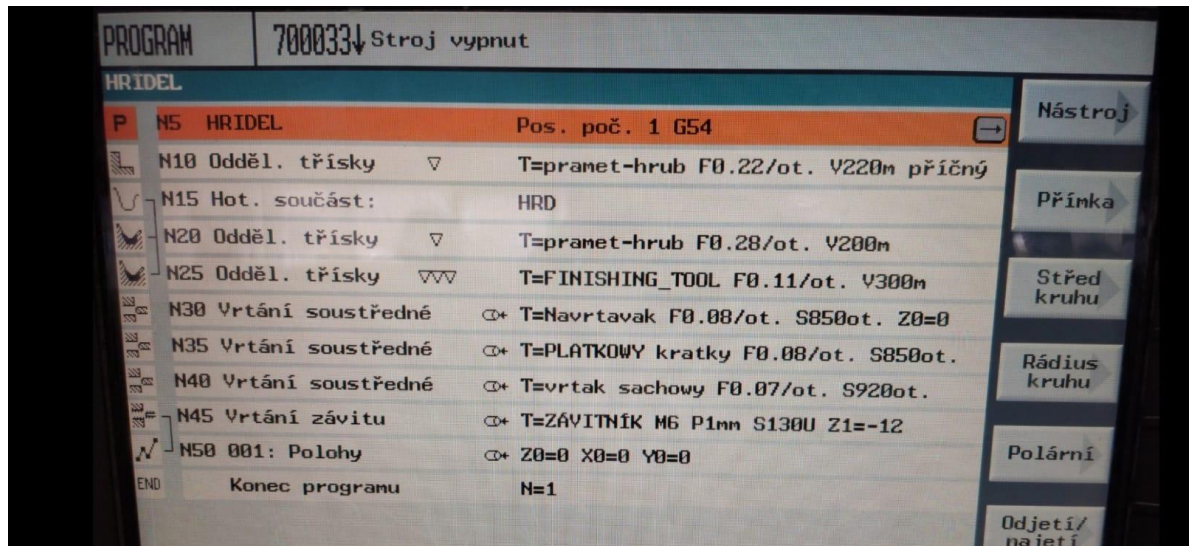
Oba použité programy mají své výhody a nevýhody. Výhodou programu Tebis 4.0 R8 je sloučení CAM programu s CAD modelem, což umožňuje uživateli obrábět velice komplikované díly. Rovněž při změně parametrů součásti je velice jednoduchý přepis funkcí obrábění. Programování v softwaru Tebis 4.0 R8 je hodně intuitivní, a tedy i uživatelsky pohodlnější. Na obr. 44 je zobrazen postup výroby navrženého hřídele v programu Tebis 4.0 R8.



Obr. 44 Postup výroby v programu Tebis 4.0 R8.

Velkou výhodou programu Sinumerik SinuTrain 7.5 je možnost naprogramování celé součásti přímo na stroji, a to za pomoci funkce ShopTurn. Složité součásti se na stroji programují komplikovaně, ale jednoduché se naopak programují velice rychle jen za pomoci definování základní kontury a přidáním funkcí obrábění. Na obr. 45 je vidět postup výroby levé části hřídele dle výkresu (kontura typu A).

Oba programy mohou mít zápis v ISO kódech, kdy software Tebis umožňuje uložit program v ISO kódech, následně ho přepsat a znovu otevřít ve 3D obrábění, zatímco software Sinumerik poskytuje uživateli programování celého dílu za pomoci ISO kódů přímo v programu, ovšem ve verzi 7.5 nelze převést funkce ShopTurn na ISO kód.



Obr. 45 Postup výroby levé části hřídele (kontura typu A) v programu Sinumerik SinuTrain 7.5.

3.3 Pracovní režimy stroje

Pracovní režimy a podrežimy obráběcího centra jsou vybírány podle vhodné funkce, ve které se bude řídit obráběcí stroj. Pracovní režimy mohou být:

Režimy:

- AUT – jde především o automatický režim. Využívá se pro obvyklý provoz soustružení obrobků. Velice důležité pro provoz v automatickém režimu je předchozí nastavení strojních dat (umístění nulového bodu, parametry a korekce nástrojů),
- JOG – je to ruční režim, který je schopen za pomoci tlačítek a ručních ovládacích částí řídicího panelu pohybovat nástroji, posuvy, kontrolovat chlazení apod. Rovněž je zde možnost výměny obrobku nebo posun do referenčního bodu stroje. Řídicí systém si poznamená do paměti polohu nástroje během přerušení a znázorní vzdálenost v dílčích osách v režimu jog,
- MDA (Manual Data Automatic) – tento režim je schopen vytvořit programy součástí a jejich bezprostřední výrobu po dílčích krocích. Stejně jako u automatického režimu se musí předem určit strojní data,

Podrežimy:

- REF – nájezd referenční polohu os,
- INC – ruční přírůstkový pohyb číslíkových os, velikost přírůstku v mikrometrech se udává následným zmáčknutím tlačítka,
- SINGLE BLOCK – po provedení bloku (řádku) programu je program zastaven, ovšem pořad není ukončen [2, 46, 52].

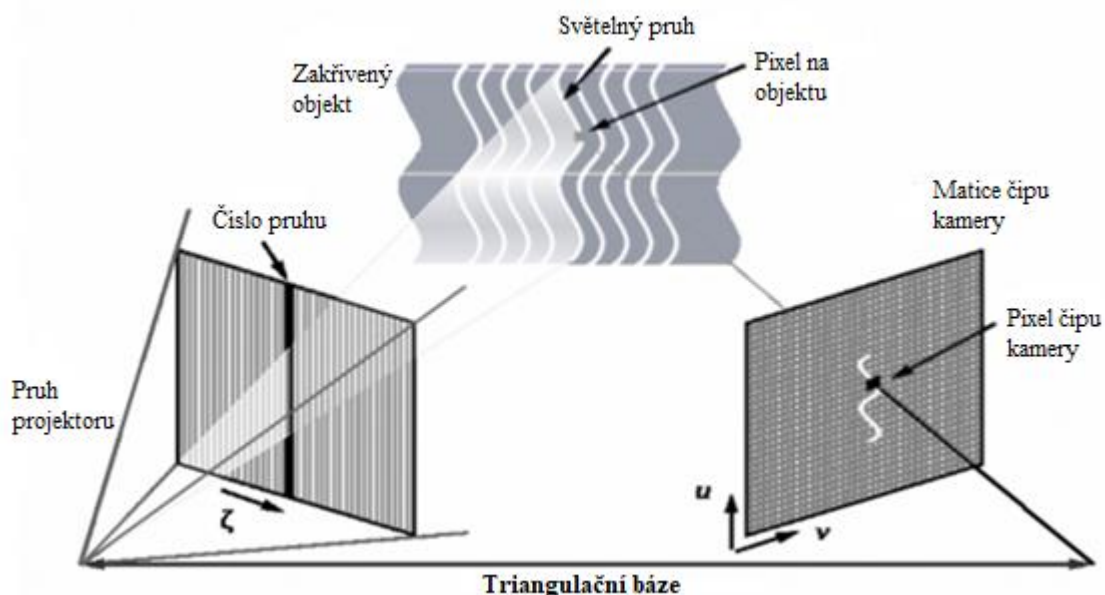
4 KONTROLA ROZMĚRŮ POMOCÍ OPTICKÉ DIGITALIZACE

Po zhotovení součásti následovala kontrola rozměrů za pomoci optické digitalizace. Sken součásti byl proveden ve ScanBoxu za pomoci skeneru ATOS Capsule. Tento typ skeneru pracuje na principu metody Fringe projection, která využívá strukturované světlo.

3D skenery využívající strukturované světlo slouží pro měření trojrozměrného tvaru součásti za pomoci promítaného světelného vzoru a kamerového systému. V současnosti se měřicí metody s využitím strukturovaného světla běžně používají pro různé trojrozměrné profilometrické zkoumání povrchů, především kvůli jeho nízké ceně a vysoké rychlosti měření [58].

Měřicí čidla využívající strukturovaná světla (SL – structured light) se používají mimo strojírenství a kontroly kvality například v medicíně, zábavním průmyslu, k uchování uměleckých děl nebo zabezpečení. Právě díky výbornému rozlišení a bezkontaktnímu zajištění rekonstrukce objektů různých tvarů za relativně krátkou dobu. Mezi výhody patří rovněž kompaktnost skenerů, jelikož měřicí proces je realizován profilometrickým systémem, který je složený z jednotky pro zpracování a analýzu (PC), projekční jednotky (videoprojektoru) a vizuální jednotky (CCD/CMOS kamery) [58].

Promítání těsných pásů světla na 3D tvarovaný povrch tvoří linie osvětlení. Tyto linie jsou pak zkreslené z jiného úhlu, než se nachází projektor a lze je využít pro přesnou geometrickou rekonstrukci tvaru povrchu. Existuje několik variant strukturovaného světla, ovšem nejpoužívanější jsou vodorovné pruhy. Na obr. 46 je znázorněno zakřivení pruhu vlivem deformace po jeho dopadu na povrch tělesa [58].

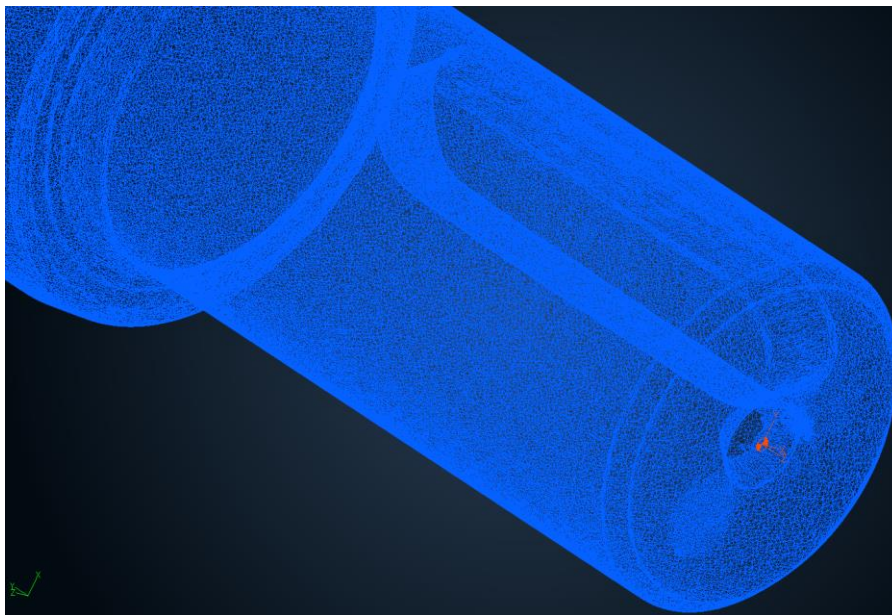


Obr. 46 Princip triangulace systému se strukturovaným světlem [58].

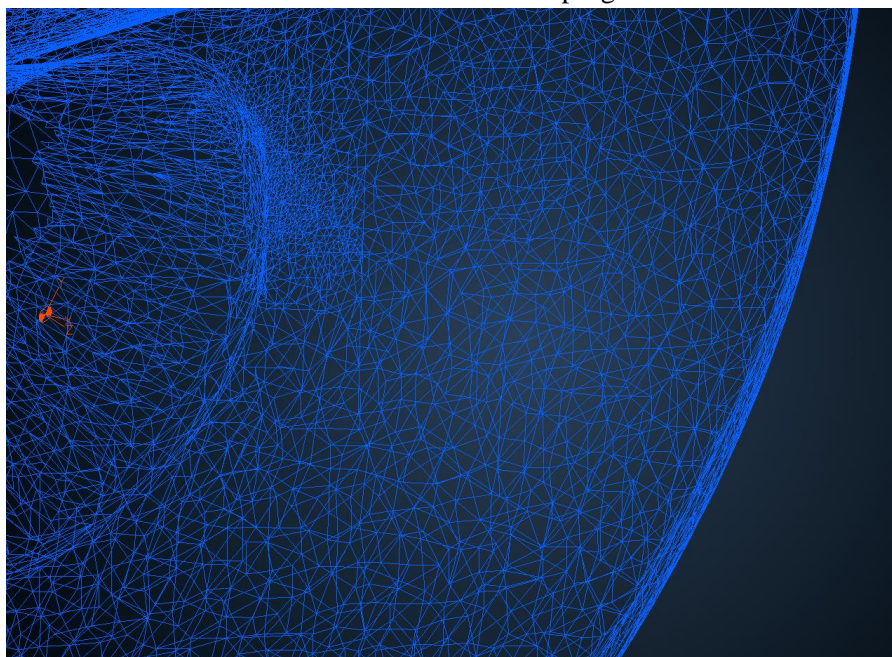
Pro přesné skenování musí být součást dostatečně uchycena v přídavných zařízeních, aby se zabránilo proti pohybu. Obvykle se pro upínání používají speciální rámečky s omezeným rozsahem rozměrů upínacího prostoru, sklíčidla nebo svěráky [58].

Pojem triangulace vlastně znamená, že snímaná součást má nasvícený povrch světelným zdrojem (např. laserem nebo LED diodou) a zároveň je povrch součásti snímán CCD snímačem, což má za následek rastrový obraz. Zdroj světla dohromady se snímačem a nasvíceným bodem na zkoumané součásti tvoří tzv. triangulační trojúhelník. Spojnice mezi snímačem a světelným zdrojem se nazývá triangulační báze [59].

Modulovaný a promítaný vzor je porovnán v počítači. Porovnávají se odpovídající pixely projektoru a snímacího zařízení. S využitím vhodného algoritmu se vytvoří body orientované v prostoru (tzv. mračna bodů). V příloze 9 je zobrazena síť hřídele vytvořená pomocí skeneru ATOS Capsule. Na obr. 47 je zobrazena síť navrženého hřídele v programu Tebis 4.0 R8 (formát STL) a na obr. 48 pak detail trojúhelníkové sítě [58].



Obr. 47 STL formát navrženého hřídele v programu Tebis 4.0 R8.



Obr. 48 Detail trojúhelníkové sítě.

Jelikož lze snímat součást pouze z jednoho úhlu v danou dobu, je nutné kombinovat několik měření z různých úhlů. Proto se používají tzv. referenční značky, které se lepí na součást. Jelikož po zkombinování skenů z různých úhlů se odpovídající značky překryjí, vznikne tak kompletní model [58].

STL soubor

Všechny body z mračna bodů jsou spojovány do trojúhelníků. Tato metoda využívá principu Delaunayovy triangulace. Vzniká polygonální síť, kterou je možné uložit ve formátu *.stl. Velikost souboru je závislá na CCD snímači, čím větší bude mít rozlišení, tím bude nasnímáno více bodů, trojúhelníky budou menší, což znamená, že vznikne hladší povrch modelu. Nevýhodou je, že jeho výpočet bude trvat déle [56].

4.1 ATOS ScanBox a ATOS Capsule

ATOS ScanBox 4105 (obr. 49) se používá při sériové kontrole dílů. Je to nejmenší plně automatizovaný metrologický systém GOM. Systém je standardním řešením typu plug-and-play (v překladu „připoj a hrej“ je termín označující technologii, která umožňuje rozpoznávání a konfiguraci hardware), kde uživatelská přívětivost a špičková zařízení jdou ruku v ruce [53].



Obr. 49 ATOS ScanBox od firmy GOM [53].

ATOS ScanBox je vybaven 3D optickým skenerem ATOS Capsule (obr. 50) pro automatizované měření a vyhodnocení tvarových dílů. ATOS Capsule pracuje na principu projekce pruhů světla na skenovaný objekt. Exceluje především při měření

malých a středně velkých součástí, které obsahují velmi malé detaily. Skener bývá využíván například pro měření ozubených kol, lopatek turbín nebo u různých lékařských nástrojů. Technické parametry stroje ATOS ScanBox 4105 jsou uvedeny v příloze 13 a skeneru ATOS Capsule v příloze 14 [50].

Technologie měření souřadnic je využívána k digitalizaci ploch a tímto způsobem se mohou porovnávat reálné díly s teoretickými daty a jejich vyhodnocení. Digitalizační systém ATOS jednoduše a poměrně rychle digitalizuje měřené objekty s vysokým lokálním rozlišením měřicích bodů a přesností. Systém funguje na principu triangulace, z čehož vyplývá, že všechny 3D body jsou zachyceny za pomoci dvou různých metod během kvazi triangulárním měření. Při měření spustí projekce na měřený předmět rastrový vzor senzorem ATOS a potom je snímán za pomoci dvou kamer [47].

Při dílčích měření systémem ATOS je v závislosti na zvoleném druhu senzoru generován různý počet 3D bodů. Kvůli zajištění nejlepší digitalizace měřeného předmětu je zapotřebí měřit samostatně z různých směrů. V závislosti na typu použitého senzoru a druhu objektivů se vygeneruje v určené vzdálenosti trojrozměrná oblast (neboli měřicí objem), ve které systém počítá 3D body. Senzor ATOS Capsule pracuje s úzkopásmovým modrým světlem, právě díky technologii modrého světla může být okolní světlo filtrováno během snímání obrazu a lze dosáhnout krátkých časů měření [47, 50].

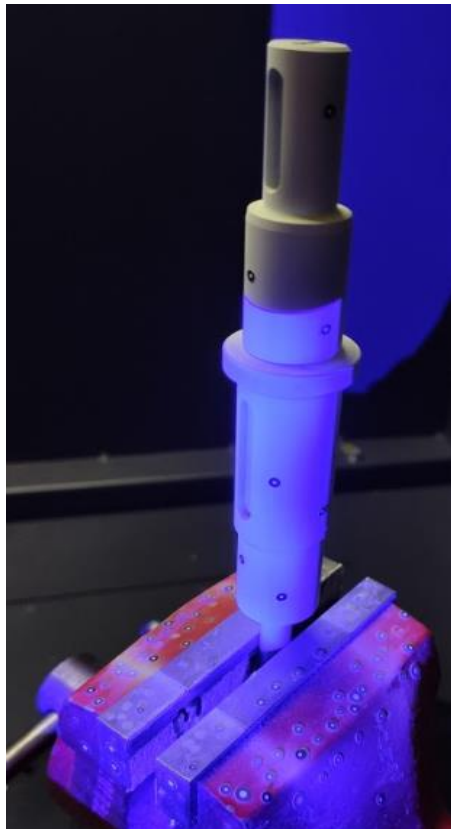


Obr. 50 ATOS Capsule [53].

Měřicí systém obsahuje:

- Senzor,
 - dvě kamery,
 - projektor,
 - řídicí jednotku,
- stojan,
- počítač (popř. laptop) [47].

System se může používat v kombinaci s otočným stolem, zvedacím zařízením nebo robotem pro zvýšení automatizace. Se senzorem lze pohybovat libovolně vzhledem k měřenému předmětu. Jestliže jsou při měření použity referenční body, systém transformuje dílčí měření do jednotného souřadného systému. Průběh digitalizace lze kontrolovat na monitoru, jak je znázorněno v příloze 6. Aby se dosáhlo přesného měření a výsledky byly co nejlepší i v drsném průmyslovém prostředí, systém sám kontroluje při každém měření následné aspekty: Stav kalibrace měřicího systému, pohyb měřeného objektu a skeneru, změny okolního světla. Na obr. 51 lze vidět navržený hřídel připravený pro měření ve ScanBoxu [47].



Obr. 51 Navržený hřídel připravený pro 3D měření.

Pro skenování je žádoucí, aby součást byla nejlépe bílá a matná, což zajišťuje, že se světelné paprsky odrazí od povrchu v požadované míře a nevznikne potíž s dekódováním promítaného vzoru. Za tímto účelem se používá suspenze etanolu s oxidem titaničitým, který má velmi vysoký index lomu světla a může rozptýlit světlo na povrchu dílu a poskytnout naskenování povrchu, i když bude tenká nástřiková vrstva. Také lze použít křídové prášky nebo akrylové barvy. Křídové prášky se používají ve spreji s alkoholovou bází. Největší výhodou nástřiků křídovým práškem je určitě jejich cena, která je značně levnější než u titanového. Pro navržený hřídel byl použit nástřik s oxidem titaničitým (TiO_2). Částice oxidu titaničitého se obvykle používají v desetinách mikrometrů. Oxid titaničitý výborně rozptyluje světlo (má výbornou krycí schopnost). Tloušťka titanového nástřiku bývá okolo 3 mikrometrů, zatímco u křídového prášku bývá tloušťka asi 10,5 mikrometrů. Proto z důvodu možnosti nanesení slabší vrstvy a docílení přesnějšího měření byl při kontrole navrženého hřídele použit oxid titaničitý. Na obr. 52 je zobrazen navržený hřídel, na který byl použit zmatňující nástřik před nanesením měřicích bodů [49].



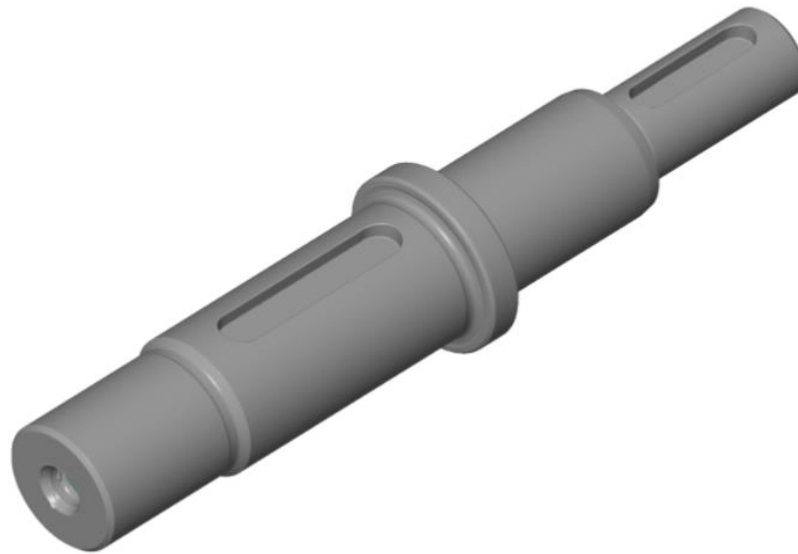
Obr. 52 Použití zmatňujícího nástřiku na navržený hřídel.

4.2 GOM Inspect Professional

Pro práci s naměřenými 3D daty a jejich následným vyhodnocením se používá software GOM Inspect Professional. Naměřená data se zjišťují za pomoci jiných programů GOM (např. ATOS Professional). Rovněž se mohou importovat naměřená data z externích programů. Lze využít funkce 3D analýzy na bodová data nebo sítě. Software spolupracuje s parametrickou inspekcí. Všechny prvky si ukládají svou utvářecí sekvenci uvnitř softwarové struktury, což znamená, že si software uchovává i vzájemné závislosti prvků. Právě proto je možné bezproblémově modifikovat dílčí prvky. Celá analýza lze následně aktualizovat zmáčknutím jednoho tlačítka. Za pomoci parametrické inspekce lze zpětně dohledat kterýkoliv prvek, a to až k jeho vytvoření. Program umožňuje provádět různé řezy skenovaným předmětem, zjistit rozměry a odchylky tělesa, vytvořit barevnou mapu, opravit díry neúplného skenu, vytvořit roviny, ustavit těleso funkcí (pomocí metod RPS, 3–2–1, Best-Fit, atd.), definovat geometrické tolerance a mnoho dalšího. Na obr. 53 je zobrazen sken navrženého hřídele v programu GOM Inspect Professional 2019. Pracovní prostředí programu je zobrazeno v příloze 15 [48].

Software uživateli poskytuje hned několik funkcí:

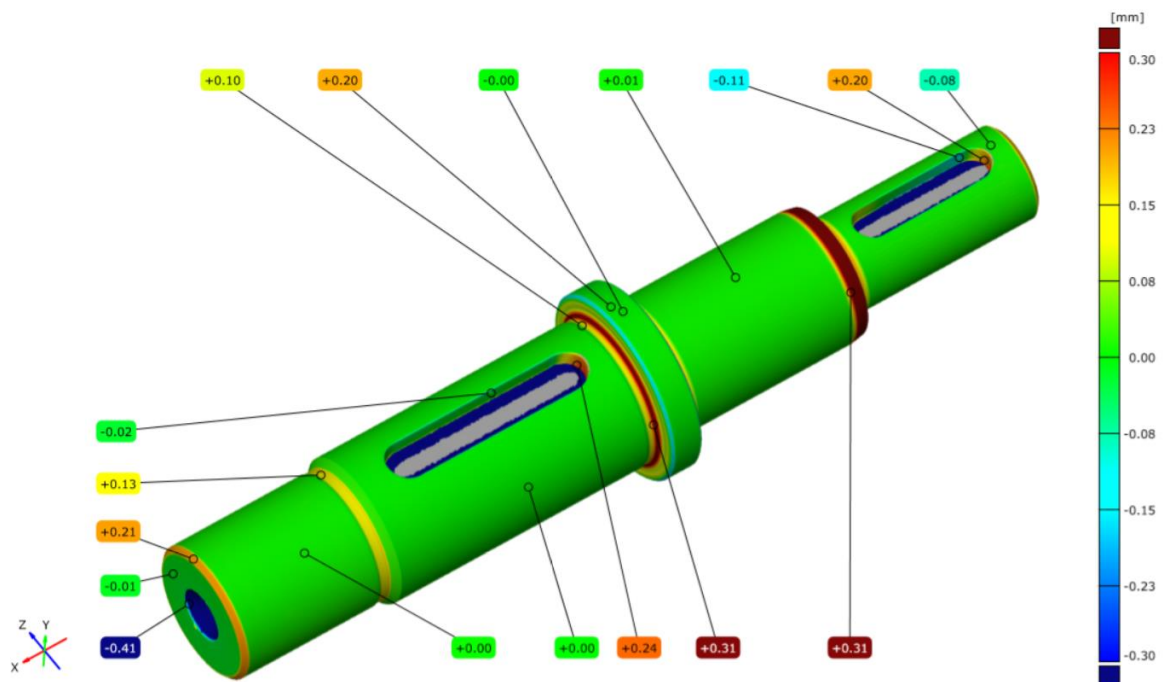
- Vytváření prvků,
- vyšetření prvků,
- vytváření protokolů,
- příprava jednotlivých vyhodnocení,
- definování šablon projektu [48].



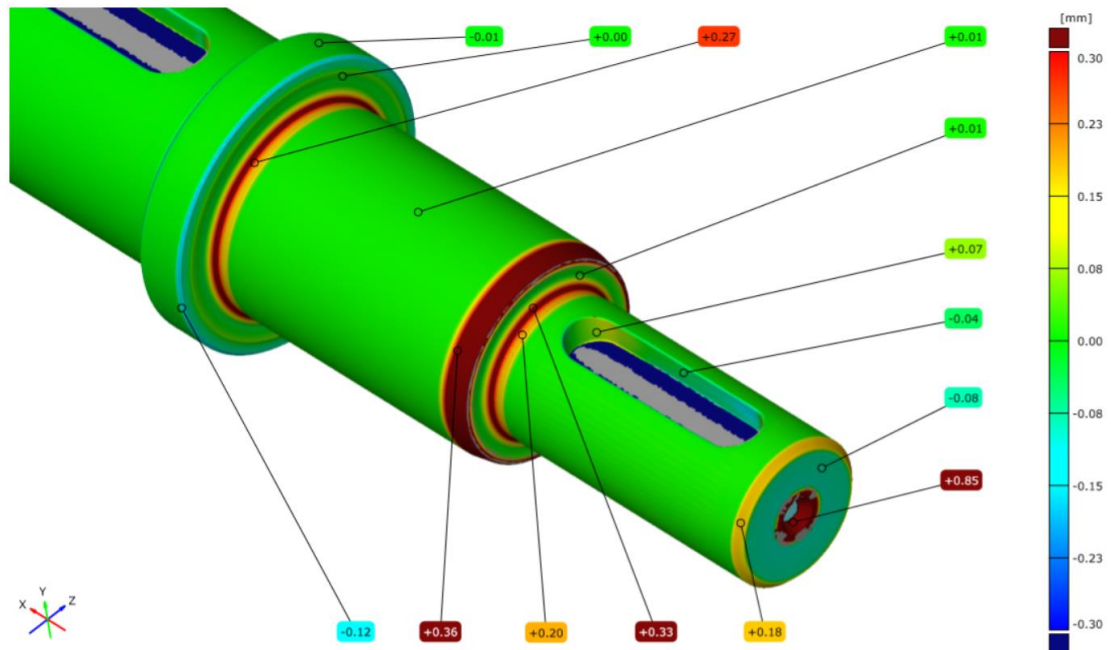
Obr. 53 Sken navrženého hřídele v programu GOM Inspect Professional.

4.3 Porovnání CAD modelu od skenu součásti

Pro porovnání CAD modelu od skenu součásti byla použita barevná mapa (obr. 54), na které lze vidět vzájemné odchylky. Nepřesnosti mohou být způsobeny opotřebovaným nástrojem, špatným seřízením CNC stroje nebo popřípadě špatnou kalibrací skeneru. Porovnání bylo provedeno v programu GOM Inspect Professional 2019. Do programu se vložil CAD model hřídele ve formátu STEP, který byl vytvořen v programu Tebis 4.0 R8 a síťový model ze skeneru ATOS Capsule, který využívají 3D skenery ve formátu STL. Největší odchylky byly zjištěny na pravé části hřídele (kontura typu B), její detail je znázorněn na obr. 55.



Obr. 54 Porovnání CAD modelu od skenu.



Obr. 55 Detail porovnání pravé části hřídele (kontura typu B).

5 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Technologický postup sepisuje technolog a slouží jako „návod“ pro výrobu součástí. Pro navrženou hřídel je technologický postup zobrazen v příloze 2.

5.1 Výpočet strojních časů

Pro výpočet řezné rychlosti slouží rovnice (1) [6]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1)$$

kde: D – výchozí obráběný průměr [mm]

n – otáčky obrobku [min^{-1}]

Pomocí úpravy lze získat rovnice (2) a vypočítat tak počet otáček [6]:

$$n = \frac{10^3 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \text{ [min}^{-1}] \quad (2)$$

Produktivita obráběcího stroje se hodnotí počtem výrobků za jednotku času nebo časem potřebným pro jejich výrobu. Pro výpočet jednotkového strojního času slouží rovnice (3) [6, 64]:

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} \text{ [min]} \quad (3)$$

kde: L – dráha nástroje [mm]

n – otáčky obrobku [min^{-1}]

f – posuv [mm]

Pro výpočet dráhy nástroje při podélném soustružení válcové plochy (obr. 56) slouží rovnice (4) [6, 64]:

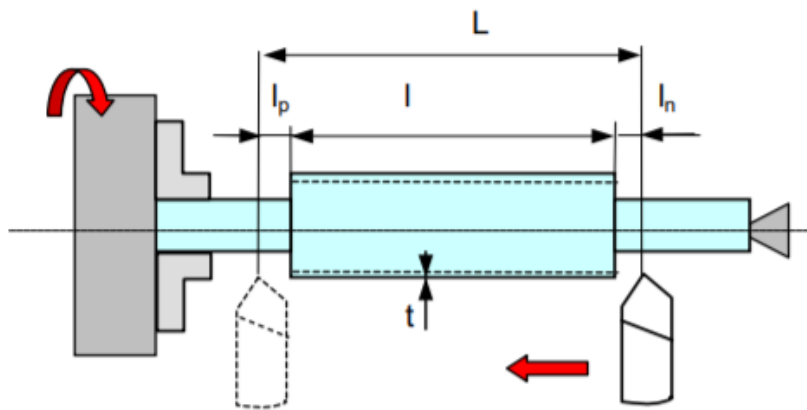
$$L = l + l_n + l_p \text{ [mm]} \quad (4)$$

kde: l – délka soustružené plochy [mm]

l_n – délka náběhu [mm]

l_p – délka přeběhu [mm]

t – hloubka odebrané vrstvy materiálu [mm]



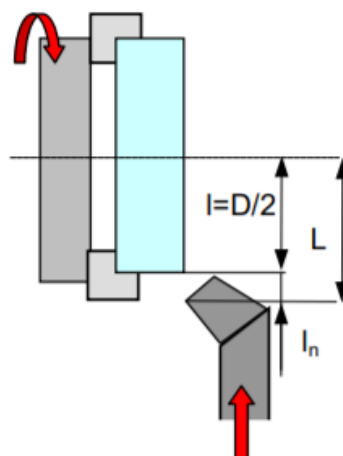
Obr. 56 Podélné soustružení válcové plochy [64].

Pro výpočet dráhy nástroje při příčném soustružení (obr. 57) slouží rovnice (5) [64]:

$$L = \frac{D}{2} + l_n \text{ [mm]} \quad (5)$$

kde: D – výchozí obráběný průměr [mm]

l_n – délka náběhu [mm]



Obr. 57 Příčné soustružení [64].

Pro stanovení průřezu třísky pro podélné soustružení slouží rovnice (6) [6]:

$$a_p = 0,5 \cdot (D - d) \text{ [mm]} \quad (6)$$

kde: D – výchozí obráběný průměr [mm]

d – konečný obráběný průměr [mm]

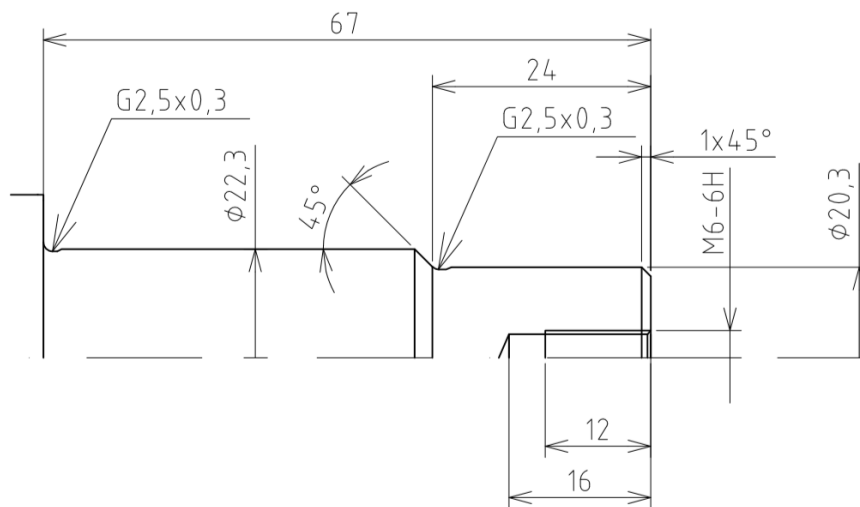
Pro stanovení průřezu třísky pro příčné soustružení slouží rovnice (7) [6]:

$$a_p = L_v - l_k \text{ [mm]} \quad (7)$$

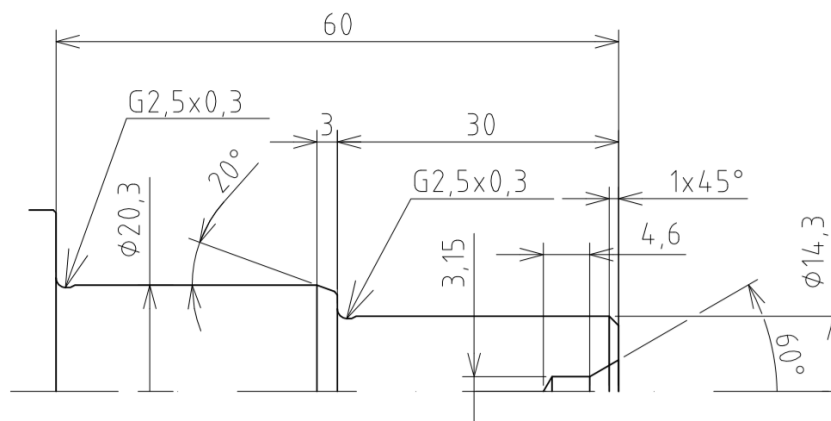
kde: L_v – výchozí délka polotovaru [mm]

l_k – konečná délka obrobku [mm]

CNC stroj má tyto rovnice zahrnuté v softwaru, se kterými následně pracuje v simulaci. Strojní časy se tedy získaly přímo ze stroje. Zjistil se strojní čas pro obrobek první kontury (typ A), která je zobrazená na obr. 58 a zahrnuje hrubování, dokončování, vrtání součásti a řezání závitu. Následně se zjistil strojní čas z obrobek druhé kontury (typ B), která je zobrazena na obr. 59 a zahrnuje hrubování, dokončování součásti a navrtání středícího důlku. Nakonec se zjistil strojní čas strávený během frézování drážek. Kontury jsou zde zaznačeny s přídatkem na broušení, které se provádělo externě [6, 51].



Obr. 58 Kontura typu A.



Obr. 59 Kontura typu B.

V tab. 16 jsou zobrazeny strojní časy všech operací, které byly použity při výrobě navrženého hřídele.

Tab. 16 Hodnoty strojních časů získaných simulací.

Popis práce	Strojní čas [min]
Obrábění kontury typu A	$t_{AS1} = 1,517$
Obrábění kontury typu B	$t_{AS2} = 1,017$
Frézování drážek	$t_{AS3} = 4,05$

Výpočet celkového strojního času (8) [6]:

$$t_{\text{celk}} = \Sigma t_{AS} = 6,584 \text{ [min]} \quad (8)$$

kde: t_{AS} – jednotkový strojní čas [min]

6 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

6.1 Výpočet celkového času výroby zadané dávky

Technicko - ekonomický výpočet byl proveden pro množství 30 kusů. Celkový strojní čas pro výrobu navrženého hřídele je 6,584 min. Tento čas ovšem neobsahuje časy potřebné pro upínání a měření. Rovněž v nich nejsou zahrnuty časy pro dělení polotovaru a broušení. Proto se připočítá přibližná doba strávená během těchto operací. V tomto případě se přičtou 4 min. Výpočet strojního času celé výrobní dávky je znázorněn rovnicí (9) [6].

$$t_{\text{dávky}} = \frac{N \cdot t_{\text{celk}}}{60} \text{ [hod]} \quad (9)$$

kde: t_{celk} – celkový strojní čas pro výrobu hřídele [min]

N – počet obrobků [-]

$$t_{\text{dávky}} = \frac{30 \cdot 10,584}{60} = 5,3 \text{ [hod]}$$

Pro 30 kusů je celkový strojní čas ve strojích okolo 5,3 hodin. Směna je dlouhá 8 hodin. Pokud se vezme v úvahu úklid pracoviště, zapnutí a vypnutí obráběcích strojů, pak se očekává snížení práce na 7 hodin, což znamená, že i přesto se zadaná dávka zvládne vyrobit jedním pracovníkem na jednom stroji za jednu směnu [6].

6.2 Výpočet spotřeby energie

Při výpočtu spotřeby energie se počítalo s příkonem, který byl zadán výrobcem. Ve výpočtu se počítá s tím, že pásová pila a broušící stroj mají stejný příkon jako CNC obráběcí centrum, vzhledem k jeho neznámé hodnotě. Stroj MAS SP 280 SY má příkon 51 kVA. V ideálním případě, kde elektrická síť není narušena indukčními nebo kapacitními vlivy, tak $W = VA$. Výpočet spotřeby energie spolu s jeho cenou je uveden níže [6].

- Výpočet spotřeby elektrické energie (10) [6]:

$$E_c = P_c \cdot t_{\text{dávky}} = 51 \cdot 5,3 = 270,3 \text{ [kWh]} \quad (10)$$

kde: P_c – celkový výkon stroje [kW]

$t_{\text{dávky}}$ - celkový strojní čas vyrobené dávky [min]

- Výpočet ceny spotřebované energie při ceně 4,91 Kč/kWh (11) [6]:

$$N_e = E_c \cdot C_e = 270,3 \cdot 4,91 = 1\,328 \text{ [Kč]} \quad (11)$$

kde: E_c – spotřebovaná elektrická energie [kWh]

C_e – cena energie [Kč]

Dávku tvoří 30 kusů, kde jeden polotovár má délku 135 mm, což dohromady dává 4 050 mm. Při ceně 227 Kč za metr včetně DPH bude cena za 5 metrů tyče 1 135 Kč. Pokud se k tomu připočte cena za energii 1 328 Kč, výsledná cena bez zahrnutí zaplacení obsluhy stroje tvoří 2 463 Kč.

Pokud se počítá i se zaplacením zaměstnance a vezme se v úvahu průměrná mzda operátora CNC stroje, která v současnosti činí okolo 30 000 Kč hrubého, bude sociální pojištění placené zaměstnavatelem tvořit 7 440 Kč a zdravotní pojištění placené zaměstnavatelem 2 700 Kč. V současnosti totiž platí zaměstnavatel sociální a zdravotní pojištění ve výši 33,8 % z hrubé mzdy a za sociální pojištění platí 24,8 % z hrubé mzdy. To dohromady dává superhrubou mzdu 40 140 Kč. Vypočítané hodnoty superhrubé mzdy jsou znázorněny na obr. 60 [57].

Kalkulačka superhrubé mzdy 2020	
Hrubá mzda	30 000
Sociální pojištění placené zaměstnavatelem	7 440
Zdravotní pojištění placené zaměstnavatelem	2 700
Superhubá mzda	40 140

Obr. 60 Výpočet super hrubé mzdy [57].

Pokud zaměstnavatel zaplatí tuto částku za měsíc, kdy má zaměstnanec povinnost odpracovat 160 hodin měsíčně, potom za 1 směnu (8 hodin), během které se dávka vyrobí, zaměstnavatel zaplatí 2 007 Kč. Jestliže se tedy počítá, že výrobu bude provádět placený zaměstnanec, potom výsledná cena celé dávky 30 kusů bude zaměstnavatele stát 4 470 Kč.

Technicko - ekonomické zhodnocení bylo zaměřeno na výpočet ceny jedné výrobní dávky hřídelí při sériové výrobě 30 kusů. Snížení ceny by se dalo dosáhnout novými neopotřebenými nástroji použitými během obrábění a mírným zvýšením otáček, což by mělo za následek snížení výrobních časů. Další možností je volba levnějšího materiálu nebo dohodnutí snížení ceny s dodavatelem.

7 EKOLOGIE V OBRÁBĚNÍ

Během obrábění součástí dochází ke vzniku tzv. ocelového odpadu, který je tvořen ocelovými třísky vzniklými úběrem materiálu při styku obrobku s nástrojem. U některých strojů je odebraný materiál zachycen v prostoru stroje a dopravníkem přepravován do odpadového prostoru neboli kontejneru. Při výrobě navrženého hřídele byl použit stroj MAS SP 280 SY, který nebyl vybaven kontejnerem na ocelový odpad, takže v případě vyrobené dávky by bylo nutné odpad z prostoru stroje odstranit. Příklad kontejneru na třísky je na obr. 61 [6].



Obr. 61 Příklad výklopného kontejneru [55].

7.1 Třídění odpadu

Pokud by se zadaná dávka vyráběla ve firmě na jiném stroji, který by byl vybaven kontejnerem na ocelový odpad, odstraňoval by se odpad z kontejneru ve dvou případech:

- a) Pokud se kontejner naplní odpadem, obsluha stroje musí kontejner vysypat.
- b) Jestliže se začne obrábět jiný druh materiálu vůči původnímu, obsluha musí vysypat původní odpad do příslušného druhu odpadu [6].

Ve strojírenských firmách se třídění odpadu dělí do skupin:

- Ocel, slitiny oceli,
- litina, slitiny litin,
- měď, slitiny mědi,
- hliník, slitiny hliníku,
- mosaz, slitiny mosazi,
- jiné odpady [6].

ZÁVĚR

V úvodu diplomové práce CNC obrábění součásti hřídel převodovky jsou rozebrány základní pojmy týkající se CNC obráběcích strojů, a to od historie, konstrukce, možností strojů až po programování pomocí řídicích systémů na CNC stroji.

Hlavním cílem diplomové práce byl softwarový návrh hřídele převodovky, příprava dat pro CNC stroj, následná výroba hřídele a vyhodnocení výsledků.

- Nejprve za pomoci strojnických tabulek byl vytvořen v programu AutoCAD 2019 výkres hřídele. Následně byl navržený hřídel naprogramován a vyroben na stroji MAS SP 280 SY s řídicím systémem Sinumerik SinuTrain 7.5. Zvolený stroj a použité nástroje byly vybrány v rámci možností školní dílny. Podle katalogu výrobce byly zvoleny technologické parametry.
- Následně byl navržený hřídel naprogramován v softwaru Tebis 4.0 R8 a oba programy byly porovnány. Zjistilo se, že pro výrobu navrženého hřídele bylo rychlejší a jednodušší programování v softwaru Sinumerik funkcí ShopTurn, jelikož nebylo zapotřebí vytvoření CAD modelu a stačilo nakreslit konturu hřídele přímo na stroji. Programování v systému Tebis je výhodnější použít při výrobě komplikovanějších tvarů.
- V poslední řadě byl vyrobený hřídel natřen zmatňujícím nástřikem, polepen měřicími 3D body a naskenován ve ScanBoxu pomocí 3D skeneru ATOS Capsule, který byl vybaven programem ATOS Professional 2019. Sken hřídele tvořil síť bodů ve formátu STL. Tento formát byl následně převeden do programu GOM Inspect Professional 2019, rovněž se do programu převedl i CAD model ve formátu STEP vytvořený v programu Tebis 4.0 R8. Za pomoci barevné mapy v programu GOM byl porovnán sken hřídele s CAD modelem. Z výsledku bylo zjištěno, že v některých místech se dosahují větší odchylky. Proto při následné výrobě je zapotřebí použít nové neopotřebované nástroje a seřídít CNC stroj.

Z technicko – ekonomického zhodnocení bylo zjištěno, že při výrobě 30 kusů hřídelí bude jedna výrobní dávka stát 4 470 Kč. Snížení ceny je možné dosáhnout docílením zkrácení výrobních časů, například mírným zvýšením otáček nebo využitím levnějšího materiálu pro výrobu či dohodnutím nižší ceny s dodavatelem.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ŠTULPA, Miloslav. CNC: obráběcí stroje a jejich programování. 1. Vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006, 126 s. ISBN 80-730-0207-8.
2. *ŘÍDICÍ SYSTÉM CNC STROJŮ A MOŽNOSTI VYUŽITÍ*. Brno, 2012. Bakalářská práce. VUT.
3. MAREK, Jiří a kol. Konstrukce CNC obráběcích strojů. 2. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
4. *CNC TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ*. Brno, 2014. Bakalářská práce. VUT.
5. *HOW TO?* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://jaknato.blogspot.com/2015/12/cnc-rezne-podminky-nastroju.htm>
6. *OBRÁBĚNÍ HŘÍDELE NA CNC STROJI*. Brno, 2015. Bakalářská práce. VUT.
7. *Blokové schéma CNC obráběcího stroje a složení řídicích systémů* [online]. [cit. 2020-03-15].
8. KRÁL, Pavel a Jan ŠRAJER. CNC obráběcí centra: obráběcí stroje a jejich programování. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2008, 79 s. ISBN 978-80-7375-163-0 (BROŽ.).
9. Electronic Sam. B and W company [online]. 1.12.2005, 2.12.2005 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.electronicssam.com/images/KandT/oldkandt.JPG>
10. SVOBODA, Evžen. Technologie a programování CNC strojů. 1. Vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, 100 s. Učebnice pro odborné školy (Fragment). ISBN 80-720-0297-X.
11. MAREK, Jiří a Oldřich UČEŇ. CNC obráběcí stroje. 1. Vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 103 s. ISBN 978-80-248-2329-4 (BROŽ.).
12. VÁVRA, Zbyněk. Programové moduly pro obrábění v prostředí programu SurfCAM [online]. Zlín, 2.6.2010 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/12062/vavra_2010_bp.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
13. *Moderní konstrukční řešení CNC strojů* [online]. Uherské Hradiště, 2012 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <http://www.uh.cz/szesgsm/files/sblizovani/pdf/mod-konstr-cnc.pdf>. Učební texty. Střední odborná škola technická Uherské Hradiště.
14. WAGNER, Friedrich. Technika a programování NC strojů. 2., durchges. Aufl. Překlad Jiří Dvorský. Praha: Wahlberg, 1994, 88 s. ISBN 80-901-6575-3.
15. Lineární pohony. REM-Technik s.r.o. [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/linearni-pohony/ekonomicka-rada-linearnich-pohonu/elektricky-valcovy-pohon-1466.html>

16. Deskripce CNC obráběcích center na nerotační součásti [online]. Brno, 2008 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z:
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=582
8. Bakalářská práce. VUT Brno. Vedoucí práce Ing. Petr Blecha, Ph.D.
17. CNC soustruhy. Progresivní technologie obrábění a tváření [online]. © 2012 [cit. 2012-04-16]. Dostupné z:
<http://www.newtech.cz/media/attachments/nl-serie.pdf>
18. Obrábění 1D až 5D – vysvětlení pojmů: B3kovo [online]. 6. 1. 2010 [cit. 2012-0522]. Dostupné z: <http://b3kovo.cz/blog/2010/01/obrabeni-1d-az-5d--vysvetlenipojmu/>
19. Obecný úvod do problematiky CNC programování [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://www.sosbites.cz/images/stories/Prostudenty/studijni-materialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf. Středisko praktického vyučování PBS Velká Bíteš.
20. *Automatizace CNC strojů Mazak* [online]. 2019 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://www.technickydenik.cz/rubriky/automatizace-robotizace/automatizace-cnc-stroju-mazak_47739.html
21. KRÁL, Mojmír. Základy CNC obráběcích strojů. 1. Vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, 59 s. Učebnice pro odborné školy (Fragment). ISBN 80-720-0295-3.
22. Revolverové hlavy. DIFAK [online]. [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <http://www.difak.cz/cs/baruffaldi/revolverove-hlavy-typu-tbmr-vdi>
23. Modulární řešení pro výrobu nástrojů a forem. MM Průmyslové spektrum [online]. 2005 [cit. 2012-03-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/modularnireseni-pro-vyrobu-nastroju-a-forem.html>
24. Mechatronika. STAVINOHA, Zdeněk. Coptel [online]. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=25226&docGroup=4931&cmd=0&instance=2>
25. LAURENC, Filip. Tredy současného vývoje automatické výměny obrobků. Brno, 2010. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=290
42. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Jan Pavlík.
26. Kleštiny. První hanácká BOW [online]. © 2005 – 2011 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.bow.cz/produkt/3352050-klestiny-oz25-7-25mm-7-ks-klestinovy-upinacmk3-m12/>
27. *Tříčelist'ové soustružnické sklíčidlo litinové* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.markagro.net/produkt/tricelistove-soustruznicke-sklicidlo-litinove-dk11-100>
28. *Licní deska* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.nastrojenaradi.cz/licni-deska-500mm-1>

29. *Elektro-permanentní magnetický upínač* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://somet.cz/cz/elektro-permanentni-magneticky-upinac-300x590x60-mm-32-ctvercovych-polu-50x50-mm-bez-ovladaci-jednotky>
30. *PROGRAMOVÁNÍ CNC STROJŮ* [online]. 2016 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/13279/mod_resource/content/1/Ru%C4%8Dn%C3%AD%20programov%C3%A1n%C3%AD%202_ro%C4%8Dn%C3%ADk_NOV%C3%81.pdf. Učební texty. STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA Praha 10.
31. *Vztažné body stroje* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1295>
32. ADAMEC, Jaromír a Šárka TICHÁ. *Návody k programování výukového systému EMCOTRONIC TM 02 - Frézování*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 1996, 64 s. ISBN 80-7078-301-X.
33. *Nulové a další vztažné body na CNC strojích. Vyznáte se v nich?* *Factoryautomation* [online]. 2014 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/nulove-a-dalsi-vztazne-body-na-cnc-strojich-vyznate-se-v-nich/>
34. *Základy programování a obsluha CNC strojů* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: http://www2.sps-jia.cz/~hill/zakl_progr.pdf. Učební texty. STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA, JIHLAVA.
35. *Základy CNC programování. Tuhle terminologii musíte znát.* *Factoryautomation* [online]. 2015 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/zaklady-cnc-programovani-tuhle-terminologii-musite-znat/>
36. *Souřadné systémy, kontrolní práce ABS + INK* [online]. Opava, 2012 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/Praxe_II_a_III/VY_52_INOVACE_H-02-09.pdf. OP Vzdělávání pro konkurenceschopnost. Střední škola průmyslová a umělecká, Opava, příspěvková organizace.
37. *Nové multifunkční obráběcí centrum MCU 630VT-5X od firmy Kovosvit MAS*. *Technik: měsíčník Hospodářských novin*. Economia, a. s.: Praha, 2011, č. 9. ISSN 1210-616x.
38. *EMO 2011 s opatrným hodnocením budoucnosti*. *Technický týdeník*. Praha: SpringerMedia, 2011, č. 20. ISSN 0040-1064.
39. *Ocel ČSN 11600. Tprom* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/wiki/ocel/11600>
40. *ČSN 11600 – konstrukční ocel* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11600.pdf>
41. *Kovosvit MAS SP 280* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/sp-280-p6.html#prumysl-a-aplikace>

42. SIEMENS SHOPTURN. *Příručka obsluhy/programování* [online]. 2008 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/059/28739059/att_108877/v1/BATsl_0108_cz.pdf
43. *Katalog Tebis - Maximální efektivita pro vaše procesy: Příručka společnosti MCAE Systems, s.r.o.* Kuřim. Planegg Německo: Tebis, 2016.
44. *Příručka Tebis Lathe: Příručka společnosti MCAE Systems, s.r.o.* Kuřim. Planegg Německo: Tebis, 2019.
45. *Příručka Tebis Turning: Příručka společnosti MCAE Systems, s.r.o.* Kuřim. Planegg Německo: Tebis.
46. PÍŠKA, Miroslav a Aleš POLZER. *tebis. CAD/CAM & CNC technologie* [online]. 21.4.2004 [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: http://cadcam.fme.vutbr.cz/sinutrain/SPN12CNC_Sinumerik810D.pdf
47. *Příručka GOM ATOS 2017: Příručka společnosti MCAE Systems, s.r.o.* Kuřim: GOM, 2017.
48. *Příručka GOM Inspekce 2017: Příručka společnosti MCAE Systems, s.r.o.* Kuřim: GOM, 2017.
49. APLIKACE VELMI TENKÝCH ZMATŇUJÍCÍCH NÁSTŘÍKŮ [online]. Brno, 2018 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=173413. Diplomová práce. VUT.
50. MCAE. MCAE Systems [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://www.mcae.cz/cs/produkty/atos-capsule/>
51. *Strojní čas soustružení* [online]. Opava, 2012 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/11668592-Vypocet-strojního-casu-soustruzeni.html>. OP vzdělání pro konkurenceschopnost.
52. Návod k používání číslicově řízeného soustruhu SP180/280
53. *Zebicon* [online]. [cit. 2020-03-23]. Dostupné z: <https://www.zebicon.com/en/metrology-systems/automated-3d-scanning/atos-scanbox-series-4/>
54. Zvláštní příslušenství ke strojům CM. *ZAMAQ* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <http://www.zamaq.cz/zvlastni-prislusenstvi-ke-strojum-CM>
55. Výklopné kontejnery na odpad a třísky. *BROXTEC* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <http://www.broxtec.cz/page/1726.vyklopne-kontejnery-na-odpad-trisky/>
56. *Inovace rozměrového měření ve Škoda Auto.* Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT.
57. Výpočet superhrubé mzdy. *Kurzy* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kalkulacka/superhruba-mzda/>

58. *METODY 3D SKENOVÁNÍ OBJEKTŮ*. Brno, 2015. Bakalářská práce. VUT.
59. ZOUHAR, Jan. *Reverzní inženýrství: Přednáška reverzní inženýrství*. Brno.
60. *Základy CNC programování*. Brno, 2012. Protokol. VUT.
61. ATOS ScanBox Series 4. GOM [online]. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.gom.com/metrology-systems/atos-scanbox/atos-scanbox-series-4.html>
62. ATOS ScanBox 4105. Aniwaa [online]. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.aniwaa.com/wp-content/uploads/2015/08/3D-scanner-GOM-ATOS-ScanBox-4105.jpg>
63. ATOS Capsule. Capture3d [online]. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.capture3d.com/3d-metrology-solutions/3d-scanners/atos-capsule>
64. Soustružení. *Elitalycea* [online]. [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep17.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
CBN	Kubický nitrid bóru
CNC	Číslicové řízení počítačem (Computer Numerical Control)
ČSN	Česká technická norma
FEM	Metoda konečných prvků (Finite element method)
HPC	Vysoce výkonné obrábění (High Performance Cutting)
HRC	Tvrдость podle Rockwella
HSC	Vysokorychlostní obrábění (High Speed Cutting)
ISO	Norma (International Organization for Standardization)
NC	Číslicové řízení (Numerical Control)
OTK	Odbor technické kontroly
PCD	Polykrystalický diamand
VBD	Vyměnitelná břitová destička

Symbol	Jednotka	Popis
A₁	[-]	Hliník
a_p	[mm]	Hloubka záběru ostří
C_e	[Kč]	Cena energie
d	[mm]	Konečný obráběný průměr
D	[mm]	Výchozí obráběný průměr
D1, D2	[-]	Korekce nástroje
E_c	[kWh]	Spotřebovaná elektrická energie
f	[mm]	Posuv
G40	[-]	Zrušení korekce dráhy nástroje
G41	[-]	Korekce dráhy nástroje vlevo od obrysu obrobku
G42	[-]	Korekce dráhy nástroje vpravo od obrysu obrobku
G90	[-]	Absolutní programování
G91	[-]	Inkrementální programování
l	[mm]	Délka soustružené plochy

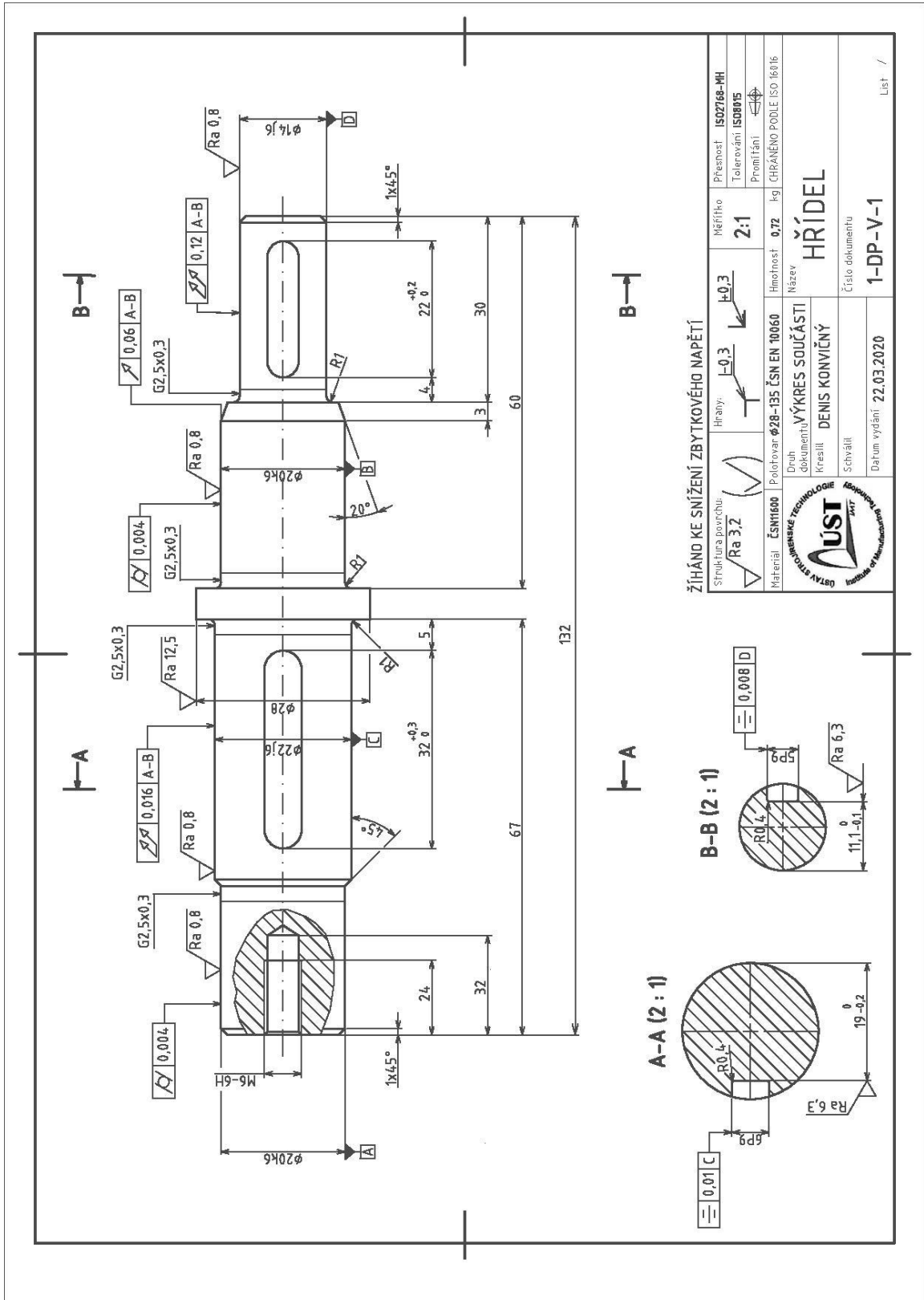
L	[mm]	Dráha nástroje
l_k	[mm]	Konečná délka obrobku
l_n	[mm]	Délka náběhu
l_p	[mm]	Délka přeběhu
L_v	[mm]	Výchozí délka polotovaru
n	[min ⁻¹]	Otáčky obrobku
N	[-]	Počet obrobků
N_e	[Kč]	Náklady na energii
N_i	[-]	Nykl
P_c	[kW]	Celkový výkon stroje
r_e	[mm]	Poloměr špičky
S	[min ⁻¹]	Otáčky obrobku na stroji
S_i	[-]	Křemík
t	[mm]	Hloubka odebrané vrstvy materiálu
T1, T2	[-]	Pozice nástroje
t_{AS}	[min]	Jednotkový strojní čas
t_{celk}	[min]	Celkový strojní čas pro výrobu hřídele
t_{dávky}	[min]	Celkový strojní čas vyrobené dávky
T_i	[-]	Titan
T_iA₁N	[-]	Povlakovaný slinutý karbid
v_c	[m · min ⁻¹]	Řezná rychlost

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Technický výkres součásti hřídel.
Příloha 2	Technologický postup součásti hřídel.
Příloha 3	Popis výrobního procesu v systému Tebis.
Příloha 4	Technické parametry stroje MAS SP 280 SY.
Příloha 5	Obecné blokové schéma CNC obráběcího stroje.
Příloha 6	Průběh digitalizace na monitoru při skenování součásti v programu ATOS.
Příloha 7	Pracovní prostředí systému Tebis 4.0 R8.
Příloha 8	Oddělené simulace vyrobeného hřídele v programu Sinumerik SinuTrain 7.5.
Příloha 9	Síť hřídele vytvořená pomocí skeneru ATOS Capsule.
Příloha 10	Seznam vybraných příkazů stroje obsahující systém Sinumerik SinuTrain 7.5.
Příloha 11	Seznam použitých nástrojů v systému Sinumerik SinuTrain 7.5.
Příloha 12	Fotodokumentace použitých nástrojů.
Příloha 13	Technické parametry stroje ATOS ScanBox 4105.
Příloha 14	Technické parametry skeneru ATOS Capsule.
Příloha 15	Pracovní prostředí programu GOM Inspect Professional 2019.
Příloha 16	Oddělené simulace vyrobeného hřídele v programu Tebis 4.0 R8.

PŘÍLOHA 1

Technický výkres součásti hřídel.



PŘÍLOHA 2 (1/4)

Technologický postup součásti hřídel.

TECHNOLOGICKÝ POSTUP			Číslo součástky:	Materiál:	Polotovár:	Vyhotovil:
Datum: 01.03.2020			DP-01/01-2020	Ocel ČSN 11 600	Ø 28–135 ČSN 42 5510	Denis Konvičný
Číslo operace:	Název stroje a číslo pracoviště:	Pracovní režimy nastavené na stroji:	Popis práce:		Výrobní pomůcky:	
0/0	OTK 09863	-	Vizuální kontrola tyče		Posuvné měřítko ČSN 25 1238	
		-	Kontrolovat Ø 28			
1/1	Pásová pila STG 220 G 15985	-	Upnout		Posuvné měřítko ČSN 25 1238	
		-	Řezat na délku 135			
2/2	Soustružnické (obráběcí) centrum MAS SP 280 SY 04554	-	Upnout do sklíčidla		Hrubovací nůž SCLCR 2525 M12-M-A KT 215 VBD hrubovací CNMG 120408E-RM; 9230 80012349 Dokončovací nůž TR-V13JBL 2525M VBD dokončovací VCMW 160404; 6605 80007561 Středící vrták ČSN 221110 Vrták DIN 338 Typ N Vrták ČSN 22 1121 Závitník DIN 371	
		-	Obrábění kontury typu A:			
		f = 0,22 mm $v_c = 220 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 0,7 \text{ mm}$	Zarovnat čelo			
		f = 0,28 mm $v_c = 200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (hrubovat) Ø 20,3 na délce 24 s přídkem v ose X = 0,25, v ose Z = 0,25 a s ohledem na zkosení hrany 1x45° a zápích G2x03			
		f = 0,28 mm $v_c = 200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (hrubovat) Ø 22,3 pod úhlem 45° s přídkem v ose X = 0,25, v ose Z = 0,25			
		f = 0,28 mm $v_c = 200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (hrubovat) na délku 67 s přídkem v ose X = 0,25 mm, v ose Z = 0,25 a s ohledem na zápích G2x0,3			
		f = 0,28 mm $v_c = 200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (hrubovat) Ø 28			
		f = 0,11 mm $v_c = 300 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (dokončovat) Ø 20,3 na délce 24 s ohledem na zápích G2x03			

PŘÍLOHA 2 (2/4)

Technologický postup součásti hřídel.

		$f = 0,11 \text{ mm}$ $v_c = 300 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (dokončovat) $\varnothing 22,3$ pod úhlem 45°	
		$f = 0,11 \text{ mm}$ $v_c = 300 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (dokončovat) $\varnothing 22,3$ na délce 67 s ohledem na zápich G2x0,3	
		$f = 0,11 \text{ mm}$ $v_c = 300 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (dokončovat) $\varnothing 28$	
		$f = 0,08 \text{ mm}$ $n = 850 \text{ min}^{-1}$	Vrtat středící důlek A3,15 do hloubky 8,9	
		$f = 0,08 \text{ mm}$ $n = 850 \text{ min}^{-1}$	Vrtání $\varnothing 6,4 \text{ mm}$ do hloubky 4,6	
		$f = 0,07 \text{ mm}$ $n = 920 \text{ min}^{-1}$	Vrtání $\varnothing 5 \text{ mm}$ do hloubky 16	
		$P = 1 \text{ mm}$ $n = 130 \text{ min}^{-1}$	Řezání závitu M6-6H do hloubky 12	
3/3	OTK 09863	-	Vizuální kontrola levé části	Posuvné měřítko ČSN 25 1238
		-	Měření rozměrů levé části včetně měření díry	
4/4	Soustružnické (obráběcí) centrum MAS SP 280 SY 04554	-	Otočit součást	Hrubovací nůž SCLCR 2525 M12-M-A KT 215
		-	Upnout do sklíčidla	VBD hrubovací CNMG 120408E-RM; 9230 80012349
		-	Obrábění kontury typu B:	Dokončovací nůž TR-V13JBL 2525M
		$f = 0,22 \text{ mm}$ $v_c = 220 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 0,7 \text{ mm}$	Zarovnat čelo	VBD dokončovací VCMW 160404; 6605 80007561
		$f = 0,08 \text{ mm}$ $n = 850 \text{ min}^{-1}$	Vrtat středící důlek A3,15 do hloubky 4,6	Středící vrták ČSN 22 1110

PŘÍLOHA 2 (3/4)

Technologický postup součásti hřídel.

		$f = 0,28 \text{ mm}$ $v_c = 200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (hrubovat) $\varnothing 14,3$ na délku 30 s přídkem v ose X = 0,25, v ose Z = 0,25 a s ohledem na zkosení hrany 1x45° a zápichem G2x0,3	
		$f = 0,28 \text{ mm}$ $v_c = 200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (hrubovat) $\varnothing 20,3$ na délku 3 pod úhlem 20° s přídkem v ose X = 0,25, v ose Z = 0,25	
		$f = 0,28 \text{ mm}$ $v_c = 200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (hrubovat) $\varnothing 20,3$ na délku 60 s přídkem v ose X = 0,25, v ose Z = 0,25 a s ohledem na zápich G2x0,3	
		$f = 0,28 \text{ mm}$ $v_c = 200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (hrubovat) na $\varnothing 28$	
		$f = 0,11 \text{ mm}$ $v_c = 300 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (dokončovat) $\varnothing 14,3$ na délku 30 s ohledem na zkosení hrany 1x45° a zápichem G2x0,3	
		$f = 0,11 \text{ mm}$ $v_c = 300 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (dokončovat) $\varnothing 20,3$ na délku 3 pod úhlem 20°	
		$f = 0,11 \text{ mm}$ $v_c = 300 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (dokončovat) $\varnothing 20,3$ na délku 60 s ohledem na zápich G2x0,3	
		$f = 0,11 \text{ mm}$ $v_c = 300 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ $a_p = 1,2 \text{ mm}$	Soustružit (dokončovat) na $\varnothing 28$	
5/5	OTK 09863	-	Vizuální kontrola pravé části	Posuvné měřítko ČSN 25 1238
		-	Měření rozměrů pravé části	
6/6	Frézovací (obráběcí) centrum MAS SP 280 SY 04554	-	Upnout do sklíčidla	Fréza válcová čelní ČSN 22 2130
		$f = 0,04 \text{ mm}$ $n = 1000 \text{ min}^{-1}$	Frézovat drážku pro pero o délce $22 \pm 0,2$	

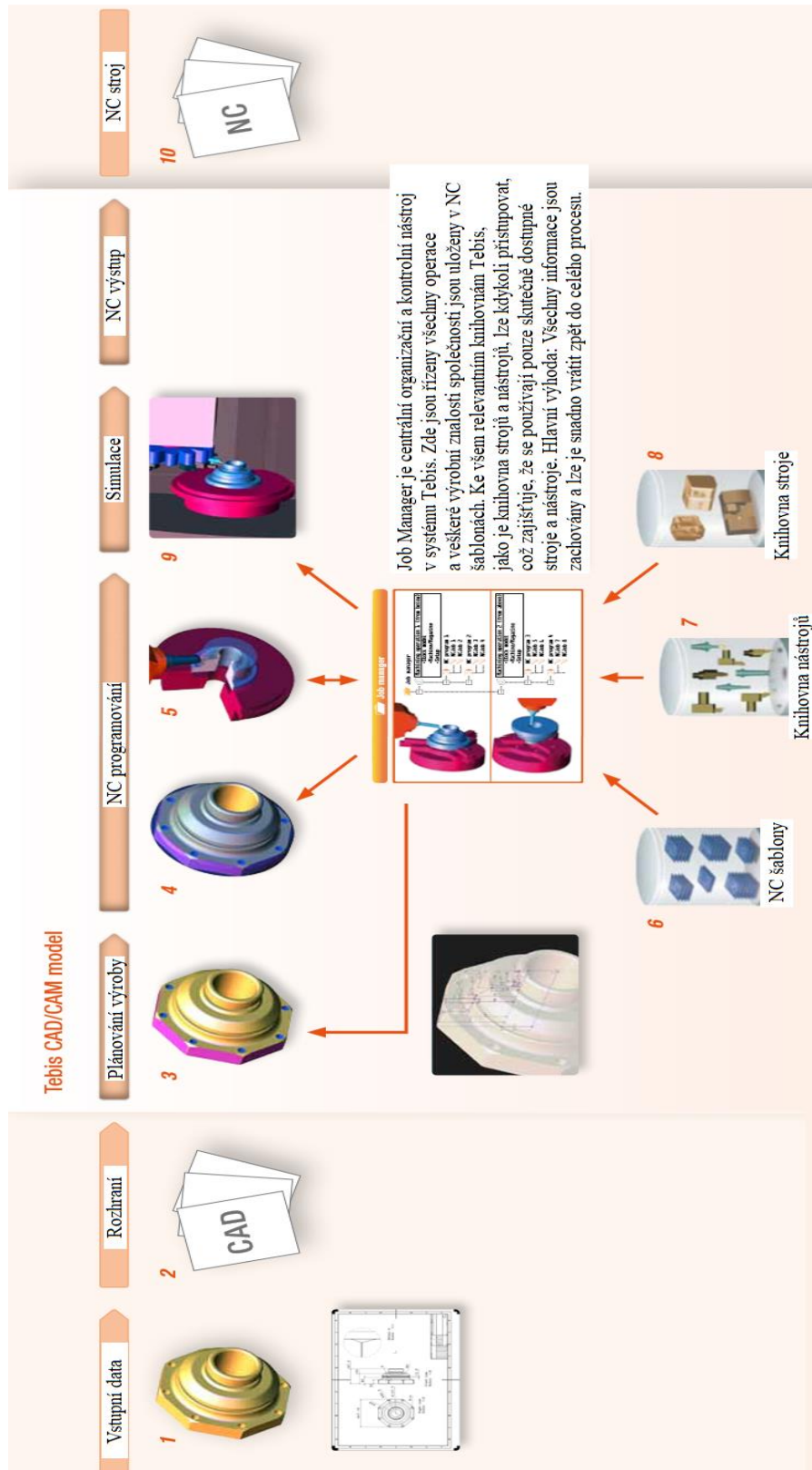
PŘÍLOHA 2 (4/4)

Technologický postup součásti hřídel.

		f = 0,04 mm n = 1000 min ⁻¹	Frézovat drážku pro pero o délce 32 ± 0,3	
7/7	OTK 09863	-	Kontrola drážek pro pero	Posuvné měřítko ČSN 25 1238
		-	Celková vizuální kontrola	
8/8	Broušící stroj JUCENTRIC 500 15542		Broušení všech válcových částí na Ra 0,8, kromě částí o Ø 28	

PŘÍLOHA 3

Popis výrobního procesu v systému Tebis [45].



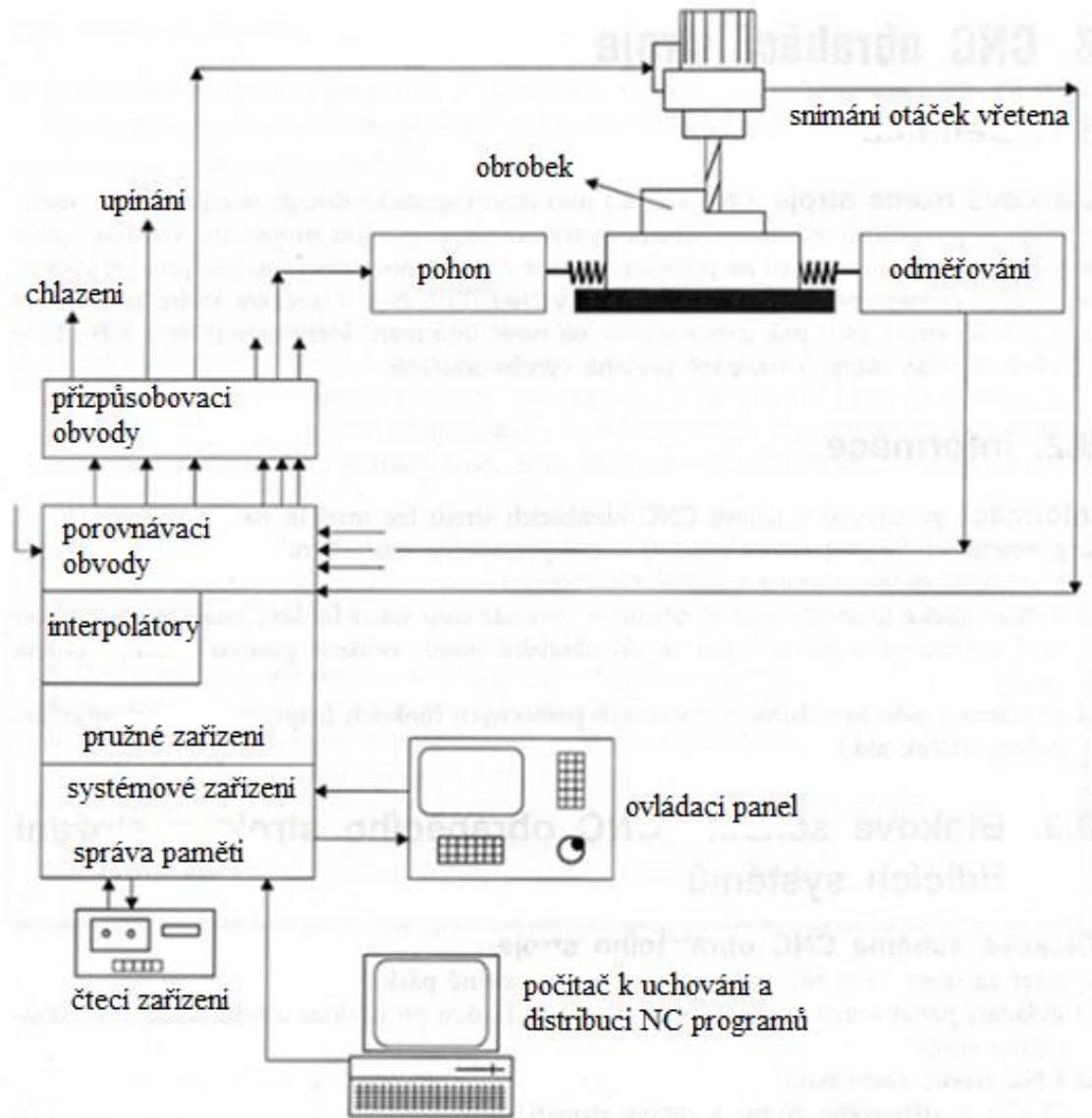
PŘÍLOHA 4

Technické parametry stroje MAS SP 280 SY [41].

Pracovní prostor	Oběžný průměr nad ložem	570 [mm]
	Max. délka soustružení	450 [mm]
	Max. průměr soustružení	280 [mm]
	Max. průchod tyče vřetene s řemenem	-
	Max. průchod tyče elektrovřetenem	A6: průměr 61 [mm]
Pojezdy os	Osy X, Z	241/640 [mm]
	Osa Y	±50 [mm]
	Pravý vřeteník Z _S	600 [mm]
Motor vřetena - Nástrojové vřeteno	Výkon S3 - 60%	8 [kW]
	Max. krouticí moment S3 - 60%	40 [Nm]
Rychloposuv	Osy X, Z	30/30 [min ⁻¹]
Hlavní vřeteno	Řemenový náhon – max. otáčky	-
	Elektrovřeteno - max. otáčky	A6: 5000 [min ⁻¹]
	Protivřeteno A5 - max. otáčky	A5: 6000 [min ⁻¹]
Nástrojová hlava	Počet poloh	12
	Průměr díry VDI	40 [mm]
	Max. otáčky nástrojového vřetena	4000 [min ⁻¹]
Rozměry a hmotnost stroje	Délka × šířka × výška	3875 × 2122 × 2345 [mm]
	Hmotnost	7900 [kg]
Koník	Kužel dutiny - MORSE	-
Motor vřetena - Řemenový náhon	Výkon S1/S6 - 40%	-
	Max. krouticí moment S1/S6 - 40%	-
Motor vřetena - Elektrovřeteno	Výkon S1/S6 - 40%	20,9/27 [kW]
	Max. krouticí moment S1/S6 - 40%	200/257 [Nm]
Motor vřetena - Protivřeteno	Výkon S1/S6 - 40%	7,5/11 [kW]
	Max. krouticí moment S1/S6 - 40%	48/70 [Nm]

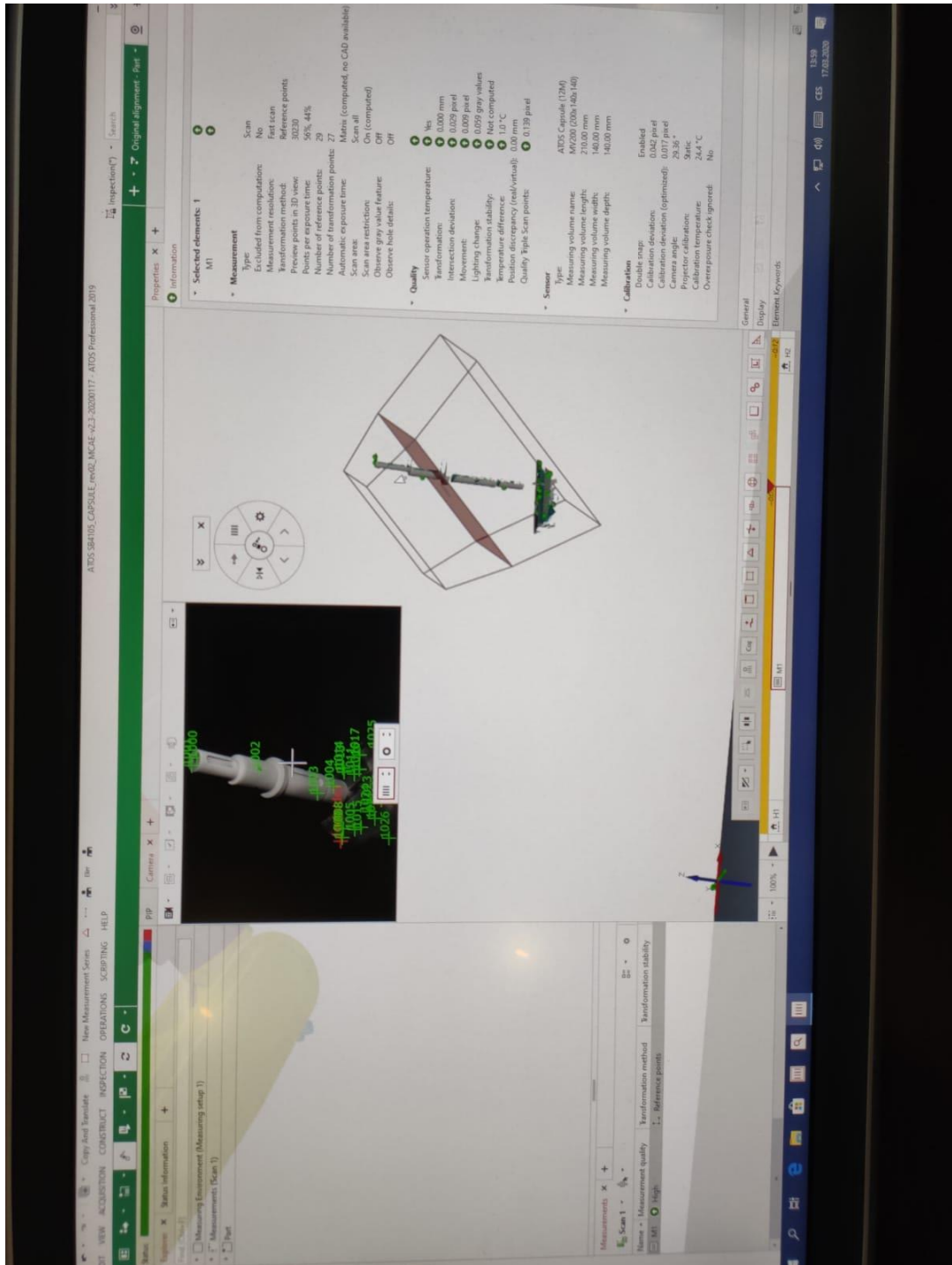
PŘÍLOHA 5

Obecné blokové schéma CNC obráběcího stroje [7].



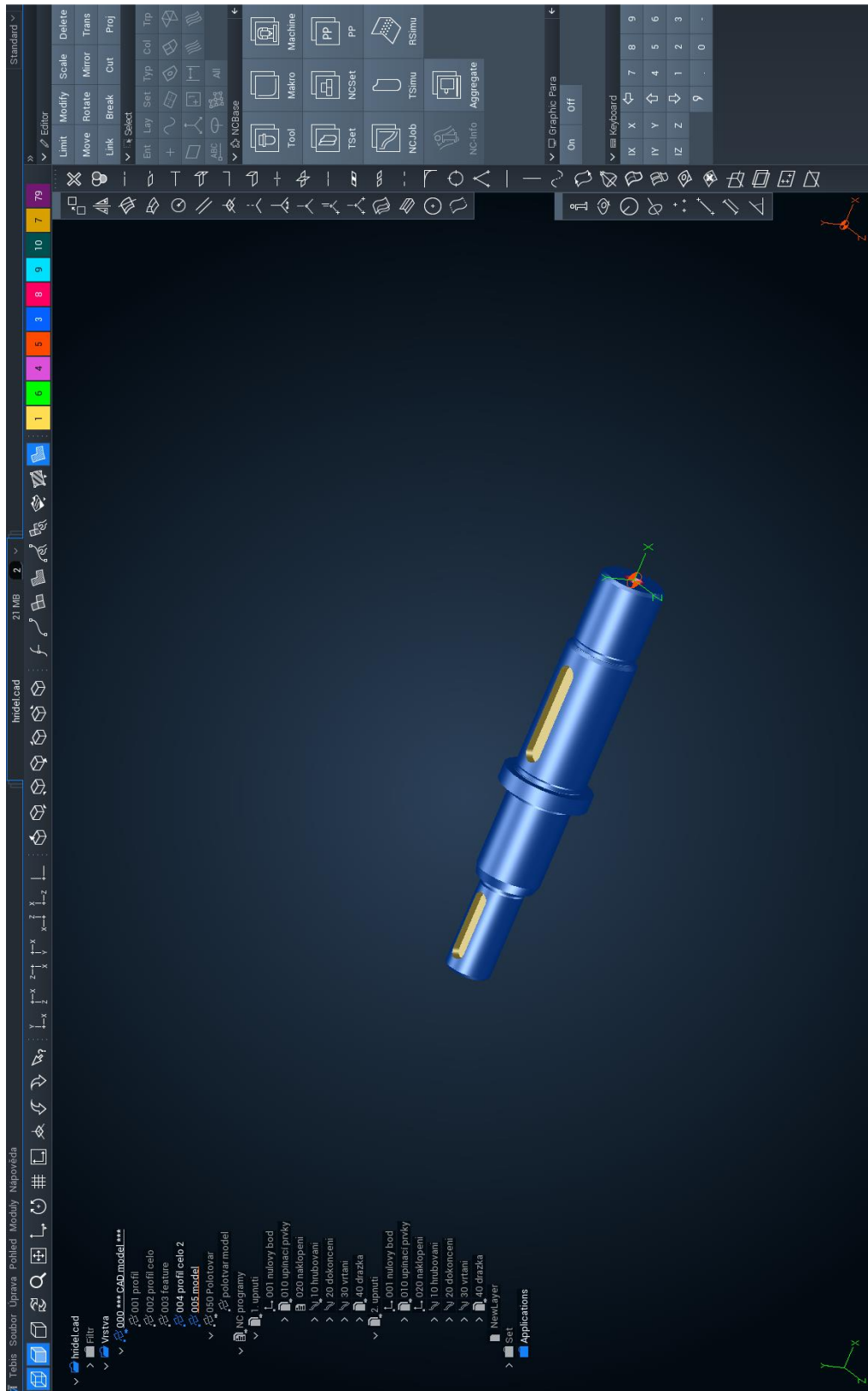
PŘÍLOHA 6

Průběh digitalizace na monitoru při skenování součásti v programu ATOS.



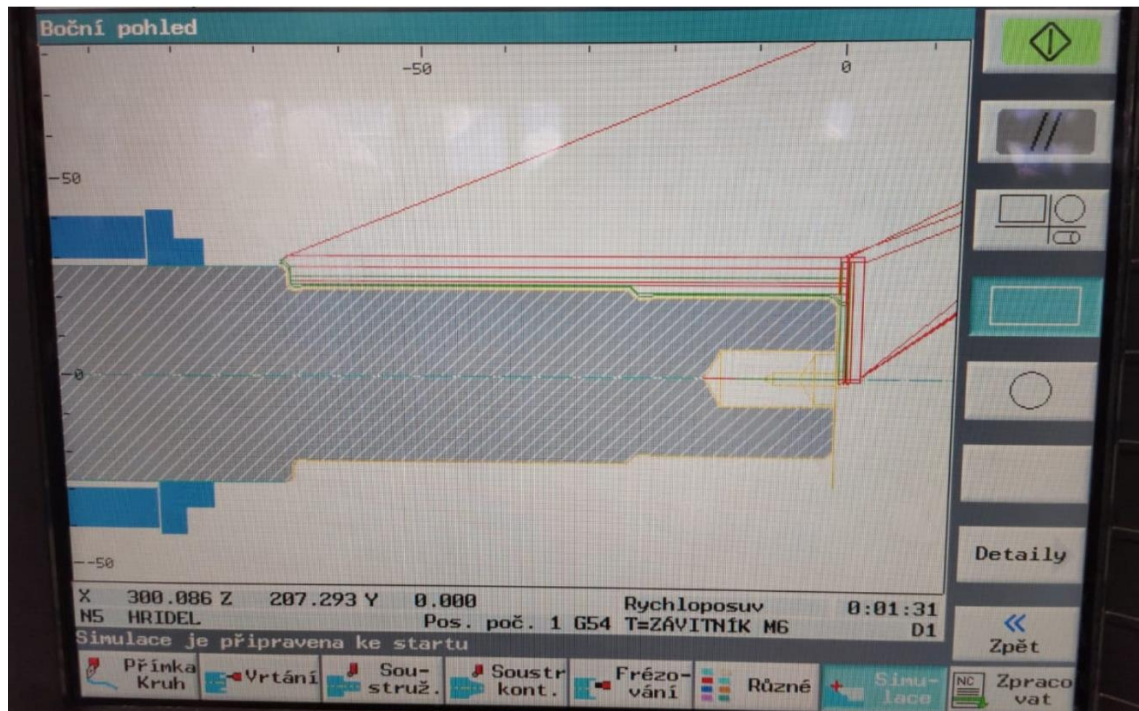
PŘÍLOHA 7

Pracovní prostředí systému Tebis 4.0 R8.

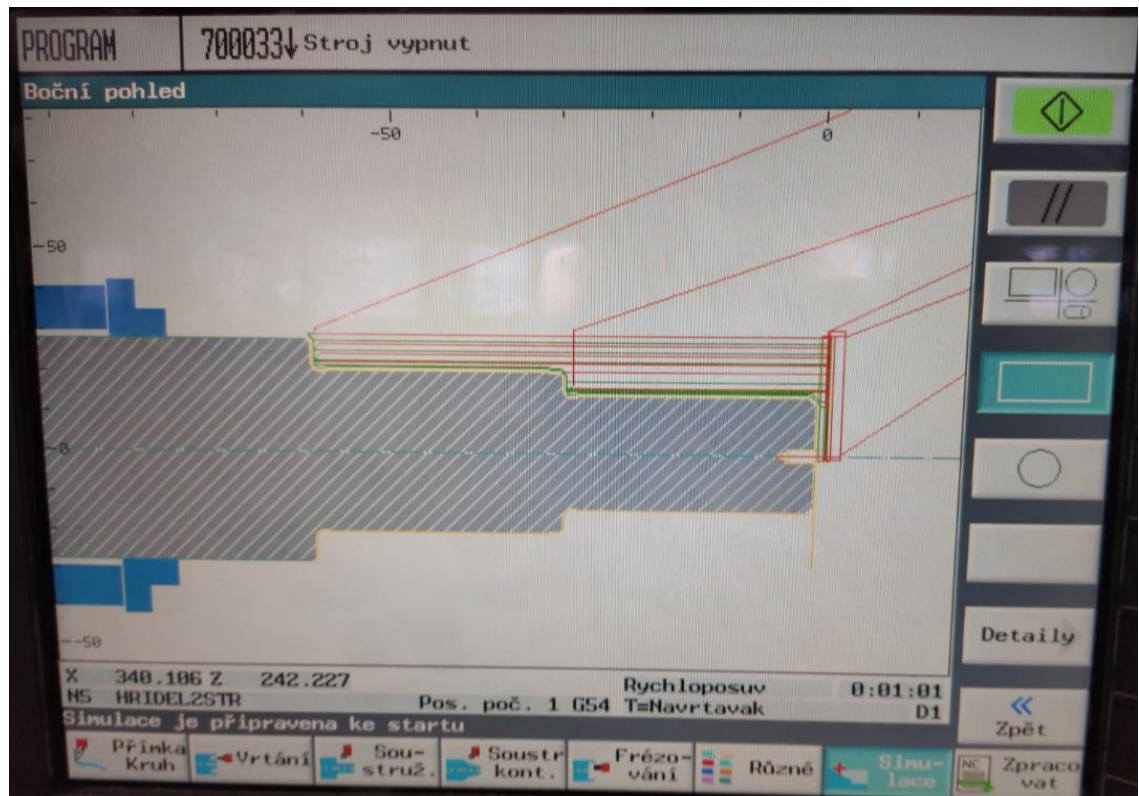


PŘÍLOHA 8 (1/2)

Oddělené simulace vyrobeného hřídele v programu Sinumerik SinuTrain 7.5.



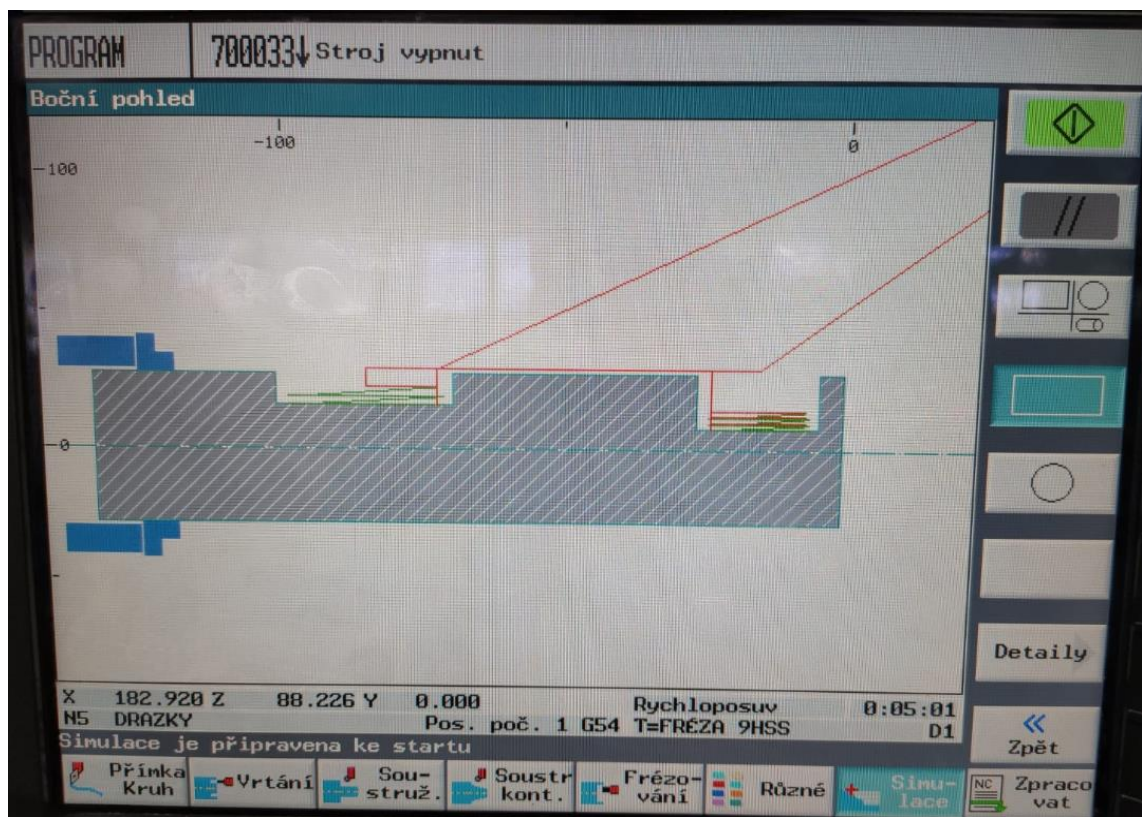
Simulace kontury typu A.



Simulace kontury typu B.

PŘÍLOHA 8 (2/2)

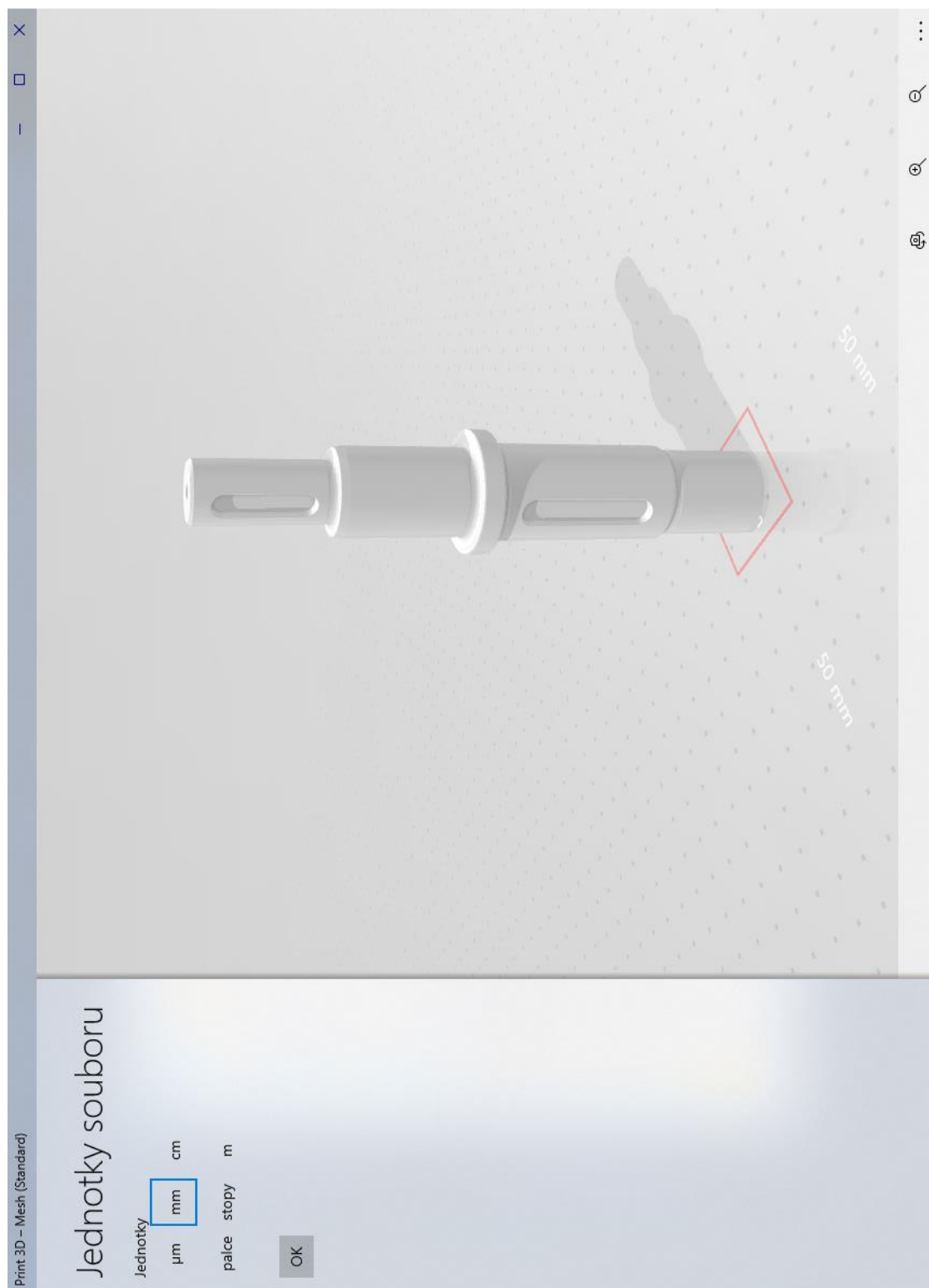
Oddělené simulace vyrobeného hřídele v programu Sinumerik SinuTrain 7.5.



Simulace frézování drážek.

PŘÍLOHA 9

Síť hřídele vytvořená pomocí skeneru ATOS Capsule.



PŘÍLOHA 10 (1/2)

Seznam vybraných příkazů stroje obsahující systém Sinumerik SinuTrain 7.5 [60].

Tab.: Vybrané přípravné funkce.

Název	Význam
G0	Lineární interpolace rychloposuvem
G1	Lineární interpolace pracovním posuvem
G2	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček
G3	Kruhová interpolace proti směru hodinových ručiček
G4	Časové předurčená prodleva
G18	Volba pracovní roviny Z/X
G25	Dolní omezení pracovního pole
G26	Horní omezení pracovního pole
G33	Řezání závitů s konstantním stoupáním
G40	Vypnutí korekce poloměru nástroje
G42	Zapnutí korekce poloměru nástroje
G54	1. nastavitelné posunutí nulového bodu
G55	2. nastavitelné posunutí nulového bodu
G56	3. nastavitelné posunutí nulového bodu
G57	4. nastavitelné posunutí nulového bodu
G70	Zadávání dráhy v palcích
G71	Zadávání dráhy v mm
G74	Nájezd do referenčního bodu
G90	Absolutní programování
G91	Inkrementální programování
G94	Posuv F [min.]
G95	Posuv F [mm]
G96	Zapnutí konstantní řezné rychlosti
G97	Vypnutí konstantní řezné rychlosti (konstantní velikost otáček)

Tab.: Seznam Cyklů.

CYCLE93	Cyklus zápich
CYCLE94	Cyklus odlehčovací zápichy E a F dle DI
CYCLE95	Cyklus odběr třísky
CYCLE96	Cyklus odlehčovací zápichy tvaru A, B, C a D dle DIN
CYCLE97	Cyklus řezání závitů
CYCLE98	Cyklus řetězení závitů

PŘÍLOHA 10 (2/2)

Seznam vybraných příkazů stroje obsahující systém Sinumerik SinuTrain 7.5 [60].

Tab.: Vybrané pomocné funkce.

Název	Význam
M0*	Programovatelný stop programu
M1*	Volitelný stop
M2*	Konec hlavního programu s návratem na začátek programu
M3	Start vřetena ve směru hodinových ručiček
M4	Start vřetena proti směru hodinových ručiček
M5	Zastavení vřetena
M6	Výměna nástroje (standardní nastavení) (při ruční výměně)
M8	Zapnutí chlazení
M9	Vypnutí chlazení
M17*	Konec podprogramu
M30*	Konec programu, jako M2
M41	Převodový stupeň 1 (nižší řada otáček)
M42	Převodový stupeň 2 (vyšší řada otáček)

* tyto funkce neumožňují rozšířený formát adresového bloku

Tab.: Vybrané adresové znaky.

Název	Význam
D	Číslo korekce nástroje
F	Posuv
G	Přípravné funkce
H	Přídavné funkce
I	Nastavitelný identifikátor adresy
J	Nastavitelný identifikátor adresy
K	Nastavitelný identifikátor adresy
L	Volání podprogramu
M	Pomocné funkce
N	Číslo vedlejšího bloku
P	Počet opakování programu
R	Identifikátor proměnné
S	Velikost otáček vřetene
T	Číslo nástroje
X	Nastavitelný identifikátor adresy
Y	Nastavitelný identifikátor adresy
Z	Nastavitelný identifikátor adresy
%	Počáteční a oddělovací znak při přenosu souborů
:	Číslo hlavního bloku
/	Identifikátor vypuštění bloku
;	Textová poznámka

PŘÍLOHA 11

Seznam použitých nástrojů v systému Sinumerik SinuTrain 7.5.

NÁSTROJE 700033 ↓ Stroj vypnut

Seznam nástrojů

Mís	Typ	Název nástroje	DP1.	břit	Délka	X	Délka	Z	Rádius	Dest/ délka	Alt	Alternat.
1		FINISHING_TOOL	1	21.611	104.012	0.400	←	93.030	11.1	∅X	Měření nástroje	
2		pramet-hrub	1	50.962	103.545	0.800	←	93.080	20.0	∅X	Smazat nástroj	
3		ZÁVITOVÝ NŮŽ	1	21.465	95.281	0.000				∅X	Vymout nástroj	
4		upich-nuz	1	16.730	110.784	0.200		3.000	30.0	∅X		
5		ZAPICHO 60-43	1	27.780	108.931	0.400		3.000	11.0	∅X		
6		PLATKOWY kratky	1	-0.010	166.506	6.400		180.0		∅XX		
7		vnitřní 20	1	-13.100	165.106	0.800	←	93.045	11.0	∅XX		
8		ZÁVITOVÝ vnitřní	1	-10.610	152.706	0.000				∅XX		
9		ZÁVITNÍK M6	1	20.000	168.977	6.000		1.000		∅XX	Břity	
10		Navrtavak	1	-0.010	125.862	3.150		60.0		∅XX		
11		FRÉZA 9HSS	1	65.918	46.237	4.000			2	∅XX		
12		FRÉZA pilkova	1	33.724	42.853	4.000			90	∅XX	Třídít	

PŘÍLOHA 12 (1/4)

Fotodokumentace použitých nástrojů.



Dokončovací nůž (číslo 1 v seznamu nástrojů).



Hrubovací nůž (číslo 2 v seznamu nástrojů).

PŘÍLOHA 12 (2/4)

Fotodokumentace použitých nástrojů.



Vrták Ø 6,4 mm (číslo 6 v seznamu nástrojů).



Vrták Ø 5 mm (neuveden v seznamu, původně na čísle 6).

PŘÍLOHA 12 (3/4)

Fotodokumentace použitých nástrojů.



Závitník M6 (číslo 9 v seznamu nástrojů).



Středící vrták A3.15 (číslo 10 v seznamu nástrojů).

PŘÍLOHA 12 (4/4)

Fotodokumentace použitých nástrojů.

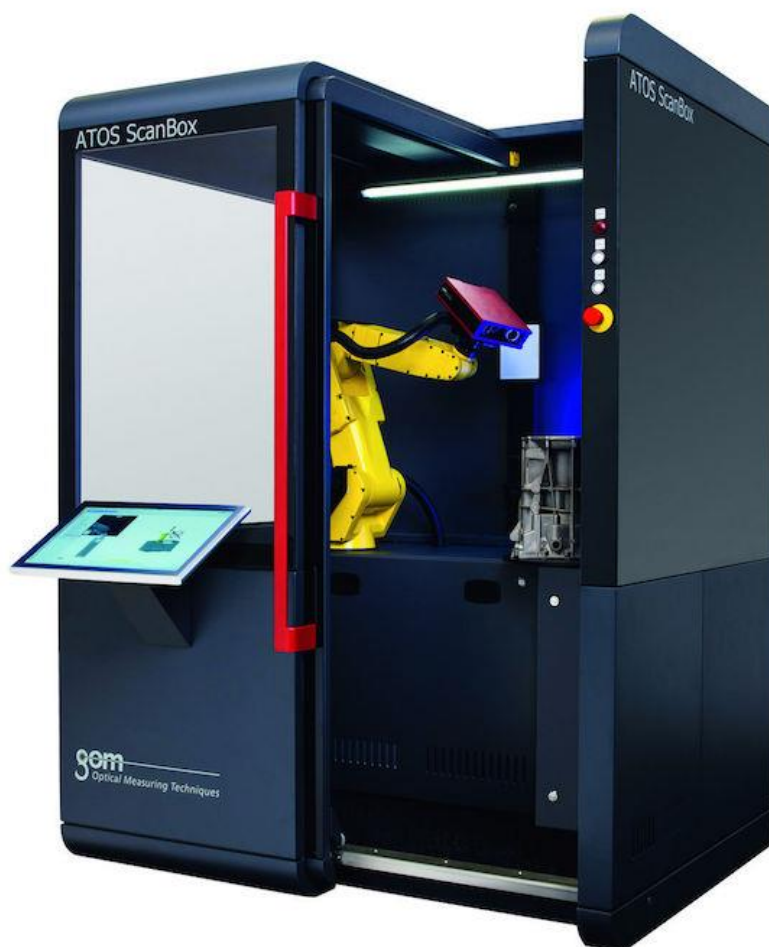


Fréza válcová čelní Ø 4 mm (číslo 11 v seznamu nástrojů).

PŘÍLOHA 13

Technické parametry stroje ATOS ScanBox 4105 [61, 62].

Rozměry	1600 x 1200 x 2100 mm ²
Zdroj napájení	Standard. 100 – 240 V
Maximální velikost dílu	Ø 500 mm
Maximální hmotnost dílu	100 kg
Vstup	Posuvné dveře s bezpečnostním zámekem
Šířka otvoru	685 mm
Přípevnění k podlaze	Není nutné, je mobilní
Nakládání objektu	Ruční nebo jeřábem
Kompatibilita senzorů	ATOS Core, ATOS Capsule



PŘÍLOHA 14

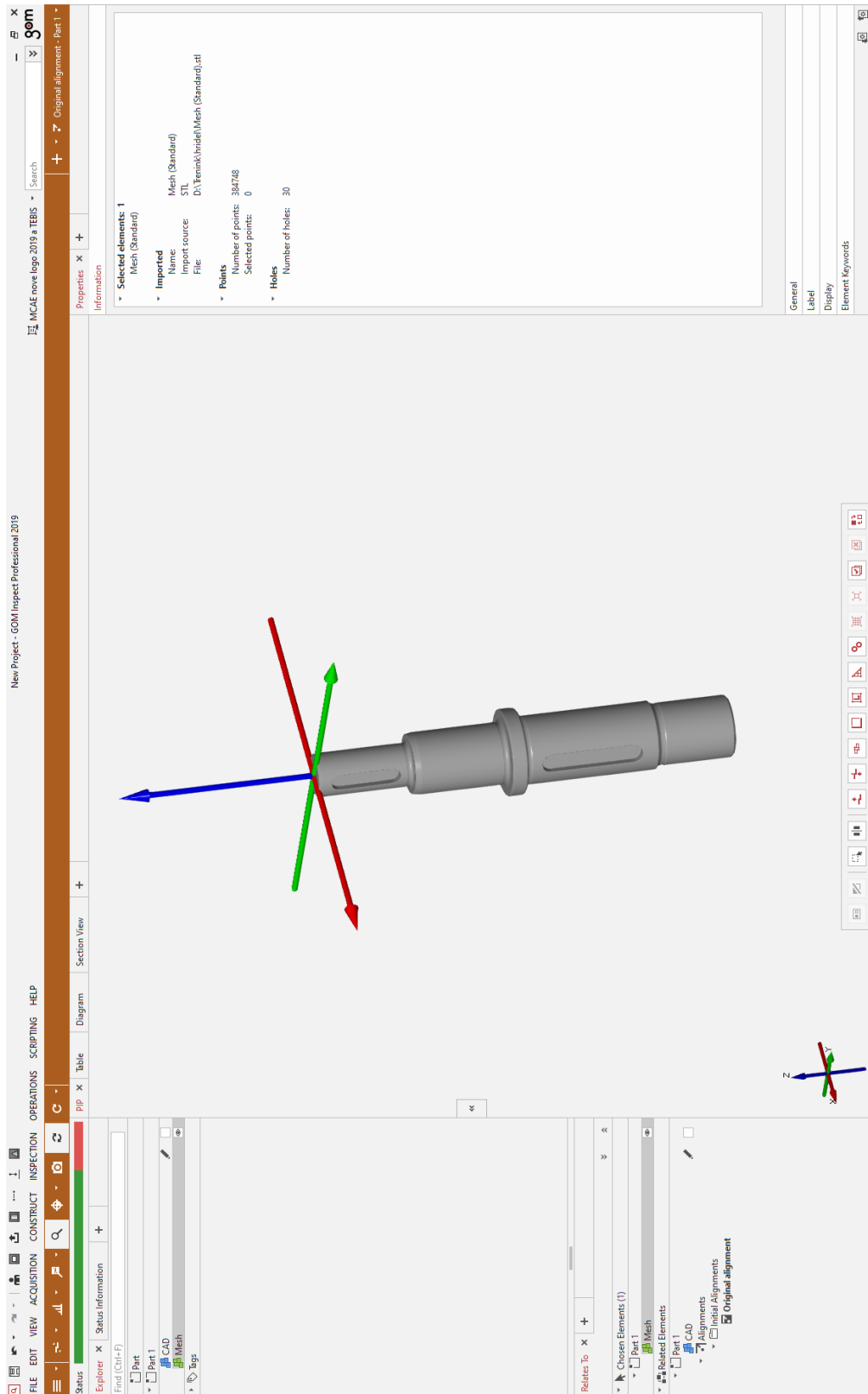
Technické parametry skeneru ATOS Capsule [63].

Konfigurace systému	ATOS Capsule 8M	ATOS Capsule 12M
Typ senzoru	8 milionů bodů na sken	12 milionů bodů na sken
Měřicí plocha	70 x 50 mm ² , 120 x 180 mm ² , 200 x 140 mm ² , 320 x 240 mm ²	
Pracovní vzdálenost	290 mm	
Rozměry	310 x 220 x 150 mm	
Hmotnost	7 kg	
Provozní teplota	5 – 35 °C	
Pouzdro	Odolné proti prachu a stříkající vodě	
Operační systém	Windows	
Software	ATOS Professional	
Materiál a povrchová úprava dílu	měření složitých geometrií součástí, také lesklých a tmavých povrchů	
Okolní světlo	nízká citlivost na světelné podmínky prostředí	
Vibrace prostředí	Neovlivňují měření, díky dynamickému referenčnímu systému GOM	
Zdroj napájení	90 – 230 V	



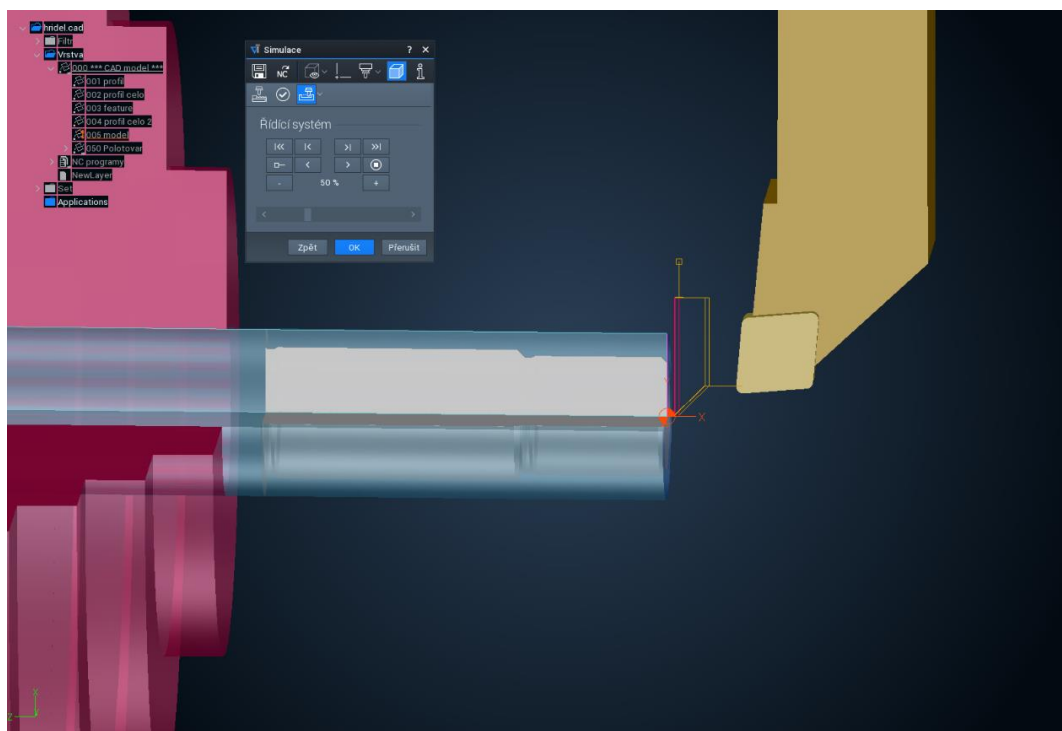
PŘÍLOHA 15

Pracovní prostředí programu GOM Inspect Professional 2019.

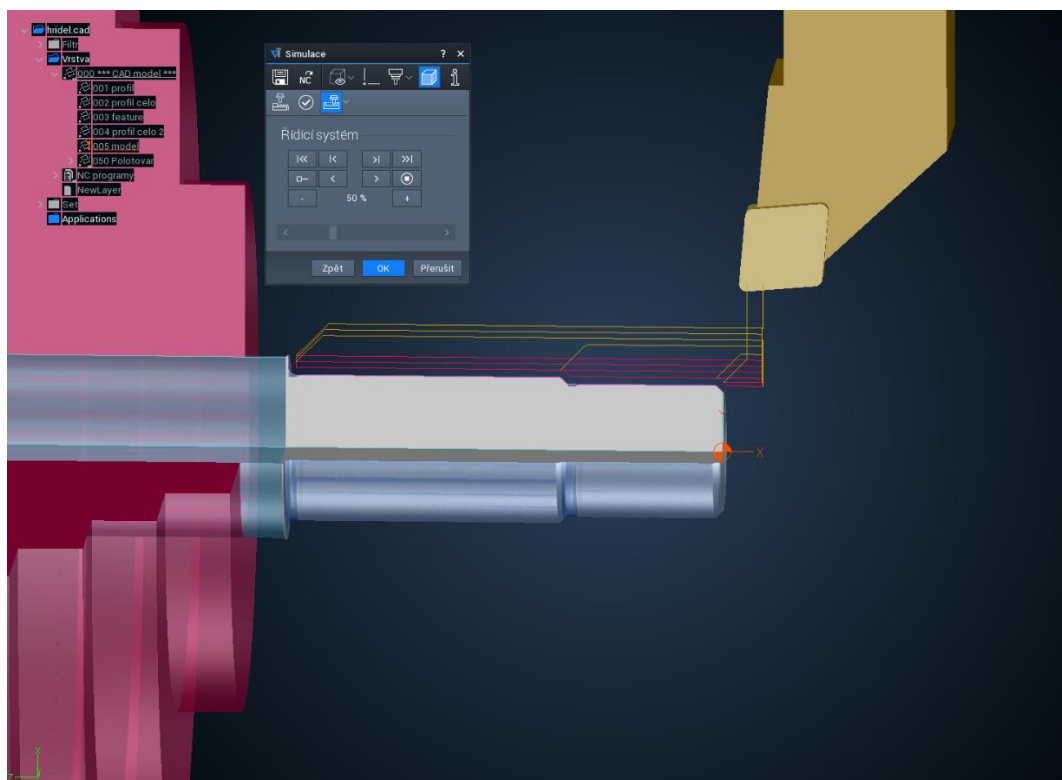


PŘÍLOHA 16 (1/6)

Oddělené simulace vyrobeného hřídele v programu Tebis 4.0 R8.



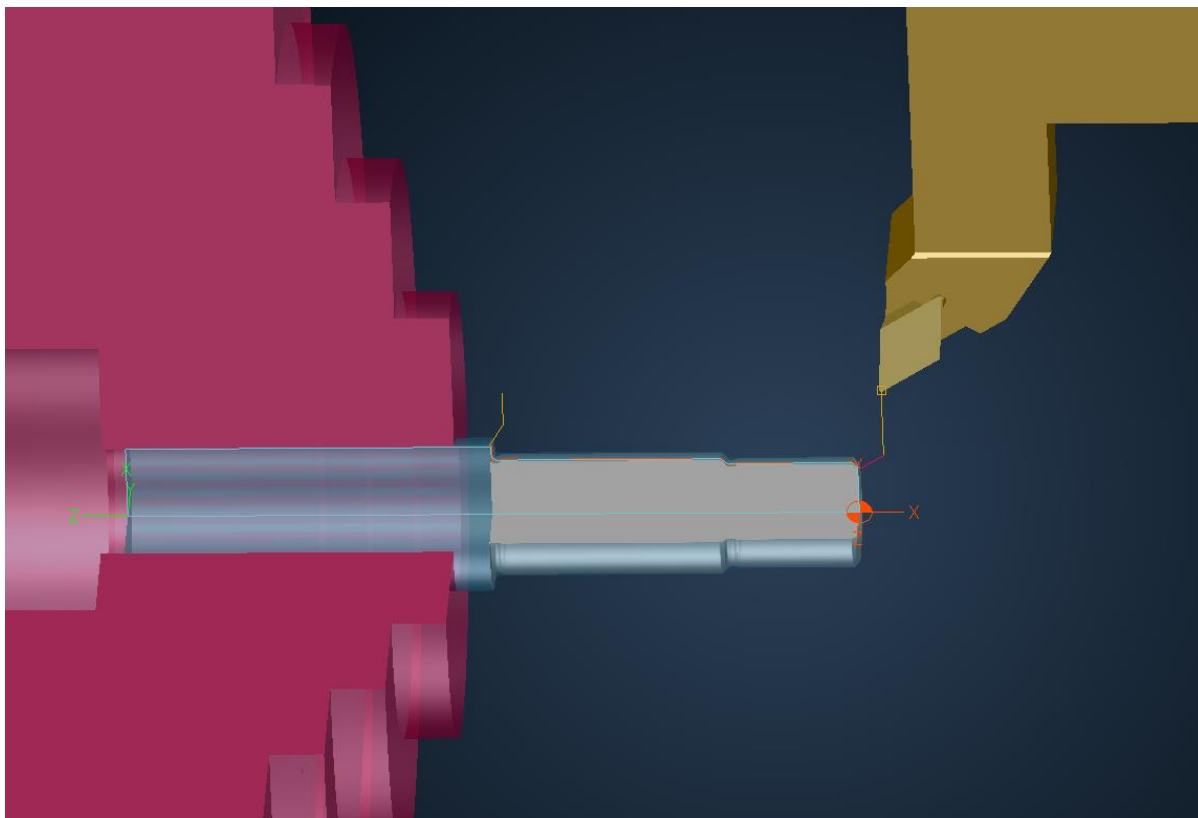
Zarovnání čela (kontura typu A).



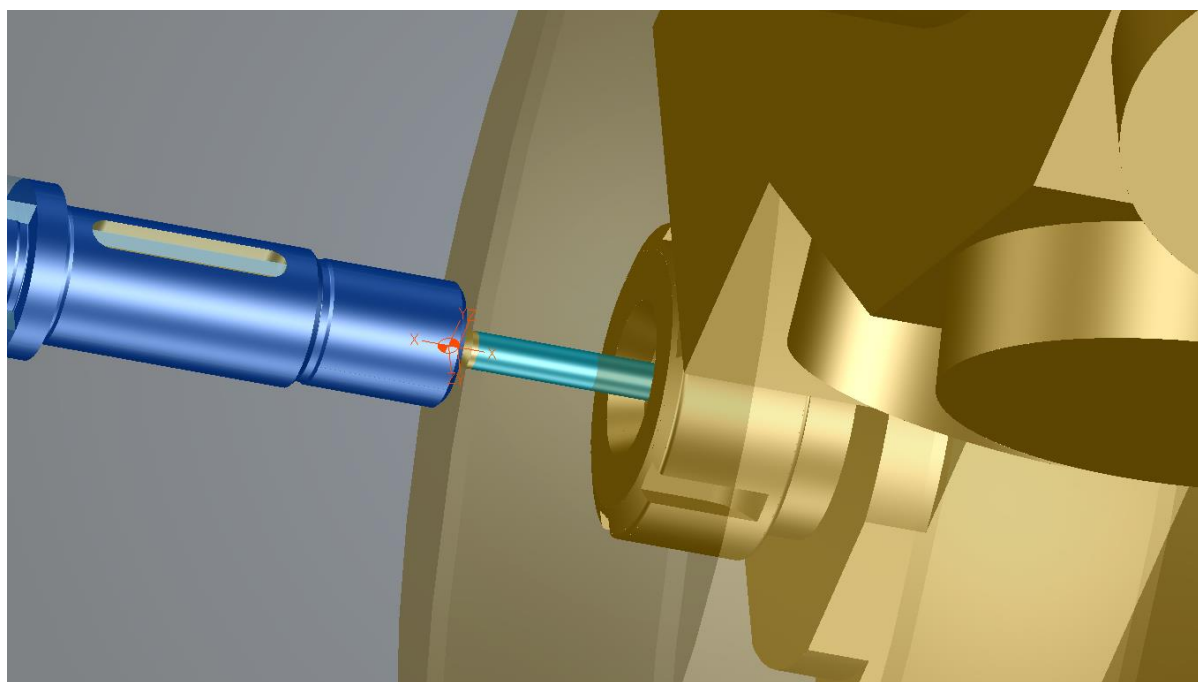
Hrubování (kontura typu A).

PŘÍLOHA 16 (2/6)

Oddělené simulace vyrobeného hřídele v programu Tebis 4.0 R8.



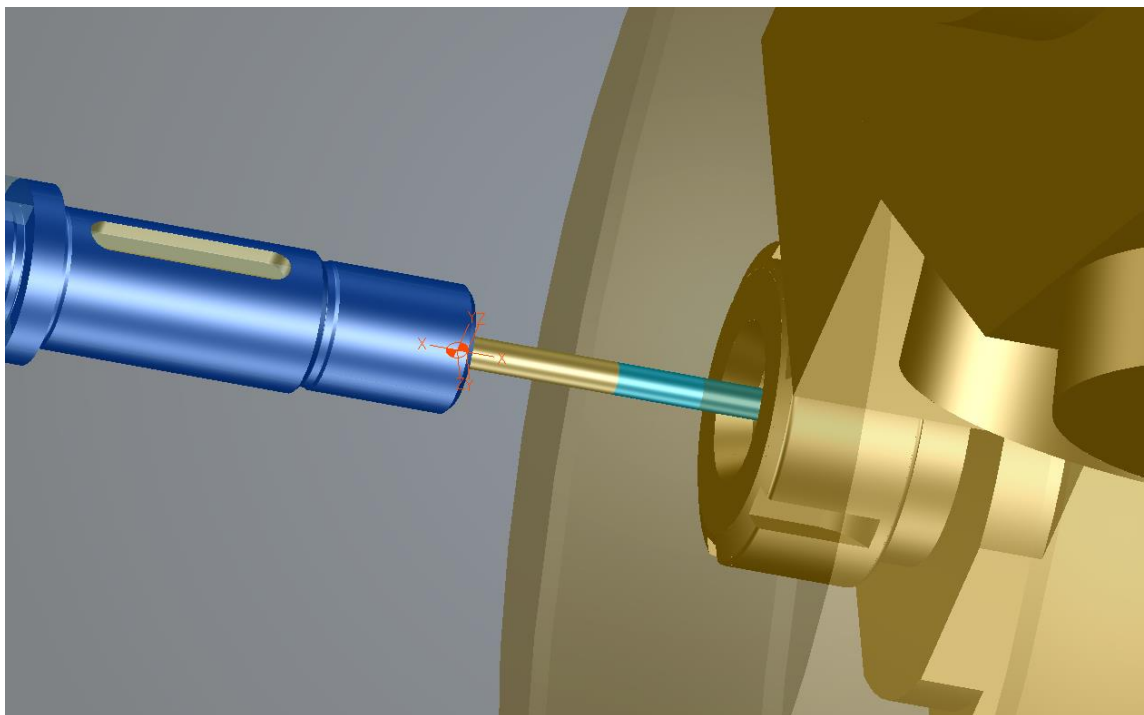
Dokončování (kontura typu A).



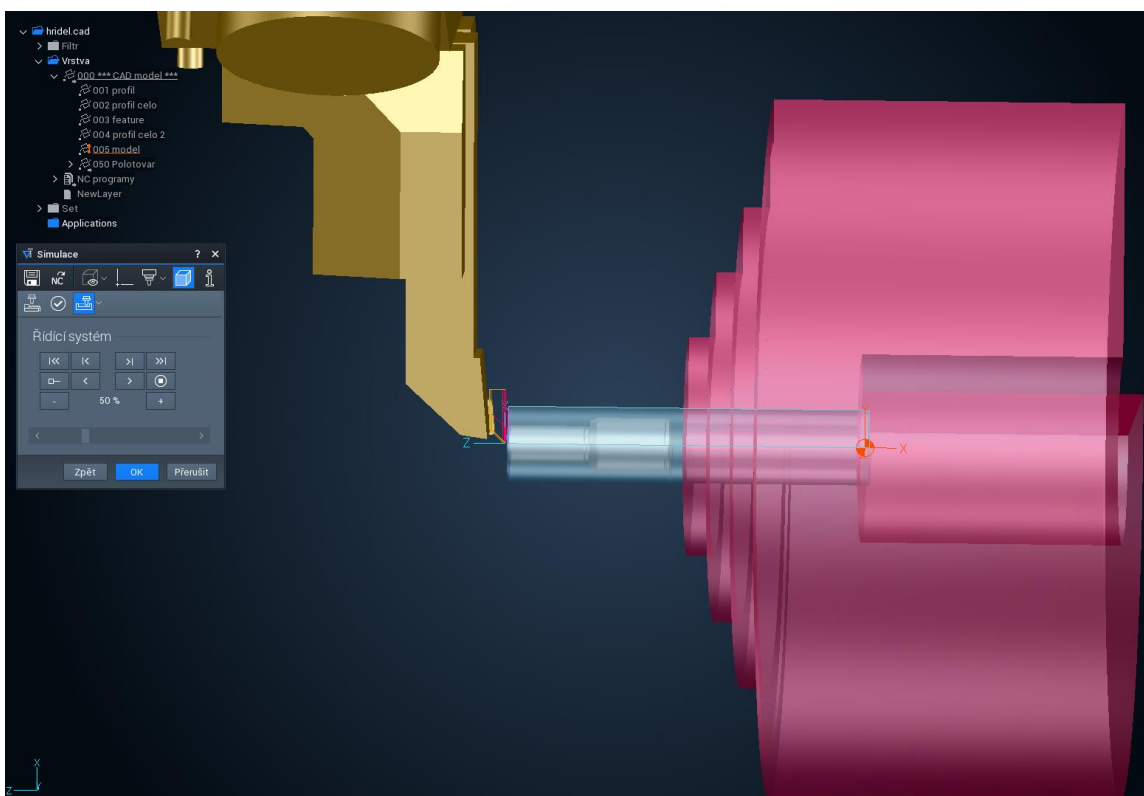
Vrtání díry (kontura typu A).

PŘÍLOHA 16 (3/6)

Oddělené simulace vyrobeného hřídele v programu Tebis 4.0 R8.



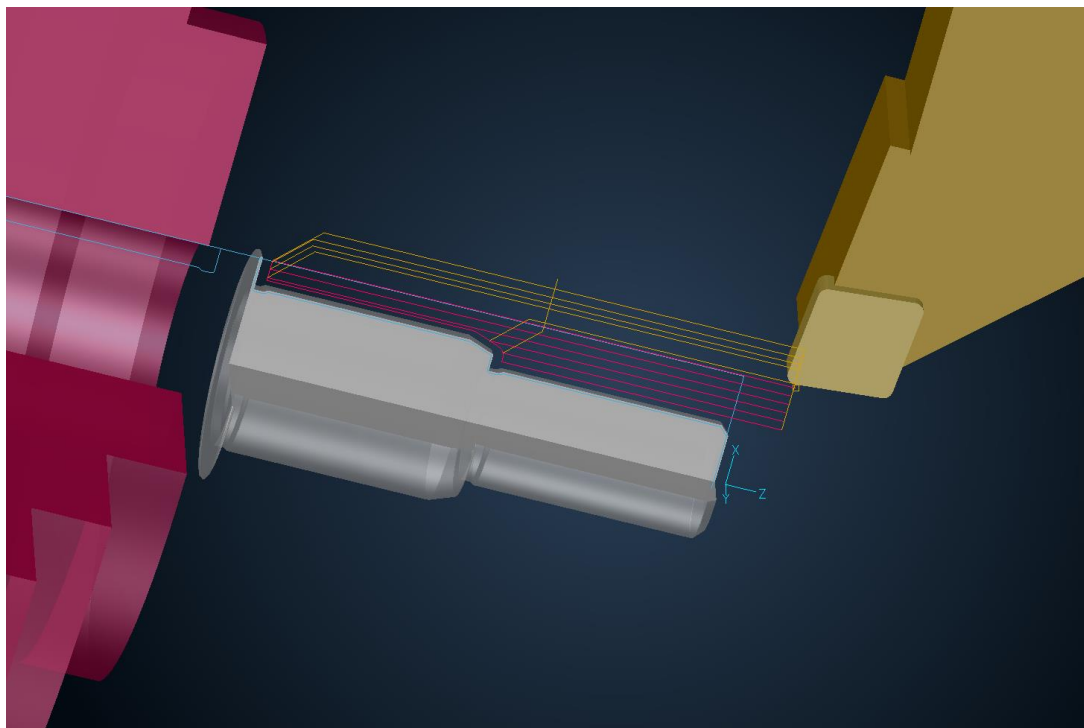
Řezání závitu (kontura typu A).



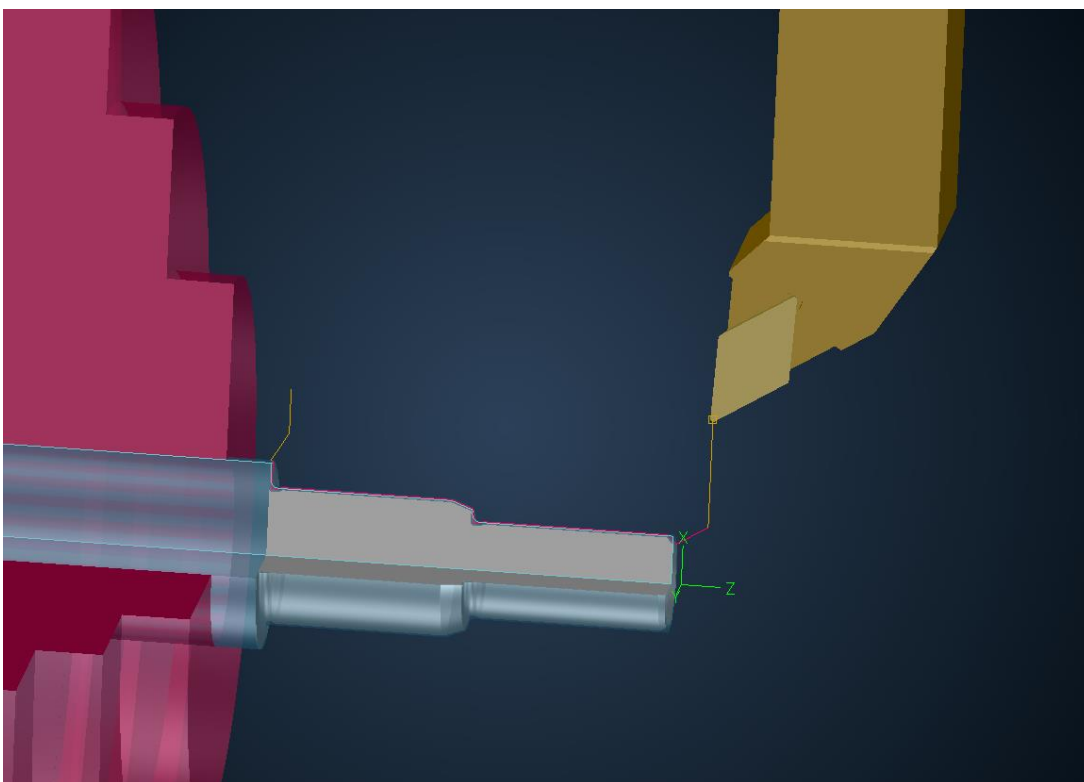
Zarovnání čela (kontura typu B).

PŘÍLOHA 16 (4/6)

Oddělené simulace vyrobeného hřídele v programu Tebis 4.0 R8.



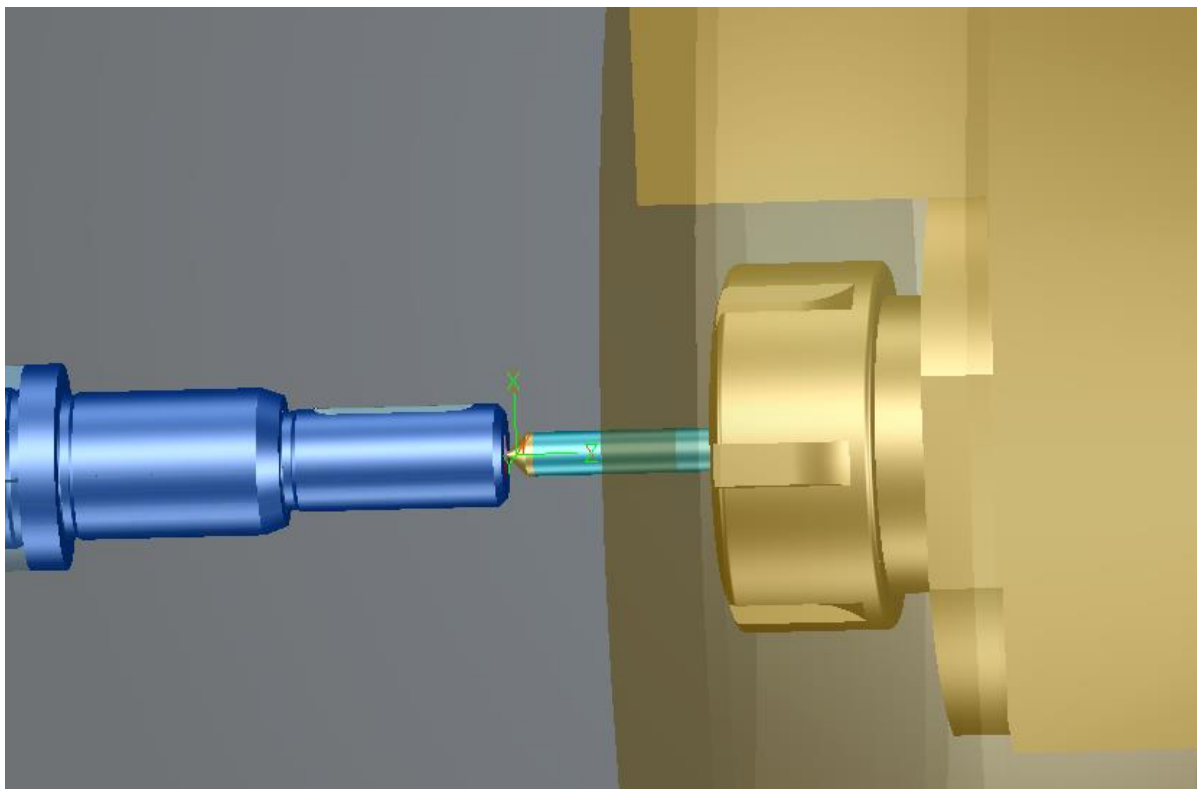
Hrubování (kontura typu B).



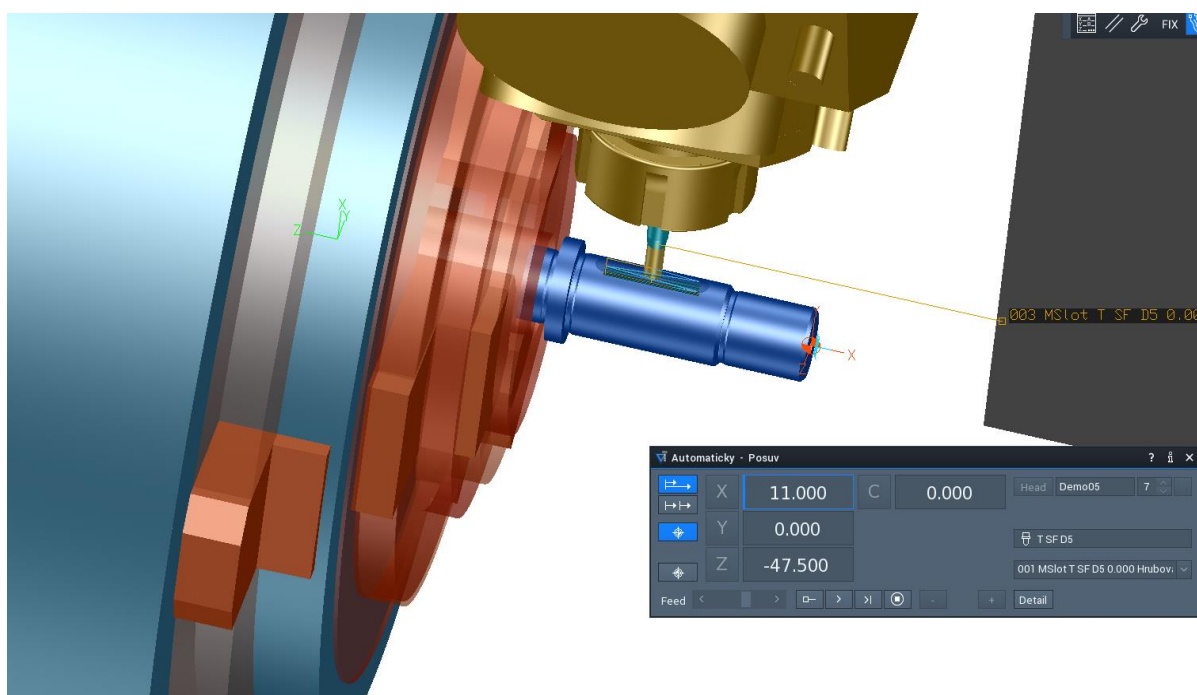
Dokončování (kontura typu B).

PŘÍLOHA 16 (5/6)

Oddělené simulace vyrobeného hřídele v programu Tebis 4.0 R8.



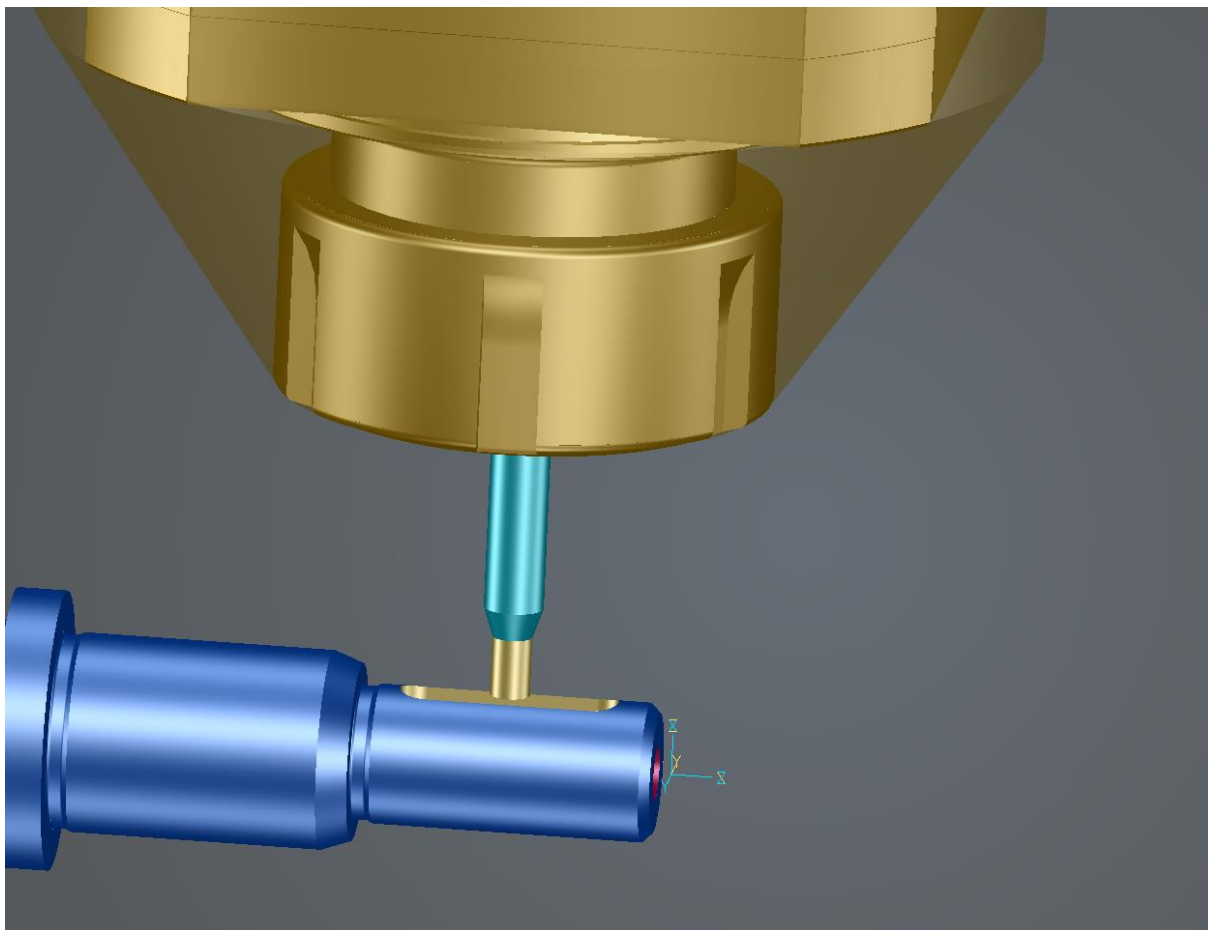
Vrtání středícího důlku (kontura typu B).



Frézování drážky o velikosti 32 mm.

PŘÍLOHA 16 (6/6)

Oddělené simulace vyrobeného hřídele v programu Tebis 4.0 R8.



Frézování drážky o velikosti 22 mm.