



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA HNACÍ HŘÍDELE MLECÍHO VÁLCE

PRODUCTION OF GRINDING ROLLER DRIVESHAFT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Vencí

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Petr Vencel**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Polzer, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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:

Výroba hnací hřídele mlecího válce

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zadání diplomové práce je zaměřeno na programování rotační součásti v softwaru AlphaCAM, tvorbu nezbytné technické dokumentace, volbu nástrojového vybavení i na řešení ostatních záležitostí, které jsou spojeny s modernizací výroby. Soustružnické, vrtací i frézovací operace je nutno naplánovat pro stroj Mori Seiki NL3000. Komerční výroba je plánována ve firmě Bühler CZ, s.r.o.

Cíle diplomové práce:

- Vytvoření nezbytné technické dokumentace pro výrobu zadané součástky ve firmě Bühler CZ, s.r.o.
- Navržení vhodného nástrojového vybavení pro výrobu celé součástky z oceli ČSN 41 1523.
- Vytvoření NC programu pro stroj Mori Seiki NL3000 s užitím softwaru AlphaCAM.
- Ověření funkce NC programu grafickou simulací.
- Základní ekonomické zhodnocení nově navržené varianty výroby.

Seznam literatury:

De Vos, P. (2014): SECO TOOLS AB. Metal Cutting Theories in Practice. Elanders, Sweden.

Opotřeбенí řezných nástrojů: Praktické zkušenosti. (2014): Elanders, Švédsko.

Tschätsch, H. (2009): Applied machining technology. Springer, Dordrecht.

Machining: fundamentals and recent advances. (2008): Springer, London.

Smith, Graham T. (2008): Cutting tool technology: industrial handbook. Springer, London.

McMahon, Ch. (1998): CAD/CAM principles, practice and manufacturing management. Prentice Hall, Harlow.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

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 technologií výroby hnací hřídele mlecího válce ve společnosti Bühler CZ s.r.o. v Žamberku. V první části práce je pozornost věnována analýze současné technologie. Následně se práce zaměřuje na návrhy inovací do stávající technologie výroby. Je provedena například technologická zkouška dosažitelné drsnosti povrchu, realizováno CNC programování, výpočty strojních časů a tvorba veškeré technické dokumentace k zajištění výroby rotační součásti. V poslední kapitole je v práci věnována pozornost ekonomickému zhodnocení.

KLÍČOVÁ SLOVA

soustružení, CNC programování, grafická simulace, technologická příprava výroby

ABSTRACT

This master's thesis deals with production of grinding roller driveshaft in Bühler CZ s.r.o. in Žamberk. In the first part the attention is focused on analysis of current technology. Following chapters of thesis are focused on innovations to existing production technology, for example a technological test, CNC programming realization, machine times calculations or creating of technical documentation to ensure production of rotating part. The last chapter of the thesis focuses on economical assessment.

KEY WORDS

turning, CNC programming, graphic simulation, technological production planning

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VENCL, Petr. *Výroba hnací hřídele mlecího válce*. Brno 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 93 s. 6 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předloženou diplomovou práci na téma **Výroba hnací hřídele mlecího válce** jsem vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu použitých zdrojů.

Datum

Bc. Petr Vencel

PODĚKOVÁNÍ

Za cenné připomínky a rady při zpracovávání diplomové práce tímto děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D.

Dále bych rád poděkoval společnosti Bühler CZ s.r.o. a zejména vedoucímu technické přípravy výroby panu Milanovi Čermákovi za možnost zpracování praktické diplomové práce přímo v podniku.

V neposlední řadě děkuji své rodině, partnerce a přátelům za podporu nejen při psaní diplomové práce, ale i během celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
KLÍČOVÁ SLOVA	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU VÝROBY	10
1.1 Představení společnosti	10
1.2 Analýza současné technologie výroby hnací hřídele mlecího válce.....	12
1.2.1 Analýza používaného materiálu.....	13
1.2.2 Analýza současné technologie na NL3000	15
1.2.3 Analýza současné technologie na NH4000	17
1.2.4 Analýza současné technologie na brusce Junker EJ 29 Silver.....	18
1.2.5 Představení používaného softwaru AlphaCAM 2013	18
1.3 Strojní park závodu Bühler CZ s.r.o Žamberk.....	20
1.3.1 Mori Seiki NL3000Y/2000	20
1.3.2 Mori Seiki NH4000 DCG	21
1.3.3 Bruska Junker EJ29 Silver	23
2 NÁVRHY VLASTNÍHO ŘEŠENÍ	24
2.1 Tvorba technologické dokumentace pro zadanou součást.....	24
2.2 Navržení nástrojového vybavení	38
2.2.1 Navržení nástrojového vybavení pro první operaci	39
2.2.2 Navržení nástrojového vybavení pro druhou operaci	45
2.2.3 Experiment reálně dosažitelné drsnosti	47
2.3 Vytvoření NC programu s užitím softwaru AlphaCAM	63
2.4 Volba polotovaru	69
2.4.1 Simulace výroby z přířezu	69
2.4.2 Simulace výroby z odlitku a výkovku	72
3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	76
3.1 Ekonomické zhodnocení nově navržené varianty	76
3.2 Ekonomický návrh optimalizace výroby	77
3.3 Ekonomické zhodnocení dalších variant polotovarů	80
3.3.1 Náklady na výrobu z přířezu.....	81
3.3.2 Náklady na výrobu z odlitku.....	81

	3.3.3 Náklady na výrobu z přesného odlitku	81
	3.3.4 Náklady na výrobu z výkovku	82
	3.3.5 Volba technologické varianty polotovaru.....	82
4	Závěr	84
5	Seznam použitých zdrojů.....	86
6	Seznam použitých symbolů a zkratk.....	88
7	Seznam obrázků a grafů.....	90
8	Seznam tabulek.....	92
9	Seznam příloh	93

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá technologií výroby rotační součásti, konkrétně hnací hřídele mlecího válce. V diplomové práci je nejprve představena společnost Bühler CZ s.r.o., obráběná součást a také strojní park, na kterém je vyráběna. Následuje analýza současné technologie. Cílem práce je nalézt a realizovat možnosti optimalizace a zefektivnění výroby dané rotační součásti. V hlavní části práce je tedy pozornost věnována zhotovení nového technologického postupu včetně veškeré další potřebné technické dokumentace. V dalších krocích je navrženo nové nástrojové vybavení a inovován CNC program. V následujících kapitolách jsou popsány všechny dostupné možnosti při volbě polotovaru a ekonomické zhodnocení na závěr zachycuje veškeré finanční úspory, které mohou být dosaženy realizací daných návrhů.

1 ANALÝZA STÁVAJÍCÍHO STAVU VÝROBY

Obecně platí, že všechny návrhy na optimalizaci vychází z podrobného seznámení se stávajícím stavem. Proto je v následujících podkapitolách nejprve analyzována současná technologie výroby hnací hřídele mlecího válce ve společnosti Bühler CZ, s.r.o.

1.1 Představení společnosti

Firma Bühler CZ s.r.o. je globální vůdce na trhu v dodávkách společnostem zpracovávajících mouku, dodává součásti do výrobních linek zpracovávajících těstoviny a čokoládu, do zařízení na výrobu krmiv pro zvířata a do systémů tlakového lití hliníku. 75 % sladu, 70 % PET, 66 % obilí, 40 % těstovin, 65 % čokolády a 25 % tlakových hliníkových odlitků na světovém trhu je zpracováno na strojích vyráběných firmou Bühler CZ s.r.o. Jedná se o švýcarskou rodinnou společnost, jejímž stoprocentním vlastníkem je pan Urs Bühler, který zaměstnává přes 10 600 zaměstnanců ve 140 zemích světa. V roce 2014 měla společnost obrát ve výši 57 mld Kč. ^[5]



Obr. 1.1 Podíl společnosti Bühler na světovém trhu. ^[16]

Od roku 2012 je Bühler majitelem závodu v Žamberku v podhůří Orlických hor. Výrobní závod byl založen v roce 1908 a má tedy více než stoletou tradici podnikání. Z toho 45 let jde o tradici ve strojírenské výrobě. Hlavním výrobním programem závodu v Žamberku je výroba přesných strojírenských dílů do potravinářských a textilních strojů a do automobilů. Montují se zde části strojů, převodovky nebo celé stroje, které jsou následně součástí textilních a potravinářských výrobních linek. V Žamberku se dále vyrábí například součásti do moderních mlýnů pšenice, kukuřice nebo žita s výkonem až 11 000 000 tun/rok; díly do optické třídičky rýže, které na celém světě vytřídí 20 000 tun rýže za hodinu; komponenty do válcovačky čokolády s výkonem 30 km pásu čokolády za hodinu nebo části strojů pro tlakové lití, které v dnešní době vyrábí tlakové odlitky do každého druhého na světě vyrobeného automobilu. Žamberk je první výrobní síť Bühleru v rámci rozšíření výrobní kapacity do střední Evropy. ^[5]

Společnost Bühler CZ s.r.o. zaměstnává v závodě v Žamberku přes 400 zaměstnanců. V roce 2014 byla dokončena stavba nové výrobní hala, ve které se momentálně nachází mokrá a prášková lakovna, svařovna, plechová výroba, jídelna a kanceláře pro

administrativní pracovníky. Výrobní závod v Žamberku je zachycen na obrázku 1.2 a pohled na typické součásti na obrázku 1.3.



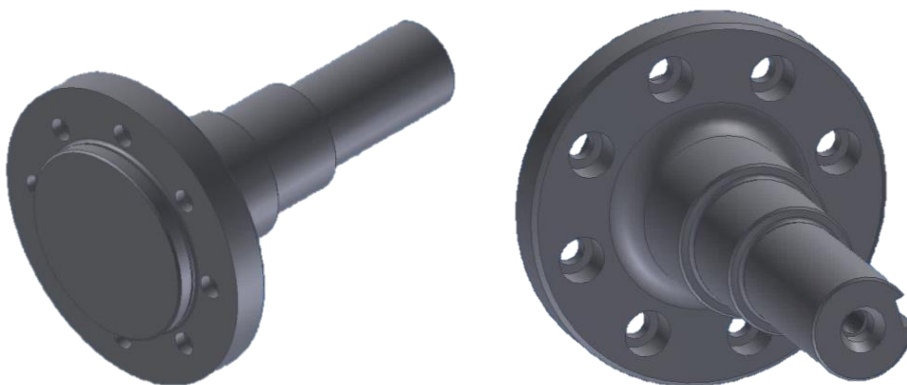
Obr. 1.2 Výrobní závod Bühler CZ s.r.o. v Žamberku. ^[16]



Obr. 1.3 Typické součásti vyráběné ve výrobním závodě v Žamberku. ^[16]

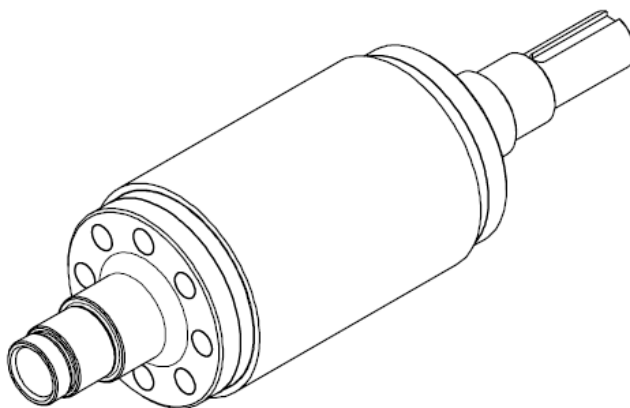
1.2 Analýza současné technologie výroby hnací hřídele mlecího válce

Rotační součást je charakterizována hřídelovým tvarem. Zadaný obrobek je zobrazen na výkrese v příloze 1. Na dané součásti se vyskytují dva velmi přesné vnější průměry třídy IT5, jeden s tolerancí IT6 a zároveň se zde nacházejí požadavky na drsnost povrchu $R_a 0,8$. Tyto průměry jsou soustruženy s technologickými přídávky a následně broušeny. Model hotové součásti zachycuje obrázek 1.4. V současné době je polotovarem pro obráběný dílec přířez z daného materiálu o průměru $\varnothing 150$ mm a délce 197 mm.



Obr. 1.4 Model hnací hřídele mlecího válce. ^[17]

Na obrázcích 1.5 a 1.6 je zobrazena sestava mlecího válce, respektive celý válcovací stroj společnosti Bühler.



Obr. 1.5 Náhled na sestavu mlecího válce. ^[17]

Obr. 1.6 Válnovací stroj společnosti Bühler. ^[17]

1.2.1 Analýza používaného materiálu

Předepsaným materiálem je ocel S355J0+N (ČSN41 1523). Jedná se o nelegovanou svařitelnou ocel pro konstrukční účely válcovanou za tepla, se zaručenou mezí kluzu 355 MPa a se zaručenou nárazovou prací 27 J při 0°C. Dle předepsaného doplňkového parametru je materiál normalizačně žhán pro jemnozrnnou a homogenní strukturu. Norma ČSN 41 1523 předepisuje chemické složení dle tabulky 1.4. ^[10]

Tab. 1.1 Chemické složení oceli S355J0 dle normy ČSN 41 1523. ^[10]

Chemické složení (rozbor tavby)	max. %	C	Mn	Si	P	S	N
		0,2	1,6	0,55	0,04	0,04	0,009
Dovolené úchytky chemického složení v	%	+0,03	+0,1	+0,05	+0,01	+0,01	+0,002

Obrobitelnost materiálu má rozhodující vliv na proces obrábění kovů a především na velikost a druh opotřebení či poškození nástroje. Obrobitelnost výrazně závisí na druhu řezné aplikace. Materiál, který vykazuje dobrou obrobitelnost například při vrtání, může vykazovat velmi odlišné výsledky při soustružení. Dále záleží na vlastnostech řezných nástrojů, nastavení řezných podmínek a na doplňujících podmínkách obrábění. ^[8]

Chápání obrobiteľnosti se liší dle zvolené aplikace. Dle tradiční definice se jedná o chování obráběného materiálu během třískového obrábění a také o jeho ovlivnění získaných výsledků procesu.^[8]

Dále zde existuje jednodušejší interpretovaná definice, jež vysvětluje pojem obrobiteľnost následovně. Obrobiteľnost určuje, jak snadno lze obrábět daný materiál, abychom dosáhli předem zvolené úrovně tvaru, velikosti či kvality obrobeného povrchu.^[8]

Měřítka obrobiteľnosti tedy indikuje, jaká bude očekávaná odezva materiálu obrobku během obráběcího procesu. V této souvislosti je optimální rozčlenit pojem obrobiteľnosti do více oblastí podle typu aplikace.^[8]

Obrobiteľnost závisí na mnoha faktorech, z nichž nejdůležitější jsou:^[27]

- způsob výroby a tepelného zpracování obráběného materiálu;
- mikrostruktura obráběného materiálu;
- chemické složení obráběného materiálu;
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu;
- metoda obrábění;
- řezné podmínky;
- geometrie nástroje;
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu.^[27]

Rozlišujeme celou řadu různých stupňů obrobiteľnosti. Na každé úrovni se vyskytují závislosti, které mají za následek to, že snadno srozumitelný popis obrobiteľnosti (toho, čemu odpovídá obrobiteľnost), se často stává velmi obtížný. Řetězec vztahů lze popsat následovně:

Vlastnosti materiálů → chování materiálů během procesu obrábění →

→ obrobiteľnost → výsledné parametry → výrobní náklady.^[8]

Obrobiteľnost materiálu tedy musí být vždy popisována ve vztahu k soudobým podmínkám. Předpokladem pro porovnávání obrobiteľnosti materiálů je, že skutečně existuje nejlepší možný soubor podmínek pro obrábění každého z materiálů. Jelikož obrobiteľnost závisí na dosažitelných podmínkách, měla by zde tedy být považována za

relativní pojem. Pokud se například hodnotí mnoho různých materiálů z hlediska jejich obrobitelnosti, nemusí se například vždy dojít k totožnému hodnocení pro vrtání jako pro soustružení. To samé platí i v porovnání dvou typů soustružení, jako například podélné soustružení a zapichování. Kvůli výše uvedeným důvodům a také proto, aby měla prováděná měření praktický význam, musí být měření obrobitelnosti provozně specifická. Jednoduchá měření obrobitelnosti vedou k odpovědím pouze na jednodušší otázky. Vzhledem k tomu, že obrobek při zpracování prostupuje několika výrobními etapami, posouzení celkové obrobitelnosti zohledňuje zvážení všech úkonů, které mají zjevný ekonomický význam. [8]

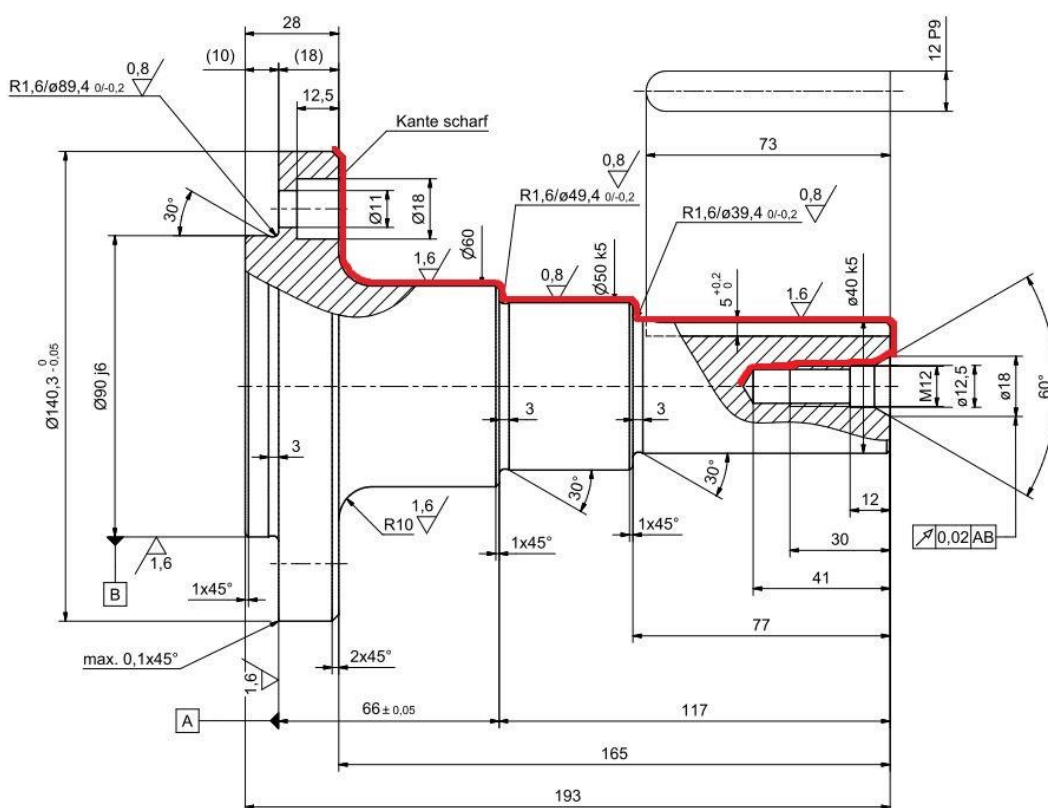
Ocel ČSN 41 1523 se nachází ve skupině obrobitelnosti 14b. Etalon pro tuto skupinu představuje ušlechtilá uhlíková ocel ČSN 41 2050.1 s tvrdostí 180-200 HB. Nízkouhlíkaté oceli (s obsahem uhlíku 0,2-0,5 %) se obrábějí lépe než nelegované oceli s velmi nízkým obsahem uhlíku. U těchto ocelí stále přetrvává dobrá tvárnost, kvůli které se při obrábění velmi často a intenzivně tvoří nárůstek, jenž negativně ovlivňuje kvalitu obrobené plochy. Ze znalosti složení materiálu i jeho obrobitelnosti určujeme vhodné řezné parametry a z nastavených řezných podmínek následně rozhodujeme o způsobu chlazení. U dané oceli se pro obrábění načisto osvědčuje především využití malých řezných rychlostí. [8,27]

1.2.2 Analýza současné technologie na NL3000

V první operaci se přířez upne do sklíčidla v maximální hloubce 10 mm a podepře se lunetou. Navrtá se důlek pro hrot, přijede se koníkem, součást se podepře hrotem a luneta se otevře. Dále se hrubuje a dokončuje kontura přes průměry s technologickými přídávky na broušení $\varnothing 40,3 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,05 \end{smallmatrix}$ mm, $\varnothing 50,3 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,05 \end{smallmatrix}$ mm, $\varnothing 60 \pm 0,3$ mm, vysoustruží se zápichy a také srazí hrany. Následně se opět sevře luneta a odjede koník, aby mohlo být zarovnáno čelo součásti. V tomto upnutí se pokračuje navrtáním čela, vrtáním díry $\varnothing 10,2$ mm do hloubky 41 (+1) mm pro závit M12 6H, který je následně řezán vybraným závitníkem do hloubky 30 (+2) mm. V závěrečné operaci se vnitřně soustruží středící důlek.

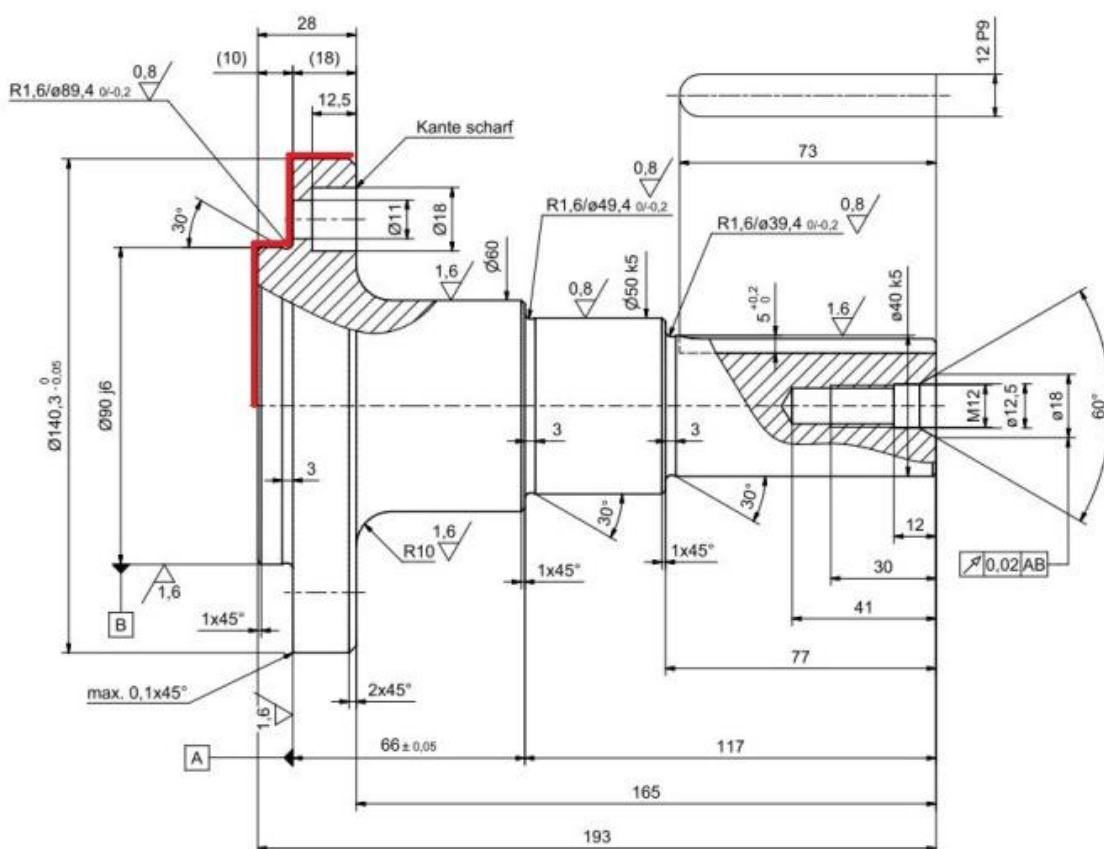
Řezná rychlost v_c je pro hrubování stanovena na $245 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuv na otáčku f v ose $Z=0,4$ mm, $X=0,2$ mm; $X/Z=0,2$ mm. Pro dokončování je řezná rychlost stanovena na $260 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuv na otáčku v ose $Z=0,2$; $X=0,1$; $X/Z=0,1$

Popis první operace je také graficky znázorněn na obrázku 1.7.



Obr. 1.7 Náhled na výkres součásti s naznačeným obráběním v první operaci. ^[17]

V druhé operaci na CNC soustruhu se součást upne do protočených čelistí a doráží se na čelo u $\varnothing 60$ mm. Následně se čelně soustruží na délku 193 mm. Dále se hrubuje a dokončuje kontura přes průměr $\varnothing 90,3^{0}_{-0,05}$ mm při dodržení míry s technologickým přídavkem $66^{+0,1}_{+0,05}$ mm a načisto se dokončí $\varnothing 140,3^{0}_{-0,05}$ mm. Následuje soustružení zápichu, sražení hran a v posledním kroku navrtání středicího důlku pro upnutí mezi hroty. Řezné parametry zůstávají stejné jako v předchozím případě. Popis druhé operace je opět graficky znázorněn na následujícím obrázku 1.8.



Obr. 1.8 Náhled na výkres součásti s naznačeným obráběním ve druhé operaci. ^[17]

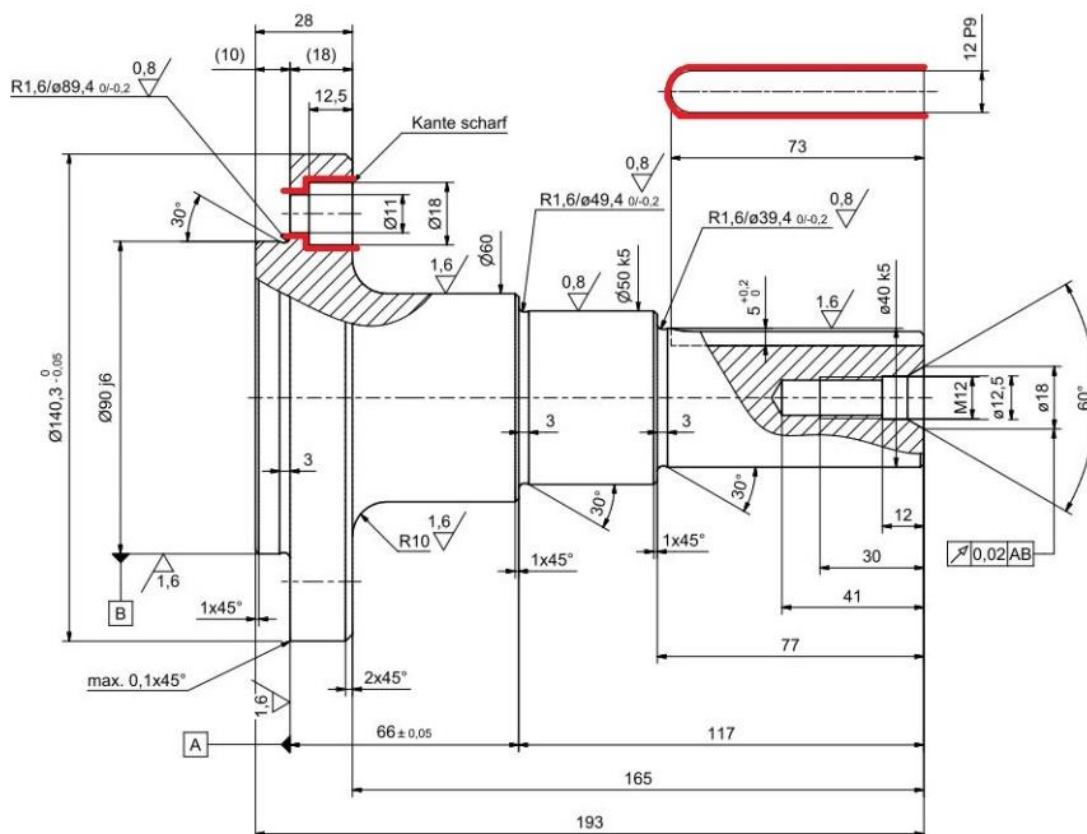
1.2.3 Analýza současné technologie na NH4000

Po dokončení soustružnických operací se součást převezí k horizontálnímu obráběcímu centru NH4000, kde se dále obrábí. Dílec se upíná do univerzálního stavebnicového přípravku zobrazeného na obrázku 1.9.



Obr. 1.9 Univerzální stavebnicový přípravek pro třetí operaci. ^[17]

Nejprve se vrtají díry $\varnothing 11$ mm se zahluobením $\varnothing 18$ mm do hloubky 12,5 mm. V posledním úkonu stroj frézuje drážku 12P9. Hloubka drážky je zhotovena s ohledem na přídavek pro broušení. Popis třetí operace je graficky znázorněn na obrázku 1.10.



Obr. 1.10 Výkres součásti s naznačeným obráběním ve třetí operaci. ^[17]

1.2.4 Analýza súčasnej technológie na brusce Junker EJ 29 Silver

Ve čtvrté operaci se součásti brousí na brusce Junker EJ29 Silver. Součást se upíná mezi hroty a brousí se průměry $\varnothing 50$ k5 a $\varnothing 40$ k5. Po přepnutí se brousí $\varnothing 90$ j6 a čelo na rozměr $66 \pm 0,05$ mm.

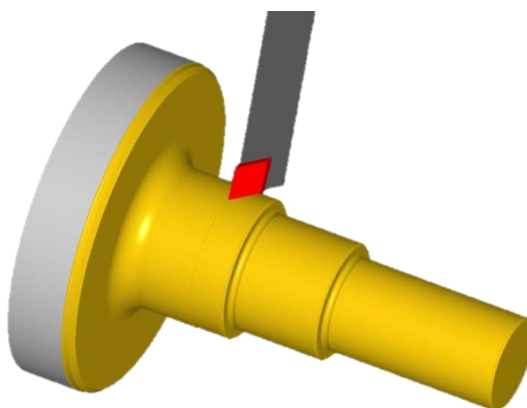
1.2.5 Představení používaného softwaru AlphaCAM 2013

Programování číslicově řízených strojů představuje náročnou činnost, která je vysoce kvalifikovaná a spadá do oblasti technické přípravy výroby. Úroveň znalostí programátora ale také úroveň programovaných strojů a jejich řídicích systémů určují výslednou kvalitu řídicích programů. Z důvodu zvyšující se technické úrovně a komplikovanosti techniky dochází přirozeně i k zvyšování nároků na znalosti a kvalifikaci programátorů. [8]

Zvyšující se složitost řídicích programů se souvislými řídicími systémy s více současně řízenými osami vyžaduje po programátorech stále vyšší soustředění a zároveň zvyšuje

riziko vzniku chyb. Proto je dnes věnována velká pozornost generování řídicích programů za pomoci vhodného CAM softwaru. ^[8]

V oblasti obrábění stále dochází k nepřetržitému nárůstu globální konkurence, je důležité maximálně zvýšit efektivitu obráběcích strojů. Z těchto důvodů je tedy nezbytné optimalizovat propojení softwaru AlphaCAM a CNC systému obráběcího stroje za využití postprocesorů. Na tento požadavek zareagovala společnost Nexnet, a.s. vytvořením postprocesorů pro naprostou většinu dnes využívaných CNC strojů a řídicích systémů. Každý AlphaCAM modul je vytvořen na shodném základu, který zahrnuje standardní CAD funkcionality a nástroje, kterými jsou například kreslení čar, kruhů, oblouků, pravoúhelníků, použití ortho módu uchopení či definování uživatelských vrstev. Dále je možné využít import CAD souborů a libovolně přepínat mezi módem konstrukce a geometrie. Také zde existují možnosti nahlížení na vytvářenou geometrii, což zahrnuje drátové moduly, úplnou 3D simulaci, průhledné nástroje, jednotlivé kroky, rychlé rozmísťování a funkce zmenšení/zvětšení celkového náhledu. Každý z modulů umožňuje použití nástrojů a materiálů, které jsou definované uživatelsky. Definice nastavení směru je variabilní s možnostmi zevnitř, z venku, s korekcí zprava či zleva. Doplnková aplikace AlphaEdit představuje produkt vytvořený speciálně pro NC programátory, který je zabudovaný do všech AlphaCAM modulů. Tato aplikace nabízí běžné funkce textového editoru ale zároveň i specifické funkce důležité při tvorbě NC programů jako například přečíslování čísel řádků a porovnání obsahu NC souborů. Dále může být využita i při tisku obráběcích programů pro obsluhu strojů. ^[11]



Obr. 1.11 Simulace soustružení rotačního dílce v AlfaCAM 2013.

1.3 Strojní park závodu Bühler CZ s.r.o Žamberk

Strojírenský závod v Žamberku disponuje moderními soustruhy a vertikálními i horizontálními obráběcími centry. V současné době jsou k zajištění výroby zadané součásti využívány dva CNC stroje a hrotová bruska. Stroje budou blíže představeny v následujících podkapitolách.

1.3.1 Mori Seiki NL3000Y/2000

Prvním z používaných strojů je CNC soustruh Mori Seiki NL3000Y/2000. Samotný stroj je vyráběn společností DMG Mori Seiki, která má japonské a německé vlastníky a dlouholetou tradici ve strojírenském průmyslu.

Tento CNC soustruh je určen především pro dlouhé hřídelové součásti. Soustruh je vybaven deseti pozicemi pro nástroje (i poháněné rotační nástroje) v revolverové hlavě, koníkem a lunetou. Disponuje i možností obrábění pomocí osy Y. Dále má soustruh přídatné vybavení jako například sondu pro měření nástrojů. Nejdůležitější parametry stroje jsou shrnuty v tabulce 1.2 a fotografie stroje je na obrázku 1.12.

Tab. 1.2 Technická data stroje Mori Seiki NL3000Y/2000. ^[17]

Mori Seiki NL3000Y/2000	
<i>Parametry:</i>	<i>Hodnoty:</i>
Max. soustružený Ø	430 mm
Standartní soustružený Ø	310 mm
Max. soustružená délka	2123 mm
X - osa posuv	280 mm
Z - osa posuv	1370 mm
Y - osa posuv	120 mm
Nejmenší natočení C-osy	0,001°
Max. otáčky vřetene	3000 min ⁻¹
Průchozí otvor sklíčidla	105 mm
Max. Ø pro upnutí za díru	160 mm
Max. počet nástrojů	10
Max. toušťka držáku nože	25 mm
Max. Ø vrtáku pro osové vrtání	50 mm
Max. Ø rotačního nástroje	26 mm
Čas výměny nástroje	0,3 s
Max. otáčky rotačních nástrojů	6000 min ⁻¹
Rychloposuv X - osa	30 m/min
Rychloposuv Z - osa	30 m/min
Rychloposuv Y - osa	10 m/min
Posuv koníka	7 m/min
Max. vysunutí pinoly	150 mm



Obr. 1.12 CNC soustruh Mori Seiki NL3000Y/2000.

Strojní zařízení je vybaveno bezpečnostními prvky jako například plné krytí stroje, systém blokování dveří, nárazuvzdorné sklo, kontrola sepnutých čelistí či snímač tlaku na čelistech.

1.3.2 Mori Seiki NH4000 DCG

Druhým strojem, který v současné době zajišťuje výrobu zadané součásti je Mori Seiki NH4000 DCG. Jedná se o univerzální horizontální obráběcí centrum, jehož hlavní parametry jsou uvedeny v tabulce 1.3 a fotografie obráběcího centra je na obrázku 1.13.

Tab. 1.3 Technická data stroje Mori Seiki NH4000 DCG. ^[17]

Mori Seiki NH4000 DCG	
<i>Parametry:</i>	<i>Hodnoty:</i>
Rozměr palety	400 x 400 mm
Max. náklad na paletě	400 kg
Max. výška součásti	900 mm
X - osa posuv	560 mm
Z - osa posuv	560 mm
Y - osa posuv	630 mm
Nejmenší natočení palety	0,001°
Max. otáčky vřetene	14000 min ⁻¹
Max. počet nástrojů	40
Max. délka držáku nože	400 mm
Max. Ø nástroje	70 mm
Čas výměny nástroje	0,9 s
Rychloposuv X - osa	50 m/min
Rychloposuv Z - osa	50 m/min
Rychloposuv Y - osa	50 m/min



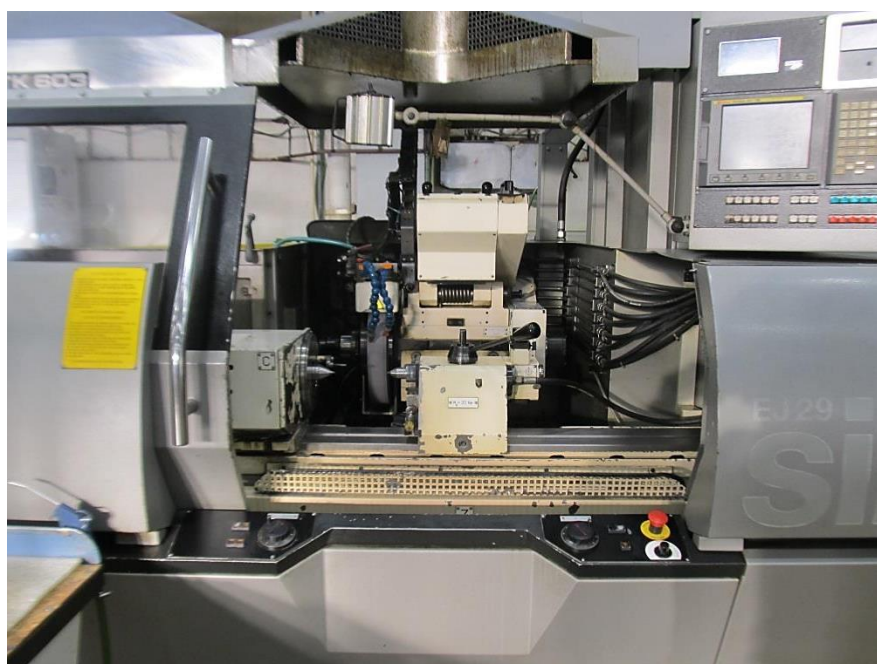
Obr. 1.13 Obráběcí centrum Mori Seiki NH4000 DCG.

1.3.3 Bruska Junker EJ29 Silver

Pro brousící operace se využívá vodorovná hrotová bruska od německé firmy Junker, jejíž fotografie je na obrázku 1.14. Technické parametry dané brusky se nacházejí v tabulce 1.4.

Tab. 1.4 Technická data brusky Junker EJ29 Silver. ^[12,17]

Junker EJ 29 SILVER	
Parametry:	Hodnoty:
Max. broušený průměr	350 mm
Max. délka broušení	1000 mm
Rozlišení	0,0001 mm
Max. hmotnost součásti	80 kg
Průměr brusného kotouče	290 - 400 mm
Šířka brusného kotouče	max. 63 mm
Celkový jmenovitý příkon	20 kVA
Hmotnost	5000 kg



Obr. 1.14 Bruska Junker EJ29 Silver.

2 NÁVRHY VLASTNÍHO ŘEŠENÍ

Cíle technické přípravy výroby závisí na druhu a rozsahu výroby, na stupni složitosti, technologické povaze konstrukce předmětu, který má být vyráběn ale také například na výrobní struktuře závodu.^[22]

V následujících podkapitolách jsou popsány návrhy na inovace stávající výrobní technologie - příprava nové technické dokumentace, návrh nástrojového vybavení, programování řídicího NC programu, simulace v softwaru AlphaCAM 2013 a volba optimálního polotovaru.

2.1 Tvorba technologické dokumentace pro zadanou součást

Hlavní náplní práce technologické přípravy výroby je zpracování výrobních postupů, které stanovují nejhospodárnější způsob výroby.^[22] Technologický postup určuje potřebné výrobní zařízení, řezné nářadí, upínací prostředky, kontrolní a měřicí zařízení. Dále pracovní podmínky potřebné pro danou operaci tak, aby dílec nebo celý výrobek byl podle daného technologického postupu hospodárně vyrobitelný a splňoval kvalitativní a kvantitativní požadavky dané technickou dokumentací.^[8]

Technolog v první řadě prostuduje veškerou výkresovou dokumentaci potřebnou k výrobě součásti. Z výkresů kromě rozměrů a jejich tolerancí také zjišťuje informace o požadavcích na tepelné zpracování a povrchové úpravy, které musí zapracovat do technologického postupu. S ohledem na programování je u některých výkresů nutné přepracovat způsob kótování, vypočítat úhly či rozteče. Tyto úkony lze v současné době nahradit použitím CAM programů.

Tvorba technologického postupu se skládá z kroků, jejichž posloupnost určuje softwarová podpora *Citrix*. Tento systém u každé operace vyžaduje zadání základních informací k výrobku (viz Obr. 2.1).

Obr. 2.1 Ukázka tvorby technologického postupu v softwaru Citrix.

Obr. 2.1 Ukázka tvorby technologického postupu v softwaru Citrix.

Z obrázku 2.1 je patrné, že hlavní technolog dílce u každé výrobní operace zadává nejprve základní parametry jako například:

- číslo a název operace;
- označení střediska a stroje, kde se bude vyrábět;
- přípravný a strojní čas;
- požadavky na kontrolu a na nářadí;
- informativní pokyny ke každé operaci.

Technolog rozhodne, z jakého polotovaru bude součást vyrobena. Přes oddělení nákupu je v nabídkovém řízení polotovary poptán a objednáán ve slévárně, kovárně nebo u dodavatele hutního materiálu. V následující kapitole 2.4 jsou analyzovány možnosti výroby dílu z různých polotovarů (přířez, odlitek, výkovek) včetně reálných cenových nabídek.

Jednotkový strojní čas

Při tvorbě každého postupu hraje jednu z nejdůležitějších rolí jednotkový strojní čas, který je získáván ze simulací softwarové podpory AlfaCAM v kombinaci s časovou studií společnosti Bühler CZ, s.r.o. Výběr časů využívaných pro stanovení celkového strojního času získané časovou studií jsou zobrazeny v tabulce 2.1.

Tab. 2.1 Výběr z časové studie. ^[17]

Název operace	Čas [s]
sepnutí lunety	5
rozepnutí lunety	5
přesun lunety	20
vysunutí pinoly	8
zasunutí pinoly	8
přívaz koníku	20
odvoz koníku	20
transfer do druhého vřetena	20
povytažení obrobku	10

Tyto časy se mohou na každém obráběcím stroji mírně lišit. Pomocí předdefinovaných tabulek se dané časy sčítají a výsledný strojní čas se doplní do plánovacích softwarů.

Přípravný čas

Přípravné časy jsou stanoveny na základě časové studie pro číslicově řízené soustruhy. Studie přípravné doby vychází z několika opakujících se činností a přiřazuje jednotlivým úkonům časy, které byly naměřeny při provozu ve výrobní hale.

Pro lepší přehlednost člení studie přípravné časy do dvou částí:

a) Přípravný čas organizace^[17]

V tomto bodě jsou zohledněny veškeré časy, které sice souvisí s výrobou, ale netýkají se seřízení stroje nebo používaných nástrojů.

Započítává se zde tedy například:

- Převzetí výrobní dokumentace, materiálu, odevzdání výrobní dokumentace, prostudování výkresu a technologického postupu, seřizovacího listu, nástrojového listu a nahrání NC program do stroje

15 minut

- Cesta do výdejny a zpět pro příjem a odevzdání náradí, měřidel

6,7 min za první náradí; za každé další **0,7 min**

- Cesta na kontrolu pro změření prvního kusu, předání dokumentace a seznámení kontrolora s vykonávanou prací

2,5 minuty

- Čas na každou kontrolovanou míru a opracování

IT10-14; R_a 3,2-12,5 **0,5 min / rozměr**

IT6-9; R_a 0,8-1,6 **1 min / rozměr**

- Vyplnění pracovního a identifikačního lístek o evidenci vykonané práce

1,5 min

- Očištění stroje od třísek

Stejný druh materiálu jako předchozí výrobek **3,5 min**

Jiný druh materiálu než předchozí výrobek **5,5 min**

b) Přípravný čas na seřízení stroje, upínacího zařízení, nástrojů ^[17]

Druhá část časové studie stanovuje veškeré časy, které souvisí se seřizováním stroje. Do této části se započítává:

- Upnutí a odepnutí sklíčidla

15 min

- Přišroubování a odšroubování měkkých, tvrdých čelistí nebo výměna kleštiny

9 min

- Protočení měkkých čelistí včetně upnutí a odepnutí nože a kroužku na protočení

10 min

- Upnutí a odepnutí trnu do vřetene

- **4 min**

- Seřízení podávacího zařízení

15 min

- Seřízení nástroje, odměření na seřizovacím stroji, zapsání korekce, upnutí/odepnutí nástroje do/z revolverové hlavy

5 min

Další časy mohou být přidány technologem dle potřeby u dané individuální součásti.

Požadavky na kontrolu

Úspěšný chod strojírenské firmy záleží především na výsledné kvalitě výrobků. Nedílnou součástí výrobního procesu ve strojírenské firmě jsou průběžné a následné procesy kontroly a zkoušení. U každé výrobní operace technolog určí výkresové rozměry, které musí být kontrolovány během výrobního procesu a předepíše použité kontrolní a měřicí zařízení. Dále stanovuje četnost kontroly v procentech nebo přes n-tý kus a určí, kdo bude měření provádět (výrobní a servisní tým nebo kontrolor). Následuje zadání požadavku na záznam naměřených hodnot do protokolu o měření. U rozměrů třídy IT9 a nižší je vždy požadována stoprocentní kontrola. Rozměrová třída IT10 a vyšší bývá kontrolována na několika kusech z dávky v závislosti na technologii výroby. Základní rozměry jsou kontrolovány přímo v obráběcím stroji, čímž se obsluha přesvědčuje o správném nastavení

nástrojů. Ostatní netolerované rozměry spadající do všeobecných tolerancí dle normy předepsané na výkresu je zpravidla nutné kontrolovat pouze u prvních vyrobených kusů. Při výrobě nového dílu, technické změně nebo při změně technologie probíhá proces vzorkování, kde jsou pracovníkem kontroly podle pozicového výkresu měřeny všechny rozměry a naměřené hodnoty zaznamenávány do vzorkovacího protokolu.

	Hodnota	Metoda	Kdo	%	POČ.	N-tý	Arch.	%	POČ.	N-tý
12P9		měrka	VT	100	0	0	1	0	3	0
5 (0;+0.2)		posuvné měřítko	VT	100	0	0	1	0	3	0
77 (±0.3)		výškoměr	VT	0	0	3	0	0	0	0
117 (±0.1)		výškoměr	VT	0	0	3	0	0	0	0
165 (±0.1)		výškoměr	VT	0	0	3	0	0	0	0
M12		závitový kalibr	VT	100	0	0	1	0	3	0
D40.3 (0;-0.1)		mikrometr	VT	0	0	3	0	0	0	0
D50.3 (0;-0.1)		mikrometr	VT	0	0	3	0	0	0	0
D60 (±0.3)		posuvné měřítko	VT	0	0	3	1	0	3	0

Obr. 2.2 Příprava požadavků na kontrolu v softwaru Citrix.

Další možností technologů k zajištění kvality výrobků je rozhodnutí o kontrole rozměrů na souřadnicovém měřicím stroji. Tento typ kontroly je požadován u dílců s tolerancemi tvaru a polohy, které není možné měřit konvenčními měřidly nebo kde by měření konvenčními měřidly bylo časově náročné ve srovnání se souřadnicovým strojem. Technolog předepíše kontrolu na souřadnicovém měřicím stroji a software Citrix zasílá kontrolorům s předstihem požadavek na zhotovení měřicího programu pro CNC stroj Mitutoyo Crysta Apex nebo Mitutoyo KN 815.

Požadavky na nářadí

Mezi požadavky na nářadí, které není běžně dostupné u CNC obráběcího stroje, patří kromě upínacích přípravků i měřidla. Po předchozím rozhodnutí o kontrolních operacích je tedy nutné přiřadit nářadí potřebné k zajištění všech měřicích operací.

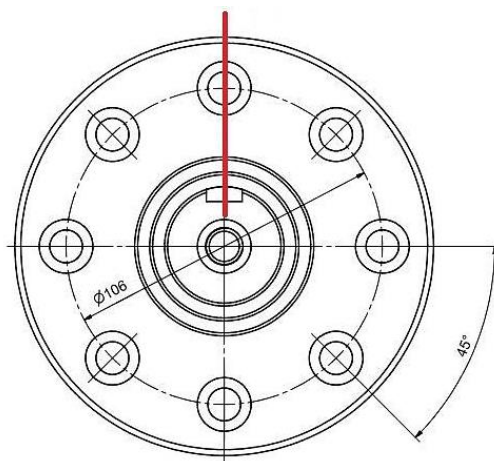
	Typ	Ozn.	Název	Rozměr	Počet
►	KKK	4019	MIKROMETR TRMENOVÝ	25-50	1
	KKK	4020	MIKROMETR TRMENOVÝ	50-75	1
	KKK	4761	KALIBR ZAVITOVÝ TRN	M12 6H	1
	523	1072	MERKA PLOCHA	12P9	1

Obr. 2.3 Příprava požadavků na nářadí v softwaru Citrix.

K zajištění výroby mohou být nutné speciální nástroje, kalibry nebo upínací a polohovací přípravky, na které jsou přes software odeslány požadavky k výrobě či zakoupení. Po kompletní technické přípravě výroby je kalkulována finální cena výroby artiklu.

Návrh technologie výroby dílce

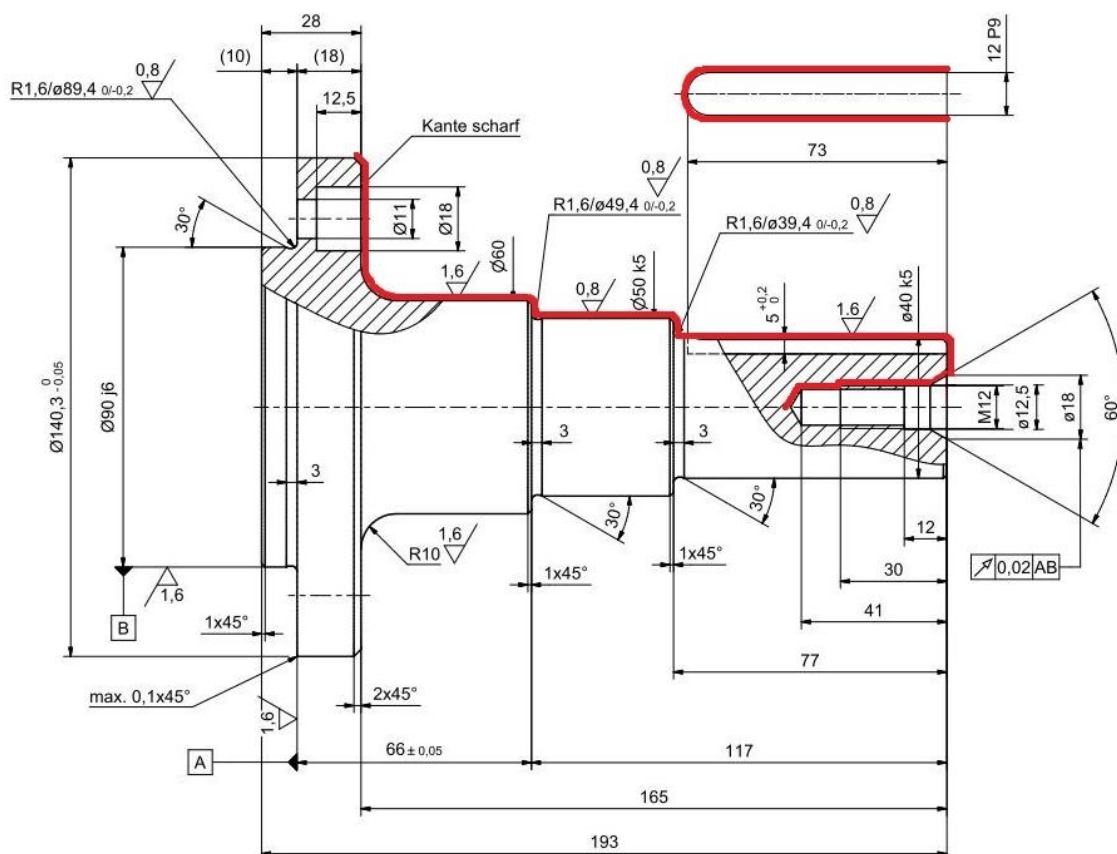
Návrh nové technologie výroby vychází z analýzy provedené v kapitole 1.2 a hlavním cílem návrhu je využití CNC řízeného univerzálního soustruhu (s parametry uvedenými v kapitole 1.2.1) pro všechny výrobní operace a z toho vyplývající úplné vynechání horizontálního obráběcího centra z výrobního procesu. Díky této inovaci by soustruh NL3000 kromě soustružnických operací zajišťoval také frézování drážky či vrtání a zahloubení děr. Frézování drážky pro pero bude probíhat při prvním upnutí. Vrtání a zahloubení děr se bude provádět ve druhé operaci z důvodu rozměrů stroje, součásti a domků pro nástroje v rotační ose Z. Při případném vrtání a zahlubování už v prvním upnutí by se muselo využít dlouhých nástrojů, což by mělo vliv na přesnost umístění vrtaných děr na roztečné kružnici a na životnost nástrojů. Z tohoto důvodu byl návrh výroby zahloubených děr v první operaci zamítnut. Při frézování drážky v první operaci a vrtání děr ve druhé, je tedy nutné zajistit správnou polohu drážky pro pero vůči otvorům se zahloubením, dle obrázku 2.4.

Obr. 2.4 Poloha drážky vůči díře se zahloubením. ^[17]

Hlavní výhodou nového postupu oproti původní variantě je především nutnost seřizování pouze jednoho stroje, nulová mezioperační manipulace s rozpracovanou výrobou a s tím související úspory.

První operace

Navržený postup obrábění v první operaci je zvýrazněn na obrázku 2.5. Přířez bude upínán do sklíčidla v maximální hloubce 10 mm a podepřen lunetou.



Obr. 2.5 Zakreslení návrhu obrábění v první operaci. [17]

Z důvodu výše popsané problematiky polohy drážky vůči dířám bude po frézování drážky pro pero stejnou frézou zhotovena technologická plocha na vnějším průměru přířezu. Tato technologická plocha následně zajistí vyrovnávání součásti ve druhém upnutí pomocí vodováhy s přesností $0,1 \text{ mm.m}^{-1}$ na obrázku 2.6. Přesnost vodováhy a vyrovnání pomocí technologické plochy zajistí odchylku středu otvoru vůči drážce maximálně $\pm 0,0053 \text{ mm}$. Všeobecná tolerance souměrnosti ISO 2768 mK předepisuje souměrnost středu otvoru vůči drážce $\pm 0,3 \text{ mm}$.



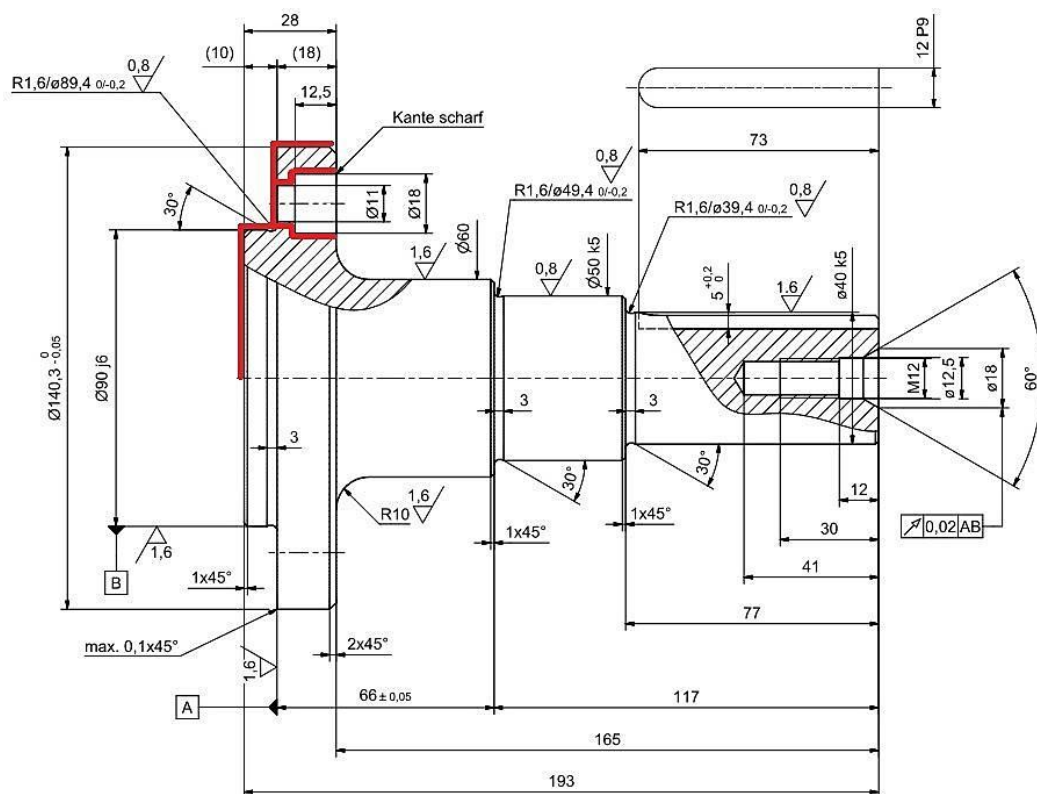
Obr. 2.6 Vodováha k vyrovnávání součásti při upínání.

Vzhledem k frézování plochy pro umístění vodováhy je nezbytné, seřadit stroj tak, aby nulový bodu osy C vycházel mezi čelisti. Součást je následně sevřena v lunetě. Prvním krokem obrábění je navrtání důlku pro hrot, následuje přijetí koníku, vysunutí pinoly, podepření součásti hrotem a otevření lunety. Poté je hrubována kontura součásti zvoleným vnějším soustružnickým nožem. Dokončovací destičkou se na závěr opět přesoustruží kontura s technologickými přídávky na broušení $\varnothing 40,3^{0}_{-0,05}$ mm, $\varnothing 50,3^{0}_{-0,05}$ mm a na hotovo se dokončí $\varnothing 60 \pm 0,3$ mm. Po dokončení podélného soustružení následuje frézování drážky válcovou frézou a zafrézování vnějšího průměru polotovaru mezi čelistmi jako technologická plocha pro vyrovnání pomocí vodováhy. Po dokončení frézovacích operací se opět sevře luneta a odjede koník, aby mohlo být zarovnáno čelo součásti. Vzhledem k tomu, že luneta svírá průměr s technologickým přídávkem, odpadá riziko snížení kvality povrchu nahotovo obrobeného rozměru. Toto upnutí umožňuje vrtání díry $\varnothing 10,2$ mm z čela do hloubky 41 (+1) mm pro závit M12 6H. Vnitřním soustružnickým nožem je zhotoveno sražení a na závěr je řezán závit M12 6H zvoleným závitníkem do hloubky 30 (+2) mm.

Druhá operace

Ve druhé navržené operaci se součást upne do protočených čelistí za $\varnothing 50,3$ a doráží se na čelo u $\varnothing 60$ mm. Vzhledem k upínání za průměr s technologickým přídávkem nevzniká riziko poškození nahotovo obrobeného povrchu. Po upnutí a vyrovnání nulového bodu C osy dle vodováhy a technologické plošky následuje čelní soustružení na délku 193 mm. Dále se hrubuje a dokončuje kontura přes průměr s technologickým přídávkem $\varnothing 90,3^{0}_{-0,05}$ mm při dodržení technologické míry $66^{+0,1}_{+0,05}$ mm a $\varnothing 140,3^{0}_{-0,05}$ mm. Dalšími kroky je soustružení zápichu, sražení hran a navrtání středícího důlku nutného pro upnutí mezi hroty, které bude využito při broušení. Následuje zhotovení osmi otvorů na

roztečné kružnici $\varnothing 106$ mm. Pomocí natáčení C osy jsou nejprve vrtány otvory $\varnothing 11$ mm, které jsou následně za využití zpětného záhlubníku zahlubeny do hloubky 12,5 mm. Popis druhé operace je graficky znázorněn na následujícím obrázku 2.7.



Obr. 2.7 Zakreslení návrhu obrábění v druhé operaci. ^[17]

Nově navržený postup vynechal z výrobního procesu obráběcí centrum NH4000 DCG. Pokud by tedy celá součást mohla být naprogramována a přímo vyrobena na CNC soustruhu NL3000, ušetří se především náklady v podobě přípravného a seřizovacího času u obráběcího centra NH4000 DCG. Dále také časy na sestavování a rozebrání univerzálního stavebníkového přípravku, náklady na kontrolu a zkoušení a náklady na manipulaci s rozpracovanou výrobou. Těmito úsporami se práce zabývá v kapitole ekonomického zhodnocení. Po navržení sledu technologických operací a počtu kontrol byl technologický postup a protokol o měření vygenerován pomocí softwaru Citrix, popsán ho v kapitole 2.1. Kompletní podoba technologického postupu je zobrazena na obrázcích 2.8 až 2.10. Obrázek 2.11 zachycuje protokol o měření.

Bühler CZ s.r.o.

Technologický postup

16.4.2016 9:36:37

Strana: 1

Číslo artiklu:

Revize:

Technolog:

Číslo artiklu SAP:

Klíč ABC:

Název:

Zakázka:

Počet kusů v zakázce: 0



Číslo mat. Název	Číslo SAP	Oper.	KO	Polotovár Norma jakostní	Množství MJ Norma rozměrová
TYC KR 150-197		10	0	S355J0+N	1.0000 KS
OLEJ KLUEBERFOOD		50	0		0.0020 L
POLYNET DUTINA 20MM		50	0	PE152	0.1300 M

Op.	Var.	Pracoviště SAP	Název pracoviště	Návodky
10	9		MS NL3000Y/2000	NE

SOUSTRUŽIT

Program: 01

Upnout do sklíčidla za D150 v maximální hloubce 10mm; podepřít lunetou

Navrtat A4

Otevřít lunetu, příjezd a podepření hrotem

Zarovnání čela do D30, hrubování povrchu

Dokončení povrchu D40.3-0.1; D50.3-0.1; D60, zápichy, srazit hrany

Délky 117±0.1 a 165±0.1 technologicky

Frézování drážky 12P9, frézování plochy pro vyrovnání

Sevření lunety, odjezd koníka

Vrtání v ose D10.2 hloubka 41+1

Vnitřní soustružení důlku, úhel 60°

Řezání závitu M12 do hloubky 30+2

Kontrolovat:

hodnota	+tol.	-tol.	h. limit	d. limit	metoda	četn.	kdo	arch.	četn.
12 P9	-0.018	-0.061	11.982	11.939	Měrka	100 %	VT	A	3 ks
5 (0;+0.2)	+0.2	0	5.2		5 Posuvné měřítko	100 %	VT	A	3 ks
M12 6H					Závitový kalibr	100 %	VT	A	3 ks
D60 (±0.3)	+0.3	-0.3	60.3	59.7	Posuvné měřítko	3-tý	VT	A	3 ks
77 (±0.3)	+0.3	-0.3	77.3	76.7	Výškoměr	3-tý	VT	N	0 ks
117 (±0.1)	+0.1	-0.1	117.1	116.9	Výškoměr	3-tý	VT	N	0 ks
165 (±0.1)	+0.1	-0.1	165.1	164.9	Výškoměr	3-tý	VT	N	0 ks
D40.3 (-0.1;0)	0	-0.1	40.3	40.2	Mikrometr	3-tý	VT	N	0 ks
D50.3 (-0.1;0)	0	-0.1	50.3	50.2	Mikrometr	3-tý	VT	N	0 ks

Nářadí:

typ	číslo	chiffre	název	rozměr	mn.
			MIKROMETR TRMENOVY	25-50	1.000
			KALIBR ZAVITOVY TRN	M12 6H	1.000
			MIKROMETR TRMENOVY	50-75	1.000
			MERKA PLOCHA	12P9	1.000

Obr. 2.8 Návrh technologického postupu – první část.

Bühler CZ s.r.o.

Technologický postup

16.4.2016 9:36:37

Strana: 2

Číslo artiklu:

Revize:

Technolog:

Číslo artiklu SAP

Klíč ABC:

Název:

Zakázka:

Počet kusů v zakázce: 0

Op. Var. Pracoviště SAP Název pracoviště Návodky

20 9 MS NL3000Y/2000 NE

SOUSTRUŽIT

Program: 02

Upnout do protočených čelistí, dorážet na čelo u D60

Vyrovnat pomocí vodováhy

Zarovnat čelo na L=193; dodržet míru 66(+0.05/+0.1)

Soustružit D90.3-0.1 a D140.3-0.05

Soustružit zápich, srazit hrany

Navrtat A4

Vrtat a zahloubit (zpětně) D11 a D18

Odjehlít

POZOR! Hranu na D18 neodjehlovat (Kante scharf)!

Kontrolovat:

hodnota	+tol.	-tol.	h. limit	d. limit	metoda	četn.	kdo	arch.	četn.
66 (+0.05;+0.1)	+0.1	+0.05	66.1	66.05	Výškoměr	100 %	VT	A	3 ks
D140.3 (-0.05;0)	0	-0.05	140.3	140.25	Mikrometr	100 %	VT	A	3 ks
D106 (±0.3)	+0.3	-0.3	106.3	105.7	Posuvné měřítko	100 %	VT	A	1 ks
28 (±0.2)	+0.2	-0.2	28.2	27.8	Výškoměr	3-tý	VT	N	0 ks
D90.3 (-0.1;0)	0	-0.1	90.3	90.2	Mikrometr	3-tý	VT	N	0 ks

Nářadí:

typ	číslo	chiffre	název	rozměr	mn.
			MIKROMETR TRMENOVY	75-100	1.000
			MIKROMETR TRMENOVY	125-150	1.000

Op. Var. Pracoviště SAP Název pracoviště Návodky

30 9 EJ29 JUNKER bruska NE

BROUSIT

Upnout součást mezi hroty

Brousit D90j6 a přilehlé čelo na 66±0.05

Natáhnout polynet dutinu

Kontrolovat:

hodnota	+tol.	-tol.	h. limit	d. limit	metoda	četn.	kdo	arch.	četn.
N7 (Ra1.6)					Drsnoměr	3 ks	VT	A	3 ks
D90j6	+0.013	-0.009	90.013	89.991	Pasametr	100 %	VT	A	3 ks
házivost 0.02 AB					Hroty; úchylkoměr	5-tý	VT	A	3 ks
66 (±0.05)	+0.05	-0.05	66.05	65.95	Výškoměr	5-tý	VT	A	3 ks

Nářadí:

typ	číslo	chiffre	název	rozměr	mn.
			PASAMETR	75-100	1.000

Obr. 2.9 Návrh technologického postupu – druhá část.

Bühler CZ s.r.o.

Technologický postup

16.4.2016 9:36:37

Strana: 3

Číslo artiklu:

Revize: 03

Technolog:

Číslo artiklu SAP:

Klíč ABC:

Název:

Zakázka:

Počet kusů v zakázce: 0

Op.	Var.	Pracoviště SAP	Název pracoviště	Návodky
40	9		EJ29 JUNKER bruska	NE

BROUSIT

Upnout součást mezi hroty

Brousit D50k5; D40k5

Natáhnout polynet dutinu

Kontrolovat:

hodnota	+tol.	-tol.	h. limit	d. limit	metoda	četn.	kdo	arch.	četn.
D50k5	+0.013	+0.002	50.013	50.002	Pasametr	100 %	VT	A	3 ks
D40k5	+0.013	+0.002	40.013	40.002	Pasametr	100 %	VT	A	3 ks
N7 (Ra1.6)					Drsnoměr	3 ks	VT	A	3 ks
N6 (Ra 0.8)					Drsnoměr	3 ks	VT	A	3 ks

Nářadí:

typ	číslo	chiffre	název	rozměr	mn.
			PASAMETR	25-50	1.000

Op.	Var.	Pracoviště SAP	Název pracoviště	Návodky
50	9		Předúprava ponorem	NE

ODMASTIT

Odmastit, konzervovat

Datum: 16.4.2016 9:35:36

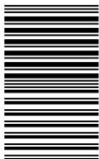
Zpracoval: Vencel Petr

Schválil:

Vystavil : Vencel Petr

----- KONEC SESTAVY -----

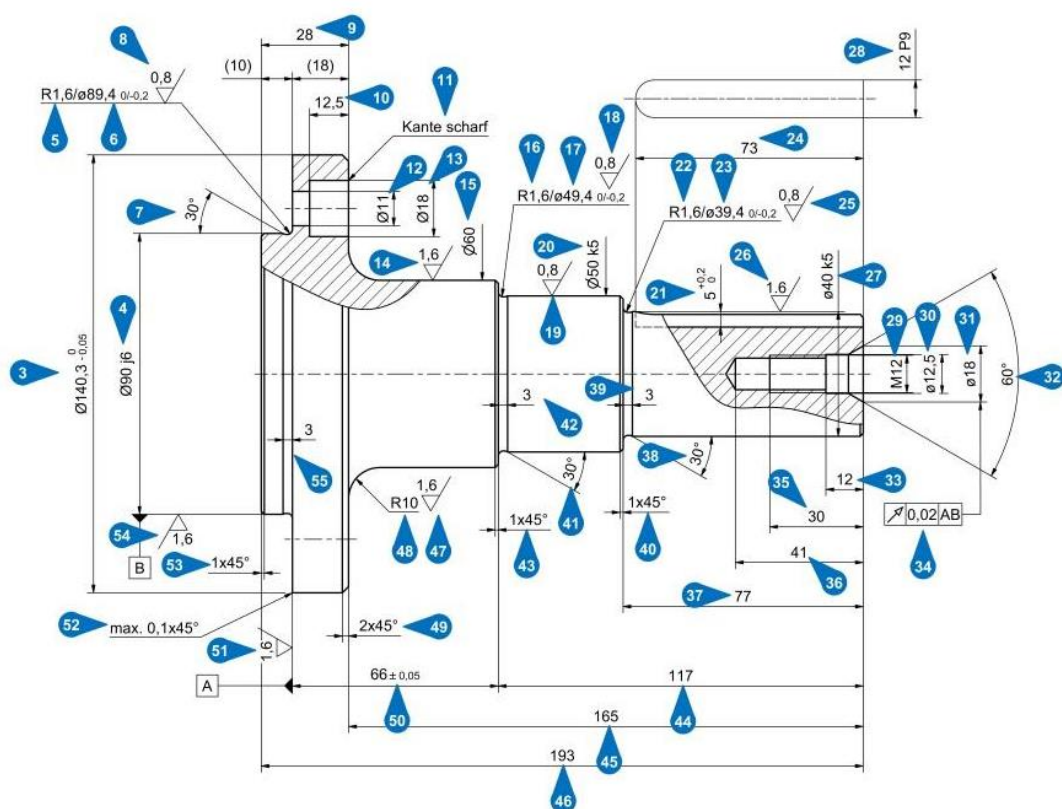
Obr. 2.10 Návrh technologického postupu – třetí část.

		Protokol o měření MESSPROTOKOL				FRM3002													
						Č. Nr.:	Strana: 1 16.4.2016 SEITE												
Artikel / Artikel SAP: ARTIKEL Nr.		Revize: REVISION	Název: BENENNUNG	Č. objed.: AUFTRAG Nr.	Č. DP: WAD Nr.	Počet ks: 0 STÜCKEN	Č. dávky: MENGE Nr.	Zpracoval/poznámka KONTROLLEUR/BEMERKUNG											
Oper.	Hodnota MERKMAL	+ tol.	- tol.	h. limit	d. limit	Množ. MENGE	Naměřené hodnoty IST WERT												A/N Ja/Nein
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
10	D60 (±0.3)	+0.3	-0.3	60.3	59.7	3 ks													
10	M12 6H					3 ks													
10	12 P9	-0.018	-0.061	11.982	11.939	3 ks													
10	5 (0;+0.2)	+0.2	0	5.2	5	3 ks													
20	D106 (±0.3)	+0.3	-0.3	106.3	105.7	1 ks													
20	D140.3 (-0.05;0)	0	-0.05	140.3	140.25	3 ks													
20	66 (+0.05;-0.1)	+0.1	+0.05	66.1	66.05	3 ks													
30	D90j6	+0.013	-0.009	90.013	89.991	3 ks													
30	hářivost 0.02 AB					3 ks													
30	N7 (Ra1.6)					3 ks													
30	66 (±0.05)	+0.05	-0.05	66.05	65.95	3 ks													
40	D40k5	+0.013	+0.002	40.013	40.002	3 ks													
40	D50k5	+0.013	+0.002	50.013	50.002	3 ks													
40	N6 (Ra 0.8)					3 ks													
40	N7 (Ra1.6)					3 ks													

Obr. 2.11 Protokol o měření.

Vzorkovací protokol a pozicový výkres

Po vyrobení prvního kusu je provedena kontrola a zkoušení všech rozměrů a drsností povrchů obrobene součásti. K tomu je generován vzorkovací protokol a pozicový výkres za pomoci softwaru InspectionXpert. Vytvořený pozicový výkres pro zadanou součást je zobrazen na obrázku 2.12. Kompletní podoba pozicového výkresu se nachází v příloze číslo 3.



Obr. 2.12 Náhled na pozicový výkres.

2.2 Navržení nástrojového vybavení

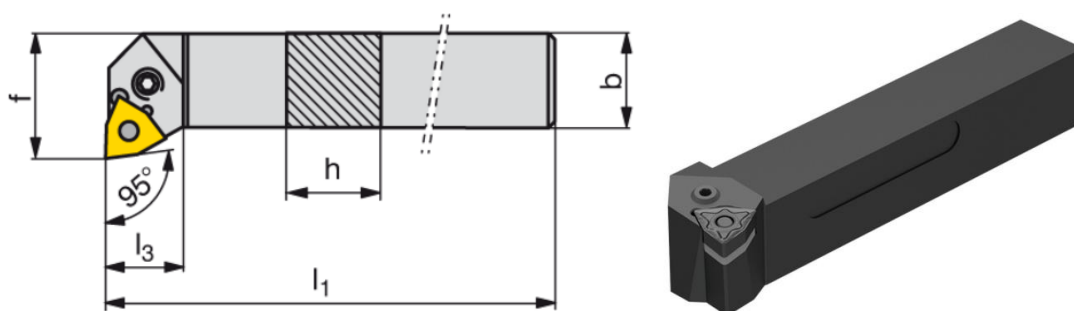
Veškeré nástrojové vybavení nakupuje firma Bühler CZ s.r.o. u renomovaných výrobců, jimiž jsou například Gühring, Hoffmann, Pramet, WNT apod. Nástroje potřebné pro výrobu dané součásti budou rozebrány v následujících kapitolách a na jejich základě poté bude zhotoven nástrojový list. Tento dokument určuje zápis jednotlivých pozic nástrojů potřebných pro obrábění dle daného programu. Rozbor nezahrnuje držáky pro upínání navrtávků, vrtáků či rotačních nástrojů, které jsou běžným základním vybavením u každého CNC stroje ve firmě Bühler CZ s.r.o.

2.2.1 Navržení nástrojového vybavení pro první operaci

Nástroje v následujících kapitolách jsou seřazeny v pořadí, ve kterém jsou využívány při obrábění dané součásti a ve kterém jsou také zapsány v seřizovacím listě.

a) Vnější soustružnický nůž a destička k hrubování

Pro účely hrubovacích soustružnických operací jak na čele, tak na vnějším průměru byl zvolen nožový držák PWLNL 2525 M08.



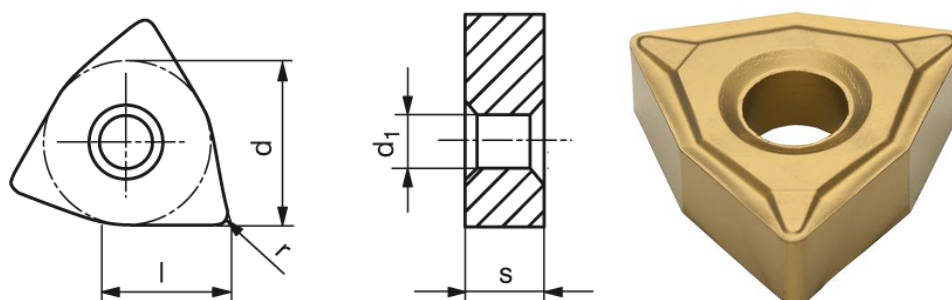
Obr. 2.13 Soustružnický nůž PWLNL 2525 M08. ^[18]

S náčrtem nástroje v obrázku 2.13 souvisí tabulka 2.2, kde jsou zaznamenány hlavní parametry daného soustružnického nože.

Tab. 2.2 Parametry soustružnického nože PWLNL 2525 M08. ^[18]

h [mm]	b [mm]	l ₁ [mm]	l ₃ [mm]	f [mm]
25	25	150	25	32

Vybraná vyměnitelná břitová destička WNMG 080408EN-CF je typu TRIGON z řezného materiálu CERMET. Rádus břitové destičky je zvolen na 0,8 mm.



Obr. 2.14 Vyměnitelná břitová destička WNMG 080408EN-CF. ^[18]

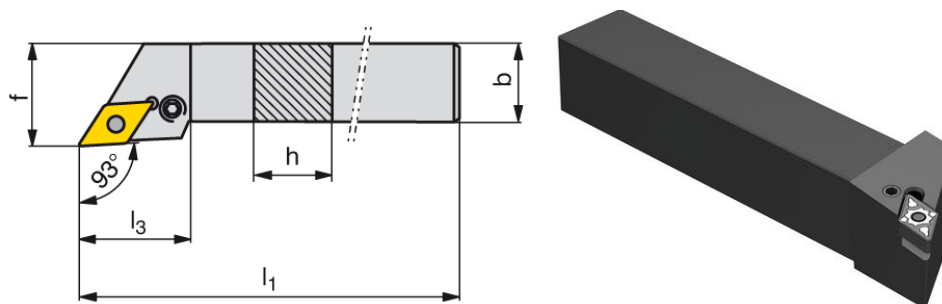
S náčrtem břitové destičky v obrázku 2.14 souvisí tabulka 2.3, kde jsou zaznamenány její hlavní parametry.

Tab. 2.3 Parametry vyměnitelné břitové destičky WNMG 080408EN-CF. ^[18]

l [mm]	s [mm]	d_1 [mm]	d [mm]	r [mm]
8,6	4,76	5,16	12,7	0,8

b) Vnější soustružnický nůž a destička k dokončování

Pro účely dokončovacích soustružnických operací jak na čele, tak na vnějším průměru byl zvolen nožový držák PDJNL 2525 M15.

Obr. 2.15 Soustružnický nůž PDJNL 2525 M15. ^[18]

S náčrtem nástroje v obrázku 2.15 souvisí tabulka 2.4, kde jsou zaznamenány hlavní parametry daného soustružnického nože.

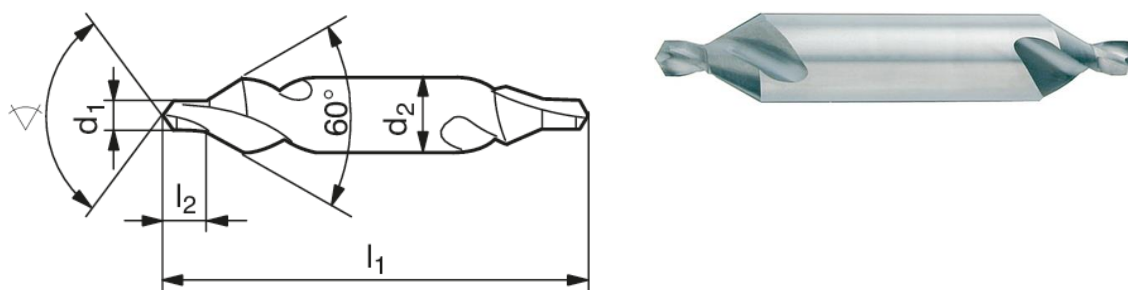
Tab. 2.4 Parametry soustružnického nože PDJNL 2525 M15. ^[18]

h [mm]	b [mm]	l_1 [mm]	l_3 [mm]	f [mm]
25	25	150	34,7	32

Při výběru vyměnitelné břitové destičky vhodné pro dokončovací operace byly zvoleny dvě varianty. První možností byla standartní nepovlakovaná břitová destička DNMG 150604EN-CF TWC410 a druhou hladicí břitová destička DNMG 150604EN-TFQ HCX1125. Pro srovnání těchto dvou destiček byla provedena technologická zkouška, která je popsána v kapitole 2.2.3. Dokončovací destička proto bude zvolena v této následující kapitole.

c) Středicí navrtávák

Pro účely navrtávání byl zvolen standartní středící vrták s úhlem zahloubení 60° a drážkou ve šroubovici. Středící vrták je tvaru A s označením DIN 333.

Obr. 2.16 Středicí vrták DIN333-A. ^[18]

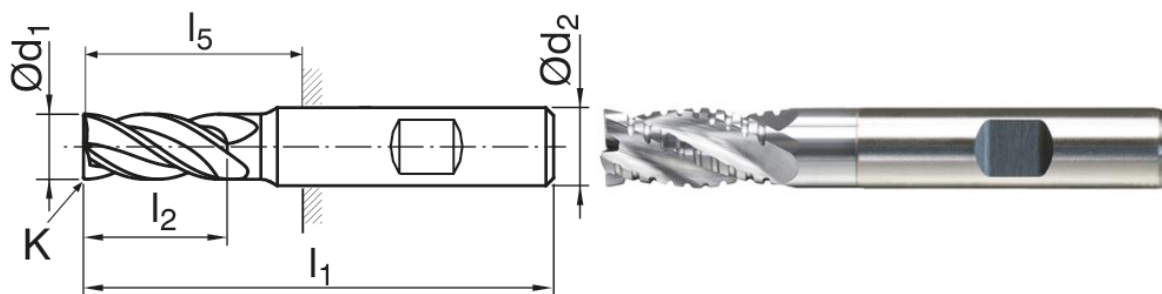
S náčrtem nástroje v obrázku 2.16 souvisí tabulka 2.5, kde jsou zaznamenány hlavní parametry daného středicího vrtáku.

Tab. 2.5 Parametry středicího vrtáku DIN333-A. ^[18]

d_1 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	d_2 [mm]
1,6	35,5	2,4	4

d) Fréza s geometrií pro hrubování i dokončování

Pro veškeré frézovací úkony byla zvolena univerzální fréza s geometrií navrženou jak pro hrubovací tak i dokončovací operace.

Obr. 2.17 Monolitní tvrdokovová fréza. ^[18]

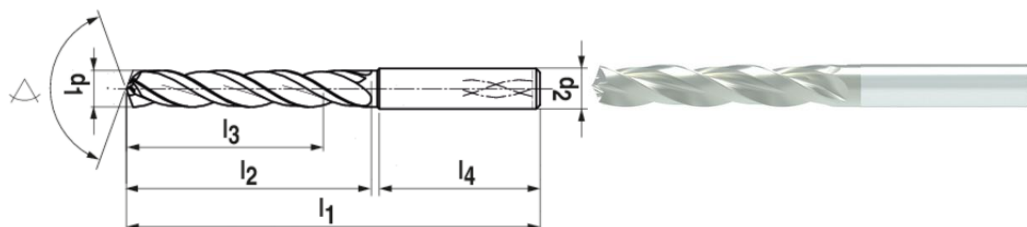
S náčrtem nástroje v obrázku 2.17 souvisí tabulka 2.6, kde jsou zaznamenány hlavní parametry dané monolitní tvrdokovové frézy.

Tab. 2.6 Parametry monolitní tvrdokovové frézy. ^[18]

d_1 [mm]	l_2 [mm]	l_5 [mm]	l_1 [mm]	d_2 [mm]	K	Z
10	22	32	72	10	0,12	4

e) Vrták $\varnothing 10,2$ mm

Pro zhotovení díry pro závit M12 6H byl navržen tvrdokovový vrták $\varnothing 10,2$ mm s vnitřním chlazením. Vrták byl navržen s ohledem na hloubku díry pro závit, která je dle výkresu minimálně 41 mm.



Obr. 2.18 Tvrdokovový vrták $\varnothing 10,2$ mm. ^[18]

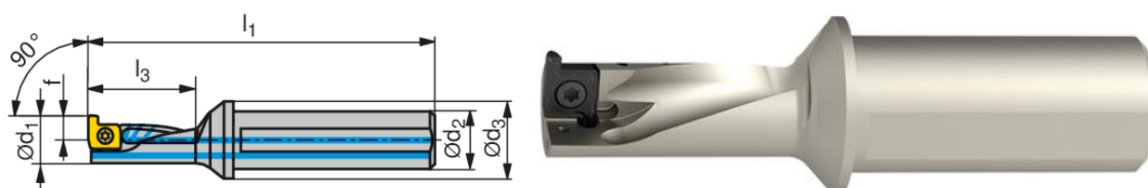
S náčrtem nástroje v obrázku 2.18 souvisí tabulka 2.7, kde jsou zaznamenány hlavní parametry daného vrtáku.

Tab. 2.7 Parametry tvrdokovového vrtáku. ^[18]

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]	l_4 [mm]
10,2	12	118	71	56	45

f) Držák pro vnitřní soustružení a vyměnitelná břitová destička

Pro vnitřní soustružení průměru a sražení byl zvolen univerzální nástroj, který lze využít jak pro soustružení, vrtání či zapichování. Označení nástroje je ECOCUT PROFILEMASTER 2,25XD.



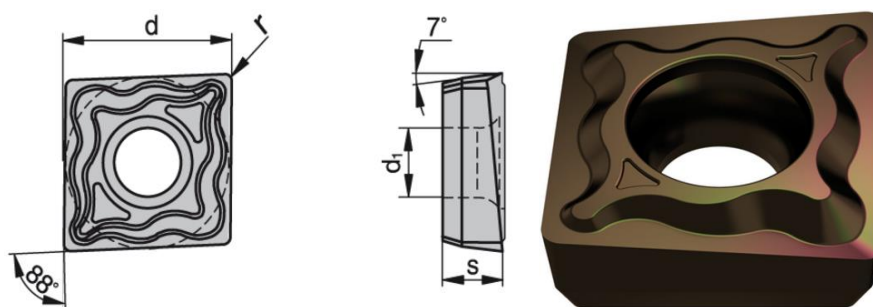
Obr. 2.19 Soustružnický nástroj pro vnitřní soustružení. ^[18]

S náčrtem nástroje v obrázku 2.19 souvisí tabulka 2.8, kde jsou zaznamenány hlavní parametry zvoleného nástroje.

Tab. 2.8 Parametry univerzálního soustružnického nástroje. ^[18]

d_1 [mm]	d_2 [mm]	d_3 [mm]	l_1 [mm]	l_3 [mm]	f [mm]
10	12	16	72,4	22,5	5

Vybranou vyměnitelnou břitovou destičkou je XCNT 050204 EN. Rádus břitové destičky je 0,4 mm.

Obr. 2.20 Vyměnitelná břitová destička pro ECO CUT. ^[18]

S náčrtem břitové destičky v obrázku 2.20 souvisí tabulka 2.9, kde jsou zaznamenány její hlavní parametry.

Tab. 2.9 Parametry vyměnitelné břitové destičky XCNT 050204 EN. ^[18]

l [mm]	s [mm]	d ₁ [mm]	d [mm]	r [mm]
5,8	2,1	2,25	5,8	0,4

g) Závitník M12 6H

Závity lze konvenčními metodami vyrábět buď třískovým obráběním, nebo tvářením.

Řezání vnitřních závitů na soustruhu se provádí s využitím závitníků nebo vnitřních závitových nožů. ^[13,14]

Výroba řezacími závitníky patří mezi nejpoužívanější a nejsnadněji realizovatelné metody výroby vnitřních závitů. Závitníky jsou mnohobřité nástroje, které mají základní tvar šroubu s vyfrézovanými drážkami pro odvod třísek. K dosažení dobré kvality závitu je nutná kvalitně připravená díra. Dále je nutné zvolit vhodný závitník především s ohledem na druh obráběného materiálu a typ díry – průchozí nebo neprůchozí. Mezi další ovlivňující faktory patří například spolehlivé upnutí obrobku, nastavení vhodné řezné rychlosti či použití správné řezné kapaliny. Možnou nevýhodou závitování pomocí závitníků je zalomení, kdy je následné vyjmutí poškozeného nástroje z materiálu velmi obtížné a obvykle dochází k poškození závitu a tím i ke znehodnocení vyráběného kusu. ^[13,14]

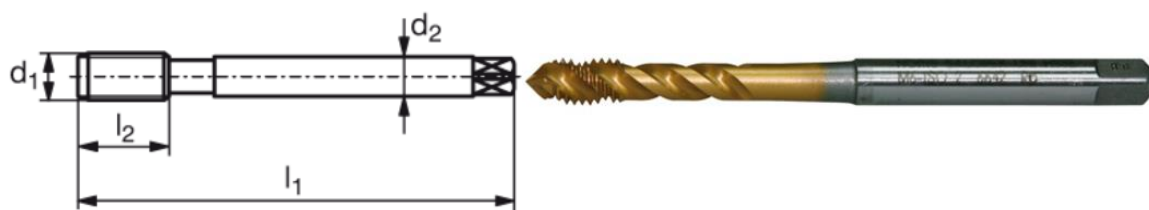
V případě obrábění pomocí soustružnického nože se závitovými břitovými destičkami se obrobek otáčí řeznou rychlostí a nástroj se postupně posouvá o jedno stoupání závitu na otáčku. Profil destičky odpovídá tvaru a profilu závitu. ^[13,14]

Frézování závitů je moderní metodou a také je produktivnější. Využívá se především v hromadné výrobě. Hlavní pohyb je rotační pohyb nástroje. Moderní výroba závitů na

obráběcích centrech umožňuje jedním nástrojem vrtat díru, frézovat závit a zahloubit otvor díry. To vede k úspoře nástrojů i obráběcího času. ^[13,14]

Tváření závitů je beztržisková metoda pro výrobu vnitřních závitů, která v poslední době nabývá na významu. Využití nachází zejména v hromadných a sériových výrobcích. Původ této metody směřuje k sériové výrobě krátkých závitů do plechů. Nyní je však rozsah použití tvářecích závitníků výrazně větší díky povlakům a dalším postupným inovacím. Závity jsou tvářeny v předvrtaných otvorech bez oddělování třísek. Využití tedy nachází především v neprůchozích otvorech nebo v místech, kde nejsou dobré podmínky pro odvod třísek. Nehrozí zde tedy nebezpečí ucpávání nástroje třískami a z toho plynoucí poškození nástroje či závitu. Trvanlivost nástroje je v porovnání se řezacími závitníky podstatně vyšší. Další předností tvářeného závitu je vyšší jakost a pevnost. Dochází zde totiž ke zpevňování povrchu závitu bez přerušení vláken materiálu. S tím úzce souvisí základní předpoklady pro použití této metody, což je například dobrá tvárnost materiálu za studena a tažnost minimálně 10%. Mezi nejvhodnější materiály tedy patří slitiny hliníku, barevné kovy a oceli s pevností do 500 MPa. Při tváření závitu jsou zoubky na závitníku postupně vtlačovány do materiálu, který s narůstajícím teplem změkne a následně zatéká mezi jednotlivé zoubky profilu tvářecího závitníku. Boky závitového profilu tedy mají podstatně nižší drsnost povrchu v porovnání se závitem, který vznikl řezáním. Charakteristickým znakem tvářeného závitu jsou neúplně utvářené vrcholy závitového profilu. Funkce závitového spojení ale závisí především na bocích profilu a proto neúplně utvářené vrcholy nemají negativní vliv na pevnost závitu. Speciální pozornost před začátkem tváření závitů vyžaduje příprava otvoru. Je nutné vyrobít sražení obou hran otvoru před samotným tvářením závitů, aby nedocházelo k vytlačení materiálu na čelech otvoru. Dochází zde také k mnohem větším odporům a vzniku výrazně většího tření, a proto je nevyhnutelné aplikovat v průběhu procesu vhodný řezný olej. ^[13,14]

V případě oceli ČSN41 1523 je nejnižší zaručená tažnost 18 %, mez pevnosti v tahu 470-630 MPa a mez kluzu 355 MPa (viz kapitola 1.3.1 Analýza používaného materiálu). Technologie tváření závitů tedy lze u tohoto materiálu využít, ale vzhledem k nízkému počtu vyráběných kusů a také k možnostem obráběcího stroje byla navržena tvorba závitů řezacími závitníky, protože patří mezi nejpoužívanější a nejsnadněji realizovatelné metody pro výrobu vnitřních závitů. Pro výrobu metrického závitu M12 6H byl zvolen strojní závitník pro slepé díry. Označení závitníku je SALOREX UNI M12 ISO2-6H.

Obr. 2.21 Strojní závitník pro metrické závity M12 6H. ^[18]

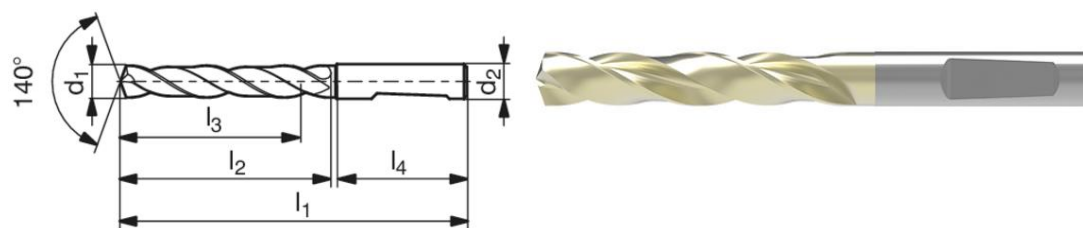
S náčrtem strojního závitníku v obrázku 2.21 souvisí tabulka 2.10, kde jsou zaznamenány hlavní parametry.

Tab. 2.10 Parametry strojního závitníku M12 6H. ^[18]

d_1 [mm]	p [mm]	l_2 [mm]	l_1 [mm]	l_3 [mm]	drážky	tolerance
M12	1,75	18	110	44	3	ISO 2 6H

2.2.2 Navržení nástrojového vybavení pro druhou operaci

a) Vrták ø11

Obr. 2.22 Tvrdokovový vrták ø11 mm. ^[18]

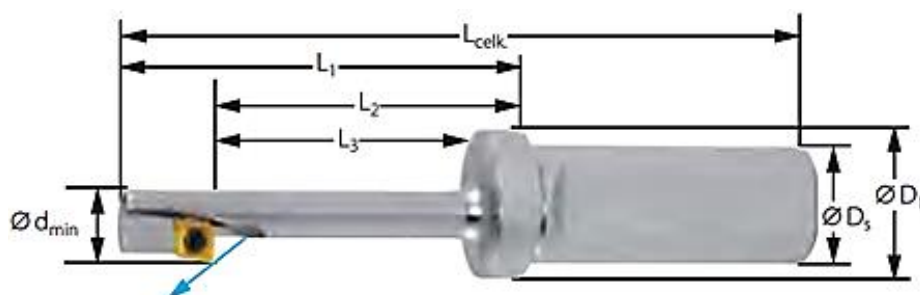
S náčrtem tvrdokovového vrtáku v obrázku 2.22 souvisí tabulka 2.11, kde jsou zaznamenány hlavní parametry vrtáku.

Tab. 2.11 Parametry tvrdokovového vrtáku ø11 mm. ^[18]

d_1 [mm]	d_2 [mm]	l_1 [mm]	l_2 [mm]	l_3 [mm]	l_4 [mm]
11	12	118	71	56	45

b) Zpětný záhlubník

Vybraný zpětný záhlubník se do velikosti 18 mm vyrábí bez vnitřního chlazení.



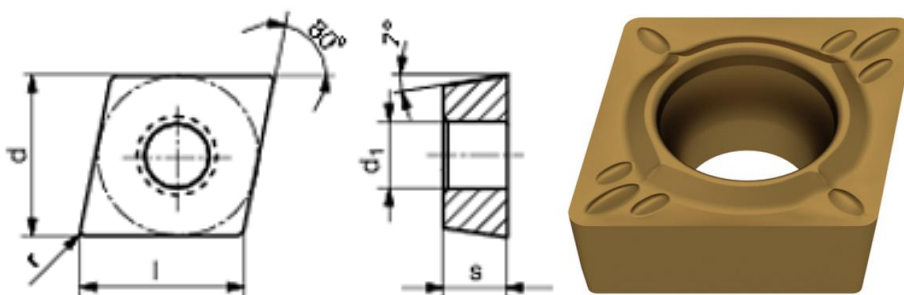
Obr. 2.23 Záhlubník se zpětným chodem 180° 18 mm GARANT. ^[24]

S náčrtem zpětného záhlubníku v obrázku 2.23 souvisí tabulka 2.12, kde jsou zaznamenány hlavní parametry.

Tab. 2.12 Parametry zpětného záhlubníku 18 mm GARANT. ^[24]

$d_{\min}$ [mm]	L_1 [mm]	L_2 [mm]	L_3 [mm]	D_1 [mm]	$L_{\text{celk.}}$ [mm]	D_s [mm]
10,5	62	47	40	25	112	20

Vyměnitelná břitová destička CCMT 060204EN-ZF. Rádus břitové destičky je 0,4 mm.



Obr. 2.24 Vyměnitelná břitová destička CCMT 060204EN-ZF. ^[18]

S náčrtem zpětného záhlubníku v obrázku 2.24 souvisí tabulka 2.13, kde jsou zaznamenány hlavní parametry.

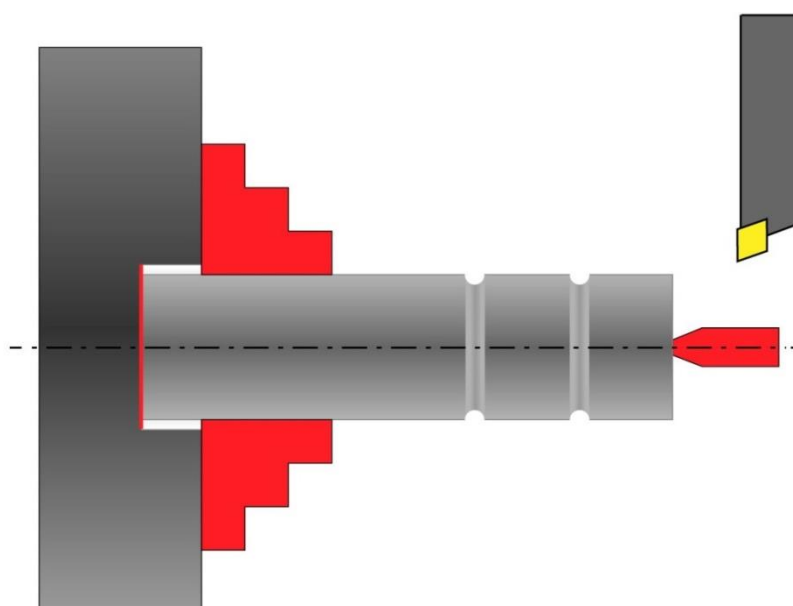
Tab. 2.13 Parametry vyměnitelné břitové destičky CCMT 060204EN-ZF. ^[18]

l [mm]	s [mm]	d_1 [mm]	d [mm]	r [mm]
6,4	2,38	2,8	6,35	0,4

Nástrojový list pro operaci 10 se nachází v příloze 3, pro operaci číslo 20 v příloze 4.

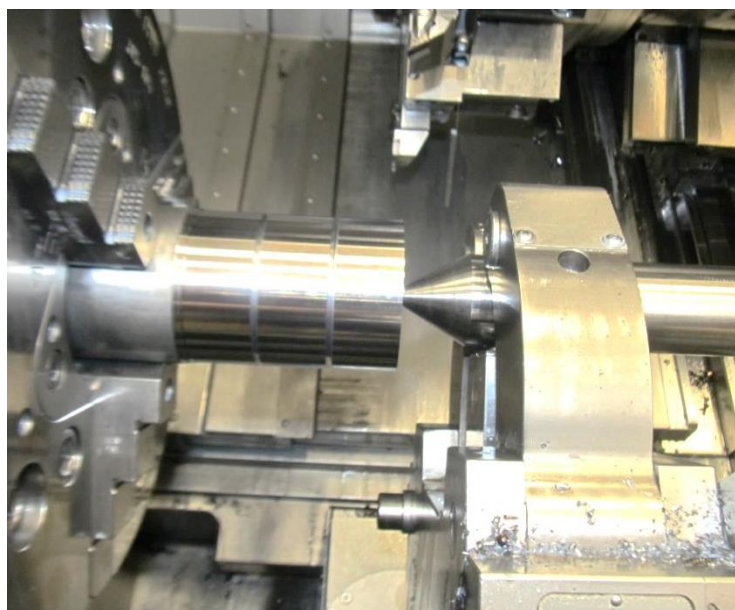
2.2.3 Experiment reálně dosažitelné drsnosti

Při úvahách o vynechání brousících operací z technologického postupu (a tedy kompletní výrobě součásti na soustruhu NL3000) byla navržena technologická zkouška dosažitelné drsnosti povrchu, protože na dané součásti se vyskytují požadavky na kvalitu povrchu až $R_a 0,8$. Pro technologickou zkoušku reálně dosažitelné drsnosti byl použit polotovar $\varnothing 75$ mm a délky 670 mm, který byl pásovou pilou rozdělen na tři zkušební vzorky o délce 220 mm. Použitý materiál je blíže analyzován v předchozí kapitole 1.3.1 a navržený tvar vzorku zobrazuje obrázek 2.25.



Obr. 2.25 Základní tvar zkušebního vzorku a jeho upnutí do stroje.

Zkušební vzorek je pomocí zápichů rozdělen na tři úseky určené pro měření drsnosti. Každý úsek určený pro vyhodnocování drsnosti má délku 30 mm a jednotlivé úseky jsou odděleny zápichy o šířce 3 mm. Na schématu je také znázorněno upínání. Obráběcím strojem bylo nejprve zarovnáno čelo a navrtán středící důlek. Pro zajištění co nejvyšší tuhosti upnutí je tyč doražena v univerzálním tříčelistovém sklíčidle, upnuta do tvrdých čelistí a podepřena hrotem koníku. Při upnutí do tvrdých čelistí bude navíc nastaven vyšší upínací tlak. Dobrá stabilita stroje, upnutí a vyrovnaní obrobku má zásadní vliv na kvalitu obrábění.



Obr. 2.26 Upnutí skutečného zkušební vzorku.

V dalším kroku byl vytvořen NC program pro technologickou zkoušku. Vzhledem k dispozicím stroje NL3000, bude luneta podpírat pinolu koníku (obrázek 2.26). Následuje část programu, která popisuje ovládání lunety a koníku při upínání zkušební vzorku.

N30 (POPOTAZENI KONIKU)	; název bloku
M340	; otevření lunety
G0 A-.	; nastavení polohy lunety
G479 Q1. V-1559.	; cyklus pro posuv koníku
G4 U2	; prodleva
M25	; vysunutí pinoly
G4 U6.	; prodleva
M341	; sevření lunety
G0 G53 X0	; definice nulového bodu
Z2.	; přijetí do souřadnice Z2
M01	; zastavení programu

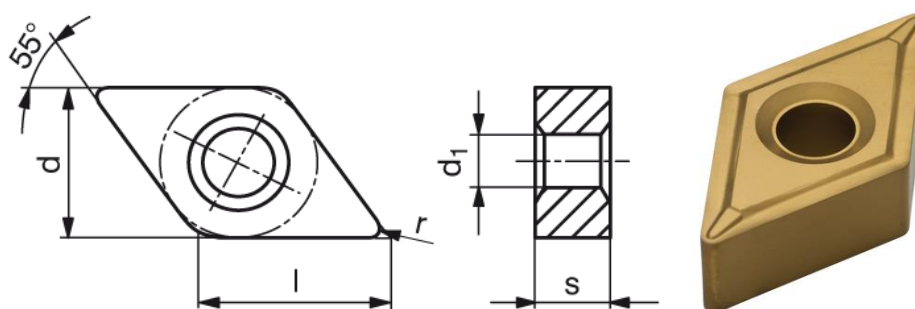
Kompletní podoba CNC programu vytvořeného pro účely technologické zkoušky je v příloze číslo 6.

Velikost řezné rychlosti v_c a posuvu f nastavovaného při soustružení závisí především na vlastnostech obráběného materiálu, řezných vlastnostech materiálu nástroje a jmenovitém průřezu třísky a_p . Startovací řezné podmínky byly stanoveny dle vyměnitelných řezných destiček. Samotné obrábění bylo provedeno za využití nožového držáku DDNJL 2525 M15

se dvěma vyměnitelnými břitovými destičkami. První testovanou destičkou byla standartní břitová destička DNMG 150604EN-CF TWC410 a druhou hladicí břitová destička DNMG 150604EN-TFQ HCX1125. Obráběcí proces probíhal za využití vnějšího chlazení emulzí.

DNMG 150604EN-CF TWC410

Vybraná vyměnitelná břitová destička DNMG 150604EN-CF TWC410 je z řezného materiálu CERMET. Rádus břitové destičky je zvolen na 0,4 mm.



Obr. 2.27 Tvar a rozměry břitové destičky DNMG 150604EN-CF TWC410. ^[18]

S náčrtem vyměnitelné břitové destičky v obrázku 2.27 souvisí tabulka 2.14, kde jsou zaznamenány hlavní parametry.

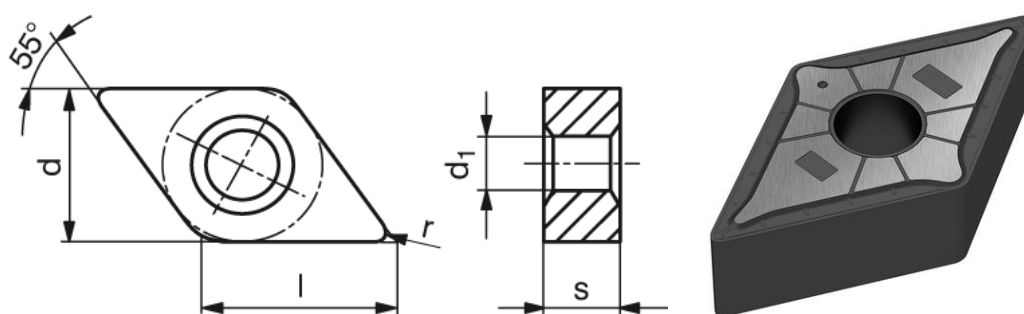
Tab. 2.14 Parametry vyměnitelné břitové destičky DNMG 150604EN-CF. ^[18]

l [mm]	s [mm]	d_1 [mm]	d [mm]	r [mm]
15,5	6,35	5,16	12,7	0,4

Zvolený nástroj je velmi vhodný pro ocel ČSN41 1523. Řezná rychlost v_c se doporučuje mezi 300–370 m.min⁻¹; doporučený posuv na otáčku f se pohybuje mezi 0,05–0,2 mm a šířka záběru ostří a_p mezi 0,05–2 mm. Utvařec třísky je typu CF. ^[18]

DNMG 150604EN-TFQ HCX1125

Vybraná hladicí tvrdokovová vyměnitelná břitová destička typu WIPER má označení DNMG 150604EN-TFQ HCX1125. Rádus břitové destičky je zvolen na 0,4 mm. Poloměr hrotu na hladicí destičce má upravený tvar tvořený přibližně 3 až 9 různými poloměry. Tím se prodlouží délka záběru destičky, což má pozitivní účinek na kvalitu povrchu. Jedná se tedy o hladicí břitovou destičku s utvařecem třísky TFQ. ^[20]



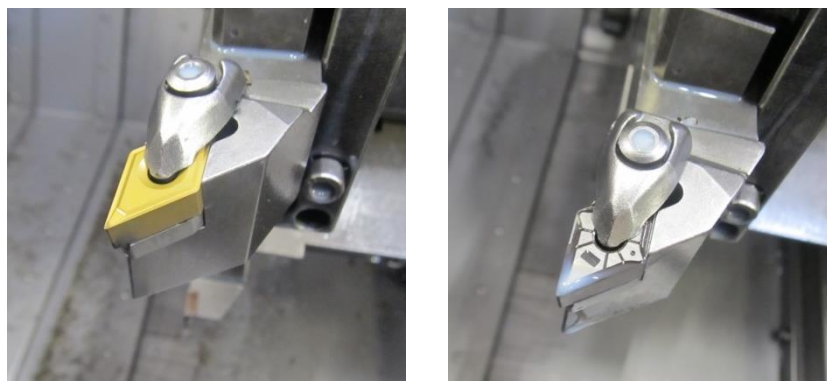
Obr. 2.28 Tvar a rozměry břitové destičky DNMG 150604EN-TFQ HCX1125. ^[18]

S náčrtem vyměnitelné břitové destičky v obrázku 2.28 souvisí tabulka 2.15, kde jsou zaznamenány hlavní parametry.

Tab. 2.15 Parametry vyměnitelné břitové destičky DNMG 150604EN-TFQ. ^[18]

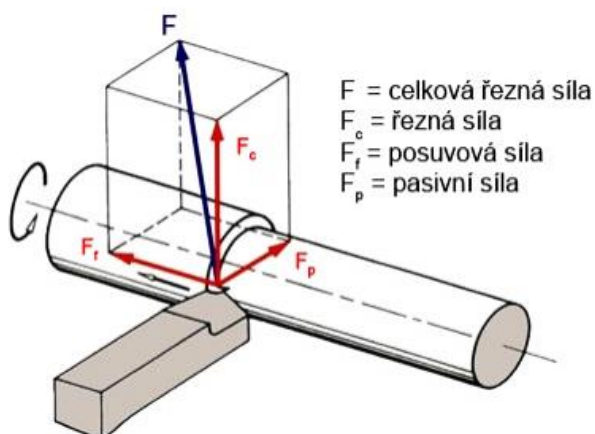
l [mm]	s [mm]	d_1 [mm]	d [mm]	r [mm]
15,5	6,35	5,16	12,7	0,4

Zvolená vyměnitelná břitová destička je velmi vhodná pro ocel ČSN41 1523. Řezná rychlost v_c se doporučuje mezi 200–270 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$; doporučený posuv na otáčku f se pohybuje mezi 0,1–0,35 mm a šířka záběru ostří a_p mezi 0,3–3 mm. ^[18]



Obr. 2.29 Upnutí obou typů VBD držáku v CNC soustruhu.

Po návrhu vyměnitelných břitových destiček byl u zkušební vzorku pro ověření orientačně vypočten průhyb, který by mohl negativně ovlivňovat samotné obrábění i kvalitu zhotoveného povrchu. Pro výpočet průhybu je nutné v první řadě vypočítat hodnotu celkové řezné síly. Celková řezná síla se skládá ze tří základních složek zobrazených na obrázku 2.30.



Obr. 2.30 Síly řezného procesu. [25]

Výpočet řezné síly [27]

Výpočet vychází z definice měrné řezné síly $k_{c1} = F_c / A_D$:

$$F_c = k_{c1} \cdot a_p \cdot f \text{ [N]} \quad (2.1)$$

Kde:	F_c	řezná síla	[N];	
	A_D	průřez třísky	[mm ²]	$A_D = a_p \cdot f$;
	k_{c1}	měrná řezná síla	[MPa]	ocel ČSN41 1523 odpovídá 1500 MPa;
	a_p	šířka záběru ostří	[mm]	pro experiment byla zvolena 0,5 mm;
	f	posuv na otáčku	[mm ⁻¹]	v experimentu mezi 0,05-0,35 mm ⁻¹ .

Po dosazení do vztahu 2.1 dostáváme:

$$F_c = 1500 \cdot 0,5 \cdot 0,35 = \mathbf{262,5 \text{ N}}$$

Výpočet pasivní síly [27]

Při soustružení středně tvrdých ocelí:

$$F_p = (0,4 - 0,5) \cdot F_c \text{ [N]} \quad (2.2)$$

Po dosazení do vztahu 2.2 dostáváme:

$$F_p = 0,5 \cdot 262,5 = \mathbf{131,25 \text{ N}}$$

Výpočet posuvové axiální síly [27]

Při soustružení středně tvrdých ocelí:

$$F_f = (0,2 - 0,3) \cdot F_c \text{ [N]} \quad (2.3)$$

Po dosazení do vztahu 2.3 dostáváme:

$$F_f = 0,3 \cdot 262,5 = \mathbf{78,75 \text{ N}}$$

Výpočet celkové řezné síly ^[27]

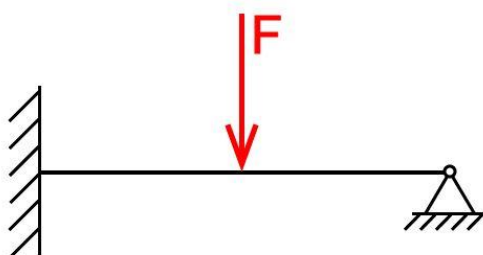
$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \text{ [N]} \quad (2.4)$$

Po dosazení do vztahu 2.4 dostáváme:

$$F = \sqrt{262,5^2 + 131,25^2 + 78,75^2} = \mathbf{303,865 \text{ N}}$$

Výpočet průhybu v polovině vzorku ^[15]

Při orientačním výpočtu prohnutí zkušební vzorku při obrábění bylo upnutí s dorazem ve sklíčidle simulováno vetknutím a podepření hrotem koníku nahrazeno rotační vazbou. Výpočet vychází z mnoha zjednodušení, které jsou zakresleny na obrázku 2.31. Při výpočtu je tedy uvažováno, že zatěžující síla působí kolmo a přesně v polovině vzorku.



Obr. 2.31 Schéma uvažovaného zatížení při obrábění.

Orientační výpočet průhybu v polovině vzorku vychází ze vztahu 2.5. ^[15]

$$w = \frac{7}{768} \cdot \frac{F \cdot l^3}{E \cdot J} \text{ [mm]} \quad (2.5)$$

Kde:	w	průhyb	[mm];
	F	celková řezná síla	[N];
	l	celková délka	[mm];
	E	modul pružnosti v tahu	[MPa];
	J	kvadratický moment průřezu	[mm ⁴].

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \text{ [mm}^4\text{]} \quad (2.6)$$

Po dosazení do vztahu 2.6 dostáváme:

$$J = \frac{\pi \cdot 75^4}{64} = 1553155,548 \text{ mm}^4$$

Zpětným dosazením do vzorce 2.5 je vypočten průhyb:

$$w = \frac{7}{768} \cdot \frac{303,865 \cdot 110^3}{210 \cdot 10^3 \cdot 1553155,548} = 1,13 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$$

Orientační výpočet průhybu předpokládá maximální průhyb na zkušebním vzorku 0,0113 μm . Tímto výpočtem bylo ověřeno, že kvalita obrobeného povrchu nebude ovlivňována prohýbáním upnutého vzorku.

Měření drsností povrchu

Pro měření drsnosti povrchu byl použit přenosný drsnoměr značky Mitutoyo typ Surftest SJ410. K měření drsnosti je tedy využito dotykové metody.

Dotykové metody používané pro hodnocení kvality povrchu jsou nejrozšířenější díky svým výhodám v podobě možnosti převádět analogový záznam do digitální formy. Další výhodou je schopnost zobrazit naměřený geometrický profil. Nevýhoda této metody spočívá v účinku tlaku hrotu snímače na měřené místo, což může vést k deformacím ve snímané vrstvě. Bezdotykové metody měření jsou také mnohem nákladnější než přístroje pro měření dotykem. ^[27]

Před zahájením měření byla správná kalibrace přístroje zkontrolována pomocí kalibračního etanolu s drsností R_a 0,64 (Obr. 2.32 b). Výsledná naměřená hodnota kalibrace byla R_a 0,66.



Obr. 2.32 a) Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ410. ^[26] b) Kalibrační vzorek R_a 0,64.

Drsnoměrem bylo tedy následně prováděno měření na celkem dvanácti načisto obrobených úsecích. Naměřené hodnoty budou porovnávány mezi sebou a také s teoreticky vypočtenými hodnotami.

Drsnost povrchu závisí na poloměru špičky nože r_ϵ , úhlu nastavení hlavního ostří κ_r a posuvu stroje f .^[27] Následující vztahy 2.7 a 2.8 udávají funkční závislosti mezi teoretickou drsností povrchu, posuvem a poloměrem zaoblení břitové destičky.^[21, 27]

$$R_a = \frac{0,26 \cdot f^2}{8 \cdot r_\epsilon} [\mu\text{m}] \quad (2.7)$$

Kde: R_a střední aritmetická hodnota drsnosti $[\mu\text{m}]$;

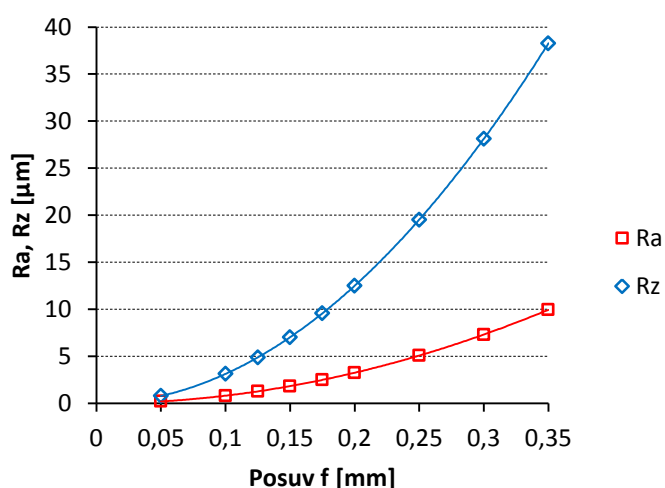
f posuv na otáčku $[\text{mm}]$;

r_ϵ poloměr zaoblení destičky $[\text{mm}]$.

$$R_z = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon} [\mu\text{m}] \quad (2.8)$$

Kde: R_z maximální výška profilu $[\mu\text{m}]$.

Vzhledem k navrhovaným destičkám byly hodnoty vypočteny pro posuv 0,05–0,35 mm. Rádus obou destiček je roven 0,4 mm. Predikované hodnoty obou parametrů drsnosti z teoretického modelu jsou zobrazeny na obrázku 2.33.



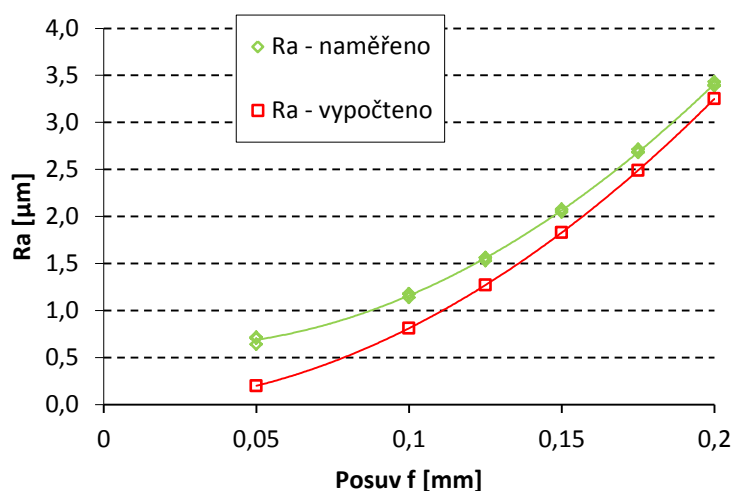
Obr. 2.33 Grafická závislost teoreticky vypočtených hodnot R_a a R_z .

Pomocí drsnoměru byly pro standartní VBD naměřeny hodnoty uvedené v tabulce 2.16. Doporučená řezná rychlost u této destičky se pohybuje mezi 300–370 m.min⁻¹; doporučený posuv mezi 0,05–0,2 mm a šířka záběru ostří byla již stanovena na 0,5 mm. Navržený experiment tedy probíhal při šesti různých posuvech (0,05; 0,1; 0,125; 0,15; 0,175; 0,2 mm) v kombinaci se třemi řeznými rychlostmi (300; 335; 370 m.min⁻¹).

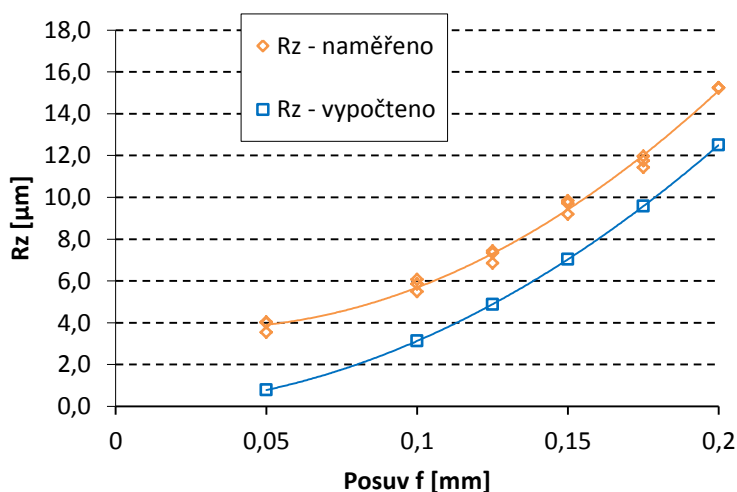
Tab. 2.16 Naměřené hodnoty s využitím standartní destičky.

DNMG 150604EN-CF TWC410 				
Vzorek 1	Jednotky	Úsek 1	Úsek 2	Úsek 3
f	[mm]	0,05	0,05	0,05
v _c	[m.min ⁻¹]	300	335	370
R _a	[μm]	0,642	0,707	0,715
R _z	[μm]	4,028	4,006	3,549
Vzorek 1	Jednotky	Úsek 1	Úsek 2	Úsek 3
f	[mm]	0,1	0,1	0,1
v _c	[m.min ⁻¹]	300	335	370
R _a	[μm]	1,137	1,178	1,177
R _z	[μm]	5,483	6,069	5,859
Vzorek 1	Jednotky	Úsek 1	Úsek 2	Úsek 3
f	[mm]	0,125	0,125	0,125
v _c	[m.min ⁻¹]	300	335	370
R _a	[μm]	1,529	1,559	1,565
R _z	[μm]	6,851	7,345	7,437
Vzorek 1	Jednotky	Úsek 1	Úsek 2	Úsek 3
f	[mm]	0,15	0,15	0,15
v _c	[m.min ⁻¹]	300	335	370
R _a	[μm]	2,046	2,067	2,076
R _z	[μm]	9,201	9,720	9,843
Vzorek 2	Jednotky	Úsek 1	Úsek 2	Úsek 3
f	[mm]	0,175	0,175	0,175
v _c	[m.min ⁻¹]	300	335	370
R _a	[μm]	2,680	2,685	2,712
R _z	[μm]	11,432	11,746	11,962
Vzorek 2	Jednotky	Úsek 1	Úsek 2	Úsek 3
f	[mm]	0,2	0,2	0,2
v _c	[m.min ⁻¹]	300	335	370
R _a	[μm]	3,397	3,389	3,431
R _z	[μm]	15,247	15,247	15,229

Naměřené hodnoty pro standartní VBD byly následně graficky porovnány s teoreticky vypočtenými. Porovnání obou dvou veličin R_a a R_z je zobrazeno na obrázcích 2.34 a 2.35.



Obr. 2.34 Grafické porovnání naměřených a vypočtených hodnot R_a - standartní VBD.



Obr. 2.35 Grafické porovnání naměřených a vypočtených hodnot R_z - standartní VBD.

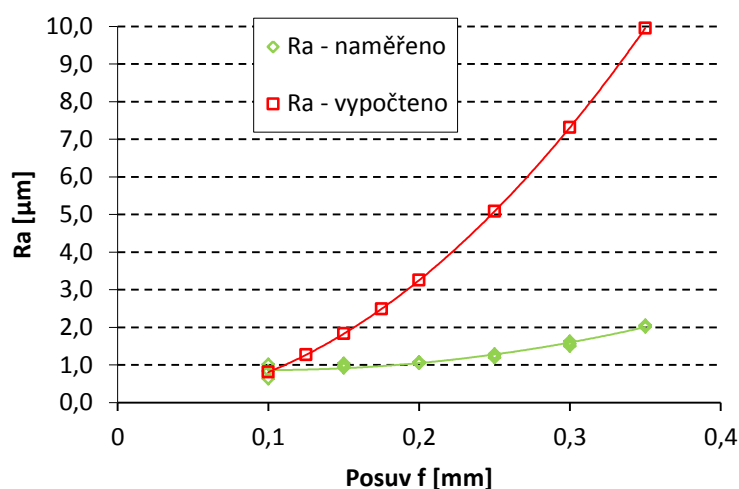
Z uvedených grafů je zřejmé, že naměřené a vypočtené hodnoty parametrů R_a i R_z proložené křivkou vykazují téměř totožné směrnice s tím rozdílem, že vypočtené hodnoty predikují o úroveň nižší veličiny. Teoretické výpočty začínají na úrovni, kterou CNC soustruh není schopen vyrobit. Čím větší posuv je dosazován do vzorců, tím si jsou obě křivky blíží.

Stejným způsobem probíhal experiment s hladicí VBD typu WIPER, naměřené hodnoty uvádí tabulka 2.17. Doporučená řezná rychlost u této destičky se pohybuje mezi 200–270 m.min⁻¹; doporučený posuv mezi 0,1–0,35 mm a šířka záběru ostří byla již stanovena na 0,5 mm. Navržený experiment tedy probíhal při šesti různých posuvech (0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35 mm) v kombinaci se třemi řeznými rychlostmi (200; 235; 270 m.min⁻¹).

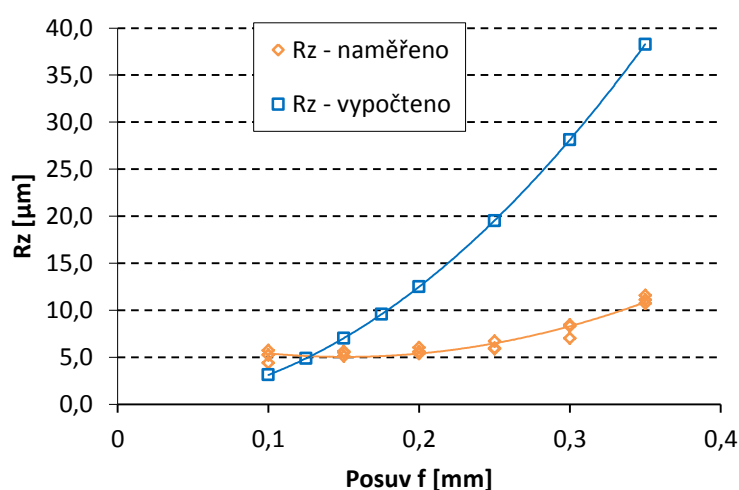
Tab. 2.17 Naměřené hodnoty s využitím hladicí destičky WIPER.

DNMG 150604EN-TFQ HCX1125 				
Vzorek 2	Jednotky	Úsek 1	Úsek 2	Úsek 3
f	[mm]	0,1	0,1	0,1
v_c	[m.min ⁻¹]	200	235	270
R_a	[μm]	0,636	0,834	1,015
R_z	[μm]	4,392	5,269	5,732
Vzorek 2	Jednotky	Úsek 1	Úsek 2	Úsek 3
f	[mm]	0,15	0,15	0,15
v_c	[m.min ⁻¹]	200	235	270
R_a	[μm]	0,919	0,967	1,043
R_z	[μm]	5,537	5,111	5,643
Vzorek 3	Jednotky	Úsek 1	Úsek 2	Úsek 3
f	[mm]	0,2	0,2	0,2
v_c	[m.min ⁻¹]	200	235	270
R_a	[μm]	1,041	1,065	1,074
R_z	[μm]	6,035	5,607	5,385
Vzorek 3	Jednotky	Úsek 1	Úsek 2	Úsek 3
f	[mm]	0,25	0,25	0,25
v_c	[m.min ⁻¹]	200	235	270
R_a	[μm]	1,192	1,274	1,29
R_z	[μm]	5,912	5,983	6,725
Vzorek 3	Jednotky	Úsek 1	Úsek 2	Úsek 3
f	[mm]	0,3	0,3	0,3
v_c	[m.min ⁻¹]	200	235	270
R_a	[μm]	1,5	1,558	1,632
R_z	[μm]	7,024	8,308	8,454
Vzorek 3	Jednotky	Úsek 1	Úsek 2	Úsek 3
f	[mm]	0,35	0,35	0,35
v_c	[m.min ⁻¹]	200	235	270
R_a	[μm]	2,013	2,033	2,058
R_z	[μm]	10,741	11,099	11,587

Naměřené hodnoty pro hladicí VBD byly následně graficky porovnány s teoreticky vypočtenými. Porovnání obou dvou veličin R_a a R_z je zobrazeno na obrázcích 2.36 a 2.37.



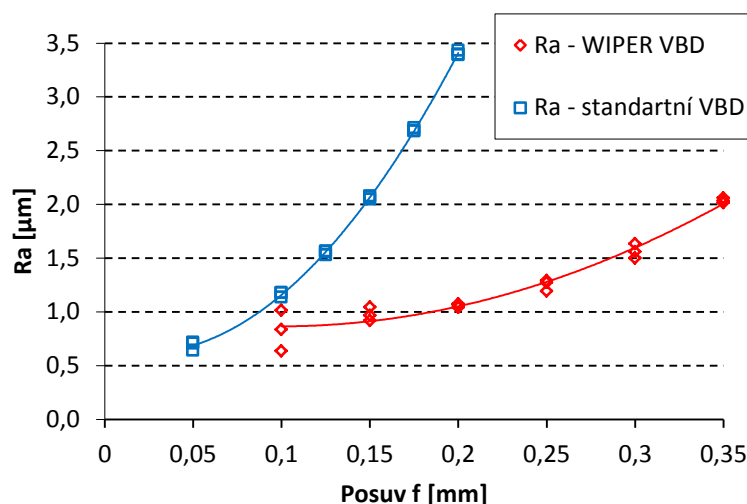
Obr. 2.36 Grafické porovnání naměřených a vypočtených hodnot R_a - hladicí VBD.



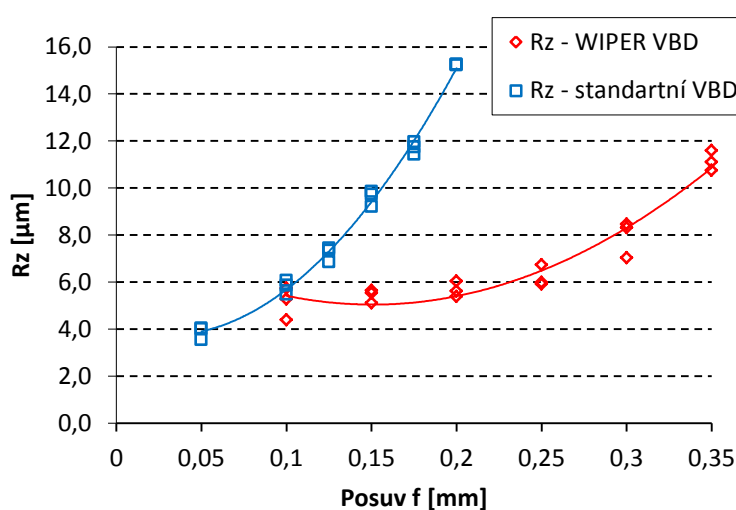
Obr. 2.37 Grafické porovnání naměřených a vypočtených hodnot R_z - hladicí VBD.

Z uvedených grafů je zřejmé, že naměřené a vypočtené hodnoty parametrů R_a i R_z proložené křivkou vykazují směrnice s výraznými rozdíly. Vypočtené hodnoty se podobají skutečně naměřeným pouze při nejnižším možném posuvu. V případech vyššího posuvu predikují teoretické výpočty až 5x vyšší veličiny, než které byly zhotoveny hladicí WIPER vyměnitelnou břitovou destičkou při experimentu. Přestože byl v průběhu experimentu nastavován vyšší posuv, naměřené hodnoty obou parametrů R_a i R_z zůstaly na velmi nízké úrovni a vykazovaly tedy kvalitnější povrch, než který předpokládal teoretický výpočet.

U následujících grafů na obrázcích 2.38 a 2.39 je z grafického znázornění vynechán teoretický výpočet a provádí se tedy pouze porovnání prakticky naměřených hodnot mezi standartní a WIPER vyměnitelnou břitovou destičkou.



Obr. 2.38 Grafické porovnání naměřených hodnot R_a standartní a hladicí VBD.



Obr. 2.39 Grafické porovnání naměřených hodnot R_z standartní a hladicí VBD.

Z porovnání průběhů obou parametrů R_a a R_z je potvrzeno, že hladicí WIPER technologie vykazuje výrazně kvalitnější výsledky než standartní cermetová vyměnitelná břitová destička. Standartní destička se vyrovnává hladicí pouze při velmi nízkých posuvech. Na dané součásti se vyskytují rozměry s požadovanou drsností povrchu R_a 0,8 μm a R_a 1,6 μm . U obou destiček byla nejnižší naměřená hodnota R_a menší než 0,8 μm pouze u nejnižšího možného posuvu. Vzhledem k tomu, že požadovaná přesnost daných průměrů je

na úrovni IT5 a IT6 a pro dodržení drsnosti povrchu by musel být nastaven nejnižší posuv. Vzhledem k nedostatečné opakovatelnosti stroje, přesnosti polohování, tuhosti soustavy a také vzhledem k úzkému tolerančnímu poli rozměrů IT5 a IT6 není možné při vyšších objemech výroby z výrobního procesu vynechat brousící operace. Stroje by musely být před každým kusem velmi přesně seřizeny a potřebný čas na seřizování i na obrábění při nastavení nejnižšího posuvu, by z ekonomického hlediska byl přípustný, pouze pokud by se jednalo o výrobu několika málo kusů. Z těchto důvodů nová technologie, která očekává nárůst výroby, ponechává v technologickém postupu obrábění s přídavky a následné brousící operace. Pokud by se ale jednalo pouze o výrobu jednoho či dvou dodatečných kusů, pečlivě seřízený soustruh Mori Seiki NL3000 vybaven hladicí destičkou WIPER pro dokončování povrchů by byl schopen vyrobit celou součást.

2.3 Vytvoření NC programu s užitím softwaru AlphaCAM

V případech kusové výroby či malosériových výrob představují číslíkově řízené obráběcí stroje stěžejní bod automatizace obráběcích procesů. Řídicí program, který byl již v minulosti zpracován a využit lze při opakované výrobě znovu snadno aplikovat. Číslíkové řízení značně překračuje funkce jednoho stroje a umožňuje návaznost na ostatní prvky celých obráběcích systémů. Velkou předností je využití všech výhod a řady možností, které nabízí výpočetní techniky. Samotný řezný proces probíhá stejným stylem jako při práci na klasickém obráběcím stroji. Technologické postupy ovšem při aplikaci CNC obráběcích strojů vyžadují řadu specifických složek. ^[8]

Výrobní proces číslíkově ovládaného obráběcího stroje je ovládán zejména číslíkově vyjádřenými instrukcemi o dráze, směru a smyslu pohybu pracovních elementů či řezných podmínkách a pomocných funkcích, které jsou postupně předávány stroji v průběhu obráběcí operace. ^[8]

Vzhledem k tomu, že v kapitole 2.1.1 byl navržen nový technologický postup, je dle něho v následující kapitole za pomoci softwaru AlphaCAM 2013 vytvořen a simulován NC program. Pro dosažení cíle v podobě vynechání horizontálního obráběcího centra NH4000 bude nově vytvořený NC program pro soustruh NL3000 kromě soustružnických operací obsahovat také údaje pro frézování drážky či pro vrtání a zahloubení děr.

Pro tvorbu kontury v softwaru AlphaCAM je možné využít standartních CAD skicovacích entit v podobě úsečky, oblouku, kružnice, obdélníku či splainy. Uchopovací prvky programu umožňují nastavit varianty automatického zachytávání, zachytávání koncového bodu, středu úsečky, středu kružnice, průsečíku dvou entit, tečny k oblouku, kolmice k entitě, rovnoběžky s entitou či kvadranty kružnice.



Obr. 2.40 a) Skicovací prvky v AlphaCAM.



b) Uchopovací prvky v AlphaCAM.

Programové možnosti pro soustružnické operace jsou rozděleny na čelní soustružení, hrubování, obrábění vybrání, dokončování, řezání závitů, vrtání v ose rotace, vnitřní závitování závitníkem v ose rotace, manuální tvorbu drah a upichování dílce.



Obr. 2.41 Soustružnické operace v softwaru AlphaCAM.

Možnosti nastavení čelního obrábění softwaru AlphaCAM jsou zobrazeny na obrázku 2.42. Programátor po zvolení vhodného soustružnického nástroje nastavuje v první řadě velikost čelního přídávku a šířku záběru ostří. Dále lze definovat průměr, kde končí čelní soustružení, vzdálenost bezpečného nájezdu či způsob odjetí nástroje.

The dialog box is titled 'Změnit nástroj...'. It contains several input fields and radio buttons. The 'Čelní přídavek:' field is set to 0. The 'Tříska:' field is set to 0. The 'Čelní soustružení až na průměr X:' field is set to 0. The 'Vzdál. bezp. nájezdu:' field is set to 1. Under the 'Odjetí' section, the 'Rychloposuv' radio button is selected, and the 'Posuv' radio button is unselected. At the bottom, there are 'OK' and 'Storno' buttons.

Obr. 2.42 Definování čelního soustružení.

Při definování podélné soustružnické hrubovací operace jsou definovány přídávky jak čelní, tak průměrové. Následuje nastavení šířky záběru ostří a parametry pro bezpečné najetí a odjetí nástroje, podobně jako u čelního obrábění. Proces definování podélného hrubování zobrazuje obrázek 2.43.

The dialog box is titled 'Změnit nástroj...'. It contains several input fields and checkboxes. The 'Čelní přídavek:' field is set to 0. The 'Průměr přídávku (hodnota rád.):' field is set to 0. The 'Hloubka řezu (hodnota rád.):' field is set to 1. The 'Vzdál. bezp. nájezdu:' field is set to 1. The 'Vzdálenost odjezdu' field is set to 0. The 'Odsazení na řez' field is set to 0. The 'Velikost odjetí' field is set to 0.25. There is a checked checkbox 'Dokončit profil každým řezem'. Under the 'Metoda' section, the 'Konvenční' radio button is selected, and the 'Obrátit' radio button is unselected. Under the 'Odjetí' section, the 'Rychloposuv' radio button is selected, and the 'Posuv' radio button is unselected. At the bottom, there are 'OK' and 'Storno' buttons.

Obr. 2.43 Definování podélného hrubování.

Po výběru typu soustružnické operace a definování základních vstupních informací zobrazených na předchozích obrázcích 2.42 a 2.43 následuje volba řezných parametrů. Řezná rychlost a posuvový pohyb patří mezi charakteristické veličiny kinematiky řezného procesu^[9]. Pro daný nástroj tedy technolog stanovuje v první řadě tyto veličiny dle obrázku 2.44.

Op. číslo 1. 10

Nástroj

Číslo nástroje 1 Odsazení 1

Rychlost plochy: S 245 Posuv na OT (X): F 0.4

Posuv na OT (X/Z): F 0.3 Posuv na OT (Z): F 0.4

Chlazení

☒ Vypnuto ☐ Zapnuto ☐ Tlakové ☐ V nástroji

Kód NC

☒ Lineární ☐ Cyklus

Otáčky

☒ m/min ☐ ot/min

Posuv

☒ na OT ☐ za MIN

☒ Nástroj může vrátit z boční strany

OK Storno

Obr. 2.44 Definování řezných parametrů.

Při volbě konstantní obvodové rychlosti program generuje funkci G96. Tato možnost je nejčastěji využívána u součástí s rozdílnými obráběnými průměry, protože otáčky vřetene se s každým průměrem automaticky změní tak, aby obvodová rychlost zůstala stejná. Vybranou řeznou rychlost je vhodné ověřit s možnostmi daného výrobního zařízení. Výrobní parametry soustruhu NL3000 stanovují maximální dosažitelné otáčky 3000 min^{-1} . V praxi jsou limitní otáčky vřetene stanovovány pomocí funkce G50. Zápis funkce v programu - G50 S2500 – zobrazuje omezení otáček vřetene na max. 2500 min^{-1} . Pokud by v programu nebyla zapsána funkce omezující maximální otáčky vřetene, mohlo by při obrábění malých průměrů dojít k zastavení otáček vřetene až na maximum stroje.

Výpočet řezné rychlosti vychází ze vzorce 2.9. ^[9]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (2.9)$$

Kde: v_c řezná rychlost [m.min⁻¹];

D průměr obráběné plochy [mm];

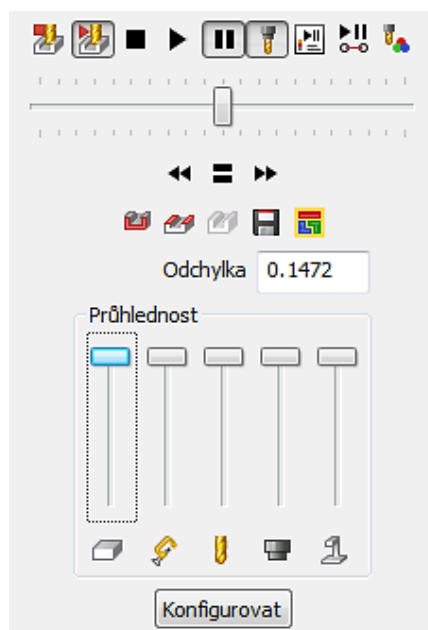
n otáčky vřetene [min⁻¹].

Z uvedeného vzorce 2.9 lze matematickou úpravou snadno vyjádřit otáčky obrobku a porovnat jejich hodnotu se stanovenými limitními otáčkami. Další možností je přímé zadání otáček namísto řezné rychlosti. Při volbě konstantních otáček program generuje funkci G97, kterou lze využít nejlépe při vrtání nebo u soustružení dlouhých válcových ploch stejných průměrů.

Při stanovování posuvu software umožňuje nastavení různých hodnot pro každou osu. Pojem posuv je definován jako přemístění nástroje vzhledem k obrobku ve směru posuvového pohybu a je vztažen k jedné otáčce nástroje nebo obrobku^[9]. Software umožňuje mimo posuvu na otáčku i zadání posuvu v minutách. Při zvolení možnosti posuvu na otáčku software generuje pro soustružení funkci G99, při posuvu za minutu G98. Samotná rychlost posuvu je specifikována číslicemi za F kódem.

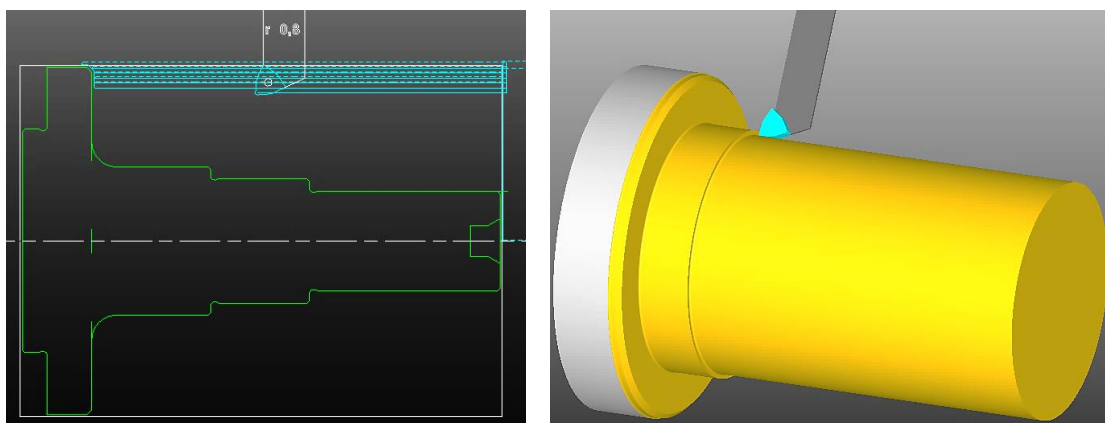
Po nastavení řezných parametrů technolog volí typ chlazení ze čtyř možností – vypnuté, zapnuté, tlakové či chlazení v nástroji.

Poté co uživatel vybere všechny potřebné nástroje, nastaví jednotlivé obráběcí operace a jejich řezné parametry, umožňuje software provést různé typy simulací. Nastavení simulace je zobrazeno na obrázku 2.45.



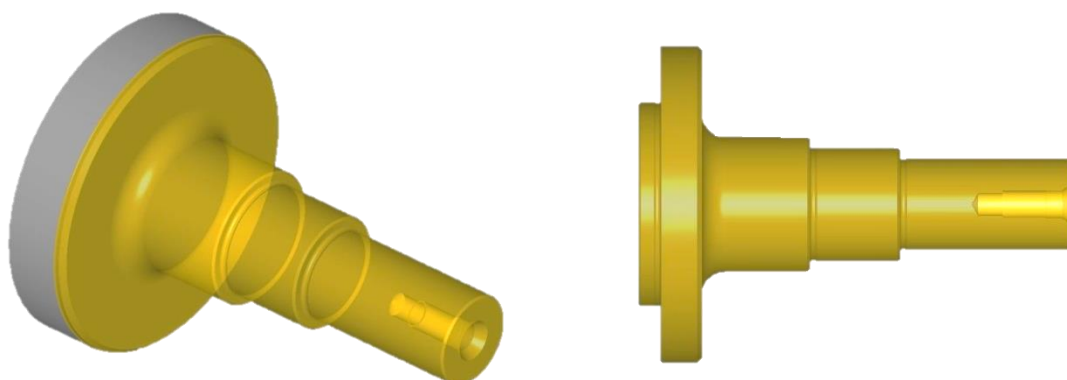
Obr. 2.45 Simulace.

Software umožňuje simulaci ve 2D i 3D vyobrazení a disponuje možností zobrazení nástrojů i jejich barev. Porovnání 2D a 3D vyobrazení v softwaru AlphaCAM je zachyceno na obrázku 2.46. Dále lze během samotné simulace nastavovat rychlost jejího průběhu, popřípadě lze využít možnosti simulování operace za operací či krokování.



Obr. 2.46 Srovnání 2D a 3D simulace.

Další možností při simulování programu je například nastavení průhlednosti materiálu, upínek, nástroje, držáku či stroje. Nastavení průhlednosti je využito například pro zobrazení simulace výroby závitu M12 6H (Obr. 2.47).



Obr. 2.47 Zobrazení závitu pomocí nastavení průhlednosti materiálu.

Zadaná součást byla kompletně simulována v programu AlphaCAM 2013. Pohled na výsledek simulace po dokončení všech obráběcích operací je zobrazen na obrázku 2.48. Po ověření simulací byl z CAM softwaru vygenerován NC kód. Z NC kódu byly následně odebrány duplicitní souřadnice. Plný rozsah vygenerovaného a upraveného NC kódu doplněného o další pohledy ze simulace v programu, se nachází v příloze číslo 5.



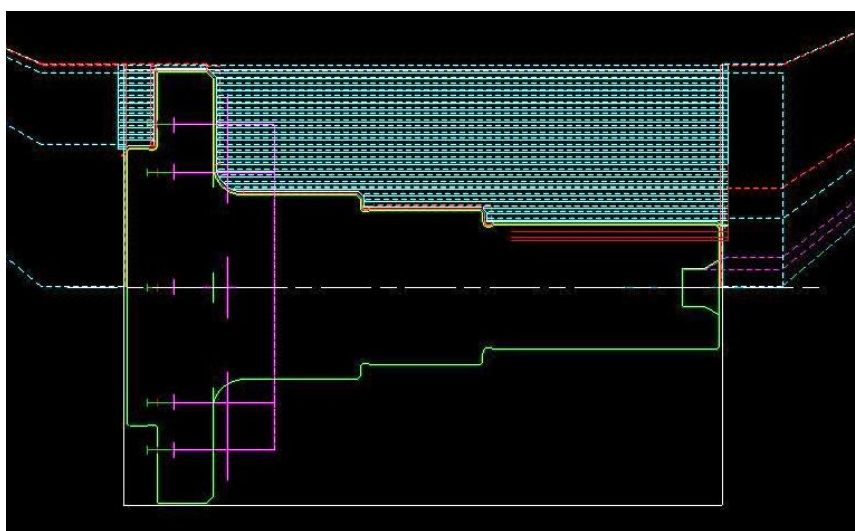
Obr. 2.48 Výsledek simulace po dokončení všech operací.

2.4 Volba polotovaru

Volba polotovaru součásti výrazně ovlivňuje délku strojního času. Při využití odlitků nebo výkovků může dojít k výrazné úspoře strojního času díky odebrání menšího množství materiálu v porovnání s přířezem. Nevýhodou u těchto polotovarů je vysoká počáteční investice na zhotovení odlévacího modelu nebo kovací zápustky. V této fázi možné inovace bude analyzována současná výroba z přířezu a následně navržena inovace použitím odlitků a výkovku. Díky stále vzrůstající poptávce je nutné znát, v jakém okamžiku z důvodu úspory nákladů přejít na jiný druh polotovaru - odlitky či výkovky. Čas dokončovacích operací, vrtání, zahlubování či závitování bude u všech typů polotovarů stejný. Výrazné rozdíly ve strojním času budou nastávat pouze u hrubování, a proto budou v této kapitole strojní časy pro hrubování vypočteny a porovnány. U každé z navrhovaných variant bude také ve třetí části práce proveden ekonomický propočet, který bude vycházet z vyšší počáteční investice do odlitků či výkovků a následné úspory strojního času.

2.4.1 Simulace výroby z přířezu

Při výrobě z tyčového přířezu o průměru $\varnothing 150$ mm a délce 197 mm váží polotovar 27 kg, což ho činí nesnadným k manipulaci či k upínání do stroje. Na špici obrobku je odebíráno téměř 110 mm materiálu. Po celou dobu hrubování je využito intenzivního tlakového chlazení emulzí. Náhled na dráhy nástroje při hrubování z přířezu z programu AlphaCAM je zobrazen na obrázku 2.49.



Obr. 2.49 Ukázka z programu AlphaCAM při obrábění z plného materiálu.

Jednotkový strojní čas byl nejprve vypočten pomocí vzorců 2.10 a 2.11.

Jednotkový strojní čas pro soustružení čelních ploch: ^[9]

$$t_{As} = \frac{(D - d) \cdot i}{2 \cdot n \cdot f} \text{ [min]} \quad (2.10)$$

Jednotkový strojní čas pro podélné soustružení válcových ploch: ^[9]

$$t_{As} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \text{ [min]} \quad (2.11)$$

Kde:	t_{As}	jednotkový strojní čas	[min];
	D	výchozí obráběný průměr	[mm];
	d	konečný obráběný průměr	[mm];
	i	počet třísek	[-];
	n	otáčky vřetene	[min ⁻¹];
	f	posuv	[mm];
	l_n	dráha náběhu nástroje	[mm];
	l	délka obráběné plochy	[mm];
	l_p	dráha přeběhu nástroje	[mm].

Dosazením do rovnice 2.10 byl získán strojní čas potřebný pro zarovnání čela, jehož hodnota odpovídá **0,28 minuty**. Pro podélné hrubování součásti v první operaci byl každý záběr nože počítán zvlášť, protože vzhledem k tvaru součásti se postupně zmenšuje dráha nástroje. Šířka záběru ostří byla stanovena na 2 mm, a proto je pro hrubování potřeba celkem 28 záběrů. Dráha pro náběh nástroje byla zvolena na 3 mm a dráha pro výběh nástroje v kolmém směru 2 mm. Maximální otáčky jsou omezeny na 2500 min⁻¹.

Tab. 2.18 Výpočet strojního času při první operaci pro hrubování z přířezu.

Číslo záběru	v_c [m.min ⁻¹]	D [mm]	L [mm]	$n_{\text{teor.}}$ [min ⁻¹]	$n_{\text{skut.}}$ [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	t_{As} [min]
1	245	146	164,70	534,150	534	0,4	2	0,794
2	245	142	164,70	549,197	549	0,4	2	0,772
3	245	138	164,70	565,115	565	0,4	2	0,751
4	245	134	164,70	581,985	582	0,4	2	0,729
5	245	130	164,70	599,892	600	0,4	2	0,707
6	245	126	164,70	618,936	619	0,4	2	0,685
7	245	122	164,70	639,229	639	0,4	2	0,664
8	245	118	164,70	660,898	661	0,4	2	0,642
9	245	114	164,70	684,087	684	0,4	2	0,620
10	245	110	164,70	708,963	709	0,4	2	0,598
11	245	106	164,70	735,716	736	0,4	2	0,577
12	245	102	164,70	764,568	765	0,4	2	0,555
13	245	98	164,70	795,775	796	0,4	2	0,533
14	245	94	164,70	829,638	830	0,4	2	0,511
15	245	90	164,70	866,510	867	0,4	2	0,490
16	245	86	164,70	906,813	907	0,4	2	0,468
17	245	82	164,65	951,048	951	0,4	2	0,446
18	245	78	164,22	999,820	1000	0,4	2	0,423
19	245	74	163,31	1053,864	1054	0,4	2	0,399
20	245	70	161,71	1114,085	1114	0,4	2	0,374
21	245	66	158,62	1181,605	1182	0,4	2	0,346
22	245	62	156,50	1257,838	1258	0,4	2	0,321
23	245	58	155,20	1344,585	1345	0,4	2	0,298
24	245	54	116,70	1444,184	1444	0,4	2	0,211
25	245	50	116,70	1559,719	1560	0,4	2	0,195
26	245	46	76,70	1695,346	1695	0,4	2	0,120
27	245	42	76,70	1856,808	1857	0,4	2	0,110
28	245	40,7	76,70	1916,116	1916	0,4	0,65	0,107
Σ								13,447

Dále byl z velikosti rychloposuvu 30 m.min⁻¹ vypočítán čas potřebný pro navrácení nástroje ve výši **0,15 minuty**. Součtem všech dílčích časů byl získán celkový čas pro hrubování v první operaci, který je roven **13,877 minut**.

Ve druhé soustružnické operaci je opět zarovnáno čelo a následuje podélné hrubování. Strojní čas pro zarovnání čela je roven **0,36 minuty**. Řezné parametry zůstávají stejné a pro hrubování je třeba 16 třísek se stejnou délkou.

Tab. 2.19 Výpočet strojního času při druhé operaci pro hrubování z přířezu.

Číslo záběru	v_c [m.min ⁻¹]	D [mm]	L [mm]	$n_{\text{teor.}}$ [min ⁻¹]	$n_{\text{skut.}}$ [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	t_{As} [min]
1	245	146	28,00	534,150	534	0,4	2	0,154
2	245	142	28,00	549,197	549	0,4	2	0,150
3	245	138	28,00	565,115	565	0,4	2	0,146
4	245	134	9,70	581,985	582	0,4	2	0,063
5	245	130	9,70	599,892	600	0,4	2	0,061
6	245	126	9,70	618,936	619	0,4	2	0,059
7	245	122	9,70	639,229	639	0,4	2	0,057
8	245	118	9,70	660,898	661	0,4	2	0,056
9	245	114	9,70	684,087	684	0,4	2	0,054
10	245	110	9,70	708,963	709	0,4	2	0,052
11	245	106	9,70	735,716	736	0,4	2	0,050
12	245	102	9,70	764,568	765	0,4	2	0,048
13	245	98	9,70	795,775	796	0,4	2	0,046
14	245	94	9,70	829,638	830	0,4	2	0,044
15	245	90,7	9,70	859,823	860	0,4	1,85	0,043
Σ								1,084

Čas potřebný pro navrácení nástroje se rovná **0,013 minuty**. Součtem všech dílčích časů byl získán celkový čas pro hrubování ve druhé operaci, který je roven **1,457 minuty**.

Po sečtení strojních časů pro hrubování z obou soustružnických operací byl získán teoretický celkový strojní čas pro hrubování **14,904 minut**.

Při porovnání teoreticky vypočteného času s časem udávaným v softwaru AlphaCAM vychází následující rozdíly. CAM software předpokládá čas první hrubovací operace **12,683 minut**, čas druhé operace **1,133 minuty** a celkový čas obou hrubovacích operací tedy **13,816 minut**. Pro ekonomické výpočty bude uvažován vyšší z časů, který po zaokrouhlení činí **$t_{As1} = 15$ minut**.

2.4.2 Simulace výroby z odlitku a výkovku

Standartní ocelový odlitek byl poptáván ve Slévárně Pilana Hulín, spol. s r.o a přesný ocelový odlitek ve slévárně přesného lití Moravia Tech, a.s. Standartní odlitek bude vážit 7,167 kg, přesný 6,176 kg, což usnadňuje mezioperační manipulaci a upínání do stroje. U odlitků je obvykle nutné zvolit první hrubovací operaci s velmi pomalou řeznou rychlostí, nízkým posuvem a šířkou záběru ostří. Hrubovací nůž nejprve kopíruje tvar odlitku a

odebírá pouze 0,5 mm. Tato operace zajišťuje odstranění vrchní slupky na odlitku, která bývá často znečištěná.

Mezi typické vady odlitků se řadí například povrchové, podpovrchové a vnitřní trhliny či praskliny. Dále mohou vznikat vnitřní dutiny v podobě bublin způsobených kyslíkem, vodíkem či dusíkem nebo staženiny. V povrchové vrstvě se mohou vyskytovat také vady v podobě vměstků, připečenin nebo vybouleného či zvrásněného povrchu. ^[28]

Díky velmi pomalému prvnímu kroku (tab. 2.20) se předchází poškození nástrojů a další hrubování po odstranění vrchní vrstvy už může probíhat ve větších rychlostech, s větší hloubkou záběru, až stejně rychle jako u válcovaného materiálu.

Náhled na dráhy nástroje při hrubování z odlitku z programu AlphaCAM2013 je zobrazen na obrázku 2.50.



Obr. 2.50 Ukázka z programu AlphaCAM při obrábění odlitku.

Jednotkový strojní čas byl nejdříve vypočten pomocí vzorců 2.10 a 2.11. Vypočtený čas bude následně porovnán s časem udávaným v softwaru AlphaCAM. V první soustružnické operaci jsou nejprve zarovnává čela u jednotlivých průměrů a poté následuje podélné hrubování. Strojní čas potřebný pro zarovnání čel je po dosazování do vztahu 2.9 roven

1,971 minuty. Pro podélné hrubování je třeba 6 třísek. Řezné parametry i rozdílné délky drah jsou uvedeny v tabulce 2.20.

Tab. 2.20 Výpočet strojního času při první operaci pro podélné hrubování z odlitku.

Číslo záběru	v_c [m.min ⁻¹]	D [mm]	L [mm]	$n_{\text{teor.}}$ [min ⁻¹]	$n_{\text{skut.}}$ [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	t_{As} [min]
1	130	63	74,00	656,830	657	0,1	0,5	1,203
2	130	53	40,00	780,760	781	0,1	0,5	0,576
3	130	43	44,00	962,332	962	0,1	0,5	0,509
4	245	60,2	75,00	1295,447	1295	0,4	1,4	0,154
5	245	50,7	41,00	1538,184	1538	0,4	1,15	0,075
6	245	40,7	45,00	1916,116	1916	0,4	1,15	0,065
Σ								2,5827

Z velikosti rychloposuvu byl vypočten čas potřebný pro navrácení nástroje ve výši **0,022 minuty** a součtem všech dílčích časů získán celkový čas pro hrubování v první operaci, který je roven **4,576 minut.**

Ve druhé soustružnické operaci jsou nejprve hrubována čela a následuje podélné hrubování. Strojní čas pro zarovnání čel je roven **2,196 minuty.** Řezné parametry zůstávají stejné i pro podélné hrubování, kde jsou nutné čtyři třísky s celkovým strojním časem **1,281 minuty.** Z velikosti rychloposuvu byl vypočten čas potřebný pro navrácení nástroje ve druhé operaci ve výši **0,011 minuty.** Součtem všech dílčích časů byl získán celkový čas pro hrubování ve druhé operaci, který je roven **3,488 minut.**

Po sečtení strojních časů pro hrubování z obou soustružnických hrubovacích operací byl získán celkový strojní čas pro hrubování **$t_{As2} = 8,064$ minut.**

Při porovnání teoreticky vypočteného času s časem udávaným v softwaru AlphaCAM vychází následující rozdíly. CAM software předpokládá čas první hrubovací operace **4,6 minuty**, čas druhé operace **3,3 minuty** a celkový čas obou hrubovacích operací tedy **7,9 minuty.** Pro ekonomické výpočty bude uvažován vyšší z časů, který po zaokrouhlení činí **$t_{As2} = 8$ minut.**

Výkovky byly poptávány v kovárně Taforge a.s. Polotovár v podobě výkovku váží 6,559 kg, což usnadňuje mezioperační manipulaci a upínání do stroje, stejně jako při využití odlitků. Také u výkovků je obvykle vhodné zvolit první hrubovací operaci s velmi pomalou řeznou rychlostí, s nízkým posuvem a šířkou záběru ostří.

Mezi nejčastější vady výkovků se řadí například zakované okraje, vnitřní dutiny nebo různé typy trhlin a prasklin. ^[29]

Z těchto důvodů je volen velmi pomalý první krok hrubování, totožně jako u ocelových odlitků. Výpočet strojního času pro hrubování je proto uvažován jako totožný s časem vypočteným u odlitků.

Při porovnávání variant při volbě polotovarů vychází rozdíl strojních časů při hrubování polotovarů na **7 minut**. Vzhledem k tomu, že výroba z odlitků či výkovků má vysoké vstupní náklady, budou tyto varianty analyzovány v kapitole ekonomického zhodnocení.

3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Každý manažer při svém rozhodování srovnává náklady a výnosy, kolik co stojí a kolik z toho získá.^[19] Faktory, které ovlivňují technicko-ekonomickou úroveň výrobního procesu, lze obecně rozdělit do dvou základních skupin. Do první skupiny se řadí například výrobek, materiál, energie, technologie, sériovost nebo stroje a zařízení; do druhé skupiny pak organizace, řízení, pracovníci či dodavatelé. Kombinace těchto činitelů určuje charakter nákladovosti výrobního procesu.^[22] Aspekty produktivity a hospodárnosti ve výrobě jsou ovlivňovány mnoha faktory, mezi nimiž obráběcí procesy zaujímají význačné postavení.^[8]

3.1 Ekonomické zhodnocení nově navržené varianty

Jedinou cestou, jak zvýšit produktivitu práce, je dělat vše rychleji. Toho může být kromě zvýšení pracovního nasazení dosaženo také reorganizací pracovního prostoru. Produktivitu lze tedy obecně zvýšit zavedením nových způsobů. V předchozích kapitolách byl proto navržen nový technologický postup a CNC program. To vedlo ke snížení pracnosti, zvýšení produktivity výroby a zároveň přineslo několik úspor, které budou vypočteny v následujícím ekonomickém zhodnocení.^[19]

Strojní čas předchozí technologie byl v první operaci na soustruhu NL3000 **16 minut**; ve druhé **5,5 minuty** a ve třetí operaci (na obráběcím centru NH4000) **13 minut**. Návrh nového technologického postupu a CNC programu na základě výpočtů, softwaru AlphaCAM a časových studií předpokládá celkový strojní čas na soustruhu NL3000 v první operaci **25 minut** a ve druhé **15 minut**. V první operaci bude v nové technologii navíc přidáno **8 minut** na seřizování. Pokud by všechny obráběcí operace mohly být provedeny přímo na CNC soustruhu NL3000, časy na výrobu by se změnilly následovně:

prodloužení strojního času při kompletní výrobě na NL3000	+ 5,5	minut
prodloužení seřizovacího času při kompletní výrobě na NL3000	+ 8	minut
přípravný čas na organizaci nové práce na NH4000	-10	minut
přípravný čas na seřízení stroje NH4000	-50	minut
sestavení upínacího přípravku	-30	minut
rozebrání upínacího přípravku	-15	minut
mezioperační manipulace s rozpracovanou výrobou	- 5	minut

Hodinová sazba na provoz CNC soustruhu NL3000 i obráběcího centra NH4000 je stanovena na **1170 Kč.hod⁻¹**. Sazba dělníků sestavujících speciální upínací přípravky **400 Kč.hod⁻¹** a kvalifikovaný odhad nákladů na manipulaci **300 Kč.hod⁻¹**.^[17]

Tab. 3.1 Výpočet úspor po zavedení nové technologie.

Typ úkonu	Sazba hodinová [Kč.hod ⁻¹]	Sazba minutová [Kč.min ⁻¹]	Změna času [min]	Čas za rok [min]	Změna nákladů [Kč]
Přípravný čas NL3000	1170	19,50	8	32	-624,00
Strojní čas NL3000	1170	19,50	5,5	137,5	-2681,25
Přípravný čas NH4000	1170	19,50	-60	-240	4680,00
Upínací přípravek	400	6,67	-60	-240	1600,00
Manipulace	300	5,00	-5	-20	100,00
Σ					3698,75

Výpočet změny času za rok v tabulce 3.1 vychází z aktuálního stavu výroby, který je 25 kusů ročně rozdělených do čtyř dávek. Vypočtená roční úspora při výrobě dle nového technologického postupu a CNC programu je při stávajícím objemu výroby rovna **3698,75 Kč**. Z hlediska mimoekonomického hodnocení, lze nový postup a program hodnotit i v rámci vzniku volných výrobních kapacit na obráběcím centru NH4000, které po zabezpečení další poptávkou mohou generovat další tržby.

3.2 Ekonomický návrh optimalizace výroby

Vzhledem k nízkému ročnímu objemu výroby se další možnost inovace nabízí v podobě výroby celé roční dávky najednou. V této variantě jsou vypočteny náklady na skladování hotových součástí a porovnány s náklady na seřizování strojů. Vzhledem k tomu, že dodávky musejí odcházet v pravidelných časových intervalech, byla celá zakázka rozdělena do čtyř dávek (tři dávky po šesti kusech a poslední dávka sedm kusů). Tím pádem je nezbytné čtyřikrát seřizovat stroje. V tabulce 3.2 jsou uvedeny přípravné časy pro jednotlivé operace při výrobě jedné dávky.

Tab. 3.2 Tabulka přípravných časů u jednotlivých operací. ^[17]

Název stroje	Číslo operace	Přípravný čas
NL 3000	10	72
NL 3000	20	63
NH 4000	30	60
Junker EJ29	40	45
Junker EJ29	50	45

Při současné technologii je součet všech přípravných časů k zajištění jedné dávky celkem **285 minut**. Při čtyřech dávkách za rok zabere tyto přípravné časy čtyřikrát tolik, tedy **1140 min.rok⁻¹**. Tento čas je rozdělen mezi tři stroje. Na soustruhu NL3000 jsou přípravné časy k zajištění výroby ročně ve výši **540 min.rok⁻¹** (9 hod.rok⁻¹), na obráběcím centru NH4000 ve výši **240 min.rok⁻¹** (4 hod.rok⁻¹) a na brusce Junker EJ29 Silver celkem **360 min.rok⁻¹** (6 hod.rok⁻¹). Hodinová sazba CNC soustruhu NL3000 a obráběcím centru NH4000 je stanovena na **1170 Kč.hod⁻¹** a bruska Junker EJ29 Silver má sazbu **760 Kč.hod⁻¹**. V následujících tabulkách 3.3 a 3.4 jsou přípravné časy vyjádřeny jako náklady za rok při seřizování jedné, respektive čtyřech dávek.

Tab. 3.3 Náklady na seřizování strojů pro výrobu jedné dávky.

Při jedné dávce za rok			
Stroj	Sazba [Kč/hod]	Přípravný čas [hod/rok]	Cena [Kč/rok]
NL3000	1170	2,25	2632,5
NH4000	1170	1	1170
Junker EJ29	760	1,5	1140
Σ			4942,5

Tab. 3.4 Roční náklady na seřizování strojů pro výrobu čtyřech dávek.

Při čtyřech dávkách za rok			
Stroj	Sazba [Kč/hod]	Přípravný čas [hod/rok]	Cena [Kč/rok]
NL3000	1170	9	10530
NH4000	1170	4	4680
Junker EJ29	760	6	4560
Σ			19770

Rozdíl mezi těmito variantami činí **14 827,50 Kč.rok⁻¹**. Pokud by ale bylo využito varianty vyrábění všech kusů při jednom seřizení, musely by být obrobené součásti zhruba **320 dní** skladovány, protože zákazník požaduje čtyři pravidelné dodávky ročně.

Společnost má zajištěnou celkovou úložnou plochu skladu **5 050 m²**. Náklady na provoz tohoto skladu jsou uvedeny v tabulce 3.5.

Tab. 3.5 Měsíční náklady na provoz skladu. ^[17]

Náklady na provoz skladu	
	Náklady/měsíc [Kč/měsíc]
Nájemné za plochu	302820
Nájemné za vozíky	30450
Pojištění zásob	20000
Energie - elektrická	12000
Energie - plyn	9000
Energie - voda	200
Doprava	200000
Mzdy skladníků	50000
Ostatní provozní náklady	5000
Režie z jednorázových nákladů	11667
Σ	641137

Z tabulky 3.5 a celkové plochy skladu byl vypočten skladovací normativ, který udává cenu za metr čtvereční a den. Pro daný případ tedy vychází **4,232 Kč/m².den**. Obrobené součásti budou skladovány na paletě 800 × 1200 mm, kam lze v případě potřeby uložit všech 25 kusů. Plocha jedné europalety tedy vychází na **0,96 m²**. K ploše palety byl následně zvolen koeficient **2** zohledňující manipulaci okolo palety. Vynásobením uvedených veličin získáváme cenu za skladování jedné palety po dobu 320 dní, tedy:

$$320 \cdot 4,232 \cdot 0,96 \cdot 2 \doteq 2600 \text{ Kč}$$

Při hledání rozdílu mezi náklady na seřizování čtyř dávek a součtem nákladů na seřízení jedné dávky s následným skladováním, vychází výsledný rozdíl následovně:

$$19\,770 - (4\,942,50 + 2\,600) = 12\,227,50 \text{ Kč}$$

Výsledný rozdíl a možná úspora je ve výši **12 227,50 Kč**. Tento výpočet ale vychází z mnoha zjednodušení, a lze ho tedy brát pouze jako orientační. Pro finální rozhodnutí by musela proběhnout hlubší ekonomická analýza, která by zahrnovala například i výpočty s hodnotou peněz uložených ve skladovaných obrobených součástech. Další fakt, který je nutno brát v úvahu, je například orientace společnosti Bühler CZ s.r.o. na strategii Just-In-Time, kde jsou cílem nulové zásoby díky dokonalé spolupráci s dodavateli a odběrateli. ^[23]

Pořízení a udržování zásob stojí peníze. V ideálních případech by zásoby měly být udržovány na minimálním stupni zhodnocení. ^[19]

3.3 Ekonomické zhodnocení dalších variant polotovarů

V předchozích kapitolách byly popsány výhody a nevýhody různých druhů polotovarů, vypočteny strojní časy potřebné k jejich obrábění a provedeny simulace. Při srovnávání přířezu, odlitků či výkovků lze předpokládat výrazné rozdíly ve stupni využití materiálu k_m . Do výpočtů normy spotřeby materiálu Q_m je zahrnuta nejen výsledná hmotnost přířezu Q_p , ale i ztráta materiálu dělením q_d a ztráta koncovým odpadem q_k . ^[21] Vzhledem k tomu, že firma kvůli efektivitě skladového hospodářství nakupuje přímo přířezy, budou ztráty při dělení materiálu z následujícího výpočtu vynechány.

- Využití materiálu pro výrobu z přířezu: ^[21]

$$k_m = \frac{Q_s}{Q_p} \cdot 100 [\%] \quad (2.11)$$

Kde: k_m stupeň využití materiálu [%];

Q_s hmotnost hotové součásti [kg];

Q_p hmotnost polotovaru [kg].

Hmotnost hotové součásti byla stanovena odečtením z 3D modelu v CAD programu Autodesk Inventor, kde $Q_s = 4,851$ Kg. Výpočet hmotnosti přířezu z ocelové tyče $\varnothing 150$ mm a délce 197 mm vychází $Q_{p1} = 27,480$ kg. Po dosazení do rovnice 2.11 dostaneme výsledný stupeň využití materiálu $k_m = 17,65$ %.

- Využití materiálu pro výrobu z odlitku:

Při výpočtu procentuálního stupně využití materiálu výrobou z ocelových odlitků je uvažováno základní očištění odlitku a odstranění vtokové soustavy přímo ve slévárně. Výpočet hmotnosti ocelového odlitku tedy vychází z přídavek na obrábění 3-4 mm a technologických úkosů. Výpočet vychází z rovnice 2.11, kde hmotnost hotové součásti Q_s zůstává neměnná a hmotnost odlitku je odečtena z vytvořeného 3D modelu. Hmotnost ocelového odlitku $Q_{p2} = 7,167$ kg. Po dosazení do rovnice 2.11 vychází výsledný stupeň využití materiálu $k_m = 67,69$ %.

- Využití materiálu pro výrobu z přesného odlitku:

Další uvažovanou variantou je zhotovení součásti z přesného odlitku, který má výhodu v tom, že přídavky jsou zde pouze 1–1,5 mm. Naopak nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady na zhotovení odlévací formy. Hodnoty pro výpočet součinitele procentuálního využití materiálu byly získány obdobným způsobem jako v předchozí variantě. Výpočtem v Autodesk Inventor byla zjištěna hmotnost přesného odlitku $Q_{p3} = 6,176$ kg. Po dosazení do rovnice 2.11 byl získán výsledný stupeň využití materiálu $k_m = 78,55$ %.

- Využití materiálu pro výrobu z výkovku:

Poslední řešenou možností je výroba z výkovků, které jsou vyráběny s přídavky 2 mm. U výkovků z důvodu vysokých počátečních investicí obecně platí předpoklad tisícových sérií, který u řešené součásti v současné době sice není potvrzen, ale do ekonomických výpočtů byl zařazen alespoň jako teoretická varianta. Hmotnost výkovku vypočtená za pomoci CAD softwaru byla $Q_{p4} = 6,559$ kg. Po dosazení do rovnice 2.1 vychází výsledný stupeň využití materiálu $k_m = 73,96$ %.

3.3.1 Náklady na výrobu z přířezu

Náklady na polotovár v podobě přířezu z materiálu ČSN41 1253 jsou ve výši **675 Kč** bez DPH. Cena je uváděna včetně řezu na požadovanou délku a byla zjištěna z oddělení nákupu. Strojní čas při hrubování z přířezu byl vypočten v kapitole 2.4.1 na 15 minut.

3.3.2 Náklady na výrobu z odlitku

Náklady na ocelový standartní ocelový odlitek vycházejí z poptávky ve Slévárně Pilana Hulín, spol. s r.o. Jednorázové náklady na pořízení modelového zařízení jsou ve výši 26 500 Kč bez DPH. Společnost požaduje roční odběr minimálně 100 ks odlitků, při ceně 1 370 Kč/ks. Uvedená cena je včetně tepelného zpracování. Strojní čas by se při hrubování odlitku na základě výpočtů v kapitole 2.4.2 zkrátil na 8 minut.

3.3.3 Náklady na výrobu z přesného odlitku

Náklady na přesný ocelový odlitek vycházejí z poptávky ve slévárně přesného lití Moravia Tech, a.s. Jednorázové náklady na pořízení formy zařízení jsou ve výši 38 000 Kč bez DPH. Předpokládá se neomezená životnost formy. Společnost požaduje odběr minimálně 100 ks odlitků, při ceně 2077 Kč/ks. Uvedená cena je včetně tepelného zpracování. Při výrobě z přesného ocelového odlitku s přídavky 1-1,5 mm je uvažováno

pouze s jednou hrubovací třískou při velmi nízké řezné rychlosti. Strojní čas by se při hrubování odlitku na základě výpočtů v kapitole 2.4.2 zkrátil na 6 minut.

3.3.4 Náklady na výrobu z výkovku

Náklady na výrobu z výkovku vycházejí z poptávky v kovárně Taforge, a.s. Výkovek by byl zhotoven z ekvivalentního materiálu CK35 (ČSN 12 040) vhodného pro kování. Změna materiálu by musela být projednána se zákazníkem. Jednorázové náklady na zápustku a nářadí jsou ve výši 84 000 Kč bez DPH. Společnost požaduje kovací dávky po 300 ks, při ceně 274 Kč/ks. Uvedená cena je včetně normalizačního žíhání. Strojní čas by se při hrubování odlitku na základě výpočtů v kapitole 2.4.2 zkrátil na 8 minut.

3.3.5 Volba technologické varianty polotovaru

Hodinová sazba obráběcího stroje NL3000 je 1170 Kč.hod⁻¹, což odpovídá 19,50 Kč.min⁻¹. Shrnutí předchozích cenových nabídek na polotovary uvádí tabulka 3.6.

Tab. 3.6 Náklady pro jednotlivé polotovary.

Typ polotovaru	Čas hrubování [min]	Sazba minutová [Kč.min ⁻¹]	Cena hrubování [Kč/ks]	Cena polotovaru [Kč/ks]	Hrubování + polotovar [Kč/ks]	Vstupní náklady [Kč]
Přířez	15	19,50	292,50	675,00	967,50	0,00
Odlitek	8	19,50	156,00	1370,00	1526,00	26500,00
Přesný odlitek	6	19,50	117,00	2077,00	2194,00	38000,00
Výkovek	8	19,50	156,00	274,00	430,00	84000,00

Z tabulky je zřejmé, že odlitky při daných cenách nejsou vhodné k výrobě dané součásti při žádném ročním objemu výroby. Pořizovací cena odlitků je i při dané úspoře na strojním času při hrubování výrazně vyšší v porovnání s náklady na zakoupení a výrobu součásti z přířezu, kde navíc není nutná vstupní investice.

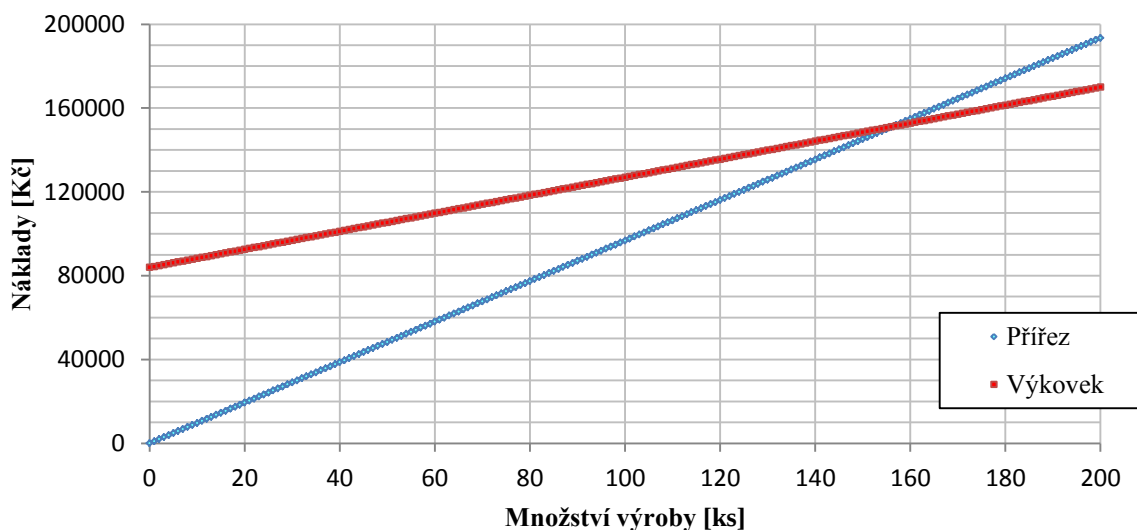
Porovnání zbylých dvou polotovarů zobrazuje úsporu ve výši **537,5 Kč/ks** ve prospěch výkovku. Za předpokladu vstupní investice ve výši 84 000 Kč bude z následující rovnice vypočteno množství **Q**, při kterém bude vyrovnána vstupní investice.

$$967,50 \cdot Q = 84\,000 + 430 \cdot Q$$

$$537,50 \cdot Q = 84\,000$$

$$Q \doteq 157 \text{ ks}$$

Z předchozích výpočtů vyplývá, že vstupní náklady na nářadí pro výrobu výkovků by se díky úspoře na strojním času a ceně polotovaru navrátili již při výrobě 157 kusu. Grafické znázornění průběhu nákladů na obrázku 3.1 zobrazuje hodnotu 157 v místě průniku obou křivek.



Obr. 3.1 Průběh nákladů.

Pokud by skutečně došlo k navýšení poptávky k vypočteným 157 kusům, bylo by nutné další jednání se zákazníkem o již zmíněné změně na ekvivalentní materiál. Následovalo by také jednání s kovárnou o snížení odběru polotovarů, protože v nabídkovém řízení považovala kovací dávky po 300 ks.

4 ZÁVĚR

Tato diplomová práce představuje výrobu hnací hřídele mlecího válce ve společnosti Bühler CZ, s.r.o. v Žamberku. Úvodní kapitoly práce obsahují představení společnosti a strojních zařízení, které byly pro výrobu součásti použity. Představen byl také použitý CAM software AlphaCAM 2013. Následuje analýza současné technologie a předepsaného materiálu - oceli ČSN41 1253.

Na základě provedené analýzy byl pomocí firemního softwaru Citrix navržen nový technologický postup a následně i další technická dokumentace v podobě měřicího a vzorkovacího protokolu či pozicového výkresu, což bylo jedním z cílů této práce.

Dále bylo navrženo nástrojové vybavení pro výrobu celé součásti z oceli ČSN 41 1523 dle nového technologického postupu z předchozí kapitoly. Při výběru vhodné vyměnitelné břitové destičky pro dokončovací operace byl proveden experiment reálně dosažitelné drsnosti na daném CNC soustruhu. V experimentální části byly porovnávány reálně naměřené parametry drsnosti povrchu s teoreticky vypočtenými veličinami. Zvolené nástroje byly následně zapsány do nástrojových listů, které se nacházejí v přílohách, čímž bylo dosaženo dalšího ze zadaných cílů.

Pro danou součást byl v další kapitole navržen NC program pro stroj Mori Seiki NL3000 s užitím softwaru AlphaCAM2013. Soustružnické, vrtací i frézovací operace byly v nově navrženém NC programu naplánovány pro daný CNC soustruh. Funkce programu byla následně ověřena grafickou simulací. Kompletní podoba řídicího programu se nachází v přílohách včetně několika obrázků z průběhu 3D simulace. V následující kapitole byly provedeny výpočty strojních časů pro hrubování z různých typů polotovarů.

Důležitou částí práce je i ekonomické zhodnocení, které finančně vyčísluje výhody nové technologie výroby. Na základě ekonomického zhodnocení nově navržené varianty byla vypočtena roční úspora ve výši **3698,75 Kč**. Kromě této úspory byla také uvolněna výrobní kapacita na obráběcím centru. Dále byl v ekonomické části finančně vyčíslen návrh na výrobu celé roční dávky na jedno seřízení s náklady na následné skladování obrobených kusů. Možná roční úspora při využití této varianty je ve výši **12 227,50 Kč** na dávku o velikosti 25 ks za rok. V poslední části práci byla věnována pozornost možnostem při volbě polotovaru. V reálném nabídkovém řízení, které zajistilo oddělení nákupu, byly zjištěny ceny pro přířez, odlitky a výkovky. Následně byly porovnány úspory strojního

času při hrubování s cenami jednotlivých polotovarů včetně vstupních nákladů. Z těchto výpočtu vyplynulo, že vzhledem k cenám odlitků není vhodné tento typ polotovaru reálně využívat. Z porovnání výroby z přířezu a výkovku bylo vypočteno množství **157 kusů**, při kterém se již na základě vypočtených úspor vyplatí výroba z výkovků.

5 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DE VOS, Patrick. SECO TOOLS AB. *Metal Cutting Theories in Practice*. 1. Sweden: Elanders, 2014.
- [2] DE VOS, Patrick a Jan-Eric STAHL. SECO TOOLS AB. *Opotřebení řezných nástrojů: Praktické zkušenosti*. 1. Švédsko: Elanders, 2014.
- [3] TSCHÄTTSCH, Heinz. *Applied machining technology*. 1. New York: Springer, 2009. ISBN 36-420-1007-5.
- [4] DAVIM, J. Paulo. *Machining: fundamentals and recent advances*. 1. London: Springer, 2008. ISBN 978-184-8002-135.
- [5] SMITH, Graham T. *Cutting tool technology: industrial handbook*. 1. London: Springer, 2008. ISBN 978-184-8002-050.
- [6] MCMAHON, Chris. *CAD/CAM: principles, practice, and manufacturing management*. 1. Harlow: Prentice Hall, 1998. ISBN 02-011-7819-2.
- [7] VENCL, P. *Metrologická confirmace měřidla - způsobilost systému měření*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Koška, Ph.D..
- [8] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 9788072047222.
- [9] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 270 s. ISBN 8021430680.
- [10] ČSN 41 1523. *Ocel 11 523*. Český normalizační institut. Praha, 1994.
- [11] Nexnet a.s. - Alphacam [online]. 2012 [cit. 2016-02-16]. Dostupné z: <http://www.alphacam.cz/>
- [12] MARŠÁLEK, Radek. *Navržení povlakovaných nástrojů pro technologii soustružení součásti "příruba"*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 42 s. 10 příloh. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.
- [13] JEŽÍK, Marek. *Porovnání výroby vnitřních závitů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/28564>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Hrdina, Josef.
- [14] SUROVEC, Jiří. *Porovnání metod výroby závitů*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2015. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/33636>. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Bílek, Ondřej.
- [15] NOVÁK, Otakar. *Statické tabulky pro stavební praxi*. 2., přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978. Česká matice technická (SNTL).
- [16] MAŘÍK, Josef. BÜHLER CZ S.R.O. *Představení Bühler CZ s.r.o.* Žamberk, 2015. Prezentace.
- [17] BÜHLER CZ S.R.O. *Databáze firemní dokumentace*. Žamberk, 2016.

- [18] WNT. *Řezné nástroje | Nástroje na Obrábění Kovů | WNT* [online]. 2013 [cit. 2016-03-19]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz.html>
- [19] JUROVÁ, Marie. *Výrobní procesy řízené logistikou*. 1. vyd. Brno: BizBooks, 2013. ISBN 978-80-265-0059-9.
- [20] AB SANDVIK COROMANT. *Technická příručka*. 01. Švédsko: Elanders, 2010. <http://www.iscar.com/eCatalog/>
- [21] PROKOP, Jaroslav. *Technologická příprava výroby [přednáška]*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015.
- [22] VEJDĚLEK, Jiří. *Jak zlepšit výrobní proces*. Vyd. 1. Praha: Grada, 1998. ISBN 80-716-9583-1.
- [23] KEŘKOVSKÝ, Miloslav. *Moderní přístupy k řízení výroby*. Vyd. 1. Praha: C.H. Beck, 2001. C.H. Beck pro praxi. ISBN 80-717-9471-6.
- [24] *Hoffmann Group | Quality tools at its high* [online]. 2016 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot>
- [25] ANTON, Humár. *Technologie I - Technologie obrábění - 1.část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003 [vid. 2016-04-21]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [26] Surftest SJ-410 Series. *MITUTOYO* [online]. USA: Mitutoyo America Corporation, 2016 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://ecatalog.mitutoyo.com/Surftest-SJ-410-Series-178-Portable-Surface-C1822.aspx>
- [27] FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [28] OTÁHAL, Vlastislav. *Atlas vad: Železné a neželezné slitiny*. Brno, 2009. Dostupné z: http://otahalconsult.cz/wp-content/pdf/Vady_odlitku_vytah.pdf
- [29] VAŠKO, Michal. *Technologie zápusťkového kování hřídele*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 80 s., 12 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Miroslav Šlais.

6 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<i>Zkratka</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
HB	[-]	tvrdost podle Brinella
CAM	[-]	počítačem podporovaná výroba
CAD	[-]	počítačem podporované navrhování
CNC	[-]	řízení obráběcího stroje počítačem, respektive programem
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
R_a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
R_z	[μm]	maximální výška profilu drsnosti
r_ε	[mm]	poloměr zaoblení špičky
v_c	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	řezná rychlost
f	[mm]	posuv na otáčku
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
n	[min^{-1}]	otáčky vřetene
F	[N]	celková řezná síla
F_c	[N]	řezná síla
F_f	[N]	posuvová síla
F_p	[N]	pasivní síla
k_{c1}	[MPa]	měrná řezná síla
A_D	[mm^2]	průřez třísky
w	[mm]	průhyb
l	[mm]	celková délka
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
J	[mm^4]	kvadratický moment průřezu
π	[-]	Ludolphovo číslo

t_{As}	[min]	jednotkový strojní čas
D	[mm]	výchozí obráběný průměr
d	[mm]	konečný obráběný průměr
i	[-]	počet třísek
l_n	[mm]	dráha náběhu nástroje
l	[mm]	délka obráběné plochy
l_p	[mm]	dráha přeběhu nástroje
k_m	[-]	stupeň využití materiálu
Q_s	[kg]	hmotnost součásti
Q_p	[kg]	hmotnost polotovaru
Q	[ks]	objem produkce pro změnu polotovaru

7 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obr. 1.1 Podíl společnosti Bühler na světovém trhu. ^[16]	10
Obr. 1.2 Výrobní závod Bühler CZ s.r.o. v Žamberku. ^[16]	11
Obr. 1.3 Typické součásti vyráběné ve výrobním závodě v Žamberku. ^[16]	11
Obr. 1.4 Model hnací hřídele mlecího válce. ^[17]	12
Obr. 1.5 Náhled na sestavu mlecího válce. ^[17]	12
Obr. 1.6 Válcovací stroj společnosti Bühler. ^[17]	13
Obr. 1.7 Náhled na výkres součásti s naznačeným obráběním v první operaci. ^[17]	16
Obr. 1.8 Náhled na výkres součásti s naznačeným obráběním ve druhé operaci. ^[17]	17
Obr. 1.9 Univerzální stavebnicový přípravek pro třetí operaci. ^[17]	17
Obr. 1.10 Výkres součásti s naznačeným obráběním ve třetí operaci. ^[17]	18
Obr. 1.11 Simulace soustružení rotačního dílce v AlfaCAM 2013.	19
Obr. 1.12 CNC soustruh Mori Seiki NL3000Y/2000.	21
Obr. 1.13 Obráběcí centrum Mori Seiki NH4000 DCG.	22
Obr. 1.14 Bruska Junker EJ29 Silver.	23
Obr. 2.1 Ukázka tvorby technologického postupu v softwaru Citrix.	25
Obr. 2.2 Příprava požadavků na kontrolu v softwaru Citrix.	29
Obr. 2.3 Příprava požadavků na nářadí v softwaru Citrix.	30
Obr. 2.4 Poloha drážky vůči díře se zahloubením. ^[17]	30
Obr. 2.5 Zakreslení návrhu obrábění v první operaci. ^[17]	31
Obr. 2.6 Vodováha k vyrovnávání součásti při upínání.	32
Obr. 2.7 Zakreslení návrhu obrábění v druhé operaci. ^[17]	33
Obr. 2.8 Návrh technologického postupu – první část.	34
Obr. 2.9 Návrh technologického postupu – druhá část.	35
Obr. 2.10 Návrh technologického postupu – třetí část.	36
Obr. 2.11 Protokol o měření.	37
Obr. 2.12 Náhled na pozicový výkres.	38
Obr. 2.13 Soustružnický nůž PWLNL 2525 M08. ^[18]	39
Obr. 2.14 Vyměnitelná břitová destička WNMG 080408EN-CF. ^[18]	39
Obr. 2.15 Soustružnický nůž PDJNL 2525 M15. ^[18]	40
Obr. 2.16 Středicí vrták DIN333-A. ^[18]	41
Obr. 2.17 Monolitní tvrdokovová fréza. ^[18]	41
Obr. 2.18 Tvrdokovový vrták ø10,2 mm. ^[18]	42
Obr. 2.19 Soustružnický nástroj pro vnitřní soustružení. ^[18]	42
Obr. 2.20 Vyměnitelná břitová destička pro ECO CUT. ^[18]	43
Obr. 2.21 Strojní závitník pro metrické závity M12 6H. ^[18]	45
Obr. 2.22 Tvrdokovový vrták ø11 mm. ^[18]	45
Obr. 2.23 Záhlubník se zpětným chodem 180° 18 mm GARANT. ^[24]	46
Obr. 2.24 Vyměnitelná břitová destička CCMT 060204EN-ZF. ^[18]	46
Obr. 2.25 Základní tvar zkušební vzorku a jeho upnutí do stroje.	47
Obr. 2.26 Upnutí skutečného zkušební vzorku.	48
Obr. 2.27 Tvar a rozměry břitové destičky DNMG 150604EN-CF TWC410. ^[18]	49
Obr. 2.28 Tvar a rozměry břitové destičky DNMG 150604EN-TFQ HCX1125. ^[18]	50
Obr. 2.29 Upnutí obou typů VBD držáku v CNC soustruhu.	50
Obr. 2.30 Síly řezného procesu. ^[25]	51
Obr. 2.31 Schéma uvažovaného zatížení při obrábění.	52
Obr. 2.32 a) Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ410. ^[26] b) Kalibrační vzorek R _a 0,64.	53
Obr. 2.33 Grafická závislost teoreticky vypočtených hodnot R _a a R _z .	54

Obr. 2.34 Grafické porovnání naměřených a vypočtených hodnot R_a - standartní VBD....	57
Obr. 2.35 Grafické porovnání naměřených a vypočtených hodnot R_z - standartní VBD....	57
Obr. 2.36 Grafické porovnání naměřených a vypočtených hodnot R_a - hladicí VBD.....	60
Obr. 2.37 Grafické porovnání naměřených a vypočtených hodnot R_z - hladicí VBD.....	60
Obr. 2.38 Grafické porovnání naměřených hodnot R_a standartní a hladicí VBD.....	61
Obr. 2.39 Grafické porovnání naměřených hodnot R_z standartní a hladicí VBD.....	61
Obr. 2.40 a) Skicovací prvky v AlphaCAM. b) Uchopovací prvky v AlphaCAM.....	63
Obr. 2.41 Soustružnické operace v softwaru AlphaCAM.	63
Obr. 2.42 Definování čelního soustružení.	64
Obr. 2.43 Definování podélného hrubování.	64
Obr. 2.44 Definování řezných parametrů.	65
Obr. 2.45 Simulace.	67
Obr. 2.46 Srovnání 2D a 3D simulace.	67
Obr. 2.47 Zobrazení závitu pomocí nastavení průhlednosti materiálu.	68
Obr. 2.48 Výsledek simulace po dokončení všech operací.	68
Obr. 2.49 Ukázka z programu AlphaCAM při obrábění z plného materiálu.....	69
Obr. 2.50 Ukázka z programu AlphaCAM při obrábění odlitku.	73
Obr. 3.1 Průběh nákladů.	83

8 SEZNAM TABULEK

- Tab. 1.1 Chemické složení oceli S355J0 dle normy ČSN 41 1523. ^[10]
- Tab. 1.2 Technická data stroje Mori Seiki NL3000Y/2000. ^[17]
- Tab. 1.3 Technická data stroje Mori Seiki NH4000 DCG. ^[17]
- Tab. 1.4 Technická data brusky Junker EJ29 Silver. ^[12,17]
- Tab. 2.1 Výběr z časové studie. ^[17]
- Tab. 2.2 Parametry soustružnického nože PWLNL 2525 M08. ^[18]
- Tab. 2.3 Parametry vyměnitelné břitové destičky WNMG 080408EN-CF. ^[18]
- Tab. 2.4 Parametry soustružnického nože PDJNL 2525 M15. ^[18]
- Tab. 2.5 Parametry středícího vrtáku DIN333-A. ^[18]
- Tab. 2.6 Parametry monolitní tvrdokovové frézy. ^[18]
- Tab. 2.7 Parametry tvrdokovového vrtáku. ^[18]
- Tab. 2.8 Parametry univerzálního soustružnického nástroje. ^[18]
- Tab. 2.9 Parametry vyměnitelné břitové destičky XCNT 050204 EN. ^[18]
- Tab. 2.10 Parametry strojního závitníku M12 6H. ^[18]
- Tab. 2.11 Parametry tvrdokovového vrtáku ø11 mm. ^[18]
- Tab. 2.12 Parametry zpětného záhlubníku 18 mm GARANT. ^[24]
- Tab. 2.13 Parametry vyměnitelné břitové destičky CCMT 060204EN-ZF. ^[18]
- Tab. 2.14 Parametry vyměnitelné břitové destičky DNMG 150604EN-CF. ^[18]
- Tab. 2.15 Parametry vyměnitelné břitové destičky DNMG 150604EN-TFQ. ^[18]
- Tab. 2.16 Naměřené hodnoty s využitím standartní destičky.
- Tab. 2.17 Naměřené hodnoty s využitím hladicí destičky WIPER.
- Tab. 2.18 Výpočet strojního času při první operaci pro hrubování z přířezu.
- Tab. 2.19 Výpočet strojního času při druhé operaci pro hrubování z přířezu.
- Tab. 2.20 Výpočet strojního času při první operaci pro podélné hrubování z odlitku.
- Tab. 3.1 Výpočet úspor po zavedení nové technologie.
- Tab. 3.2 Tabulka přípravných časů u jednotlivých operací.
- Tab. 3.3 Náklady na seřizování strojů pro výrobu jedné dávky.
- Tab. 3.4 Roční náklady na seřizování strojů pro výrobu čtyřech dávek.
- Tab. 3.5 Měsíční náklady na provoz skladu. ^[17]
- Tab. 3.6 Náklady pro jednotlivé polotovary.

9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha	1	Výkres součásti
Příloha	2	Pozicový výkres
Příloha	3	Nástrojový list operace 10
Příloha	4	Nástrojový list operace 20
Příloha	5	CNC řídicí program součásti
Příloha	6	CNC řídicí program pro technologickou zkoušku