



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SINUMERIK OPERATE 840D SL. PŘI PROGRAMOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ

SINUMERIK OPERATE 840D SL. FOR PROGRAMMING OF CNC MACHINES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Hynek Krulich

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Hynek Krulich
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	Ing. Aleš Polzer, Ph.D.
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Sinumerik Operate 840D sl. při programování CNC obráběcích strojů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při programování obráběcích strojů je možno využít řady různých programovacích jazyků a metodik. Tato práce je zaměřena na vytvoření tematických ukázkových příkladů možností systému Sinumerik 840D sl. Ukázky umožní přiblížit tuto problematiku osobám, které teprve volí vhodný způsob programovacího prostředí (NC programování) pro zajištění výroby třískovým obráběním na frézovacích a soustružnických obráběcích centrech.

Cíle diplomové práce:

- stručné srovnání řídicího systému Sinumerik 840D s ostatními řídicími systémy obráběcích strojů a s možnostmi vybraných CAD/CAM softwarů,
- návrh a zpracování technické dokumentace i 3D modelů obráběných součástí,
- připravení ukázkových NC programů do podoby moderní interaktivní prezentace.

Seznam doporučené literatury:

DAVIM, J. P. (ed.). Traditional machining processes. 1. New York: Springer, 2014. ISBN 978-36-2450-871.

DAVIM, J.P. (ed.). Modern machining technology: a practical guide. 1st pub. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. Woodhead Publishing in mechanical engineering. ISBN 978-0-85709-099-7.

TSCHÄTSCH, H. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, c2009. xvii, 398 s. ISBN 978--642-01006-4.

SHAW, M. C. Metal cutting principles. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005. xix, 651 s. ISBN 01-951-4206-3.

QUESADA, R. Computer numerical control: machining and turning centers. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005. 548 s. ISBN 01-304-8867-4.

Technická příručka obrábění: soustružení - frézování - vrtání - vyvrtávání - upínání nástrojů. AB SANDVIK COROMANT. 2005.10. Švédsko: Elanders, 2005.

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zaměřuje na možnosti softwaru SinuTrain Sinumerik Operate verze 4.8 sl. V první části práce je srovnání řídicích systémů a jejich možnosti. V další části rozebírá metody programování. V poslední části jsou praktické ukázky programování na zvolených součástech, simulace jejich výroby a ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

CNC, Sinumerik, SinuTrain, řídicí systém, NC programování

ABSTRACT

This Master's thesis is focused on capabilities of software SinuTrain Sinumerik Operate version 4.8 SP1. In the first part is comparison of control systems and their options. The next part discusses programming method in CNC machining. In the last part there are a practical examples of programming, simulation of their production and technical-economic evaluation.

Key words

CNC, Sinumerik, SinuTrain, control system, NC programming

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRULICH, Hynek. *Sinumerik Operate 840D sl. při programování CNC obráběcích strojů*. Brno 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 71 s. 8 příloh. Vedoucí práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Sinumerik Operate 840D sl. při programování CNC obráběcích strojů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Bc. Hynek Krulich

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce panu Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce. Mé poděkování též patří mé rodině a všem blízkým za velkou podporu po celou dobu studia.

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení	4
Poděkování	5
Obsah.....	6
Úvod.....	8
1 ŘÍDICÍ SYSTÉM CNC STROJE	9
1.1 Přehled vybraných řídicích systémů	9
1.1.1 Řídicí systémy Sinumerik.....	9
1.1.1.1 Sinumerik 808D	9
1.1.1.2 Sinumerik 808D ADVANCED	10
1.1.1.3 Sinumerik 828D BASIC M	10
1.1.1.4 Sinumerik 828D	10
1.1.1.5 Sinumerik 840D sl.	11
1.1.2 Řídicí systémy Heidenhain.....	11
1.1.2.1 TNC 640	11
1.1.2.2 TNC 620	12
1.1.2.3 MANUALplus 620	13
1.1.3 Řídicí systémy Fanuc.....	13
1.1.3.1 Fanuc řady Oi.....	14
1.1.3.2 Fanuc řady 30i/31i/32i	14
1.2 Srovnání vybraných řídicích systémů	14
2 METODY PROGRAMOVÁNÍ	15
2.1 ISO programování	15
2.1.1 Struktura programu	16
2.1.2 Význam vybraných adres.....	16
2.1.3 Vybrané geometrické a pomocné funkce	17
2.1.4 Využití cyklů	18
2.2 Dílensky orientované programování.....	19
2.3 CAD/CAM.....	20
3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY	21
3.1 Obráběná součást hřídel rotoru	22
3.1.1 Volba materiálu	22
3.1.2 Strojové vybavení	23
3.1.2.1 Pásová pila Pegas-Gonda 230x280 GH-LR	23

3.1.2.2 CNC soustruh SP 280SY	24
3.1.2.3 Hrotová bruska BUA 25 CNC	26
3.1.3 Nástrojové vybavení – soustružení	27
3.1.4 Řezné podmínky	32
3.2 Obráběná součást štít motoru	33
3.2.1 Volba materiálu	33
3.2.2 Strojové vybavení	34
3.2.3 Nástrojové vybavení – frézování	36
3.2.4 Řezné podmínky	42
4 TVORBA A SIMULACE NC PROGRAMŮ	44
4.1 NC program výroby hřídele	45
4.1.1 Tvorba NC programu ISO kód	45
4.1.2 Výsledek simulace	51
4.2 NC program výroby štítu motoru	52
4.2.1 Tvorba NC programu v dílensky orientovaném prostředí	52
4.2.2 Výsledek simulace	58
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	59
5.1 Ověření potřebného rezného výkonu stroje	59
5.1.1 SP 280SY	59
5.1.2 MCFV 1060	60
5.2 Hodinová sazba CNC stroje	60
5.3 Strojní časy	61
ZÁVĚR	63
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	64
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	69
SEZNAM PŘÍLOH	71

ÚVOD

V oblasti strojírenského průmyslu je na trhu mnoho konkurentů a proto se kladou stále vyšší požadavky na přesnost, kvalitu a hlavně ekonomičnost výroby. CNC obrábění je v současné době standartně využívaná technologie obrábění, která se neustále vyvíjí a snaží se o co nejefektivnější výrobu součástí. Při výběru vhodného obráběcího centra v kombinaci se širokou škálou řezných nástrojů je k dispozici opravdu celá řada možností. Je tedy zřejmé, že při optimálních podmínkách obrábění lze podstatně snížit své výrobní náklady.

Tato práce je věnována přiblížení problematiky NC programování frézovacích a soustružnických obráběcích center. Pro ukázkou NC programování byly vybrány 2 součásti z elektromotoru, který může být využíván právě jako pohon vřetene obráběcích strojů, robotů, atd. První z nich je hřídel rotoru. NC program pro tuto součást je vytvořen pomocí ISO programování. Druhou součástí je štít motoru, jejíž NC program je vyroben v dílensky orientovaném prostředí. Druhá součást je vytvořena ve dvou variantách a následně jsou porovnány výrobní časy obou variant.

1 ŘÍDICÍ SYSTÉM CNC STROJE

Kvalita obráběcího procesu je velkou mírou závislá na spolehlivosti a přesnosti řídicího systému. Řídicí systém lze tedy považovat za jakýsi mozek obráběcího stroje. Musí zpracovávat informace o geometrii pohybu, rychlostech, posuvech, chlazení, ofukování, bezpečnostních prvcích a mnoho dalších. Důležitým kritériem řídicích systémů je také komfort ovládání řídicího systému. Na trhu je k dispozici celá řada řídicích systémů. Můžeme se setkat s výrobci Siemens, Fanuc, Heidenhain, Mazak, Mitsubishi, aj. Níže je srovnání nejznámějších řídicích systémů – Sinumerik, Fanuc a Heidenhain [1].

Volba řídicího systému je základem dobrého procesu výroby. Zde jsou uvedeny základní kritéria, která by se při této volbě měla zohlednit.

- typ obráběcího centra, které bude řízeno,
- prostředí řídicího systému,
- snadnost přípravy NC programů (možnosti programování),
- rychlé, kvalitní obrábění, se zachováním předepsaných rozměrů,
- dodatečné náklady na rozšíření schopnosti řídicího systému jako jsou např. rozšíření o polární souřadnicový systém, matematické operace, více korekcí nebo pevné závitování,
- technologická pomoc dodavatele řídicího systému,
- možnosti zaškolení obsluhy a technologů vybraného řídicího systému [1].

1.1 Přehled vybraných řídicích systémů

V této kapitole je stručný popis vybraných řídicích systémů Sinumerik, Heidenhain a Fanuc. Jedná se o přední výrobce řídicích systémů s dlouholetou tradicí.

1.1.1 Řídicí systémy Sinumerik

Řídicí systém Sinumerik je produktem německé firmy Siemens. Historie Sinumeriku sahá již do šedesátých let 20. století. Tyto systémy nabízejí řešení pro širokou škálu strojů – od jednoduchých až po modulární koncepce strojů s nejnáročnějšími požadavky. Nejčastěji jsou ovšem využívány pro soustružnické a frézovací stroje. V současné době jsou k dispozici tři řady řídicích systémů Sinumerik – 808D, 828D a 840D sl. [2].

1.1.1.1 Sinumerik 808D

Systém splňující požadavky základních obráběcích strojů, určených pro soustružení a frézování. Ačkoliv tento řídicí systém obsahuje široké spektrum technologických cyklů, je jeho uživatelské rozhraní jednoduché a snadno ovladatelné. Ovládací panel je umístěn v krytí, které splňuje IP65 (stupeň krytí vyznačující se odolností vůči vniknutí cizího tělesa a kapalin) a je připojen pomocí USB portu. Využívá se pro standardní stroje, které podporují až 4 osy [3, 4].

1.1.1.2 Sinumerik 808D ADVANCED

Rozšířená verze původního systému 808D. Ve spojení s frekvenčními měniči a servomotory je zaručen vysoký výkon systému. Komunikace mezi CNC a pohonem zajišťuje vysoký výkon při řízení polohy, což zvyšuje přesnost a optimalizuje řezný výkon. Stále se využívá pro základní soustružnické a frézovací stroje. Rozdílem je ovšem podpora až 5 os (včetně) a možnost využití pro výrobu forem [5].

1.1.1.3 Sinumerik 828D BASIC M

Řídicí systém pro sériové koncepce strojů, který najde své uplatnění ve standardních moderních frézovacích strojích. V této verzi je technologický paket zvaný „Mynamics“, díky kterému je možno dosáhnout vyšší rychlosti obrábění při zachování perfektní kvality a vysoké přesnosti. Sinumerik 828D BASIC M nabízí také možnost využití programování s dílensky orientovaným prostředím („ShopMill“), které je určeno spíše pro jednodušší součásti, ale zvyšuje efektivitu obrábění [6].

1.1.1.4 Sinumerik 828D

Sinumerik 828D je vhodný pro náročnější frézovací a soustružnické stroje. Programování se provádí v dílensky orientovaném prostředí „ShopMill“ nebo „ShopTurn“, které zkracuje programovací čas při výrobě jednotlivých dílů a malých sérií. Při programování větších sérií je vhodnější programování pomocí „programGUIDE“, který se vyznačuje nejkratším časem obrábění a maximální flexibilitu při výrobě. Snadné programování, integrovaná nápověda a dobře strukturovaný nástroj pro správu patří mezi hlavní výhody tohoto systému. Ukázka ovládacího panelu 828D a příslušenství viz obrázek 1.1 [7].



Obr. 1.1 – Ukázka řídicího systému Sinumerik 828D [8].

1.1.1.5 Sinumerik 840D sl.

Sinumerik 840D sl. je jedním z nejkompaktnějších systémů, který lze použít například při soustružení, frézování, vrtání, broušení, vysokorychlostní obrábění a mnoho dalších. Díky výkonným NCU (číslicově řízená jednotka) nabízí tento systém téměř nevyčerpatelný výkonový potenciál. Je možné řídit až 31 os (nebo propojením třech NCU dokonce 93 os). Pomocí integrované bezpečnostní funkce je schopen chránit obsluhu i stroj. Na obrázku 1.2 je ukázka ovládacího panelu 840D sl. a příslušenství [9,10].



Obr. 1.2 – Ukázka řídicího systému Sinumerik 840D sl. [10].

1.1.2 Řídicí systémy Heidenhain

Německá společnost Heidenhain se na trhu pohybuje již od konce 19. století. K pohonům a řídicím systémům se však dostala až v sedmdesátých letech. Zaměřují se na frézovací stroje, soustružnické stroje a obráběcí centra. Heidenhain vyrábí řídicí systémy s podporou až 18 os, které jsou využívány od jednoduchého obrábění až po vysokorychlostní. Mezi hlavní pozitiva patří komfort obsluhy, dílenské programování a praktičnost technologických cyklů. Níže jsou podrobněji rozepsány vybrané verze řídicích systémů Heidenhain [12].

1.1.2.1 TNC 640

Heidenhain TNC 640 je vlajkovou lodí této firmy v oblasti cnc řízení. První řídicí systém od Heidenhainu, který je schopný provést soustružení a frézování na společné základně. Samozřejmostí je výkonnější hardware a hlavně větší pružnosti programového vybavení. TNC 640 zvládá řízení až 18 pohonů a 5 osou interpolací. Systém je vybaven dynamickým hlídáním kolizí v ručním i automatickém režimu. Ukázka ovládacího panelu TNC 640 viz obrázek 1.3 [13, 14].



Obr. 1.3 – Ukázka řídicího systému TNC 640 [14].

1.1.2.2 TNC 620

Jedná se o kompaktní souvislé řízení pro frézky a vyvrtávačky. Systém dokáže interpolovat až v 5 osách současně. Disponuje možností dílensky orientovaného programování, které ho činí dostupnější pro méně vzdělanou obsluhu stroje. Samozřejmostí jsou frézovací, vrtací a závitovací cykly. TNC 620 automaticky přihlíží ke kinematickému uspořádání stroje. Využívá se v kusové a sériové výrobě. Na obrázku 1.4 je vidět celodotykový displej řídicího systému TNC 620 [15].



Obr. 1.4 – Ukázka TNC 620 [15].

1.1.2.3 MANUALplus 620

MANUALplus 620 je určený pro řízení soustruhů. Je pro něj charakteristické cyklové i konveční manuální obrábění. Cyklové programování umožňuje vytvářet i editovat NC programy přímo na stroji. Řídicí systém je určen pro horizontální a vertikální soustruhy a to jak s jednoduchými držáky, tak i s revolverovou hlavou. Krokem vpřed ve snadnosti užívání je pracovní režim smart.Turn. Toto rozhraní poskytuje programátorovi i obsluze potřebné informace během obrábění a zároveň činí NC programování snadno zvládnutelným. Využití najde spíše malosériové výrobě. Ovládací panel viz obrázek 1.5 [16].



Obr. 1.5 – Ovládací panel MANUALplus 620 [16].

1.1.3 Řídicí systémy Fanuc

Historie japonské firmy Fanuc sahá do šedesátých let a řadí se mezi absolutní špičku v oblasti řídicích systémů. Fanuc poskytuje širokou škálu systémů řízení, které lze rozdělit na kompaktní a modulární série. Typické využití je pro soustružení, frézování, broušení nebo také řízení laserů [17].

Kompaktní verze obsahuje předdefinovanou konfiguraci, která obsahuje všechny podstatné funkce v základu. V této verzi je menší prostor na dodatečné „dovybavení“. Hardware je prakticky shodný jako u modulární série. Příkladem kompaktní verze je série 0i [18].

Modulární série naopak nemá nastavenou žádnou standardní konfiguraci. Každý výrobce stroje si výbavu určí podle svých požadavků. Je zde obrovský prostor na dodatečné instalování softwaru, ale tato dodatečná instalace je finančně nákladnější. Do modulární řady patří Série 30i, 31i a 32i [18].

1.1.3.1 Fanuc řady 0i

Řídicí systém řady 0i spadá do kategorie kompaktní, je tedy menší výběr softwarových opcí. Tato řada řídicích systémů představuje základní řešení pro rozmanité aplikace řízení. Podporuje až 12 os [19].

1.1.3.2 Fanuc řady 30i/31i/32i

Modulární série dává zákazníkům možnost určit si určité parametry řídicího systému. Vzhledem k podpoře až 96 os je tento řídicí systém vhodný ke složitým, přesným a vysokorychlostním strojům s podporou více os a drah. Využití najde u obráběcích center, soustruhů, či frézek. Obsahuje stejně jako řídicí systémy od Siemens nebo Heidenhain možnost dílensky orientovaného programování. Dalšími vlastnostmi je například Dual Check Safety (DCS), což je integrovaný software zajišťující bezpečnost obsluhy. Ukázka této řady na obrázku 1.6 [19].



Obr. 1.6 – Fanuc modulární série řady 30i/31i/32i [19].

1.2 Srovnání vybraných řídicích systémů

Pro srovnání jsou vybrány tři verze řídicích systémů, které mají využití pro kombinovaná obráběcí centra. Jedná se o Sinumerik 840D sl., TNC 640 a Fanuc řady 30i/31i/32i. Je srovnána možnost vlastní konfigurace, dílensky orientovaného prostředí a počet řízených os. Další kritéria jsou obtížně srovnatelná a každá varianta může uspokojit potřeby v určité aplikaci. Stručné srovnání těchto ŘS viz tab. 1.1.

Tab. 1.1 – Srovnání vybraných řídicích systémů.

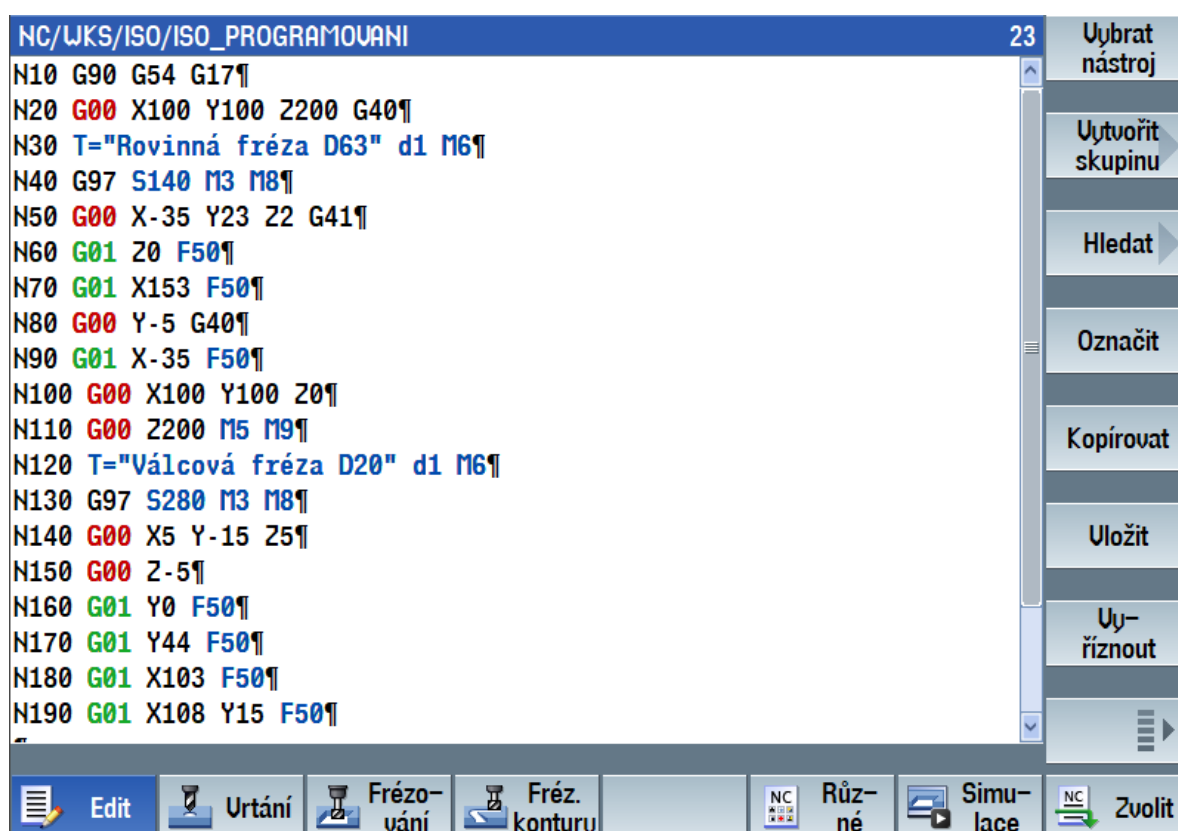
	Siemens Sinumerik 840D sl.	Heidenhain TNC 640	Fanuc 30i/31i/32i
Počet řízených os	až 93 os	až 18 os	až 96 os
Dílensky orientované prostředí	ShopMill/ShopTurn	SmartSelect	Manual Guide
Vlastní konfigurace	ne	ne	ano

2 METODY PROGRAMOVÁNÍ

V současné době je na výběr z několika možností tvorby NC programu. Jejich výběr závisí například na technickém vybavení, kvalifikaci pracovníků, požadavcích vyráběné součásti nebo velikosti vyráběné série. Mezi nejpoužívanější metody se řadí ISO programování, dílensky orientované programování a CAD/CAM programování. Další metody jsou například parametrické programování a programování pomocí obráběcích cyklů. Tyto metody mají velmi blízko k ISO programování. Jelikož je práce zaměřená na řídicí systém Sinumerik 840D sl., tak i metody programování jsou demonstrovány na tomto systému.

2.1 ISO programování

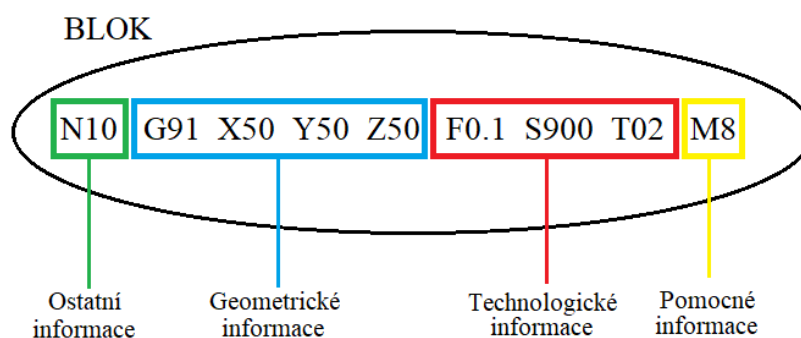
Jedná se o nejstarší a zároveň nejznámější způsob NC programování. Tato metoda se často nazývá programování G-kódem. Struktura NC programu se řídí normou DIN 66025. Funkce v programovém kódu jsou nositelem informací pro numericky řízený stroj. Tyto informace se ve stroji převádí na impulzy elektrického proudu nebo jiné signály, které sepnou servomotory (případně jiné pohony) umožňující obrábění součásti dle napsaného NC kódu. Na obrázku 2.1 je ukázka ISO programování v Sinumerik Operate. Výhodou jsou nízké pořizovací náklady, jelikož lze psát program i v jednoduchém textovém editoru. Nevýhodou naopak delší čas tvorby programu a zároveň větší požadavky na znalosti programátora [20, 21].



Obr. 2.1 – Ukázka ISO programování v Sinumerik Operate.

2.1.1 Struktura programu

Příkazy a funkce jsou zapisovány do tzv. bloků, kdy každý blok znamená jeden krok ve výrobním postupu obrábění součásti. V jednotlivých blocích jsou zahrnuté veškeré technologické, geometrické, pomocné a přípravné funkce, které popisují činnost numericky řízeného stroje (viz obr. 2.2). Programované bloky se skládají z příkazů ve formě slov, která se dále dělí na adresnou a významovou část [22].



Obr. 2.2 – Příklad složení jednoho NC bloku podle [23].

- **Ostatní informace** – slouží k přehlednosti NC programu a jeho popisu (číslování bloků, poznámky).
- **Geometrické informace** – popisují tvar součásti, kterým pak definují dráhy nástrojů.
- **Technologické informace** – slouží k přenosu údajů spojených s technologií obrábění (nástroj, rezná rychlost, posuv, šířka záběru ostří).
- **Pomocné informace** – ostatní parametry NC programu, které jsou nutné při výrobě součásti (spuštění rezné kapaliny, směr otáček, konec programu, aj.) [22].

2.1.2 Význam vybraných adres

Základní značení adres je předepsáno normou, kterou dodržují všichni programátoři NC programů. Adresy se označují velkými písmeny české abecedy a jejich význam je v tabulce 2.1 [23].

Tab. 2.1 Význam vybraných adres [24].

Písmeno	Význam
X, Y, Z	Základní osy souřadného systému
A, B, C	Rotace kolem základních os X, Y, Z
U, V, W	Paralelní pohyb se základními osami
D	Korekce nástroje
F	Rychlost posuvu (uvádí se v mm na otáčku nebo mm na zub)
G	Funkce zpracovávající geometrické informace (přímka, kruh)
N	Identifikátor řádku programu

M	Pomocné funkce, které vyvolávají činnost strojních mechanismů
R	Identifikátor proměnné (aritmetický parametr)
S	Velikost otáček vřetene nebo hodnota řezné rychlosti (dle systému)
T	Volba nástroje

2.1.3 Vybrané geometrické a pomocné funkce

Za adresou funkce následuje významová část, která se skládá z číselné hodnoty. Tato hodnota definuje určitou funkci CNC stroje (např. zapnutí a vypnutí otáček vřetene, volba pracovní roviny, definice posuvu, výměna nástroje, atd.). V níže uvedených tabulkách 2.2 a 2.3 lze vidět významy vybraných geometrických a pomocných funkcí, se kterými pracuje řídicí systém Sinumerik 840D sl. [23].

Tab. 2.2 Význam vybraných geometrických funkcí [24].

Funkce	Význam
G0	Lineární interpolace rychloposuvem
G1	Lineární interpolace pracovním posuvem
G2 (G3)	Kruhová interpolace ve směru hodinových ručiček (G3 – proti směru hodinových ručiček)
G4	Časová prodleva
G17–G19	Volba pracovní roviny X/Y (G18 – Z/X, G19 – Y/Z)
G40	Vypnutí korekce poloměru nástroje
G41 (G42)	Zapnutí korekce poloměru nástroje pro sousledné frézování (G42 – nesousledné frézování)
G54–G57	Absolutní posunutí nulového bodu
G58–G59	Inkrementální posunutí nulového bodu
G70 (G71)	Zadávání dráhy nástroje v palcích (G71 – v milimetrech)
G74	Nájezd do referenčního bodu
G90	Absolutní programování
G91	Inkrementální programování
G92	Omezení otáček stroje
G94	Zadávání posuvu v mm za minutu
G95	Zadávání posuvu v mm za otáčku
G96	Zapnutí konstantní řezné rychlosti
G97	Vypnutí konstantní řezné rychlosti (konstantní otáčky)

Tab. 2.3 Význam pomocných funkcí [23].

Funkce	Význam
M0	Programové zastavení (včetně zastavení vřetena a chlazení)
M3 (M4)	Spuštění vřetena ve směru hodinových ručiček (proti směru hodinových ručiček)
M5	Zastavení vřetena
M6	Výměna nástroje
M08 (M09)	Zapnutí chlazení (vypnutí chlazení)
M17	Konec podprogramu
M30	Konec programu

2.1.4 Využití cyklů

Za účelem zjednodušení a zkrácení ISO programu se využívá programování s použitím cyklů. Dané cykly jsou přizpůsobené požadované technologii obrábění a díky grafické podpoře výrazně zlehčují tvorbu NC programu. Na začátku programu jsou definovány parametry nutné pro samotný proces řízení stroje (např. pracovní rovina, nulový bod obrobku, způsob programování, jednotky, aj.). Dále se pracuje s podprogramy, ve kterých jsou definovány kontury obráběné součásti. Tyto kontury jsou následně vyvolávány v samotném cyklu. Při programování pomocí cyklů se nástroje vždy po splnění daného cyklu vrátí do výchozích souřadnic. V níže uvedených tabulkách 2.4 a 2.5 jsou pro představu uvedeny některé soustružnické a frézovací cykly [23, 25].

Tab. 2.4 Vybrané soustružnické cykly řídicího systému Sinumerik 840D sl. [26].

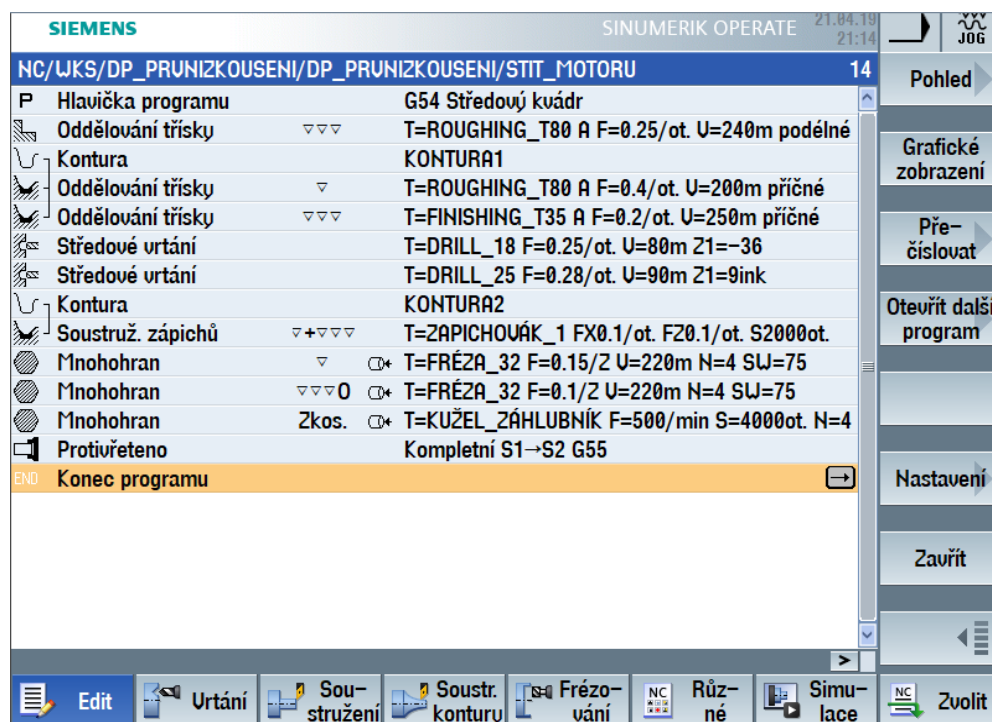
Cyklus	Význam
CYCLE930	Tvorba zápichů
CYCLE940	Tvorba odlehčovacích zápichů
CYCLE951	Oddělení třísky
CYCLE952	Oddělení třísky za pomoci definované grafické křivky (kontury)
CYCLE99	Soustružení vnějších a vnitřních závitů
CYCLE98	Řetězení závitů
CYCLE92	Upichování

Tab. 2.5 Vybrané frézovací cykly řídicího systému Sinumerik 840D sl. [26].

Cyklus	Význam
CYCLE70	Frézování závitů
SLOT1	Frézování podélné drážky
POCKET3 (4)	Frézování pravoúhlé kapsy (kruhové kapsy)
CYCLE61	Rovinné frézování
CYCLE 72	Frézování po dráze
CYCLE 76 (77)	Frézování pravoúhlého čepu (kruhového čepu)
CYCLE60	Gravírování
CYCLE800	Transformace souřadného systému

2.2 Dílensky orientované programování

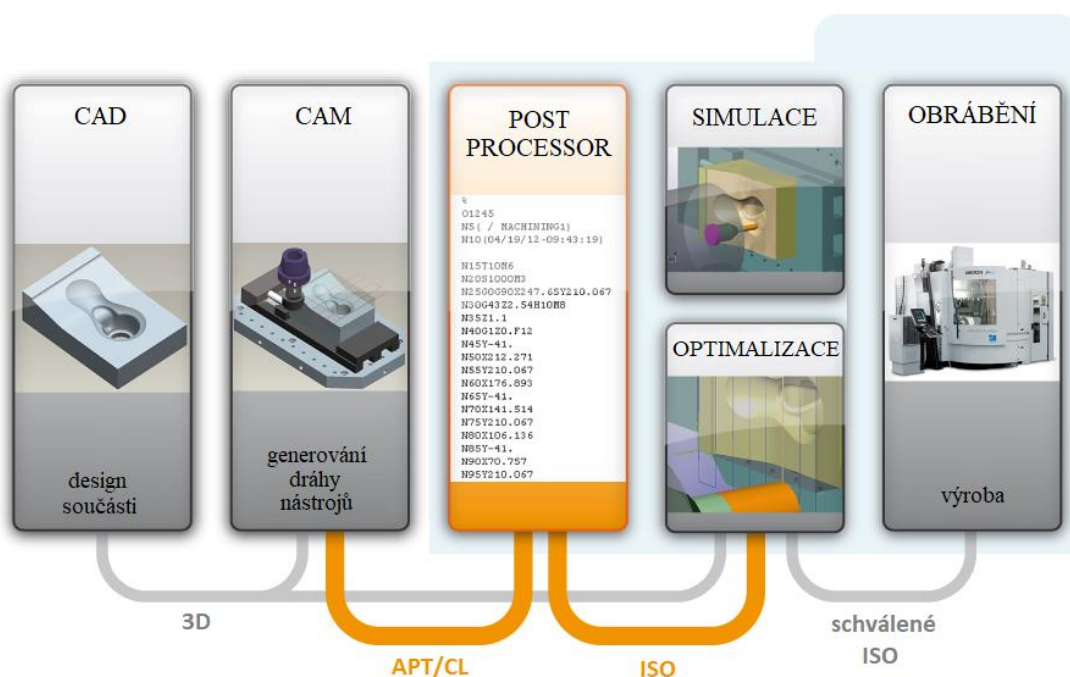
Nástupem tzv. dílensky orientovaného programování přišla možnost programovat přímo na stroji. To samozřejmě vedlo ke zkrácení a zjednodušení přípravy NC programu. Ve své podstatě se jedná o ISO programování s podporou cyklů, která je podporovaná grafickými návody a proto není nutná znalost programovacího jazyka v takové míře, jako u ISO programování. Dílensky orientované programování nabízí Sinumerik pod názvy ShopMill pro frézování a ShopTurn pro soustružení. Na obrázku 2.3 je ukázka NC programu vytvořeném v dílensky orientovaném prostředí ShopTurn.



Obr. 2.3 – Ukázka NC programu v dílensky orientovaném prostředí.

2.3 CAD/CAM

Současná doba se nese v duchu neustále stoupajících požadavků na výrobek, jeho kvalitu, zvýšení produktivity, optimalizace obráběcího času a mnoho dalších. Proto se programování tvarově složitějších dílců realizuje CAD/CAM metodou. CAD – Computer Aided Design (počítačem podporované navrhování) znamená tedy vytvoření 3D modelu (lze zpracovat i 2D) a CAM – Computer Aided Manufacturing (počítačem podporované výroba) se stará o generování drah nástrojů a dalších aspektů potřebných pro přípravy procesu obrábění. Výstupem z CAM systému je APT nebo CL soubor, který následně postprocesor převede na soubor čitelný daným obráběcím strojem. Na obrázku 2.4 je znázorněn průběh od designu po obrábění [42].



Obr. 2.4 – Postup CAD/CAM programování podle [43].

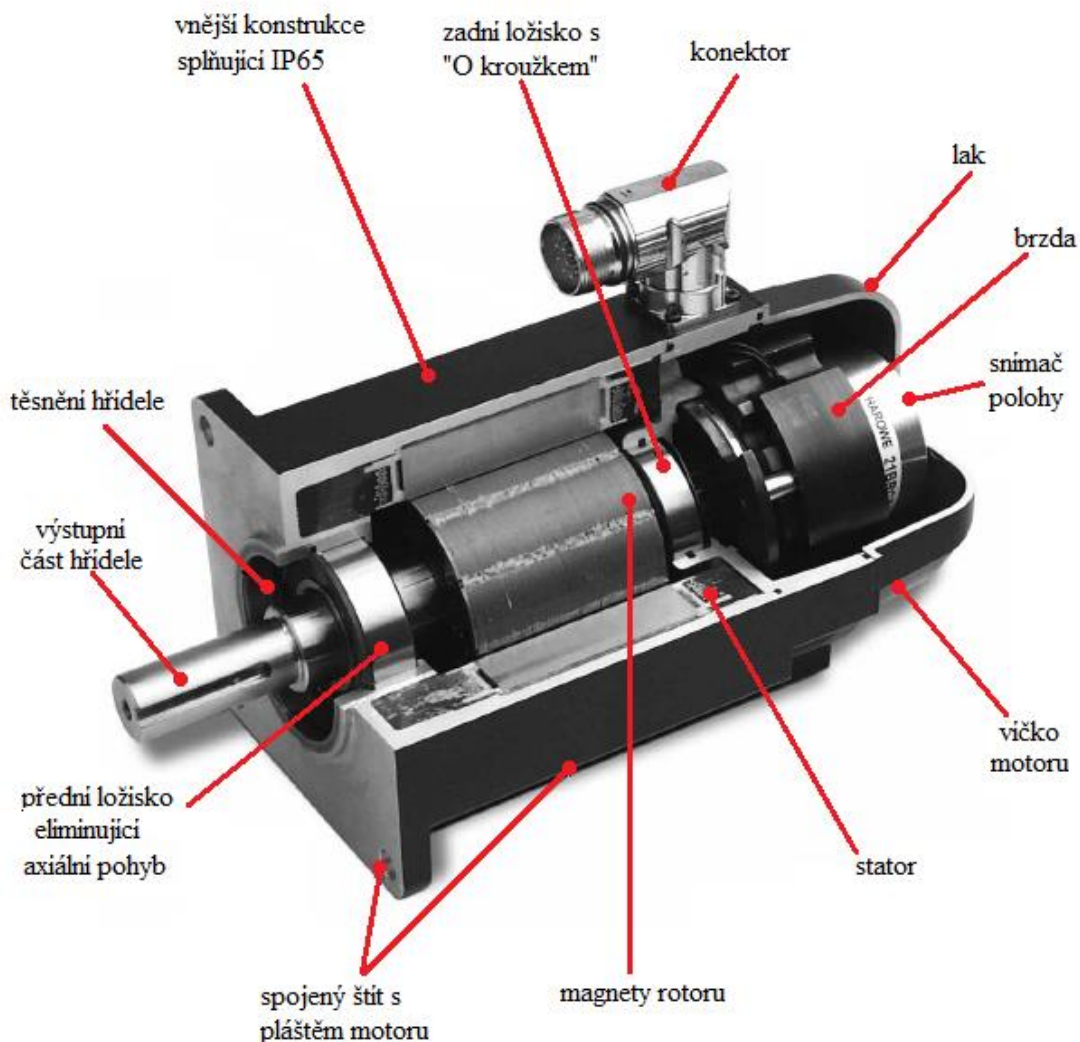
- **CAD reader**

CAD reader je integrované rozšíření řídicího systému Sinumerik 840D sl., které výrazně ulehčuje tvorbu programu. Pracuje s DXF soubory a umožňuje nahrávat výkresy přímo do Sinumeriku. Následně je možné vybrat určitou část kontury z výkresu a převést do programu. Tyto kontury se automaticky převedou na dráhové elementy. CAD reader umožňuje mimo převádění kontur také přenos pozičních vzorů pro vrtání. Při importu jsou zohledněny čáry, body, křivky a vrstvy výkresu [61].

3 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY

V této kapitole je popsán návrh, zpracování technické dokumentace a technologický postup výroby vybraných součástí. Pro názorné ukázky byly vybrány součásti ze strojírenské praxe, které se reálně používají při montáži servomotoru. Tyto servomotory se následně mohou využít např. jako pohon obráběcích strojů, robotů, aj. Konkrétně se jedná se o hřídel rotoru a štít motoru. Výrobní dávka těchto součástí není dána, jelikož se vyrábí v závislosti na objednávce zákazníka. Z tohoto důvodu je důležitá pružnost při změně výroby a tudíž co nejmenší seřizovací časy.

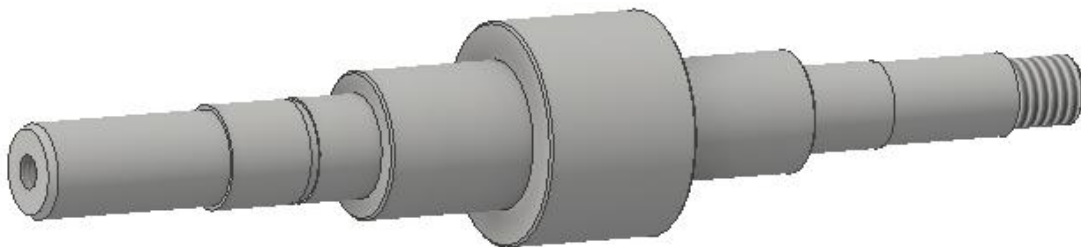
Kapitola obsahuje nejprve návrh první součásti – hřídele. Začíná volbou materiálu a určením polotovaru. Následuje volba strojů, nástrojů a režných podmínek potřebných pro výrobu této součásti. To samé pro druhou součást – štít motoru. U druhé součásti jsou navrženy dvě výrobní možnosti (soustružení vs. kombinace frézování se soustružením), které jsou pak porovnány. Na obrázku 3.1 je podobný typ motoru, ve kterém by vybrané součásti mohly být použity.



Obr. 3.1 – Řez a popis komponent elektromotoru podle [44].

3.1 Obráběná součást hřídel rotoru

Hřídel rotoru slouží v elektromotoru pro přenos krouticího momentu, který pak slouží k dalšímu využití (například jako pohon obráběcích center, robotů, aj.). Jedná se o namáhanou část, což klade zvýšené požadavky na výrobu i následnou montáž. Na největším průměru je nalisováno rotorové vinutí, které díky elektromagnetické indukci pomáhá indukovat v rotoru napětí a tím roztočit rotor. Dále se na hřídeli nachází snímač polohy umožňující řízení motoru pomocí řídicí jednotky a brzda. Na hřídeli jsou nalisována dvě valivá ložiska. Jedno ložisko je zajištěno pojistným kroužkem, kde je tedy nutné soustružit drážku. Druhé ložisko je axiálně zajištěné hranou statoru. Průměry hřídele pod oběma ložisky jsou následně broušeny. Model součásti hřídele je na obrázku 3.2 a výrobní výkres v příloze 1. Technologický postup výroby součásti je v příloze 3.



Obr. 3.2 – Model součásti hřídele.

3.1.1 Volba materiálu

Základními požadavky na materiál hřídele rotoru jsou:

- dobrá obrobiteľnosť,
- odolnosť vŕči korozi,
- nemagnetické chování.

Tyto požadavky splňuje korozivzdorná chrom-niklová ocel 1.4305 dle ČSN EN 10088-3 (ČSN 17 243). Parametry tohoto materiálu jsou v tabulkách 3.1 a 3.2.

Tab 3.1 – Procentuální složení oceli 1.4305 dle ČSN EN 10088-3 [27].

C	Cr	Ni	Mn	Mo	Ti	Si
<0,10	17,0–19,0	8,0–10,0	<2,0	0	0	0

Tab. 3.2 – Mechanické vlastnosti oceli 1.4305 dle ČSN EN 10088-3 [27].

Materiál	Mez pevnosti v tahu [MPa]	Mez pevnosti v kluzu [MPa]
1.4305 (17 243)	500–700	190

Vlastnosti [27]:

- tzv. automatová nerez (vhodná pro strojové obrábění),
- dobře obrobiteľná,
- nemagnetická (častý zbytkový magnetismus),
- obtížně svařitelná (nedoporučuje se),
- vhodná pro třískové obrábění,
- leštiteľná (leštění zvyšuje odolnost vůči korozi).

Polotovar:

Z tohoto materiálu je použit tyčový polotovar průměru 28 mm, který je dělen na pásové pile na délku $137 \pm 0,2$ mm.

3.1.2 Strojové vybavení

Výroba hřídele probíhá na třech strojích. Nejprve dělením materiálu na pásové pile Pegas-Gonda 230x280 GH-LR, dále soustružením dle NC programu na SP 280SY a nakonec broušením na hrotové brusce BUA 25 CNC.

3.1.2.1 Pásová pila Pegas-Gonda 230x280 GH-LR

Jedná se o gravitační pásovou pilu, která koná pracovní pohyb pomocí vlastní hmotnosti ramene. Pila je určena pro dělení materiálu v kolmých i úhlových řezech od 0 do 60 stupňů vpravo a od 0 do 45 stupňů vlevo. V tabulce 3.3 jsou uvedeny základní parametry pily. Pila je znázorněna na obrázku 3.3 [28].

Tab. 3.3 – Základní parametry pily Pegas Gonda 230x280 GH-LR [28].

Max.rozsah (tyč)	150 mm
Max.rozsah (trubka)	230 mm
Max.rozsah (čtyřhran)	280 mm x 210 mm
Výkon	1,1 kW
Řezná rychlost	35–70 m·min ⁻¹
Hmotnost	320 kg
Rozměr (L x B x H)	1650 mm x 885 mm x 1350 mm



Obr. 3.3 – Pásová pila Pegas-Gonda 230x280 GH-LR [28].

3.1.2.2 CNC soustruh SP 280SY

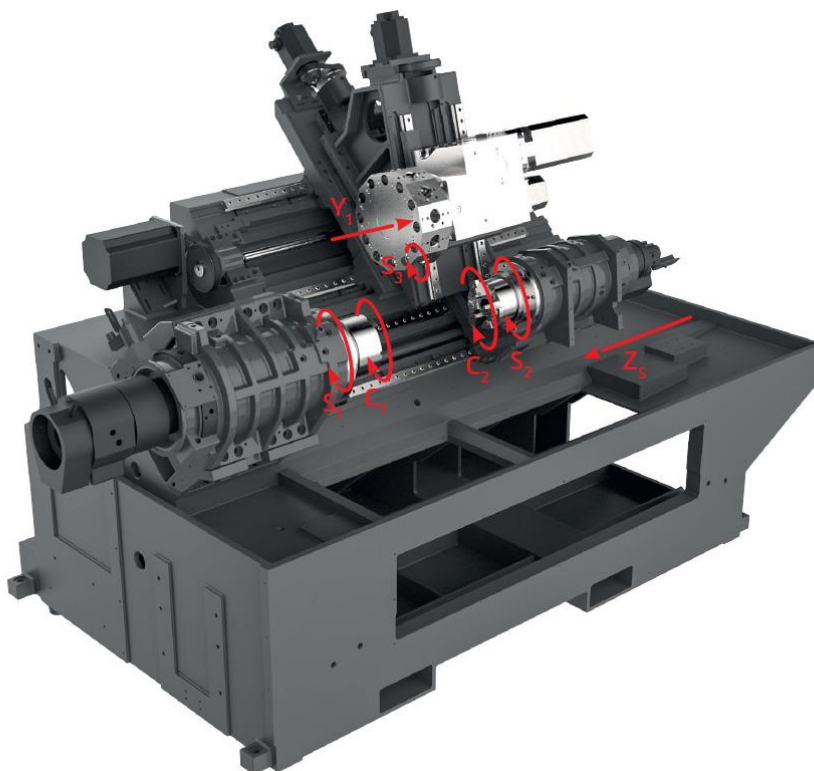
Pro soustružení je použit CNC řízený soustruh od společnosti Kovosvit MAS a.s řady SP 280. Tato řada nabízí několik modulárních řešení, které lze navolit dle požadavků. Modulární řada SP 280SY nabízí možnost obrábět jak v hlavním vřetenu tak i v protivřetenu. Soustruh zobrazen na obrázku 3.4. Konfigurace řady SP 280SY na obrázku 3.5. Základní parametry stroje v tabulce 3.4 [29].



Obr. 3.4 – CNC soustruh SP 280SY [30].

Tab 3.4 – Základní parametry stroje SP 280SY [30].

Oběžný průměr na ložem	570 mm
Max. průměr soustružení	280 mm
Max. délka soustružení	450 mm
Otáčky vřetena	4700 min ⁻¹
Otáčka protivřetena	6000 min ⁻¹
Počet poloh nástrojové hlavy	12
Hmotnost [kg]	7900 kg
Rozměr (L x B x H)	3875 mm x 2122 mm x 2345 mm



Obr. 3.5 –Konfigurace řady SP 280SY [29].

3.1.2.3 Hrotová bruska BUA 25 CNC

Hrotová bruska určená pro kusovou i sériovou výrobu umožňující broušení vnitřních i vnějších ploch rotačních těles. Tento stroj obsahuje řídicí systém Schneider Electric, který je vytvořen dle požadavků zákazníka. Posun v podélné i příčné ose je pomocí kuličkového šroubu a servomotoru. Stroj je zobrazen na obrázku 3.6. Základní parametry jsou uvedeny v tabulce 3.5 [31].



Obr. 3.6 – Hrotová bruska BUA 25 CNC [31].

Tab 3.5 – Základní parametry stroje BUA 25 CNC.

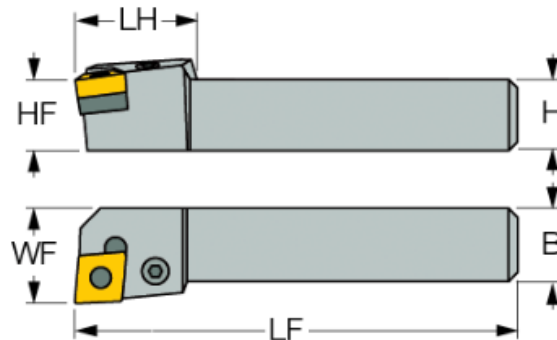
Broušený průměr	280 mm
Max. délka	1000 mm
Nejmenší krok v podélné ose	0,001 mm
Rychlost v podélné ose	0,001–60 mm·s ⁻¹
Nejmenší krok v příčné ose	0,0005 mm
Minimální rychlost v příčné ose	0,0005 mm·s ⁻¹
Hmotnost [kg]	3300 kg
Rozměr (L x B x H)	3800 mm x 2300 mm x 1700 mm

3.1.3 Nástrojové vybavení – soustružení

Jelikož dělení materiálu a broušení nejsou součástí simulace, není zde podrobně rozepsána volba nástrojů. Nástroje jsou pouze vypsány v tech.postupu.

- **Hrubování**

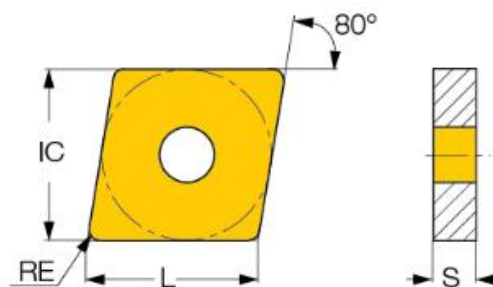
Pro vnější hrubování a zarovnání čela je použit ubírací stranový nůž PCLNR 2525M-12 s úhlem nastavení hlavního ostří 95° . Jedná se o nožový držák s vysokotlakým chlazením pro kosočtvercové destičky s úhlem 80° . Tvar držáku je znázorněn na obrázku 3.7 a rozměry v tabulce 3.6. Vyměnitelná břitová destička je použita CNMG 120404-GN, která se vyznačuje vysokou houževnatostí a odolností proti opotřebení. Nanášená vrstva povlaku je z $\text{TiCn} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiN}$ a povlak je nanášen způsobem CVD. Tvar znázorněn na obrázku 3.8 a rozměry v tabulce 3.7 [32, 33].



Obr. 3.7 – Nožový držák PCLNR 2525M-12 [32].

Tab. 3.6 – Rozměry nožového držáku PCLNR 2525M-12 [32].

H [mm]	HF [mm]	B [mm]	LF [mm]	LH [mm]	WF [mm]	λ_s [°]	γ_0 [°]
25	25	25	150	27,8	32	-6	-6



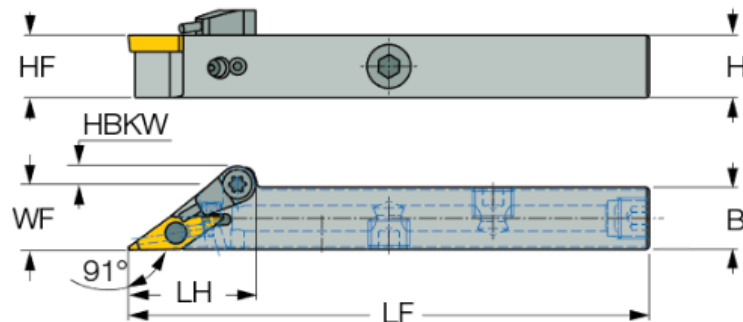
Obr. 3.8 – VBD typ CNMG 120404-GN [33].

Tab. 3.7 – Rozměry a řezné podmínky CNMG 120404-GN [33].

L [mm]	IC [mm]	S [mm]	RE [mm]	f [mm]	a_p [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
12,9	12,7	4,76	0,4	0,14–0,4	1,0–4,0	190–320

- **Dokončování**

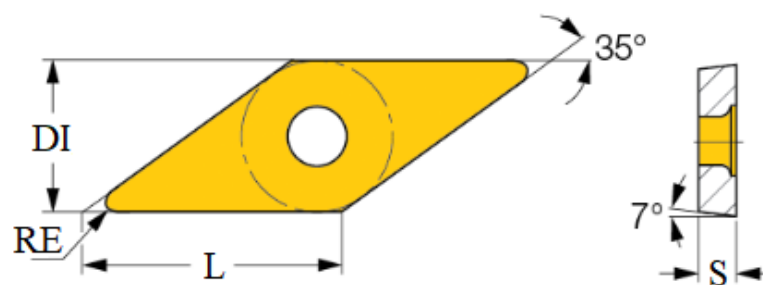
Pro vnější dokončovací operaci a odlehčovací zápichy je použit ubírací stranový nůž PVACR 1010H-11S-JHP s úhlem nastavení hlavního ostří 91° . Jedná se o nožový držák s vysokotlakým chlazením pro kosočtvercové destičky s úhlem 35° . Je znázorněn na obrázku 3.9 a jeho rozměry v tabulce 3.8. K tomuto držáku je vybrána kosočtvercová destička s úhlem hřbetu 7° , která je vhodná pro obrábění nerezových slitin. Jedná se o povlakovanou destičkou povlakem TiAlN+TiN. Tvar destičky je na obrázku 3.10 a rozměry v tabulce 3.9 [34, 35].



Obr. 3.9 – Nožový držák PVACR 1010H-11S-JHP [34].

Tab. 3.8 – Rozměry nožového držáku PVACR 1010H-11S-JHP [34].

H [mm]	HF [mm]	B [mm]	LF [mm]	LH [mm]	WF [mm]
10	10	10	100	20	10,2



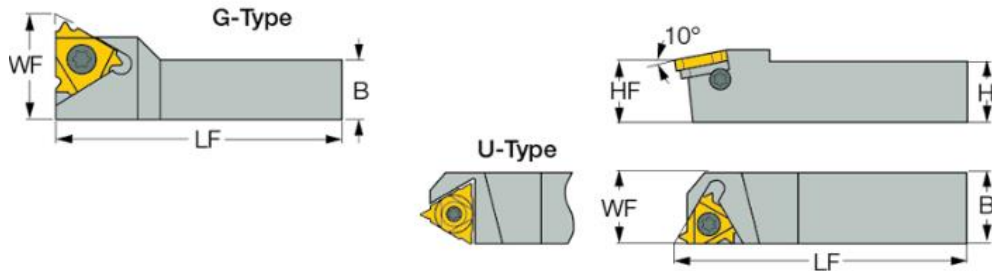
Obr. 3.10 – VBD typ VCMT 110302-F3M [35].

Tab. 3.9 – Rozměry a řezné podmínky VCMT 110302-F3M [35].

L [mm]	DI [mm]	S [mm]	RE [mm]	f [mm]	a_p [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
11,1	6,35	3,18	0,2	0,03–0,14	0,06–1,7	100–300

- **Vnější závit M8x1.25**

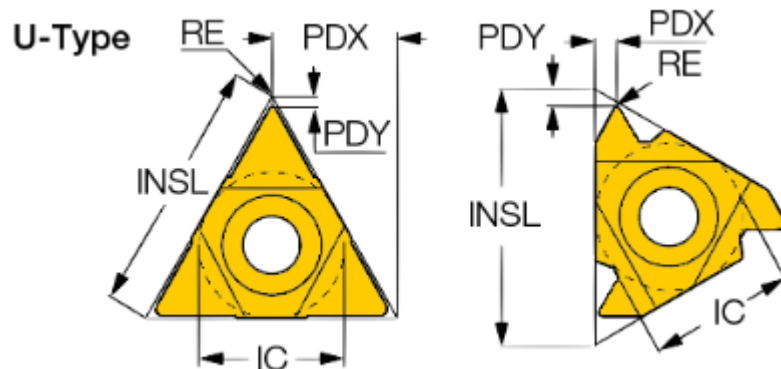
Vnější závit M8x1.25 je řezán závitníkem SER 1616 H16 (viz obr. 3.11). Rozměry držáku viz tabulka 3.10. Jedná se o závitník s VBD o vrcholovém úhlu 60° (viz obr. 3.12), který je tedy vhodný pro metrický závit. Tyto destičky jsou vybeveny utvařečem třísky a jsou obvodově broušeny. Díky použití TiAlN PVD povlaku jsou tyto VBD vysoce odolné proti vyštipování, opotřebení a oxidaci. Destička je použitelná pro stoupání 0,5 až 1,5. Rozměry destičky v tabulce 3.11 [36, 37].



Obr. 3.11 – Nožový držák typu SER 1616 H16 pro závitovací destičky [36].

Tab. 3.10 – Rozměry držáku SER 1616 H16 [36].

H [mm]	HF [mm]	B [mm]	LF [mm]	WF [mm]
16	16	16	100	16



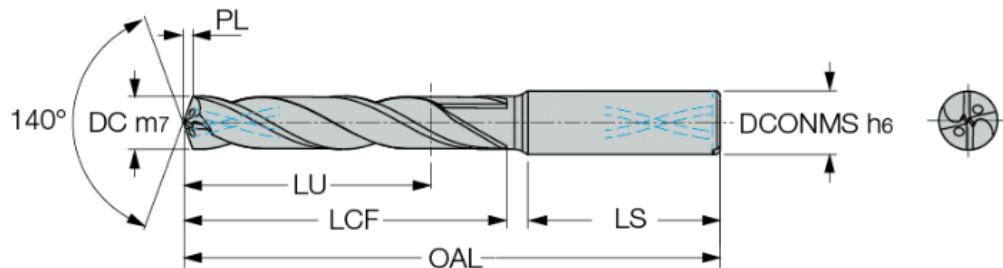
Obr. 3.12 – VBD typ 16ER A60 [37].

Tab. 3.11 – Rozměry a doporučená řezná rychlost pro VBD 16ER A60 [37].

IC [mm]	RE [mm]	INSL [mm]	PDY [mm]	PDX [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
9,52	0,06	16,49	0,8	0,9	85–122

- **Vrtání díry Ø3,3 pro závit**

Pro vnitřní závit M4x0,7 je nejdříve nutno vyvrtat otvor o průměru 3,3 mm. Otvor je vyvrtán monolitním vrtákem ze slinutého karbidu s vnitřním chlazením, kterým je možno vrtat až do délky pětinasobku vrtaného otvoru. Vrták je opatřen TiAlN PVD povlakem pro lepší odolnost proti opotřebení, oxidaci a vyštipování. Je znázorněn na obrázku 3.13 a rozměry jsou v tabulce 3.12 [38].



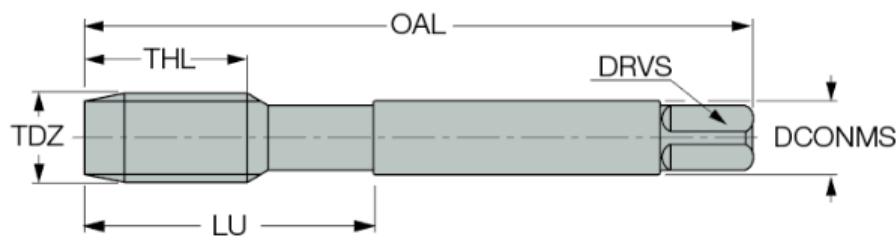
Obr. 3.13 – Monolitní vrták ze SK typu SCD 033-023-060 ACP5N [38].

Tab. 3.12 – Rozměry monolitního vrtáku ze SK typu SCD 033-023-060 ACP5N [38].

DC [mm]	DCONMS [mm]	OAL [mm]	LU [mm]	LCF [mm]	PL [mm]	LS [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
3,3	6,0	66,0	23,0	28,0	0,6	30,0	30–65

- **Vnitřní závit M4x0,7**

Pro řezání vnitřního závitu M4x0,7 je použit strojní závitník typu TPS M-4x0.7M z rychlořezné oceli pro mětrické závity s hrubým stoupáním. Je vybrána varianta závitníku s PVD povlakem TiN, díky kterému lze použít dvakrát vyšší řeznou rychlost, než u závitníku bez povlaku. Na obrázku 3.14 je náčrt použitého nástroje a v tabulce 3.13 jeho rozměry a doporučená řezná rychlost [39].



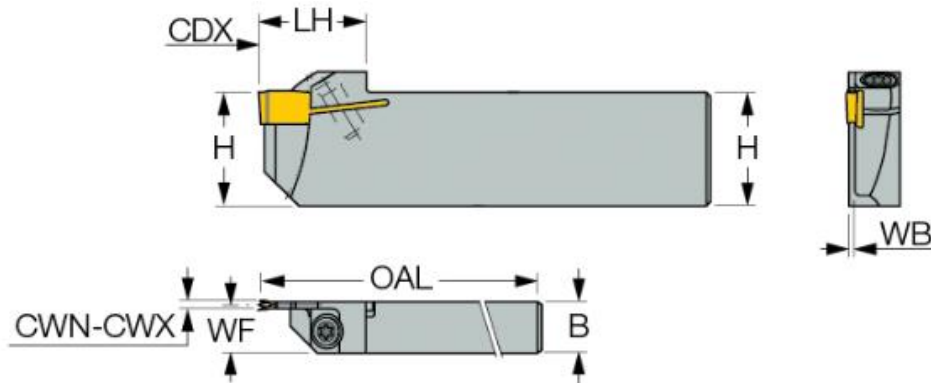
Obr. 3.14 – HSS závitník typu TPS M-4x0.7M [39].

Tab. 3.13 – Rozměry a dop. řezná rychlost pro HSS závitník TPS M-4x0.7M [39].

TDZ [mm]	TP [mm]	DCONMS [mm]	LU [mm]	OAL [mm]	THL [mm]	NOF [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
M4	6,0	4,50	21,0	63,0	7,0	3	8–15

- **Zápich pro pojistný kroužek**

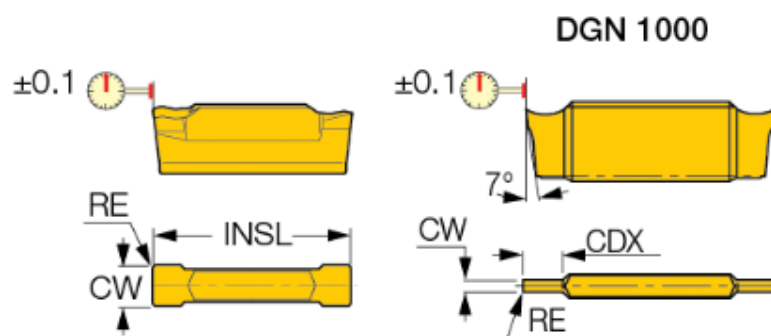
Na hřídeli o $\varnothing 12$ mm je drážka pro pojistný kroužek o šířce 1,1 mm a hloubce 0,25 mm. Pro tuto operaci je použit zpevněný zapichovací soustružnický nůž DGTR-2009B-1.5T9SH (viz obr. 3.15) s oboustrannou destičkou DGN 1000P (viz obr. 3.16). Rozměry jsou v tabulce 3.14. VBD má pozitivní úhel čela a ostrou řeznou hranu. Je opatřena TiCn+TiN PVD povlakem a je vysoce odolná proti vrubovému opotřebení a tvorbě nárůstku. Rozměry a doporučené řezné podmínky v tabulce 3.15 [40].



Obr. 3.15 – Zapichovací soustružnický nůž DGTR 2009B-1.5T9SH [40].

Tab. 3.14 - Rozměry soustružnického nože DGTR 2009B-1.5T9SH [40].

CWN [mm]	CWX [mm]	CDX [mm]	H [mm]	B [mm]	LH [mm]	OAL [mm]	WB [mm]	WF [mm]
1,0	1,5	9,0	20	9,0	19,0	100,0	1,2	8,4



Obr. 3.16 – VBD typu DGN 1000P [41].

Tab. 3.15 – Rozměry a doporučené řezné podmínky pro DGN 1000P [41].

CWN [mm]	RE [mm]	INSL [mm]	CDX [mm]	f_{min} [mm]	f_{max} [mm]	V_c [m·min ⁻¹]
1,0	0,05	20,0	3,0	0,02	0,05	50–130

3.1.4 Řezné podmínky

Řezné podmínky se určí vzhledem k navrženým nástrojům, obráběnému materiálu a možností stroje. Správným nastavením podmínek se dá podstatně zefektivnit proces obrábění.

Při hrubování je třeba ubrat co nejvíce materiálu za krátký čas. Je tedy zvolena vyšší hloubka záběru i posuv. Po hrubování následuje dokončování (obrábění na čisto), které má za úkol vyrovnat nerovnosti po hrubování a přiblížit povrch finální podobě součásti. Zde je tedy vyšší řezná rychlost při malé hloubce záběru a nižší hodnotě posuvu.

Řezné podmínky (viz tab. 3.16) pro jednotlivé vychází ze vztahu 3.1.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.1)$$

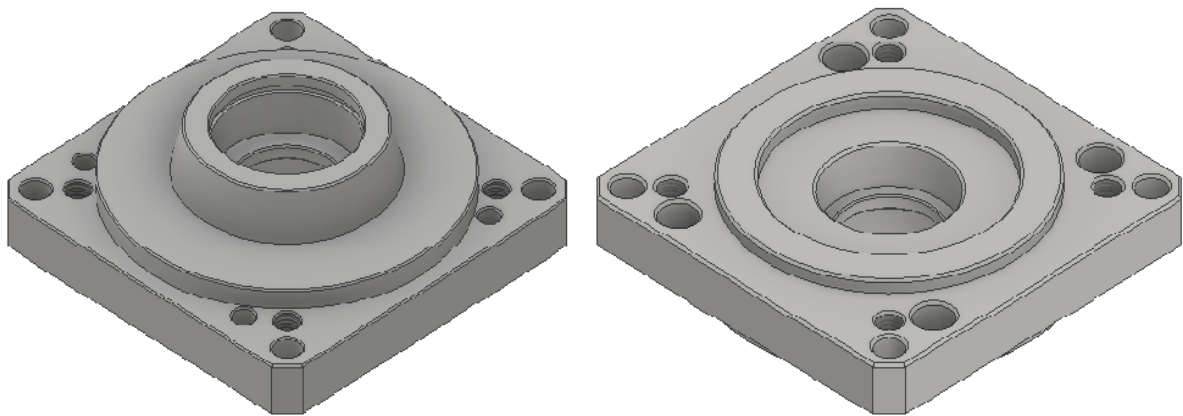
Tab. 3.16 – Řezné podmínky pro uvedené operace.

Nástroj a příslušná operace	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]
Ubírací stranový nůž vnější soustružní hrubovací	250	2744	0,2	3
Ubírací stranový nůž vnější soustružní dokončovací	300	3672	0,1	0,4
Závitník s VBD soustružení vnějšího závitu	80	3180	-	-
Vrták Ø 3,3 vrtání otvoru pro závit	40	3858	0,2	-
Závitník M4x0,7 soustružení vnitřního závitu	9	716	-	-
Zapichovací nůž soustružení zápichu	80	2122	0,03	1

3.2 Obráběná součást štít motoru

Štít motoru se nachází na spodní části, ze které vystupuje hřídel. Může mít různý tvar, v některých případech je celistvým společně se statorem. Tento štít je ovšem spojovaný se statorem pomocí čtyř šroubů M5. Ke štítu může být dále přiděláno další příslušenství – většinou se jedná o převodovku. Výrobní výkres této součásti je uveden v příloze 2.

Součást je vyrobena ve dvou variantách – první variantou je kombinace frézovacího stroje se soustružnickým a druhou variantou je použití pouze soustružnického stroje. 3D model součásti viz obr. 3.17. Technologický postup výroby první varianty je v příloze 4.



Obr. 3.17 – 3D Model štítu motoru.

3.2.1 Volba materiálu

Požadavky na zvolený materiál jsou zejména chemická stálost (aby mohl být motor použit pro chemický či zdravotnický průmysl), odolnost proti korozi a možnost eloxování. Všechny tyto požadavky splňuje slitina **AlSi1MgMn**. Chemické složení a vlastnosti slitiny jsou uvedeny v tabulkách 3.17 a 3.18.

Vlastnosti materiálu AlSi1MgMn:

- chemická stálost (vhodný pro potravinářský průmysl),
- velmi dobrá svařitelnost,
- dobrá eloxovatelnost,
- leštitelnost,
- dobrá obrobitelnost,
- ve vytvrzeném stavu pevnost v tahu 301 MPa,
- odolnost proti korozi.

Tato slitina se díky vyšší pevnosti využívá především pro konstrukční prvky různých aplikací. Velké využití nachází například jako lešenářské prvky, části železničních vozů, rámy kamionů, konstrukční prvky v námořním průmyslu, plošiny, hydraulické systémy, aj. [45].

Tab. 3.17 – Chemické složení slitiny AlSi1MgMn [45].

Doprovodný prvek	Obsah prvku v %	
	min	max
Si	0,7	1,3
Fe	-	0,5
Cu	-	0,1
Mn	0,4	1
Mg	0,6	1,2
Cr	-	0,25
Zn	-	0,2
Ti	-	0,1

Tab. 3.18 – Fyzikální a chemické vlastnosti slitiny AlSi1MgMn [45].

Hustota	2700 kg·m ⁻³
Teplota tavení	585–650 °C
Součinitel tepelné vodivosti	170–220 W·m ⁻¹ ·K ⁻¹
Měrná elektrická vodivost	24–32 MS·m ⁻¹
Součinitel tepelné roztažnosti	23,4 · 10 ⁻⁶ ·K ⁻¹
Modul pružnosti	70 GPa
Mez pevnosti v tahu	310 MPa
Smluvní mez kluzu	260 MPa
Tažnost	10 %
Tvrdość podle Brinella	95 HB

Polotovar:

Z tohoto materiálu je použit tyčový polotovar čtvercového průřezu 80x80 mm, který bude dělen na pásové pile na délku $29 \pm 0,2$ mm.

3.2.2 Strojové vybavení

Výroba štítu začíná dělením materiálu na pásové pile Pegas-Gonda 230x280 GH-LR. Dále se pak volí vhodná varianta mezi soustružnickým obráběcím centrem SP 280SY a kombinací stejného soustružnického a frézovacího stroje MCFV 1060.

Pásová pila Pegas-Gonda 230x280 GH-LR i soustružnické centrum SP 280SY jsou stejné jako pro výrobu hřídele, tudíž jsou v této kapitole popsány pouze technické specifikace vertikálního obráběcího centra MCFV 1060.

Vertikální obráběcí centrum MCFV 1060

Jedná se o vysoce produktivní stroj, který najde své uplatnění pro širokou škálu technologií. Stroj pracuje ve třech osách a je vhodný pro obrábění součástí do 1350 kg. Je zvolena varianta stroje s elektrovřetenem ISO 40 a automatickým zásobníkem s kapacitou 30 nástrojů. Využití nachází při frézování, vrtání, vystružování, zahlubování a řezání závitů. Stroj je znázorněn na obrázku 3.18 a základní technické specifikace jsou v tabulce 3.19 [46].



Obr. 3.18 – Vertikální obráběcí centrum MCFV 1060 [46].

Tab. 3.19 – Základní parametry stroje MCV 1210 [46].

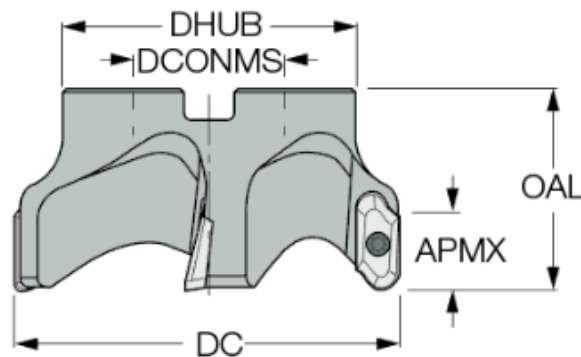
Osa X – pojezd (pracovní stůl)	1050 mm
Osa Y – pojezd (křížový suport)	640 mm
Osa Z (vřeteník)	800 mm
Rozměry pracovního stolu	1320 x 620 mm
Max. rozměry obrobku	1000 x 800 x 700 mm
Maximální zatížení	1350 kg
Hmotnost [kg]	7700 kg
Rozměr (L x B x H)	2750 mm x 2120 mm x 3065 mm
Maximální otáčky	15 000 min ⁻¹
Maximální výkon	31 kW
Maximální krouticí moment	197 Nm

3.2.3 Nástrojové vybavení – frézování

Volba nástrojů pro soustružení byla již v kapitole 3.1.3, tak pro tuto součást jsou nástroje vypsány pouze v technologickém postupu. Níže je podrobně rozepsáno nástrojové vybavení pro frézovací operace.

- **Čelní frézování**

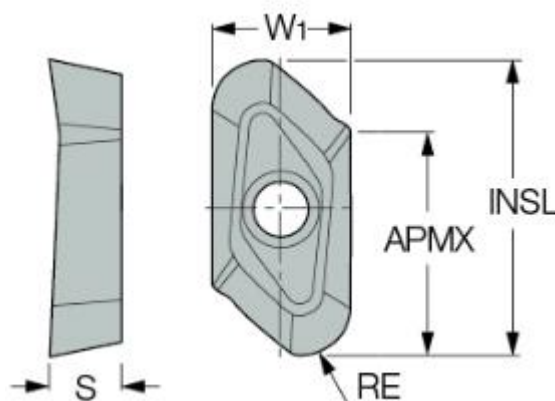
První operací je čelní frézování polotovaru za pomoci čelní tříbřité frézy HM90 FAL-D063-27-22 (viz obr. 3.19) určené pro obrábění hliníkových slitin. Technické specifikace frézy jsou v tabulce 3.20. Hliníkové slitiny patří mezi lépe obrobitelné materiály, tudíž jsou použity vyměnitelné břitové destičky bez povlaku. Zvolená destička nese název HM90 APCR 220640R-P (viz obr. 3.20). Její rozměry a specifikace jsou v tabulce 3.21 [47, 48].



Obr. 3.19 – Čelní fréza HM90 FAL-D063-27-22 [47].

Tab. 3.20 – Specifikace čelní frézy HM90 FAL-D063-27-22 [47].

DC [mm]	APMX [mm]	OAL [mm]	DHUB [mm]	DCONMS [mm]
63	20,5	50	62	27



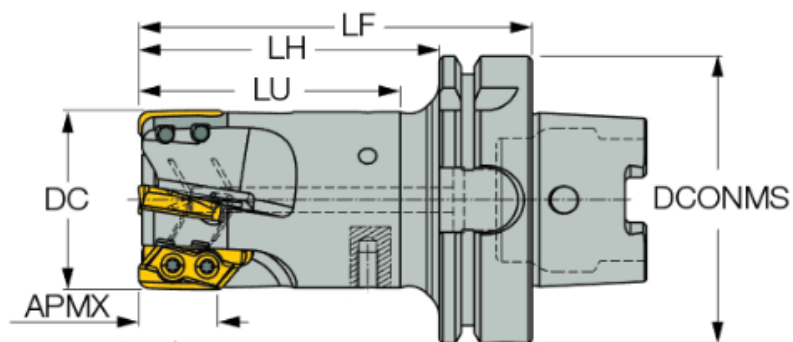
Obr. 3.20 – VBD typ HM90 APCR 220640R-P [48].

Tab. 3.21 – Rozměry a řezné podmínky HM90 APCR 220640R-P [48].

W1 [mm]	RE [mm]	APMX [mm]	INSL [mm]	S [mm]	f _z [mm]	v _c [m·min ⁻¹]
13,72	4,0	20,0	29,0	6,6	0,2–0,3	400–560

- **Obvodové frézování**

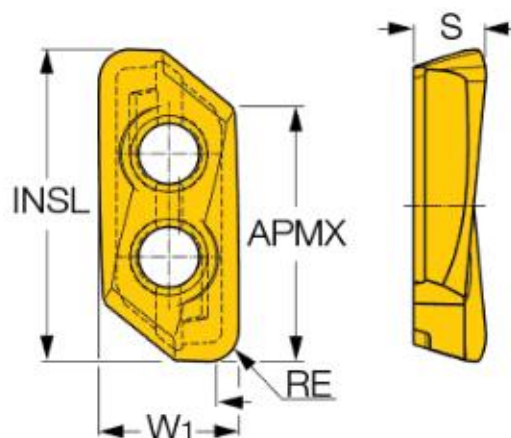
Po čelním frézování následuje frézování obvodu polotovaru za pomoci stopkové frézy s integrálním adaptérem pro super pozitivní destičky. Fréza HSM90SFD-HSK A63/80-22 (viz obr. 3.21) je v kombinaci se čtyřmi super pozitivními destičkami HSM90S APCR 220716R-P (viz obr. 3.22) vhodnou volbou pro obrábění hliníkových slitin při vysokých otáčkách. Technické specifikace frézy a použité destičky je uvedena v tabulkách 3.22 a 3.23.



Obr. 3.21 – Stopková fréza typu HSM90SFD50-4-63A/80MQL-22 [49].

Tab. 3.22 – Specifikace frézy HSM90SFD50-4-63A/80MQL-22 [49].

DC [mm]	APMX [mm]	LU [mm]	LH [mm]	LF [mm]	DCONMS [mm]
50	22	73,1	84	100	80



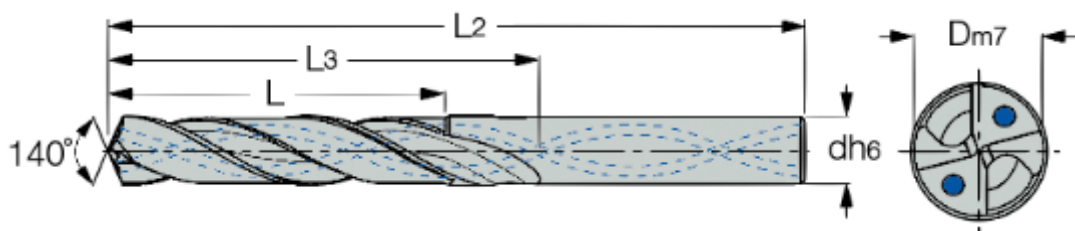
Obr. 3.22 – VBD typ HSM90S APCR 220716R-P [50].

Tab. 3.23 – Rozměry a řezné podmínky HM90 APCR 220640R-P [50].

W1 [mm]	RE [mm]	APMX [mm]	INSL [mm]	S [mm]	f _z [mm]	v _c [m·min ⁻¹]
13,10	1,6	20	29,1	6,9	0,15–0,30	750–850

- **Vrtání Ø20**

Třetí operací je vrtání otvoru o průměru 20 mm. Otvor bude následně frézován na Ø 25H7 a Ø 45. Požadovaná hloubka otvoru je 26 mm. Pro tuto operaci je tedy zvolen monolitní vrták ze slinutého karbidu s vnitřním chlazením o možnosti hloubky vrtání až pětinasobku průměru vrtáku. Jedná se o typ SCD 200-077-200 ACP5 (viz obr. 3.23). Specifikace nástroje jsou v tabulce 3.24.



Obr. 3.23 – Monolitní vrták ze SK typu SCD 200-077-200 ACP5 [51].

Tab. 3.24 – Specifikace monolitního vrtáku SCD 200-077-200 ACP5 [51].

D [mm]	D [mm]	L [mm]	L3 [mm]	L2 [mm]
20,0	20,0	77,0	101,0	153,0

- **Frézování Ø25H7, Ø45**

Pro oba otvory je použita tříbřitá monolitní fréza ze slinutého karbidu s břity pod úhlem 45° a vnitřním chlazením. Nástroj je vhodný pro obrábění hliníku. Menší otvor bude následně vystružen s ohledem na toleranci díry H7. Tříbřitá monolitní fréza ECR-B316-14/60C16R.2A109C je znázorněna na obr. 3.24 a její specifikace v tabulce 3.25.



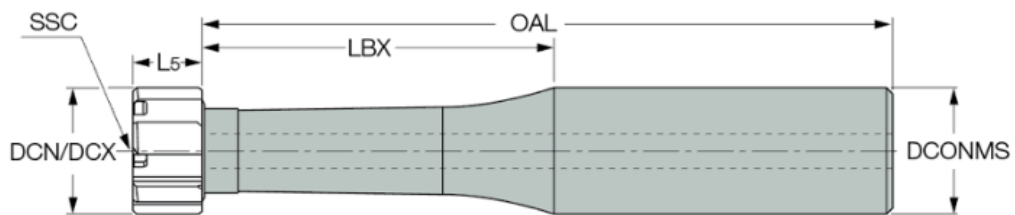
Obr. 3.24 – Monolitní fréza ze slinutého karbidu ECR-B3-R-C [52].

Tab. 3.25 – Specifikace monolitní frézy ze slinutého karbidu ECR-B3-R-C [52].

DC [mm]	DCONMS [mm]	LH [mm]	OAL [mm]	APMX [mm]	FHA [°]	RE [mm]	f_z [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
16	16	60	109	14	45	0,2	0,1–0,25	750–850

- **Vystružování Ø25H7**

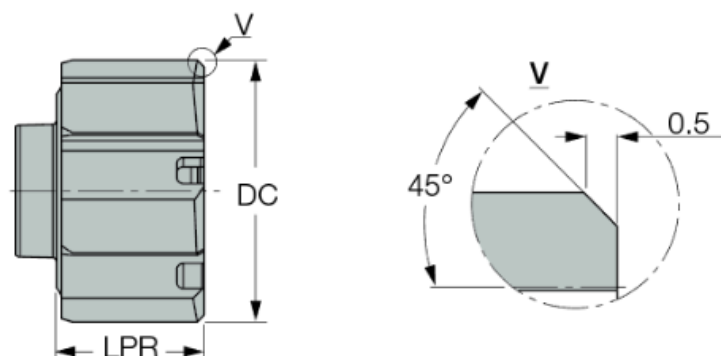
Nástrojem pro vystružování slepého otvoru je vyměnitelná karbidová vystružovací hlavice RM-BN8-25.000-H7SA (viz obr. 3.25) s přímými břity určená pro rychlostní vystružování s tolerancí H7. Hlavice je upnuta ve válcovém držáku RM-BNT8-3D-20C (obr. 3.26 a tab. 3.26). Specifikace výstružníku jsou v tabulce 3.27.



Obr. 3.25 –Válcový držák typu RM-BNT8-3D-20C [53].

Tab. 3.26 – Specifikace držáku RM-BNT8-3D-20C [53].

DCN [mm]	DCX [mm]	LBX [mm]	OAL [mm]	L5 [mm]	DCONMS [mm]
20,001	25,400	75	125	12,9	20



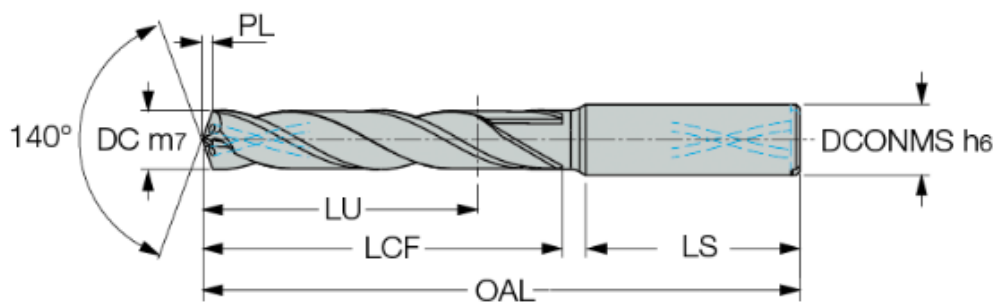
Obr. 3.26 – Vystružovací hlavice RM-BN8-25.000-H7SA [54].

Tab. 3.27 – Specifikace vystružovací hlavice typu RM-BN8-25.000-H7SA [54].

DC [mm]	LPR [mm]	Počet břitů [-]	f_z [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
25	12,9	8	0,11–0,22	150–400

- **Vrtání děr Ø4,3 a Ø5,8**

Jelikož se na součásti vyskytují čtyři díry pro zápusný šroub o průměru 4,3 mm je tento typ vrtáku použit i pro předvrtání díry pro závity M5 (z hlediska úspory času při výměně nástroje). Celkem je tedy v této operaci vrtáno 8 děr o průměru 4,3 mm a čtyři díry o průměru 5,8 mm. Pro tento účel jsou použity monolitní vrtáky ze slinutého karbidu SCD-ACP5N (viz obr. 3.27) s vnitřním chlazením, které jsou použitelné pro hloubku vrtání až do pětinasobku průměru vrtáku. Specifikace vrtáků jsou uvedeny v tabulkách 3.28 a 3.29.



Obr. 3.27 – Monolitní vrták ze SK typu SCD-ACP5N [55].

Tab. 3.28 – Specifikace vrtáku Ø4,3 SCD 043-029-060 ACP5N [55].

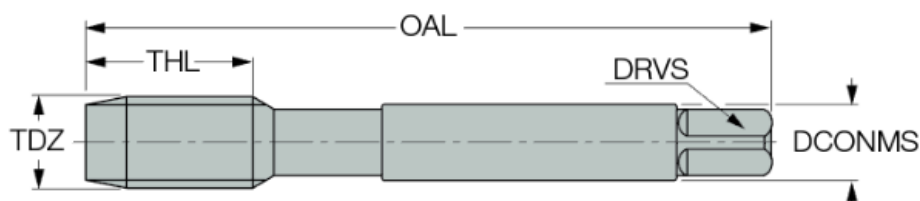
DC [mm]	DCONMS [mm]	OAL [mm]	LU [mm]	LCF [mm]	PL [mm]	LS [mm]
4,3	6,0	74,0	29,0	36,0	0,78	35,0

Tab. 3.29 – Specifikace vrtáku Ø5,8 SCD 058-035-060 ACP5N [56].

DC [mm]	DCONMS [mm]	OAL [mm]	LU [mm]	LCF [mm]	PL [mm]	LS [mm]
5,8	6,0	82,0	35,0	44,0	1,06	35,0

- **Vnitřní závit M5x0,5**

Pro řezání vnitřních závitů M5x0,5 je použit strojní závitník pro metrické závitky s jemným stoupáním typu TPS MF-5x0.5M. Na obrázku 3.28 je závitník zobrazen a jeho specifikace jsou v tabulce 3.30.



Obr. 3.28 – HSS závitník typu TPS MF-5x0.5M [57].

Tab. 3.30 – Rozměry a dop. řezná rychlost pro HSS závitník TPS MF-5x0.5M [57].

TDZ [mm]	TP [mm]	OAL [mm]	THL [mm]	DCONMS [mm]	DRVS [mm]	NOF [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
M5	0,5	70,0	5,0	3,5	2,7	3	25–35

- **Zahloubení Ø7,5**

Pro zápusťnou hlavu šroubu je vyfrézováno zahloubení o Ø 7,5 mm. Pro toto zahloubení je použita tříbřitá monolitní karbidová fréza s břity pod úhlem 45° s děleným ostřím a odlehčeným krčkem (vhodná pro obrábění hliníkových slitin). Název nástroje je ECR-B3 06-09/21W06R02A57. Fréza je znázorněna na obrázku 3.29 a její specifikace v tabulce 3.31.



Obr. 3.29 – Fréza typu ECR-B3-R [58].

Tab. 3.31 – Specifikace frézy ECR-B3 06-09/21W06R02A57 [58].

DC [mm]	RE [mm]	APMX [mm]	OAL [mm]	DCONMS [mm]	FHA [°]	f_z [mm]	v_c [m·min ⁻¹]
6	0,2	9,0	57,0	6	45	0,03–0,07	750–850

- **Sražení hran**

Na závěr jsou sraženy všechny hrany v délce 0,5 mm pod úhlem 45°. Pro tuto operaci je použit kuželový záhlubník.

3.2.4 Řezné podmínky

Po navržení strojů a nástrojů je třeba nastavit řezné podmínky, které jsou velice podstatné pro efektivní obrábění. Pro frézování jsou důležité otáčky vřetene, posuv a posuvová rychlost.

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

Značí obvodovou rychlost na průměru, na kterém břit koná řezný proces. Vztahuje se k nástroji a je tedy je specifikována výrobcem nástroje. Výpočet řezné rychlosti se řídí výpočtovým vztahem 3.2 [59].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.2)$$

- **Otáčky vřetene – n [min^{-1}]**

Udávají počet otáček nástroje upnutém ve vřeteni stroje za jednu minutu. Hodnota otáček se tedy váže k obráběcímu stroji a vypočítá se z průměru nástroje a jeho řezné rychlosti. Vypočtenou hodnotu otáček je nutné porovnat s možnostmi stroje, zda takovou hodnotu vůbec povoluje. Výpočet uveden ve vztahu 3.3 [59].

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (3.3)$$

- **Rychlost posuvu – v_f [$mm \cdot min^{-1}$]**

Jedná se o posuv nástroje vůči obrobku. Pro její výpočet je třeba znát posuv na otáčku (f) nebo posuv na zub (f_z). Rychlost posuvu pak získáme vynásobením posuvu na otáčku a otáček nástroje (resp. posuvem na zub, počtem zubů a otáček nástroje). Výpočty jsou zřejmé ze vztahů 3.4 a 3.5 [59].

$$f = f_z \cdot z \quad (3.4)$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = f \cdot n \quad (3.5)$$

Dle uvedených výpočtových vztahů jsou vypočteny řezné podmínky pro jednotlivé operace. Hodnoty jsou uvedené v tabulce 3.32.

Tab. 3.32 – Řezné podmínky pro uvedené operace.

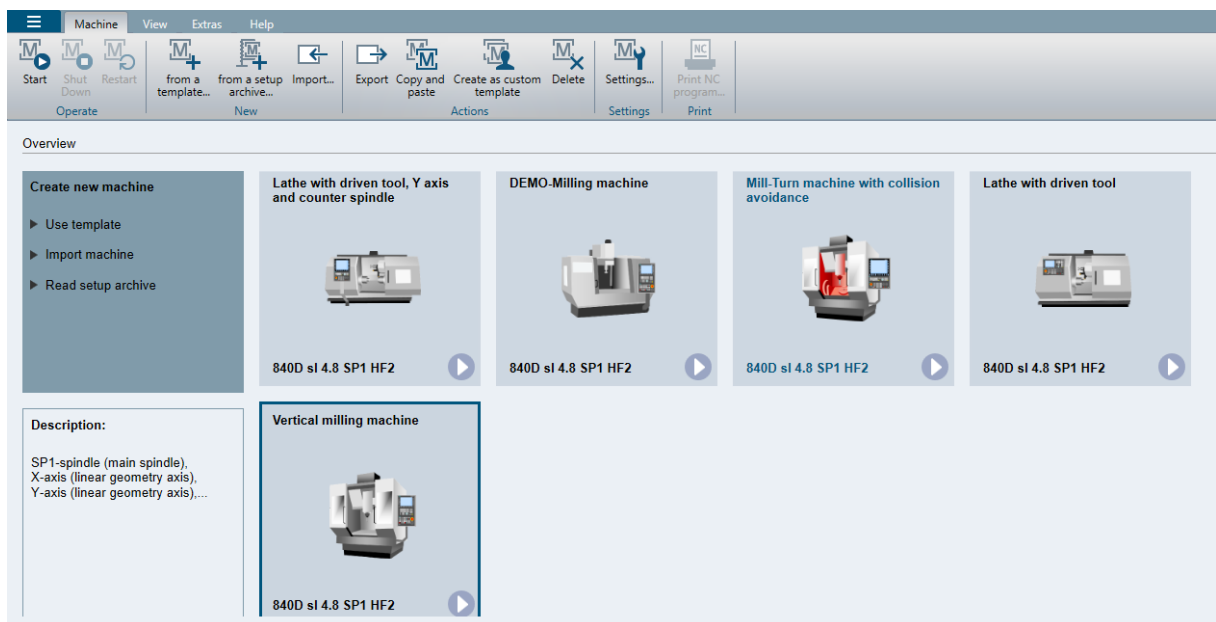
Nástroj a příslušná op.	v_c [m·min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f_z [mm]	f [mm]	v_f [mm·min ⁻¹]	a_p max [mm]
Čelní fréza Ø63 rovinné frézování hrubovací	500	2526	0,25	0,75	1894	20,5
Čelní fréza Ø63 rovinné frézování dokončovací	550	2778	0,25	0,75	2084	20,5
Stopková fréza Ø50 obvodové frézování hrubovací	750	4774	0,2	0,8	3819	20
Stopková fréza Ø50 obvodové frézování dokončovací	800	5093	0,2	0,8	4074	20
Vrták Ø20 vrtání otvoru	145	2307	0,4	0,8	1845	-
Vrták Ø4,3 vrtání otvorů	180	13324	0,1	0,2	2664	-
Vrták Ø5,8 vrtání otvorů	180	9878	0,1	0,2	1975	-
Výstružník Ø25 výstružování	250	3183	0,15	1,2	3819	-
Monol.fréza Ø16 frézování kapsy	800	13500	0,10	0,3	4050	14
Monol.fréza Ø6 frézování kapsy	800	12000	0,06	0,18	2160	9
Závitník M5 řezání závitů	30	1909	-	-	-	-

4 TVORBA A SIMULACE NC PROGRAMŮ

V této kapitole jsou popsány tvorby jednotlivých NC programů v simulátoru od společnosti Siemens – SinuTrain Sinumerik Operate verze 4.8 SP1. Nejdříve je stručně popsáno prostředí tohoto programu a následuje tvorba jednotlivých programů. Jedna součást je vytvořena metodou ISO programování a druhá v dílensky orientovaném prostředí.

- **SinuTrain – úvod**

Při spuštění programu je nejdříve nutné vybrat stroj. Demoverze softwaru SinuTrain nabízí simulátory 8 strojů. Před vytvořením šablony je nutné nastavit požadované rozlišení a jazyk stroje. V nabídce se nachází dvě tzv. „demoverze stroje“, které nabízí možnost ukládat vytvořené programy na externí úložiště. Tato možnost není u ostatních strojů povolena. Příklad vytvořených šablon strojů viz obr. 4.1.



Obr. 4.1 – Úvodní obrazovka SinuTrain Operate.

Po konfiguraci stroje lze vygenerovat nový NC program. SinuTrain nabízí výběr mezi programem pomocí G-kódu nebo dílensky orientovaným prostředím. Druhá varianta se liší v závislosti na použitém stroji. Pokud je vybrán soustruh, tak se prostředí nazývá ShopTurn. V případě použití frézovacího stroje se jedná o ShopMill. V názvu programu nesmí být použita diakritika a mezery.

4.1 NC program výroby hřídele

Program pro výrobu hřídele je vytvořen pomocí G-kódu, jak již bylo naznačeno. Celý NC program je uveden v příloze 5. Níže jsou popsány vybrané kroky z tohoto NC programu.

4.1.1 Tvorba NC programu ISO kód

Výroba je navržena pro stroj SP 280SY, pro který je nutné zvolit v SinuTrain nějaký ekvivalent. Simulace výroby hřídele je tedy uskutečněna na soustruhu s poháněnými nástroji, protivřetenem a možností pohybu v ose Y. Tento stroj byl zvolen spíše s ohledem na druhou součást, kde bude třeba využít frézování z čelní strany obráběné součásti.

Po zvolení stroje je možné zadat do zásobníku nástroje (viz obr. 4.2), které byly v předchozí kapitole definovány. Stroj nabízí kapacitu pro 20 nástrojů.

U nástrojů lze zadat:

- typ a název nástroje,
- rozměr nástroje,
- poloměr špičky,
- úhly držáku a destičky,
- délku destičky,
- smysl otáčení,
- použití rezné kapaliny.

Místo	Typ	Název nástroje	ST	D	Délka X	Délka Z	Rádus		Dél dest
1		Hrubovací nůž 1	1	1	150.000	32.000	0.400	← 95.0 80	12.9
2		Dokončovací nůž 1	1	1	100.000	10.000	0.200	← 91.0 35	11.1
3		Závítnový nůž vnější	1	1	100.000	0.000	0.060		16.5
4		Zapichovák	1	1	100.000	20.000	0.050	1.000	6.0
5		Urták D3.3	1	1	0.000	66.000	0.000	140.0	
6		Závítník M4x0.7	1	1	0.000	63.000	4.000	0.700	
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									

Obr. 4.2 – Seznam nástrojů.

- **Hlavička programu**

Jelikož se jedná o ISO programování, je nejprve zapsáno pár funkcí k organizaci celého programu.

G18 – volba pracovní roviny Z/X,

G54 – posunutí nulového bodu (stanovení lokálního počátku souř. systému),

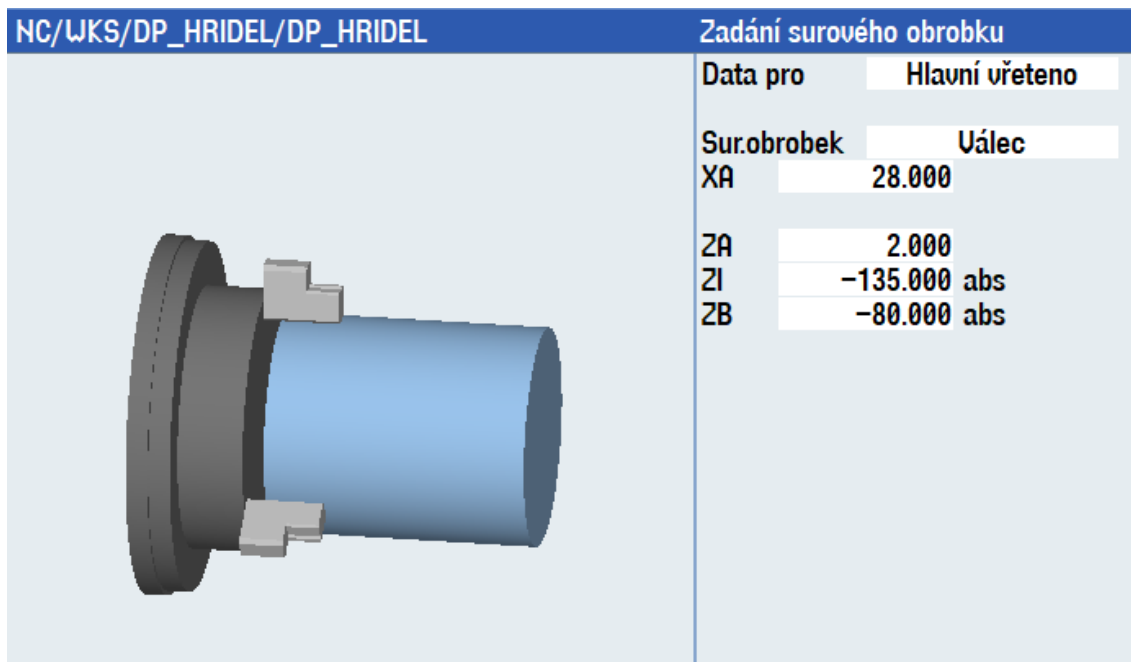
G71 – zadávání dráhy v milimetrech,

G90 – absolutní programování,

DIAMON – zadávání pomocí průměrů.

- **Volba polotovaru**

Prvním krokem v programu je definice polotovaru. Nejdříve je nutné kliknout na tlačítko „různé“ nacházející se na spodní vodorovné liště a poté vybrat na svislé liště možnost „surový obrobek“. Tím je vyvolána funkce pro zadání surového obrobku. Vyskakovací okno (viz obr. 4.3), které je podpořeno grafickým zobrazením, nese základní informace o polotovaru.



Obr. 4.3 – Zadání surového obrobku.

Nejdříve se zadává upnutí, kde se volí mezi hlavním vřetenem a protivřetenem. Dále pak tvar polotovaru (válec, trubka, středový kvádr, n-úhelník) a rozměry. Hodnoty jsou možné zadávat inkrementálně (přírůstkově) nebo absolutně.

XA – průměr válce,

ZA – počáteční rozměr (zadána hodnota 2, která značí přídavek na zarovnání čela),

ZI – konečný rozměr (hodnota celkové délky přířezu),

ZB – rozměr obrábění (rozměr od čela po sklíčidlo).

- **Zarovnání čela**

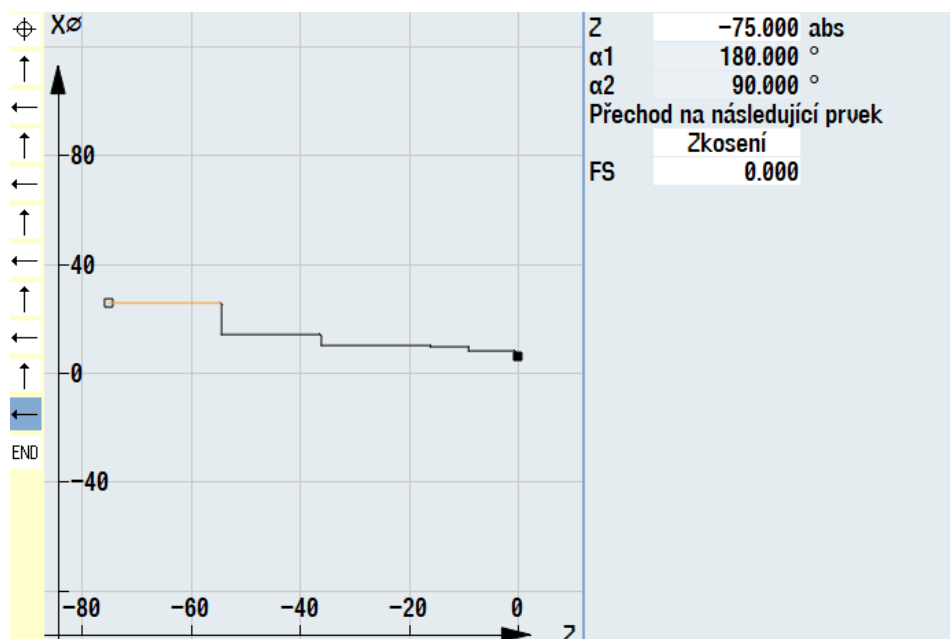
Jelikož je polotovar dělen na pásové pile, je nutné nejdříve zarovnat čelo a vyrovnat tím nerovnost povrchu. Nejprve je nutné zvolit nástroj, kterým je „hrubovací nůž 1“ uložený na prvním místě v zásobníku nástrojů. Následně je rychloposuvem najeto k součásti a provedeno zarovnání čela součásti, přičemž je odebráno 2 mm materiálu. Úsek NC programu odpovídající této operaci viz obr. 4.4.

```
N90 MSG("Zarovnání čela")¶
N100 G0 X160 Z100¶
N110 T="Hrubovací nůž 1" d1 M6¶
N120 G0 X40 Z5 ¶
N130 G96 S250 M4 M8¶
N140 G1 X32 Z0 F0.2¶
N150 G1 X-1¶
```

Obr. 4.4 – Zarovnání čela.

- **Hrubování podle kontury**

Pro soustružení základního tvaru hřídele je použita kontura, která je vytvořena jako podprogram a definuje přesný tvar součásti. Následně je v hlavním programu kontura vyvolána pomocí funkce „CYCLE62“. Podprogram musí být pro svou funkci vždy ukončen příkazem M17, který značí konec podprogramu. Tvar kontury zobrazen na obrázku 4.5.



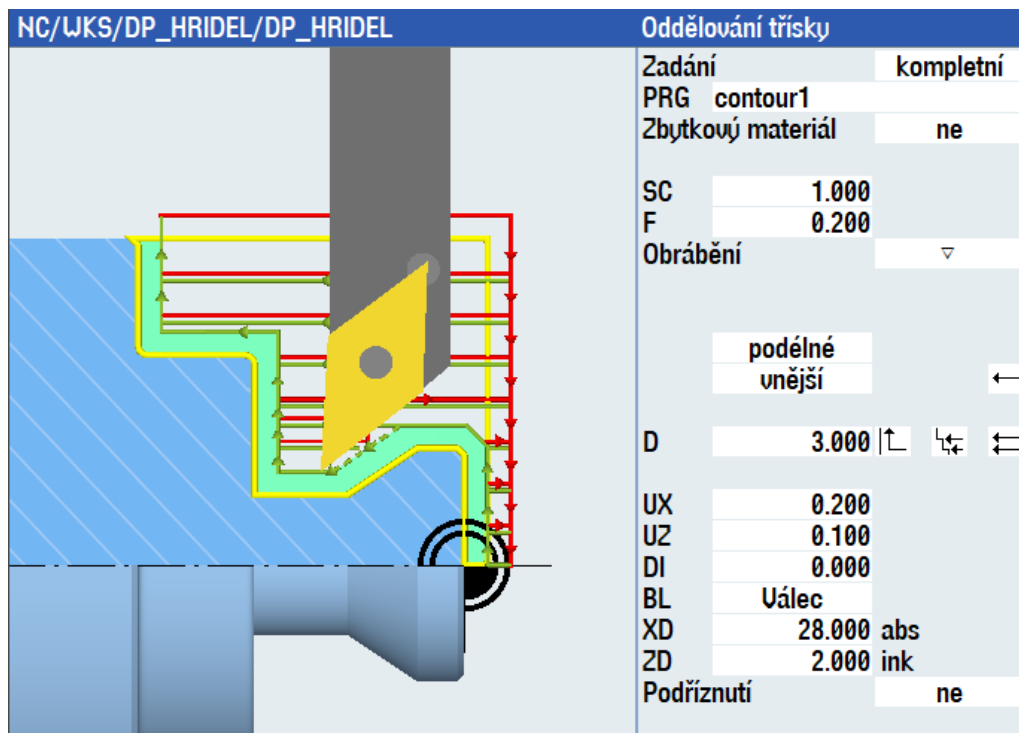
Obr. 4.5 – Kontura pravé části hřídele.

Pro hrubování je použit stejný nástroj jako na zarovnání čela, tudíž není třeba přejíždět do pozice výměny nástroje. Je tedy rychloposuvem pouze najeto k vnějšímu průměru. Na obrázku 4.6 je vidět úsek NC programu popisující hrubovací proces.

Samotné hrubování je provedeno pomocí funkce oddělování třísky „CYCLE952“, kde jsou definovány hodnoty posuvu, hloubka přísuvu, přídávky na dokončování, atd. Cyklus oddělování třísky je zobrazen na obrázku 4.7.

```
N160 MSG("Hrubování")¶
N170 G0 X32 Z5¶
N180 G96 S250 ¶
N190 CYCLE62("CONTOUR1", 0, , )¶
N200 CYCLE952("contour1", , "", 2101311, 0.2, 0, 0, 3, 0.1, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1, 0
```

Obr. 4.6 – Hrubování.



Obr. 4.7 – Cyklus oddělování třísky pro hrubování.

Zadání – volba zadávací masky (kompletní, zjednodušená),

PRG – název podprogramu (vytvořené kontury),

SC – bezpečná vzdálenost,

F – posuv,

Obrábění – hrubovací proces (tři trojúhelníky dokončovací, nebo kombinace obou),

Směr – podélné (příčné, paralelně s konturou),

Pozice – vnější (vnitřní),

D – maximální přísuv do hloubky,

UX – přídavek na dokončování v ose X,

UZ – přídavek na dokončování v ose Z,

BL – popis surového obrobku – válec (přídavek, kontura).

- **Dokončování podle kontury**

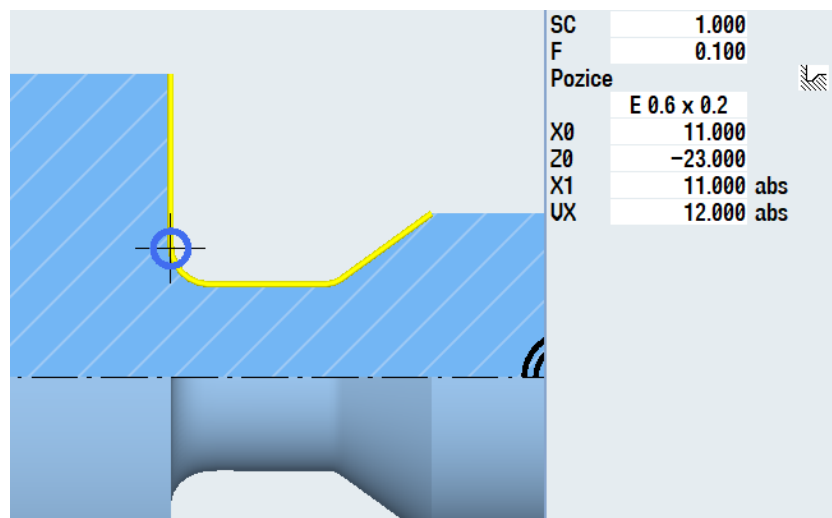
Dokončovací operace se provádí podle stejné kontury jako hrubování. Tím, že je použit nástroj s odlišnou geometrií břitu a jinými řeznými podmínkami, je docíleno lepšího povrchu součásti. Na obr. 4.8 je úsek popisující dokončovací soustružení.

```
N210 MSG("Dokončování")
N220 G0 X160 Z100
N230 T="Dokončovací nůž 1" d1 M6
N240 G96 S400
N250 G0 X32 Z4
N260 CYCLE62("CONTOUR1", 0, , )
N270 CYCLE952("contour1", , "", 2101321, 0.1, 0, 0, 2.5, 0.1, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1
```

Obr. 4.8 - Dokončování

- **Normalizované zápichy**

Na pravé části hřídele se nachází dva normalizované zápichy tvaru E, sloužící pro snadnější dokončování funkčních ploch a správné dosednutí součásti, které budou montovány na hřídeli. Tvar zápichů není nutné kreslit v kontuře, jelikož jsou již definovány v použitém cyklu pro normalizované zápichy („CYCLE940“). Cyklus je znázorněn na obrázku 4.9. Jako nástroj je použit stejný dokončovací nůž, kterým se provádí dokončovací soustružení (soustružení načisto).



Obr. 4.9 – cyklus pro normalizovaný zápich typu E.

SC – bezpečná vzdálenost,

F – posuv,

Pozice – zadává se pozice a typ zápichu (zleva/zprava a vnější/vnitřní),

Typ – velikost zápichu dle normy,

X0 – vztažný bod X,

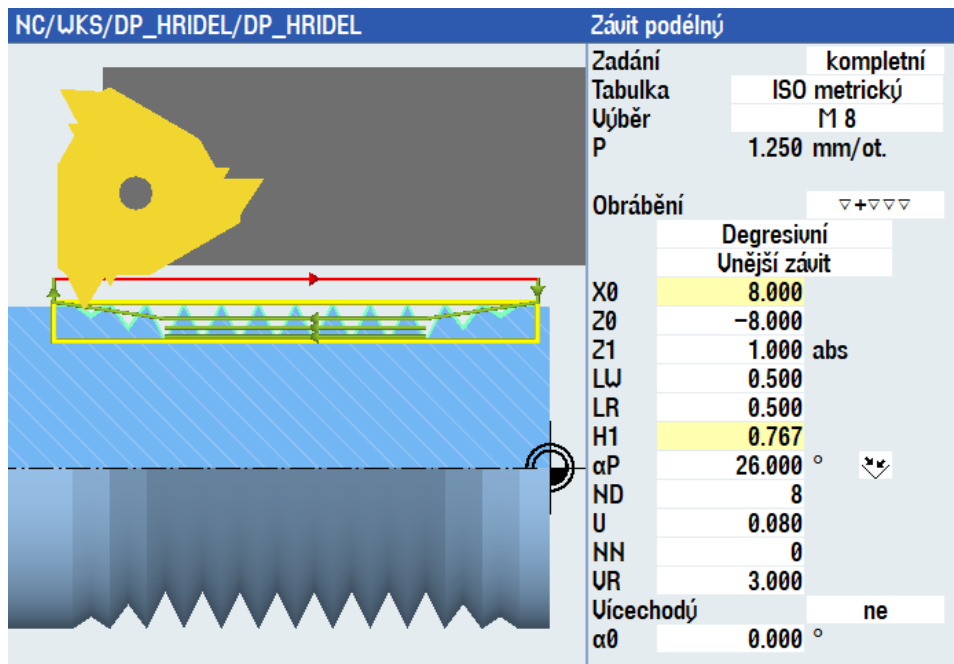
Z0 – vztažný bod Z,

X1 – přídavek v X,

VX – příčný pohyb.

- **Vnější závit M8x1.25**

Před samotným soustružením závitu byl nejprve soustružen zápich, aby se mohl závit lépe zhotovit. Soustružení závitu je zhotoveno pomocí cyklu na obrázku 4.10 „CYCLE99“ (závit podélný). Zhotovený závit je na obrázku 4.11.



Obr. 4.10 – Cyklus podélný závit.

Tabulka – výběr typu závitu (pokud je zadán, jsou automaticky vyplněny hodnoty rozteče, průměru a hloubky závitu),

P – rozteč závitu,

Přísuv – lineární (konst. šířka záběru ostří) nebo degresivní (konst. průřez třísky),

Typ – vnější nebo vnitřní závit,

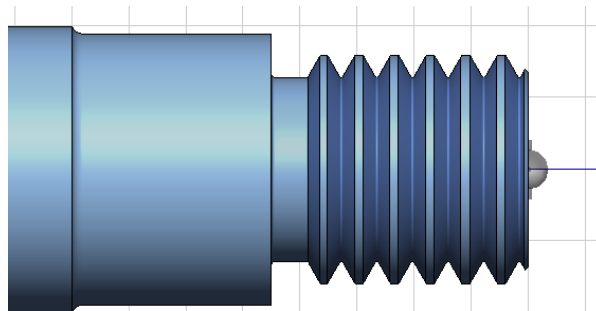
H1 – hloubka závitu,

ND – počet hrubovacích operací,

U – přídavek na dokončení,

NN – počet průchodů bez záběru,

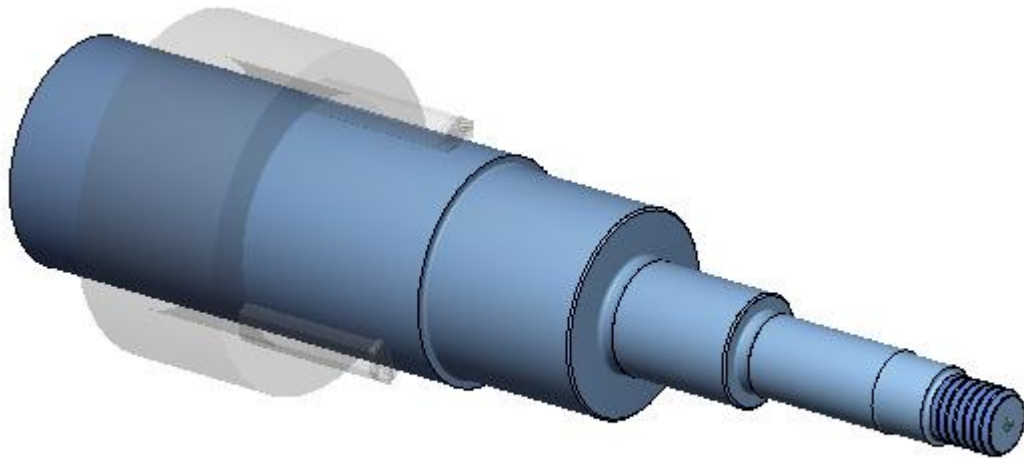
VR – návratová vzdálenost.



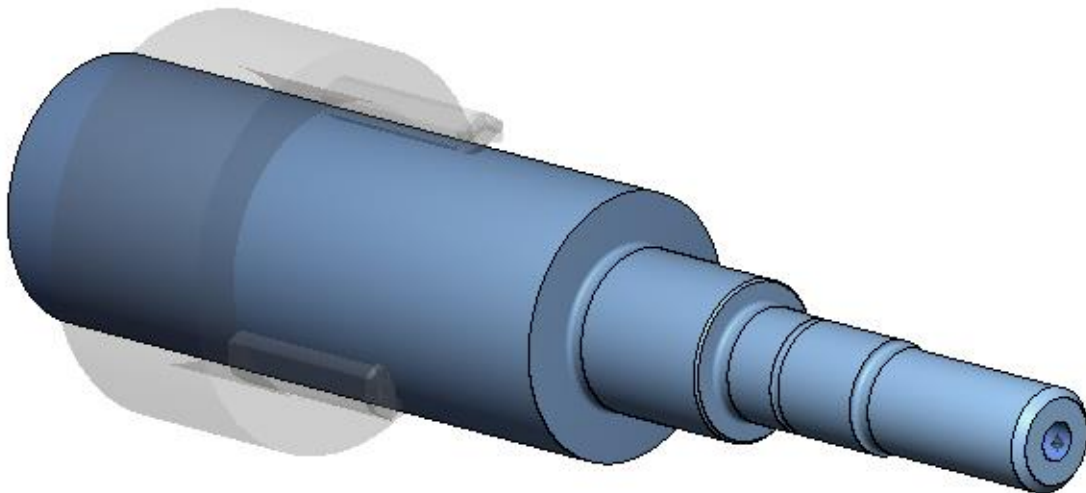
Obr. 4.11 – Výstup cyklu podélného závitu.

4.1.2 Výsledek simulace

Obrobení hřídele probíhá na 2 upnutí. Tvorba NC kódu pro první upnutí součásti je podrobně rozepsána v předchozí podkapitole a na obrázku 4.12 je grafický výstup simulace. Druhá část obsahuje takřka stejné cykly, tudíž není postup rozepsán. Na obrázku 4.13 je výsledek simulace po druhém upnutí. Strojní čas pro výrobu součásti je 2 minuty a 6 vteřin. Celý program je v příloze 5.



Obr. 4.12 – Výstup ze simulace po prvním upnutí.



Obr. 4.13 – Výstup ze simulace po druhém upnutí.

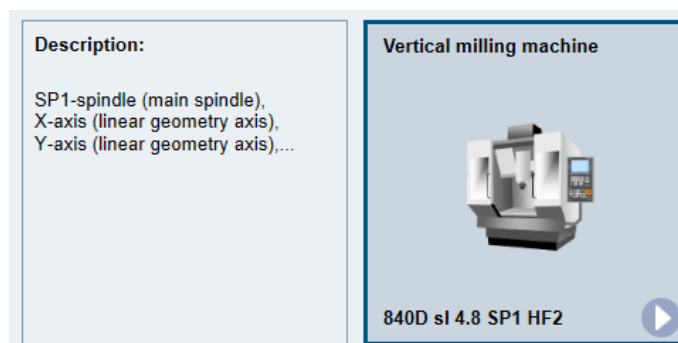
4.2 NC program výroby štítu motoru

NC program pro tuto součást je proveden ve dvou variantách. První varianta je kombinace vertikálního obráběcího stroje se soustružnickým obráběcím centrem. Výroba součásti je uskutečněna na dvě upnutí. NC program pro tuto variantu je v následující podkapitole podrobněji rozepsán a celý NC program v příloze 6.

Druhá varianta je zhotovení součásti na soustružnickém centru SP 280SY a odpovídající NC program je uveden v příloze 7. Následně jsou pak porovnány výrobní časy těchto variant.

4.2.1 Tvorba NC programu v dílensky orientovaném prostředí

První upnutí součásti probíhá na vertikálním obráběcím centru MCFV 1060, pro který byl v SinuTrain vybrán podobný stroj (viz obr.4.14). Dále je program vytvořen v prostředí nazvaném ShopMill (dílensky orientované prostředí frézovacího stroje).



Obr. 4.14 – zvolený stroj v SinuTrain.

Nejdříve je nutné nadefinovat nástroje, které byly vybrány v kapitole 3.2.3. Stroj nabízí kapacitu zásobníku až pro 40 nástrojů. Při zadávání nástroje typu fréz lze zadat délku nástroje, průměr, počet destiček a použití řezné kapaliny. Jedná-li se o vrtáky, je třeba navíc vyplnit úhel špičky nástroje. Kompletní zásobník definovaný pro první upnutí polotovaru je na obr. 4.15.

Seznam nástrojů							MAGAZIN1			
Místo	Typ	Název nástroje	ST	D	Délka	∅		1	2	
1	FRÉZA	ROVINNÁ FRÉZA_63	1	1	150.000	63.000		3	✓	
2	FRÉZA	FRÉZA_50	1	1	120.000	50.000		4	✓	
3	FRÉZA	FRÉZA_D16	1	1	109.000	16.000		3	✓	
4	FRÉZA	FRÉZA_D6	1	1	57.000	6.000		3	✓	
5	VRTÁK	VRTÁK_20	1	1	153.000	20.000	118.0	✓	✓	
6	VRTÁK	VRTÁK_4.3	1	1	74.000	4.300	118.0	✓	✓	
7	VRTÁK	VRTÁK_5.8	1	1	82.000	5.800	118.0	✓	✓	
8	UÝSTRUŽNÍK	UÝSTRUŽNÍK	1	1	143.000	25.000		✓	✓	
9	KUŽEL_ZÁHLUBNÍK	KUŽEL_ZÁHLUBNÍK	1	1	80.000	10.000	90.0	✓	✓	
10	NAVRTÁK	NAVRTÁK	1	1	20.000	2.000	90.0	✓	✓	
11	ZÁVITNÍK	ZÁVITNÍK_M5	1	1	70.000	5.000	0.500	✓	✓	
12										
13										
14										
15										
16										
17										

Obr. 4.15 – Seznam nástrojů pro 1. upnutí.

Pro jednotlivé nástroje je možné nastavit parametry opotřebení. Tyto parametry se hodí hlavně při sériové výrobě, kdy nám stroj zahlásí, že bylo dosaženo zadané mezní hodnoty opotřebení. Možnosti nastavení opotřebení nástrojů viz obr. 4.16.

Opotřebení nástroje										MAGAZIN	
Místo	Typ	Název nástroje	ST	D	Δ délka	Δ ∅	T C	Život- nost	Žádaná hod.	Před- alarm	B
1		ROVINNÁ FRÉZA_63	1	1	0.000	0.000	T	0.0	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>
2		FRÉZA_50	1	1	0.000	0.000					<input type="checkbox"/>
3		FRÉZA_D16	1	1	0.000	0.000					<input type="checkbox"/>
4		FRÉZA_D6	1	1	0.000	0.000					<input type="checkbox"/>
5		URTÁK_20	1	1	0.000	0.000					<input type="checkbox"/>
6		URTÁK_4.3	1	1	0.000	0.000					<input type="checkbox"/>
7		URTÁK_5.8	1	1	0.000	0.000					<input type="checkbox"/>
8		UÝSTRUŽNÍK	1	1	0.000	0.000					<input type="checkbox"/>
9		KUŽEL_ZÁHLUBNÍK	1	1	0.000	0.000					<input type="checkbox"/>
10		NAURTÁVÁK	1	1	0.000	0.000					<input type="checkbox"/>
11		ZÁVITNÍK_M5	1	1	0.000	0.000					<input type="checkbox"/>
12											
13											
14											
15											
16											
17											

Obr. 4.16 – Opotřebení nástrojů.

Δ délka – délkové opotřebení nástroje,

Δ průměr – opotřebení průměru nástroje,

TC – volba monitorování nástroje: životnost (T), počet kusů (C) a opotřebením (W),

Životnost, počet kusů nebo opotřebením – závisí na předchozí volbě TC,

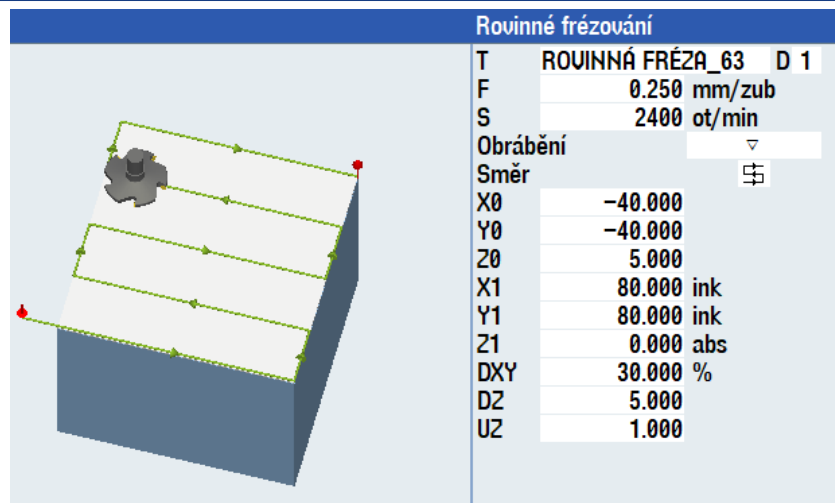
Žádaná hodnota – požadovaná hodnota pro zvolené monitorování nástroje,

Před-alarm – Hodnota životnosti, počtu kusů nebo opotřebením, při které se objeví výstraha.

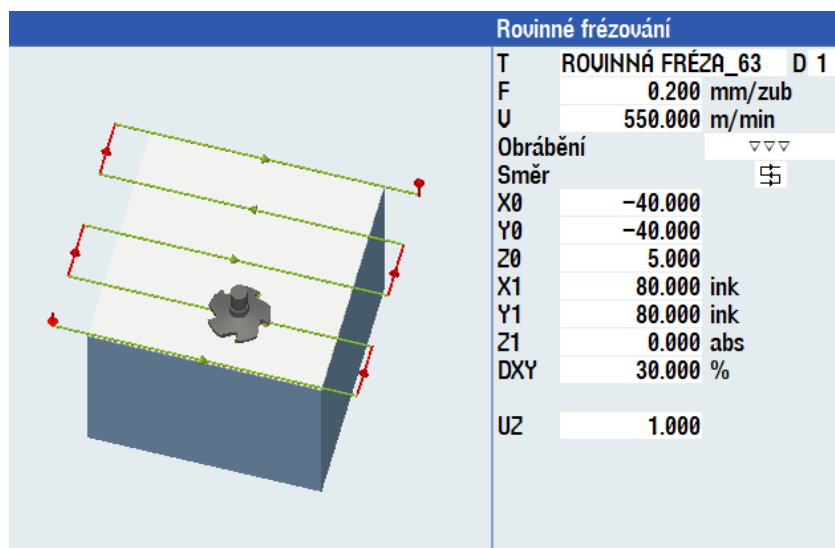
- **Rovinné frézování**

Jedná se o základní frézovací funkci systému. Lze díky ní frézovat čelní i obvodové plochy. V tomto programu je využita pouze na zarovnání čelní plochy polotovaru.

Nejdříve se provádí hrubování povrchu, kdy se při velkém axiálním záběru střídavým pohybem frézy zarovná čelo (viz obr. 4.17). Následuje dokončování povrchu při menším záběru a stejným směrem obrábění (viz obr. 4.18).



Obr. 4.17 – Rovinné frézování – hrubování.



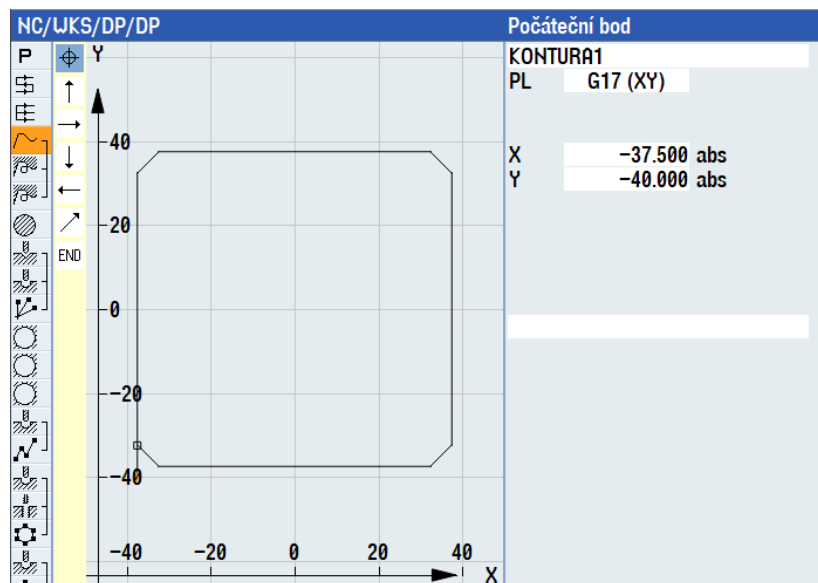
Obr. 4.18 – Rovinné frézování – dokončování.

- T – volba nástroje včetně korekce,
- F – posuv na zub (lze změnit na lineární posuv),
- S – volba otáček vřetena (lze změnit na konst. řeznou rychlost),
- Obrábění – hrubování (dokončování),
- Směr – střídavý směr obrábění (stejný směr obrábění),
- X0, Y0 – první rohový bod X a Y,
- Z0 – výška polotovaru,
- X1, Y1 – druhý rohový bod X a Y (vztažený k X0 a Y0),
- Z1 – výška hotové součásti,
- DXY – max. přířuv v rovině jako % míra průměru frézy (lze zadat i v mm),
- DZ – maximální přířuv do hloubky,
- UZ – přídavek na dokončení.

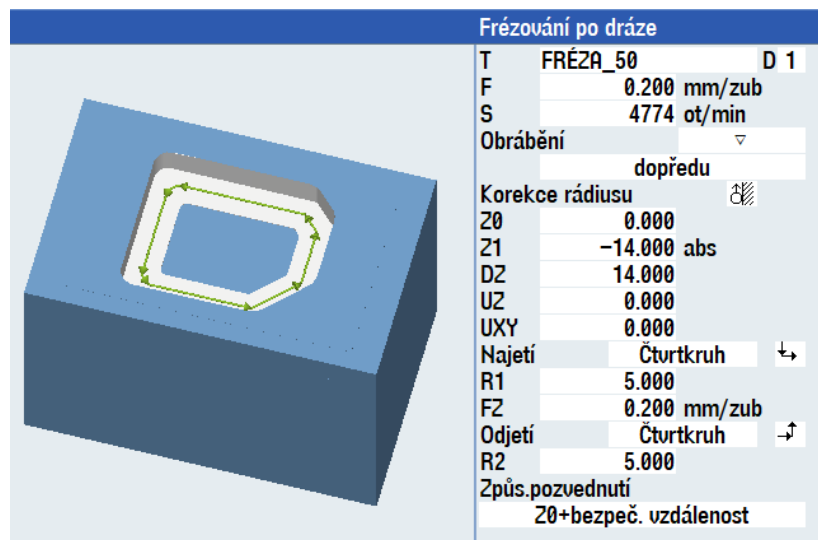
- Frézování po dráze pomocí kontury

Frézování probíhá podél křivky vytvořené konturou. V ShopMillu není nutné vytvářet konturu v podprogramu, ale lze jí vytvořit přímo v hlavním programu pod záložkou „Frézování kontury“.

V této situaci je kontura vytvořena pro obrobení obvodu součásti včetně sražení $5 \times 45^\circ$. Kontura je na obrázku 4.19. Na obr. 4.20 je zobrazeno frézování po dráze pomocí kontury.



Obr. 4.19 – Kontura obvodu součásti.



Obr. 4.20 – Funkce frézování po dráze.

Hodnoty zadávané v této funkci jsou velmi podobné jako u předchozí funkce rovinného frézování. Mezi pár rozdílů patří např.:

- opracování v naprogramovaném směru kontury (dopředu, odzadu),
- nastavení korekce rádiusu (vlevo od kontury, vpravo od kontury, žádné),
- módy najíždění a vyjíždění nástroje (přímka, čtvrtkruh, půlkruh, kolmo),
- strategie najíždění (najíždění v ose nebo v prostoru).

- **Frézování čepu**

Frézování čepu je funkce, při které nástroj vyfrézuje čep v ose Z. Tento čep může být ve tvaru pravoúhlého, kruhového či mnohoúhelníku. Lze ho vytvořit pomocí kontury i bez ní. Pokud se vytváří pomocí kontury, je třeba vytvořit 2 kontury. První kontura definuje polotovar a druhá tvar čepu.

U dané součásti je čep o průměru 60 mm vytvořen bez použití kontury. Jelikož se jedná o kruhový čep, stačí definovat jeho průměr a zvolit vhodný nástroj. Tím je fréza o průměru 50 mm, která odebere všechen nepotřebný materiál. Funkce kruhového čepu viz obr. 4.21.

Kruhový čep			Kruhový čep		
Zadání		kompletní	Zadání		kompletní
T	FRÉZA_50	D 1	T	FRÉZA_D16	D 1
F	0.200	mm/zub	F	0.150	mm/zub
U	750.000	m/min	U	700.000	m/min
Obrábění		▼	Obrábění		▼▼▼
	Jednotl. pozice			Jednotl. pozice	
X0	0.000		X0	0.000	
Y0	0.000		Y0	0.000	
Z0	0.000		Z0	0.000	
Ø1	100.000		Ø1	70.000	
Ø	60.000		Ø	60.000	
Z1	-2.500	abs	Z1	-2.500	abs
DZ	2.500		DZ	2.500	
UXY	0.200		UXY	0.200	
UZ	0.000		UZ	0.000	

Obr. 4.21 – Funkce kruhového čepu (hrubování a dokončování).

Poloha při obrábění – jednotlivá pozice (lze zvolit polohový vzor pro více čepů)

X0, Y0, Z0 – vztažné body X, Y, Z,

Ø1 – průměr surového čepu (v tomto průměru bude odebírán materiál),

Ø2 – průměr čepu (průměr, který zůstane po obrobení),

Z1 – hloubka čepu,

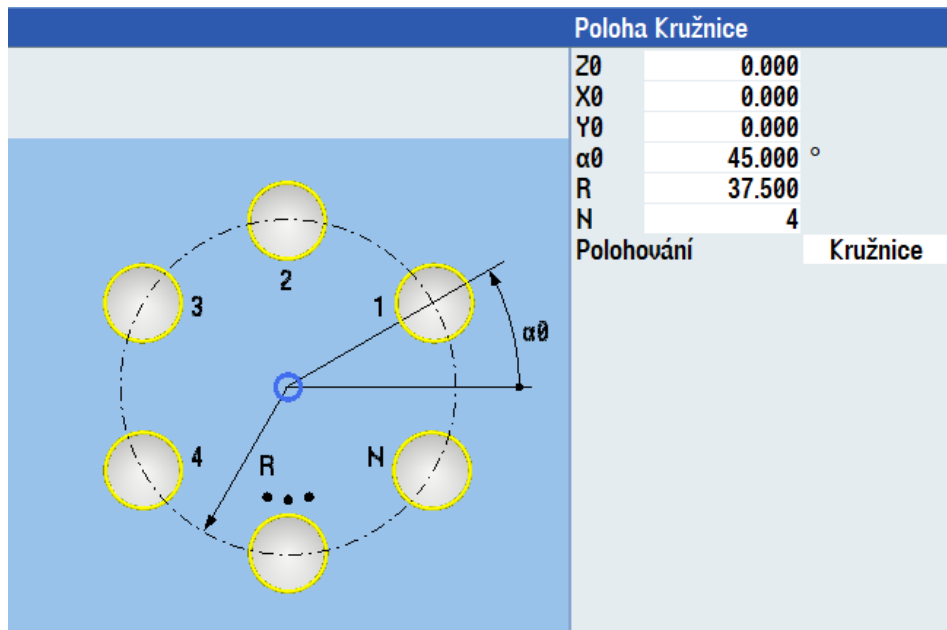
DZ – maximální přísuv do hloubky,

UXY – přídavek na dokončení v rovině XY,

UZ – přídavek na dokončení v rovině Z.

- **Vrtání otvoru**

Pro vrtání je v této verzi SinuTrainu několik funkcí – navrtávání středících důlků, vrtání a vystružování, vrtání hlubokých děr, vyvrtávání a závity. Samotná funkce ovšem nemá určení polohy díry. Poloha se definuje v samostatné funkci nazvané „poloha“ a následně se tyto dvě funkce provázejí dohromady. Poloha se dá určit několika variantami – pravoúhlé, polární, pomocí řady, mřížky, rámu, kružnice či částečné kružnice. Funkce polohy děr na kružnici viz obr. 4.22 a vrtání těchto děr na obrázku 4.23.



Obr. 4.22 – Funkce pro zadání polohy děr pomocí kružnice.

X0, Y0 – střed kružnice,

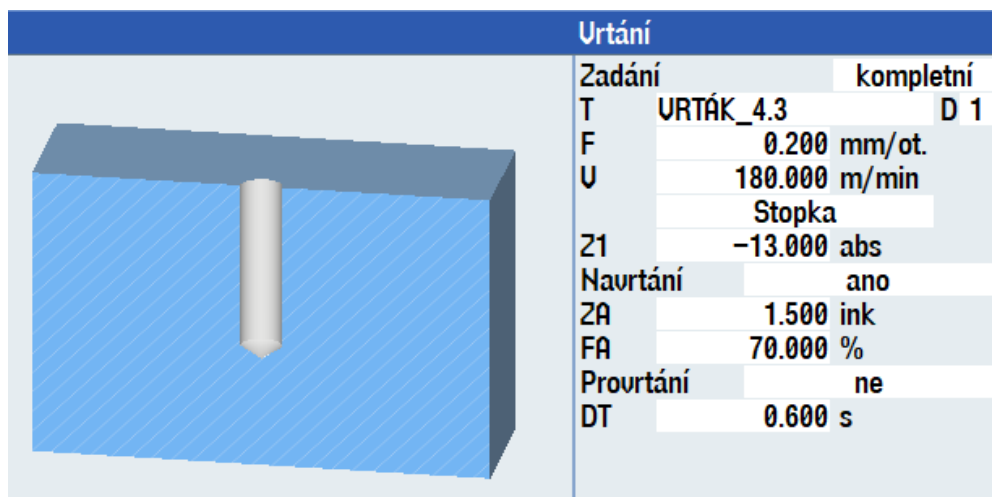
Z0 – povrch kde začíná vrtání díry,

α0 – úhel svírající osa X s první dírou,

R – poloměr kružnice určující polohu děr,

N – počet děr,

Polohování – pohyb při polohování (kružnice nebo přímka).



Obr. 4.23 – Funkce pro vrtání děr.

Z1 – vrtaná hloubka,

Navrtávání – úprava posuvu do určité hloubky ZA (do 1,5 mm 70% posuv),

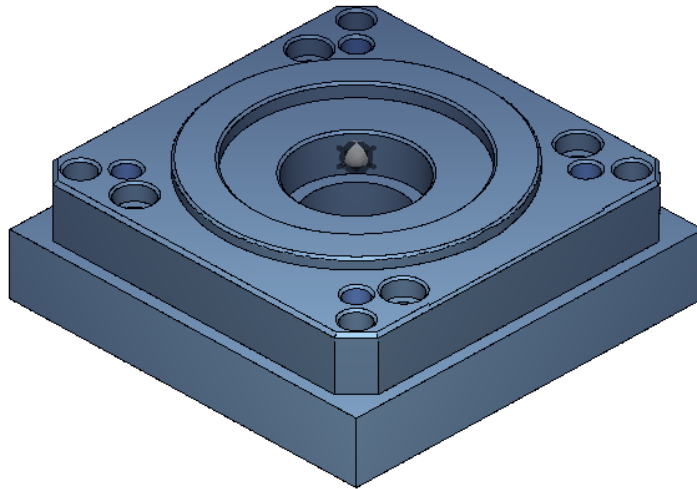
Provrtání – úprava posuvu od určité hloubky před provrtáním,

DT – časová prodleva v konečné hloubce.

4.2.2 Výsledek simulace

Obrobení štítu v první probíhá na 2 upnutí. Všechny funkce použité při tvorbě NC kódu pro první upnutí součásti je podrobně rozepsána v předchozí podkapitole a na obrázku 4.24 je grafický výstup simulace. Druhá část probíhá na soustruhu SP 280 SY a NC program je uveden v příloze 7. Na obrázku 4.25 je výsledek simulace po druhém upnutí. Strojní čas pro výrobu součásti při kombinaci frézovacího a soustružnického stroje je 7 minut a 45 vteřin.

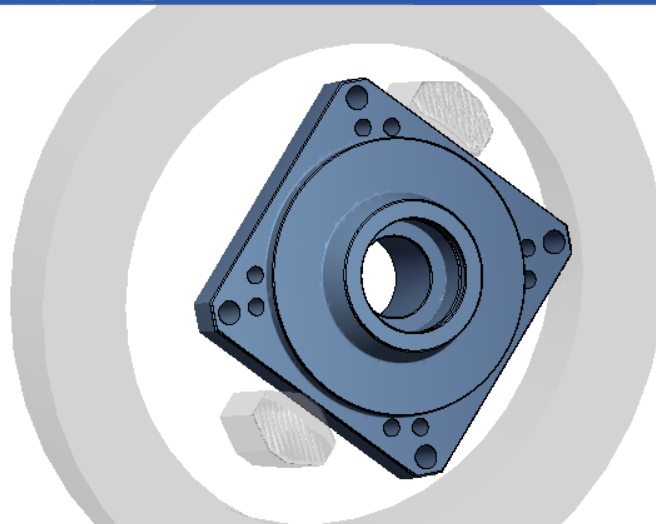
NC/WKS/DP/DP



X	-45.278	Y	-33.207	Z	100.000		T KUŽEL_ZÁHLUBNÍK	D1
END	Konec programu						Rychlop.	100% 00:05:16

Obr. 4.24 – Výstup ze simulace po prvním upnutí.

NC/WKS/DP/DP/STIT_MOTORU



XØ	1024.000	Z	291.000	Y	0.000	S1	<input checked="" type="checkbox"/>	T ZAPICHOVÁK_1	D1
END	Konec programu					22	500.000	Rychlop.	100% 00:02:29

Obr. 4.25 – Výstup ze simulace po druhém upnutí.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato kapitola se zabývá ověřením potřebného řezného výkonu pro obě součásti a stanovením nákladů na hodinovou výrobu CNC stroje. Následuje stanovení strojních časů pro obě součásti.

Druhá součást je navržena ve dvou variantách výroby. První varianta je kombinace výroby na frézovacím a soustružnickém stroji (viz kap.4.2). Druhá varianta je výroba pouze na soustružnickém stroji. V této kapitole je porovnání nákladů těchto variant.

5.1 Ověření potřebného řezného výkonu stroje

Obsahem této podkapitoly je výpočet řezných výkonů při maximálních průřezech třísky a následné ověření, zda nejsou vyšší než výkon na vřetení použitého stroje.

5.1.1 SP 280SY

Pro výpočet potřebného řezného výkonu je pro soustružení určena hrubovací operace, jelikož je při ní největší šířka záběru ostří a_p . Výkon na vřetení stroje je roven součinu řezné síly F_c a řezné rychlosti v_c , což je zřejmé ze vztahu 5.1. Hodnota měrné řezné síly je určována pomocí online nástroje společnosti ISCAR [60].

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} = \frac{k_c \cdot A_D \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} \quad (5.1)$$

kde:	P_c	–	řezný výkon [kW],
	F_c	–	řezná síla [N],
	v_c	–	řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],
	k_c	–	měrná řezná síla [MPa],
	A_D	–	jmenovitý průřez třísky [mm^2].

- **1. součást – hřídel**

$$A_D = 0,6 \text{ mm}^2$$

$$k_c = 3234 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$v_c = 250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$P_c = \frac{k_c \cdot A_D \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} = \frac{3234 \cdot 0,6 \cdot 250}{6 \cdot 10^4} = 8,1 \text{ kW}$$

- **2. součást – štít**

$$A_D = 1,2 \text{ mm}^2$$

$$k_c = 1097 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$v_c = 350 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$P_c = \frac{k_c \cdot A_D \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} = \frac{1097 \cdot 1,2 \cdot 350}{6 \cdot 10^4} = 7,7 \text{ kW}$$

Soustružnické obráběcí centrum SP 280SY nabízí výkon na vřetení o velikosti 27 kW. Tento stroj je tedy dostatečný pro výrobu daných součástí.

5.1.2 MCFV 1060

Výpočet potřebného výkonu se v daném případě provádí pro boční frézování, kde je potřebný výkon největší. Výpočet vychází ze vztahu 5.2.

$$P_c = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} \quad (5.2)$$

kde: a_e – šířka řezu [mm],
 a_p – šířka záběru ostří [mm],
 v_f – posuv stolu [mm·min⁻¹],
 k_c – měrná řezná síla [MPa].

- **2. součást – štít**

$$a_e = 4,5 \text{ mm}$$

$$a_p = 14 \text{ mm}$$

$$k_c = 1769 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

$$v_f = 3820 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$P_c = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f \cdot k_c}{60 \cdot 10^6} = \frac{4,5 \cdot 14 \cdot 3820 \cdot 1769}{60 \cdot 10^6} = 7,09 \text{ kW}$$

Stroj je vzhledem k maximálnímu výkonu až 31 kW vhodný k výrobě dané součásti. Pokud by požadavky nespĺňoval, bylo by nutné upravit řezné podmínky nebo používaný nástroj.

5.2 Hodinová sazba CNC stroje

CNC obráběcí stroj je ekonomicky nejefektivnější, pokud je po dobu své životnosti maximálně využíván k samotnému obrábění. Seřizování, úpravy NC programu na stroji, upínání a další podobné prostroje efektivitu snižují. Určení hodinové sazby stroje je nezbytné pro výpočet nákladů na výrobu. Určení tzv. hodinové částky odpisu stroje O_r je vyjádřeno ve vztahu 5.3 a výsledná hodinová sazba CNC stroje N_h je pak ve vztahu 5.4.

$$O_r = \frac{Cs+N+D-L}{T \cdot F_{ef}} \quad (5.3)$$

kde:

C _s	–	cena stroje [Kč],
N	–	náklady na pořízení (doprava, ustavení, instalace, aj.) [Kč],
D	–	náklady na demontáž [Kč],
L	–	likvidační hodnota (hodnota odrodeje stroje, příp.šrotu) [Kč],
T	–	doba upotřebitelnosti [roky],
F _{ef}	–	roční efektivní fond pracoviště [hod·rok ⁻¹],
S _f	–	fixní hodinová spotřeba (mzdy+ostatní náklady) [Kč·hod ⁻¹].

$$N_h = S_f + O_r \quad (5.4)$$

Vzhledem k podobnosti použitých strojů je vypočítána pouze jedna hodinová sazba stroje. Hodnoty by se lišily pouze v ceně stroje, která by se musela hodně lišit, aby výrazněji ovlivnila výslednou hodinovou sazbu stroje. Hodnoty pro výpočet uvedené v tab. 5.1 jsou získány z nejmenované firmy, kde používají podobný stroj jako je SP 280SY. Tyto hodnoty jsou tedy orientační a nelze brát výpočet stoprocentně odpovídající použitému stroji.

Tab 5.1 – Hodnoty potřebné pro výpočet hodinové sazby stroje.

Cena stroje – C _s	3490000 Kč
Náklady na pořízení – N	100000 Kč
Náklady na demontáž – D	50000 Kč
Likvidační hodnota – L	300000 Kč
Doba upotřebitelnosti – T	5 let
Roční efektivní fond – F _{ef}	4016 hod
Fixní hodinová spotřeba – S _f	600 Kč·hod ⁻¹

$$O_r = \frac{C_s + N + D - L}{T \cdot (F_{ef} \cdot 0,9)} = \frac{3490000 + 100000 + 50000 - 300000}{5 \cdot (4016 \cdot 0,9)} = 185 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$$

$$N_h = S_f + O_r = 600 + 185 = 785 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$$

5.3 Strojní časy

Strojní časy pro výrobu součástí jsou určeny pouze pomocí simulací v SinuTrainu. Tyto časy jsou spíše orientační, ale budou se blížit těm reálným a pro porovnání jsou dostačující. Tyto časy jsou navýšeny o čas na výměnu nástrojů. Čas na výměnu nástroje je připočítán jako 5 vteřin pro každou výměnu nástroje. Čas chodu stroje je pak součtem simulovaného času s časem na výměnu nástrojů. Tyto časy pro jednotlivé součásti jsou pak uvedeny v tabulce 5.2.

Tab 5.2 – Určení časů chodu stroje.

Součást	Strojní čas – SinuTrain [min]	Čas výměny nástrojů [min]	Čas chodu stroje [min]
Hřídel	2,33	(8·0,083) = 0,66	3,0
Štít 1. var.	7,75	(15·0,083) = 1,245	8,995
Štít 2. var.	11,20	(19·0,083) = 1,577	12,777

- **Jednotkový strojní čas t_{mA}**

$$t_{mA} = t_{mA4} + t_{mA5} + t_{mA6} \quad (5.5)$$

- kde: t_{mA4} – jednotkový čas chodu stroje [min],
 t_{mA5} – jednotkový čas klidu stroje (upínání obrobku, měření,...) [min],
 t_{mA6} – jednotkový čas interference stroje (vícestrojová obsluha) [min].

Podle vztahu 5.5 jsou vypočteny jednotkové strojní časy. Při výrobě součástí na dvě upnutí je jednotkový čas klidu stroje určen na 1,5 min. Tato hodnota byla zjištěna při výrobě technologicky podobné součásti v nejmenované firmě. Čas interference je roven 0, jelikož není předpokládána vícestrojová obsluha.

Tab 5.3 – Jednotkové strojní časy.

Součást	t_{mA5} [min]	t_{mA5} [min]	Jednotkový strojní čas t_{mA} [min]
Hřídel	3,0	1,5	4,5
Štít 1. var.	8,955	1,5	10,455
Štít 2. var.	12,777	1,5	14,277

Z tab. 5.3 je zřejmé, že výroba štítu motoru je rychlejší při kombinaci frézovacího a soustružnického obráběcího stroje. Z ekonomického hlediska je ovšem zásadním nedostatkem nutnost vlastnictví dvou strojů. Pokud tyto stroje nenajdou efektivní využití při výrobě dalších součástí, je lepší zvolit druhou variantu. Ta sice trvá o necelé 4 minuty déle, ale probíhá pouze na jednom stroji.

ZÁVĚR

V práci byly nejdříve popsány řídicí systémy od firem Siemens, Heidenhain a Fanuc. Vybrané verze řídicích systémů pak byly stručně srovnány. Následně byly zpracovány základní metody NC programování.

Pro praktické příklady byly vybrány součásti ze strojírenské praxe, které se podobají skutečným výrobkům nejmenované firmy. S ohledem na využití vyráběných součástí v elektromotorech byl nejprve zvolen vhodný materiál a vytvořena výkresová dokumentace. Nástroje pro výrobu obou součástí byly použity z online katalogu od společnosti ISCAR. Od toho se následně odvíjel návrh výroby a samotná tvorba NC programů. Výstupem jsou programy vytvořené v softwaru SinuTrain Sinumerik Operate 4.8 sl., který umožňuje simulovat chování stroje na PC.

NC program pro výrobu první součásti (hřídele) byl navržen pro soustružnické centrum SP 280SY. Jednotkový strojní čas byl určen pomocí simulace s připočtením potřebných časů na výměny nástrojů a upínání. Výsledný čas vyšel 4 minuty a 30 vteřin.

Druhá součást (štít motoru) byla navržena ve dvou variantách. V práci byla podrobněji rozepsána první varianta a to kombinace vertikálního obráběcího stroje MCFV 1060 a soustružnického centra SP 280SY. Výsledný čas první varianty vyšel na 10 minut a 27 vteřin. Druhá varianta výroby byla navržena pro výrobu součásti pouze na soustružnickém centru SP 280SY. NC program druhé varianty je v příloze 7 a potřebný čas pro její výrobu vyšel na 14 minut 17 vteřin. Z hlediska času se tedy jeví výhodněji první varianta. Je ovšem důležité zvážit využití obou strojů s ohledem na využití pro výrobu dalších součástí, zavedení vícestrojové obsluhy, atd.

Všechny NC programy doplněné simulacemi obou součástí byly následně zpracovány do interaktivní prezentace, která je vybavena hypertextovými odkazy pro snadnější vyhledávání. Prezentace je přiložena na CD (příloha 8) v obalu desek a zároveň je k dispozici online.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. CNC řídicí systém. *Profika s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://www.profika.cz/cnc-ridici-system>
2. Řídicí systémy SINUMERIK. *Siemens* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=3c76394997&ctp=home>
3. Řídicí systémy SINUMERIK 808. *Siemens* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=ade03435f6&ctxp=home>
4. SINUMERIK 808D. *Siemens* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=a6c893487c&ctxp=home>
5. SINUMERIK 808D. *Siemens* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=fbc481293&ctxp=home>
6. SINUMERIK 828D BASIC M. *Siemens* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=22c4274c04&ctxp=home>
7. SINUMERIK 828D. *Siemens* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=64dafbaca0&ctxp=home>
8. SINUMERIK 828D with SINAMICS S120 Combi. *Siemens* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10233716?tree=CatalogTree>
9. Řídicí systémy SINUMERIK 840D sl. *Siemens* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=8af9163077&ctxp=home>
10. Siemens: partner českých výrobců obráběcích strojů. *Technický týdeník* [online]. 2015 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/siemens-partner-ceskych-vyrobcu-obrabecich-stroju_29889.html
11. SINUMERIK 840D. *Siemens* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10233717>
12. Produkty: CNC řízení – HEIDENHAIN. *HEIDENHAIN* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-řízení/
13. HEIDENHAIN TNC 640: Soustružení i frézování jedním NC programem. *Technický týdeník* [online], 2013 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/heidenhain-tnc-640-soustruzeni-i-frezovani-jednim-nc-programem_21940.html

14. TNC 640. *HEIDENHAIN* [online]. 2018 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/892916-28_TNC640_HSCI_en.pdf
15. CNC řízení: TNC 620. *HEIDENHAIN* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-řízení/tnc-620/
16. CNC řízení: MANUALplus 620. *HEIDENHAIN* [online]. © 2019 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/cnc-řízení/manualplus-620/
17. Historie společnosti Fanuc. *FANUC* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/kdo-jsme/fanuc-historie>
18. FANUC. *FANUC CNC Europe: ČVUT přednáška* [online]. 2010 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: https://web.rcmt.cvut.cz/users/cerny/NCR_dopl/FANUC_CVUT_2010_04.pdf
19. Přehled řady CNC řízení Fanuc. *FANUC* [online]. [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/cnc/řízení/řada-cnc-řízení>
20. POLZER, Aleš. Akademie CNC obrábění (4). *Technický týdeník* [online]. 2009 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-4_8539.html
21. POLZER, Aleš. Akademie CNC obrábění (14). *Technický týdeník* [online]. 2009 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-14_8549.html
22. SVOBODA, Evžen. *Technologie a programování CNC strojů*. 1.vyd. Havlíčkův Brod: FRAGMENT, 1998. 100s. ISBN 80-7200-297-X.
23. Obecný úvod do problematiky CNC programování. *Střední odborná škola Jana Tiraye Velká Bíteš* [online]. 2009 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: https://www.sosbites.cz/images/stories/Pro-studenty/studijni-materialy/VUKOV_TEXT_-_1.ST.pdf
24. ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
25. POLZER, Aleš. Akademie CNC obrábění (40). *Technický týdeník* [online]. 2010 [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc/akademie-cnc-obrabeni-40_8575.html
26. Sinumerik 840D/840Di/810D/FM-NC Program Guide Cycles. *Siemens* [online]. 2000 [cit. 2019-03-026]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/500/109439500/att_829866/v1/PG_Z_0400_en.pdf
27. Korozivzdorná ocel – Nerez. *Alfun Metal Service Center* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/korozivzdorna-ocel-nerez>
28. Pásové pily na kov – PEGAS-GONDA – 230x280 GH-LR. *Pegas-Gonda* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.pegas-gonda.cz/cs/product/10/230x280-gh-lr-pasova-pila-na-kov-gravitacni-230x280-gh-lr>

-
29. SP 280 - Kovosvit MAS. *Kovosvit MAS – machine your future* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z <https://www.kovosvit.cz/sp-280-p6.html#pracovni-prostor>
 30. Novinky a akce ZLIN AIRCRAFT. *ZLIN AIRCRAFT* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.zlinaircraft.eu/Novinky/?novinka=28>
 31. BUA 25 CNC – Strojmotiv s.r.o. *STROJMOTIV* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z <http://strojmotiv.cz/stroje/brusky-na-kulato/bua-25-cnc/>
 32. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – PCLNR/L 2525M-12. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3600693&fnum=291&mapp=IS&app=20&GFSTYP=M&isoD=1>
 33. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – CNMG 120404-GN. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=5507320&fnum=55&mapp=IS&GFSTYP=M&srch=1>
 34. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – PVACR 1010H-11S-JHP. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3603602&fnum=3312&mapp=IS&app=88&GFSTYP=M&isoD=1>
 35. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – VCMT 110302-F3M. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5568837&fnum=3753&mapp=IS&app=88&GFSTYP=M&isoD=0>
 36. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – SER 1616 H16. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3800001&fnum=357&mapp=TH&app=78&GFSTYP=M&isoD=1>
 37. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – 16EL A 60. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5902288&fnum=113&mapp=TH&app=78&GFSTYP=M&isoD=1>
 38. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – SCD 033-023-060 ACP5N. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=6154601&fnum=4010&mapp=DR&app=77&GFSTYP=M&isoD=1>
 39. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – TPS M-4X0.7-M. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=4445844&fnum=3629&mapp=TH&app=158&GFSTYP=M&isoD=1>
 40. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – DGTR 2009B-1.5T9SH. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=2301572&fnum=1425&mapp=TG&app=52&GFSTYP=M&isoD=1>
 41. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – DGN 1000P. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=6003280&fnum=1455&mapp=TG&app=52&GFSTYP=M&isoD=1>
-

-
42. CAM – přímé řízení výroby. *ELUC* [online]. 2007 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1311>
 43. NCSimul Postpro. *Hexagon Manufacturing Intelligence* [online]. 2019 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.ncsimul.com/contenu.php?ID=91#>
 44. Kollmorgen AKM Servomotor Selection Guide. *Kollmorgen because Motion Matters* [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.kollmorgen.com/en-us/products/motors/servo/akm-series/>
 45. Alloy Data Sheet EN AW-6082 [AlSi1MgMn]. *Nedal Aluminium* [online]. 2005 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.nedal.com/wp-content/uploads/2016/11/Nedal-alloy-Datasheet-EN-AW-6082.pdf>
 46. Vertikální obráběcí centrum MCVFV 1060 Tajmac-ZPS. *Tajmac ZPS* [online]. 2018 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.tajmac-zps.cz/mcfv-1060>
 47. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – HM90 FAL-D063-27-22. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3103536&fnum=2322&mapp=ML&app=61&GFSTYP=M&isoD=1>
 48. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – HM90 APCR 220640R-P. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5603468&fnum=1846&mapp=ML&app=59&GFSTYP=M&isoD=1>
 49. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – HSM90SFD-HSK A63/80-22. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=4349&mapp=ML&app=59&GFSTYP=M>
 50. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – HSM90S APCR 220716R-P. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3337445&fnum=4350&mapp=ML&app=59&GFSTYP=M&isoD=1>
 51. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – SCD-ACP5 (5xD). *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=5531927&fnum=2951&mapp=DR&GFSTYP=M&srch=1>
 52. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – ECR-B3-R-C. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=2618634&fnum=3957&mapp=ML&app=133&GFSTYP=M&isoD=1>
 53. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – RM-BNT (Shanks). *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=4440166&fnum=1928&mapp=RE&app=271&GFSTYP=M&isoD=1>
 54. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – RM-BN-H7SA. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5140173&fnum=1926&mapp=RE&app=271&GFSTYP=M&isoD=1>
-

-
55. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – SCD 043-029-060 ACP5N. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=6154612&fnum=4010&mapp=DR&app=77&GFSTYP=M&isoD=1>
 56. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – SCD 058-035-060 ACP5N. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=6154627&fnum=4010&mapp=DR&app=77&GFSTYP=M&isoD=1>
 57. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – TPS MF-5X0.5-M. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=4445744&fnum=3630&mapp=TH&GFSTYP=M&srch=1>
 58. ISCAR Cutting Tools – Metal Working Tools – Mill – Drill Mill – ECR-B3-R. *Katalog nástrojů Iscar* [online]. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=1780&mapp=ML&app=125&GFSTYP=M>
 59. AB SANDVIK COROMANT. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Přeložil Miroslav KUDELA. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-27 22 99-4-6.
 60. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
 61. *Nová kvalita v řízení, obsluze a programování obráběcích strojů*. Infocube s.r.o. [online]. [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <http://infocube.cz/cs/nova-kvalita-v-řízení-obsluze-a-programování-obráběcích-strojů/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/symbol	Jednotka	Popis
A_D	mm^2	jmenovitý průřez třísky
a_e	mm	axiální šířka záběru ostří
a_p	mm	radiální šířka záběru ostří
b	mm	šířka
C	-	uhlík
CAD	-	Computer Aided Design (počítačem podporované kreslení)
CAM	-	Computer Aided Manufacturing (počítačem podporovaná výroba)
CNC	-	Computer Numerical Control (počítačem číslicově řízený)
Cr	-	chrom
Cs	Kč	cena stroje
Cu	-	měď
ČSN	-	československá státní norma
D	mm	průměr nástroje (obrobku)
DCS		Dual Check Safety (dvojitý bezpečnostní systém)
EN	-	European norm (evropská norma)
f	mm	posuv na otáčku
F_c	N	řezná síla
Fe	-	železo
f_z	mm	posuv na zub
h	mm	výška
HSS	-	High Speed Steel (rychlořezná ocel)
ISO	-	International Organisation of Standardization (Mezinárodní organizace pro standardizaci)
IP65	-	stupeň krytí (odolnost vůči tryskající vodě)
k_c	$\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$	měrná řezná síla
l	mm	délka
Mg	-	hořčík
Mn	-	mangan
Mo	-	molybden

N	Kč	náklady na pořízení stroje
n	min ⁻¹	otáčky nástroje (obrobku)
NC	-	numerical control (číslicově řízený)
NCU	-	Numerical control unit (číslicově řízená jednotka)
Nh	Kč·hod ⁻¹	hodinová sazba stroje
Ni	-	nikl
Or	Kč·hod ⁻¹	hodinová částka odpisu stroje
P _c	kW	výkon na vřetení
PVD	-	Physical Vapor Deposition (nanášení odpařením)
ŘS	-	řídící systém
S _f	Kč·hod ⁻¹	fixní hodinová spotřeba
Si	-	křemík
SK		slinutý karbid
T	roky	doba upotřebitelnosti
Ti	-	titan
t _{mA4}	min	jednotkový čas chodu stroje
t _{mA5}	min	jednotkový čas klidu stroje
t _{mA6}	min	jednotkový čas interference stroje
VBD	-	vyměnitelná břitová destička
V _c	m·min ⁻¹	řezná rychlost
V _f	mm·min ⁻¹	posuv stolu
Z	-	počet zubů frézy
Zn	-	zinek

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výrobní výkres hřídele
- Příloha 2 Výrobní výkres štítu motoru
- Příloha 3 Technologický postup výroby hřídele
- Příloha 4 Technologický postup výroby štítu motoru
- Příloha 5 NC program – hřídel
- Příloha 6 NC program – štít motoru varianta 1
- Příloha 7 NC program – štít motoru varianta 2
- Příloha 8 Interaktivní prezentace NC programů

PŘÍLOHA 3

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÍ POSTUP		Název součásti: HŘÍDEL	
Dne : 25.04.2019		Vyhotovil : Krulich Hynek		Číslo výkresu součásti : DP_A3_02/2019	
				Polotovary: Ø 29 - 137 ČSN EN 10060	
				list č. 1/1	
Číslo op. pořadové :	Název stroje a označení pracoviště :	Dílna :	Popis práce v operaci :	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky :	
Orientační:	Třídící číslo :				
10	Pásová pila Pegas-Gonda 230x280 GH-LR	Dělna	Upnout řezat tyč Ø 29 ČSN EN 10060 na délku 137 ± 0,2 mm	Pilový pás Honsberg master M 42 Posuvné měřidlo ABSOLUTE DIGIMATIC 500-706-11 (0-300 mm)	
20	CNC soustruh SP 280 SY 34428	Obrobná	Upnout polotovary do sklíčidla, délka vysunutí 80 mm Zkontrolovat stav a umístění potřebných nástrojů Soustružit dle NC programu Vymout obrobek ze sklíčidla Otočit obrobek	Soustružnický nůž 95°: PCLNR 2525M-12 VBD: CNMG 120404-GN Soustružnický nůž 91°: PVACR 1010H-11S-JHP VBD: VCMT 110302-F3M Soustružnický nůž závitový: SER 1616 H16 VBD: 16ER A60 Posuvné měřidlo ABSOLUTE DIGIMATIC 500-706-11 (0-300 mm)	
30	CNC soustruh SP 280 SY 34428	Obrobná	Upnout obrobek do sklíčidla za Ø 25,62, délka vysunutí 80 mm Soustružit dle NC programu Vymout obrobek ze sklíčidla	Soustružnický nůž 95°: PCLNR 2525M-12 VBD: CNMG 120404-GN Soustružnický nůž 91°: PVACR 1010H-11S-JHP VBD: VCMT 110302-F3M Vrták Ø 3,3: SCD 033-023-060 ACP5N Závitník M4x0,7: TPS M-4x0.7M Soustružnický nůž zapichovací: DGTR 2009B-1.5T9SH VBD: DGN 1000P Posuvné měřidlo ABSOLUTE DIGIMATIC 500-706-11 (0-300 mm)	
40	Hrotová bruska BUA 25 CNC 05556	Brusárna	Upnout obrobek Brousit vnější Ø 10 j5 Brousit vnější Ø 12 j5 Brousit vnější Ø 11 k6 Vymout obrobek	Brusný kotouč A9960J9V Posuvné měřidlo ABSOLUTE DIGIMATIC 500-706-11 (0-300 mm)	
50	Kontrola 9863	OTK	Kontrola tolerovaných rozměrů dle výkresu	Posuvné měřidlo ABSOLUTE DIGIMATIC 500-706-11 (0-300 mm)	

PŘÍLOHA 4 (1/2)

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÍ POSTUP		Název součásti: ŠTÍT MOTORU	
Dne : 25.04.2019		Vyhotovil : Krulich Hynek	Číslo výkresu součásti : DP_A3_01/2019	Polotovary: 4HR 80-30 ČSN EN 10060	
list č. 1/2	Číslo op. pořadové :	Název stroje a označení pracoviště :	Dílna :	Popis práce v operaci :	Výrobní nástroje, přípravy, měřidla, pomůcky :
Orientační:	Třídící číslo :				
10/10	Pásová pila Pegas-Gonda 230x280 GH-LR 05967	Dělna	Upnout Řezat 4HR 80 ČSN EN 10060 na délku 30 ± 0,2 mm	Pilový pás Honsberg master M 42 Posuvné měřidlo ABSOLUTE DIGIMATIC 500-706-11 (0-300 mm)	
20/20	Vertikální obráběcí centrum MCFV 1060 35899	Obrobna	Upnout polotovary do svěráku, výška vysunutí 20 mm Zkontrolovat stav a umístění potřebných nástrojů Frézovat dle NC programu Vyjmout obrobek ze svěráku	Čelní fréza Ø 63 HM90 FAL-D063-27-22 VBD: HM90 APCR 220640R-P Stopková fréza Ø 50 HSM90SFD50-4-63A/80MQL-22 VBD: HSM90S APCR 220716R-P Vrták Ø 20: SCD 200-077-200 ACP5 Monolitní fréza Ø 25: ECR-B316-14/60C16R.2A109C Výstružník Ø 25H7: RM-BNT8-3D-20C Vrták Ø 4,3: SCD 043-029-060 ACP5N Vrták Ø 5,8: SCD 058-035-060 ACP5N Závitník M5x0,5: TPS MF-5x0.5M Monolitní fréza Ø 7,5: ECR-B3 06-09/21W06R02A57 Tříbřitý kuželový záhlubník Ø10 HSS Posuvné měřidlo ABSOLUTE DIGIMATIC 500-706-11 (0-300 mm)	

PŘÍLOHA 4 (2/2)

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÍ POSTUP		Název součásti: ŠTÍT MOTORU	
Dne : 25.04.2019		Vyhotožil : Krulich Hynek		Číslo výkresu součásti : DP_A3_01/2019	
				Polotovár: 4HR 80-30 ČSN EN 10060	
				list č. 2/2	
Číslo op. pořadové :	Název stroje a označení pracoviště :	Dílna :	Popis práce v operaci :	Výrobní nástroje, přípravy, měřidla, pomůcky :	
Orientační:	Třídící číslo :				
30/30	CNC soustruh SP 280 SY 34441	Obrobna	Upnout obrobek do sklíčidla za obrobený čtyřhran 4HR 75 Zkontrolovat stav a umístění potřebných nástrojů Soustružit dle NC programu Vymout obrobek ze sklíčidla	Soustružnický nůž 75°: SSBCL 1616H-09 VBD: SCGT 09T308-AS Soustružnický nůž 93°: SVJNL 1616H-12F VBD: VNMG 12T302-NF Vnitřní zapichovací soustružnický nůž: MGCH 06 VBD: GIQR 8-1.00-0.00 Tříbřitý kuželový záhlubník Ø10 HSS Posuvné měřidlo ABSOLUTE DIGIMATIC 500-706-11 (0-300 mm)	
40/40	Kontrola 09863	OTK	Kontrola tolerovaných rozměrů dle výkresu	Posuvné měřidlo ABSOLUTE DIGIMATIC 500-706-11 (0-300 mm)	

PŘÍLOHA 5 (1/3)

NC program pro 1. upnutí

```
NC/WKS/DP_HRIDEL/DP_HRIDEL
N10 MSG("Nastavení")
N20 G18
N30 G54
N40 G64
N50 G71
N60 G90
N70 DIAMON
N80 WORKPIECE(, , "CYLINDER", 192, 2, -135, -80, 28)
- *****
N90 MSG("Zarovnání čela")
N100 G0 X160 Z100
N110 T="Hrubovací nůž 1" d1 M6
N120 G0 X40 Z5
N130 G96 S250 M4 M8
N140 G1 X32 Z0 F0.2
N150 G1 X-1
- *****
N160 MSG("Hrubování")
N170 G0 X32 Z5
N180 G96 S250
N190 CYCLE62("CONTOUR1", 0, , )
N200 CYCLE952("contour1", , , "2101311, 0.2, 0, 0, 3, 0.1, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1, 0
- *****
N210 MSG("Dokončování")
N220 G0 X160 Z100
N230 T="Dokončovací nůž 1" d1 M6
N240 G96 S400
N250 G0 X32 Z4
N260 CYCLE62("CONTOUR1", 0, , )
N270 CYCLE952("contour1", , , "2101321, 0.1, 0, 0, 2.5, 0.1, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1
- *****
N280 MSG("Normalizovaný zápich typu E")
N290 G0 X160 Z100
N300 G96 S300
N310 G0 X30 Z-15
N320 CYCLE940(10, -36, "E", 1, 1, 0.1, , 0.2, , , , 4, , , , 6, , , 2, 101)
N330 CYCLE940(14, -54.3, "E", 1, 1, 0.1, , 0.2, , , , 11.62, , , , 7, , , 2, 101)
- *****
N340 MSG("Zápich")
N350 G0 X160 Z100
N360 T="Zapichovací nůž" d1 M6
N370 G0 X15 Z2
N380 G96 S80
N390 CYCLE930(8, -7.7, 1.3, 1.3, 0.77, , 0, 0, 0, 2, 2, 2, 0.2, 0.25, 1, 10530, , 1
- *****
N400 MSG("Závit M8")
N410 G0 X160 Z100
N420 T="Závitový nůž vnější" d1 M6
N430 G0 X30 Z0
N440 G96 S80
N450 CYCLE99(-8, 8, 1, , 0.5, 0.5, 0.76675, 0.08, 26, 0, 8, 0, 1.25, 1300203, 4, 3,
N460 G0 X100 Z100
N470 M5 M9
N480 M30
```

PŘÍLOHA 5 (2/3)

NC program pro 2. upnutí

```
NC/WKS/DP_HRIDEL/DP_HRIDEL2
N10 MSG("Nastavení")
N20 G18
N30 G54
N40 G64
N50 G71
N60 G90
N70 DIAMON
N80 WORKPIECE(, , "CYLINDER", 192, 2, -133, -80, 28)
,
. *****
N90 MSG("Zarovnání čela")
N100 G0 X160 Z100
N110 T="Hrubovací nůž 1" d1 M6
N120 G0 X35 Z5
N130 G96 S250 M4 M8
N140 G1 X32 Z0 F0.2
N150 G1 X-1
N160 G1 Z2
,
. *****
N170 MSG("Hrubování")
N180 G0 X20 Z5
N190 G96 S250
N200 CYCLE62("CONTOUR2", 0, , )
N210 CYCLE952("contour2", , "", 2101311, 0.2, 0, 0, 3, 0.1, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1, 0
,
. *****
N220 MSG("Dokončování")
N230 G0 X160 Z100
N240 T="Dokončovací nůž 1" d1 M6
N250 G0 X20 Z10
N260 G96 S300
N270 CYCLE62("CONTOUR2", 0, , )
N280 CYCLE952("contour2", , "", 2101321, 0.1, 0, 0, 3, 0.1, 0.1, 0.2, 0.1, 0.1, 0
,
. *****
N290 MSG("Normalizovaný zápich typu E")
N300 G0 X14 Z2
N310 G96 S250
N320 CYCLE940(11, -23, "E", 1, 1, 0.1, , 11.2, , , , 12, , , , 7, , , 2, 0)
N330 CYCLE940(12, -42, "E", 1, 1, 0.1, , 12.2, , , , 17, , , , 7, , , 2, 0)
N340 CYCLE940(17, -60, "E", 1, 1, 0.1, , 17.2, , , , 25.62, , , , 7, , , 2, 0)
```

PŘÍLOHA 5 (3/3)

NC program pro 2. upnutí

```
N350 MSG("Zápich")¶
N360 G0 X160 Z100¶
N370 T="Zapichovací nůž" d1 M6¶
N380 G0 X20 Z5¶
N390 G96 S80¶
N400 CYCLE930(12, -33, 1.1, 1.1, 0.25, , 0, 0, 0, 2, 2, 2, 2, 0.2, 0.25, 1, 10530, , 1
N410 M5¶
- *****¶
N420 MSG("Vrtání")¶
N430 G0 X160 Z100¶
N440 T="Vrták D3.3" d1 M6¶
N450 G97 S3900 M3¶
N460 G17 F0.2¶
N470 G0 X0 Z10¶
N480 CYCLE82(20, 0, 1, -11, , 0.6, 10, 1, 12)¶
- *****¶
N490 MSG("Zkosení hrany otvoru")¶
N500 G0 X160 Z100¶
N510 T="Kuželový záhlubník" d1 M6¶
N520 G0 X0 Z10¶
N530 G97 S2000¶
N540 G17 F0.25¶
N550 CYCLE81(100, 0, 1, 4, , 0.6, 10, 1, 11)¶
- *****¶
N560 MSG("Závit M4x0,7-10")¶
N570 G0 X160 Z100¶
N580 T="Závitník M4x0.7" d1 M6¶
N590 G0 X0 Z10¶
N600 G97 S700¶
N610 G17 F1¶
N620 CYCLE84(100, 0, 1, -10, , 0.6, 5, , 0.7, 0, 700, 350, 0, 1, 0, 0, 5, 1.4, , , , 100
N630 G0 X160 Z100¶
N640 M5 M9¶
N650 M30¶
Celkový čas: ☺ 1: 02.18
```

PŘÍLOHA 6 (1/2)

NC program pro 1. upnutí (frézování)

NC/WKS/DP/DP		
P	Hlavička programu	G54 Středový kvádr
	Rovinné frézování	▽ T=ROVINNÁ FRÉZA_63 F=0.25/Z U=500m X0=-40
	Rovinné frézování	▽▽▽ T=ROVINNÁ FRÉZA_63 F=0.2/Z U=550m X0=-40
	Kontura	KONTURA1
	Fréz. po dráze	▽ T=FRÉZA_50 F=0.2/Z U=750m Z0=0 Z1=-14
	Kruhový čep	▽ T=FRÉZA_50 F=0.2/Z U=750m X0=0 Y0=0 Z0=0
	Kruhový čep	▽▽▽ T=FRÉZA_D16 F=0.15/Z U=700m X0=0 Y0=0 Z0=0
	Navrt. stř. důlků	T=NAVRTÁVÁK F=50/min S=2000ot. Ø2
	Urtání	T=URTÁK_20 F=0.8/ot. S=2307ot. Z1=-24
	001: Polohy	Z0=0 XP=0 YP=0 L0=0 α0=0
	Kruhová kapsa	▽ T=FRÉZA_D16 F=0.1/Z S=12000ot. X0=0 Y0=0 Z0=0
	Kruhová kapsa	▽▽▽ T=FRÉZA_D16 F=0.08/Z S=12500ot. X0=0 Y0=0 Z0=0
	Kruhová kapsa	▽ T=FRÉZA_D16 F=0.1/Z S=12000ot. X0=0 Y0=0 Z0=-3
	Urtání	T=URTÁK_4.3 F=0.2/ot. U=180m Z1=-13
	002: Polohy	Z0=0 X0=-20.15 Y0=-31 X1=31 Y1=-20.15 X2=20.15
	Urtání	T=URTÁK_4.3 F=0.2/ot. U=180m Z1=-13
	Urtání závitu	T=ZÁVITNÍK_M15 P0.5mm/ot. U=30m Z1=-12.5
	003: Pol. Kružnice	Z0=0 X0=0 Y0=0 R=37.5 N=4
	Urtání	T=URTÁK_5.8 F=0.2/ot. U=180m Z1=-13
	004: Pol. Kružnice	Z0=0 X0=0 Y0=0 R=45 N=4
	Uyurtávání	T=UYURTÁVÁK_7.5 F=0.4/ot. U=160m Z1=6ink
	005: Polohy	Z0=0 X0=-20.15 Y0=-31 X1=31 Y1=-20.15 X2=20.15
	Uystružování	T=UÝSTRUŽNÍK F=0.15/ot. U=250m Z1=-11.3
	006: Polohy	Z0=0 XP=0 YP=0 L0=0 α0=0
	Urtání	T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=0.2/ot. U=200m Z1=-0.3
	008: Pol. Kružnice	Z0=0 X0=0 Y0=0 R=37.5 N=4
	Urtání	T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=0.2/ot. U=200m Z1=-0.7
	009: Pol. Kružnice	Z0=0 X0=0 Y0=0 R=45 N=4
	Urtání	T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=0.2/ot. U=200m Z1=-1.5
	010: Polohy	Z0=0 X0=-20.15 Y0=-31 X1=31 Y1=-20.15 X2=20.15
	Kruhový čep	Zkos. T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=1200/min U=180m X0=0
	Kruhová kapsa	Zkos. T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=1200/min U=180m X0=0
	Kruhová kapsa	Zkos. T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=1200/min U=180m X0=0
	Kontura	KONTURA1
	Fréz. po dráze	Zkos. T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=1200/min U=180m FS=0.5
END	Konec programu	
	Celkový čas:	🕒 5:14.04

PŘÍLOHA 6 (2/2)

NC program pro 2. upnutí (soustružení)

NC/WKS/DP_PRUNIZKOUSENI/DP_PRUNIZKOUSENI/STIT_2UPNUTI			
P	Hlavička programu		G54 Středový kvádr
	Oddělování třísky	▽▽▽	T=ROUGHING_T80 A F=0.25/ot. U=240m podélné
	Kontura		KONTURA1
	Oddělování třísky	▽	T=ROUGHING_T80 A F=0.4/ot. U=200m příčné
	Oddělování třísky	▽▽▽	T=FINISHING_T35 A F=0.2/ot. U=250m příčné
	Středové vrtání		T=DRILL_18 F=0.25/ot. U=80m Z1=-36
	Středové vrtání		T=DRILL_25 F=0.28/ot. U=90m Z1=9ink
	Kontura		KONTURA2
	Soustruž. zápichů	▽+▽▽▽	T=ZAPICHOVÁK_1 FX0.1/ot. FZ0.1/ot. S2000ot.
END	Konec programu		
	Celkový čas:		2: 29 .29

PŘÍLOHA 7 (1/2)

NC program pro 1. upnutí (soustružení)

NC/WKS/STIT_2VARIANTA/STIT_2VARIANTA		
P	Hlavička programu	G54 Středový kvádr
	Oddělování třísky	▽▽▽ T=ROUGHING_T80 A F=0.4/ot. U=400m podélné
	Kontura	KONTURA1
	Oddělování třísky	▽ T=ROUGHING_T80 A F=0.4/ot. U=350m příčné
	Oddělování třísky	▽▽▽ T=FINISHING_T35 A F=0.17/ot. U=450m příčné
	Urtání	☐+ T=URTÁK_5.8 F=0.18/ot. U=65m Z1=-40
	001: Pol. Kružnice	☐+ Z0=0 R=45 N=4
	Urtání	☐+ T=URTÁK_4.3 F=0.15/ot. U=55m Z1=-40
	002: Pol. Kružnice	☐+ Z0=0 R=37.5 N=4
	Urtání	☐+ T=URTÁK_4.3 F=0.15/ot. U=55m Z1=-40
	003: Polohy	☐+ Z0=0 X0=20.15 Y0=31 X1=-31 Y1=20.15
	Navrt. stř. důlků	☐+ T=NAVRTÁVÁK D3 F=0.25/ot. U=35m Ø3
	004: Poloha Řada	☐+ Z0=0 X0=0 Y0=0 N=1
	Středové urtání	T=DRILL_18 F=0.25/ot. U=80m Z1=-40
	Oddělování třísky	▽ T=ROUGHING_T80 I F=0.3/ot. U=350m příčné
	Oddělování třísky	▽▽▽ T=FINISHING_T35 I F=0.15/ot. U=400m příčné
	Středové urtání	T=DRILL_25 F=0.25/ot. U=85m Z1=-11.3
	Urtání	☐+ T=UÝSTRUŽNÍK_25H7 F=0.06/ot. U=140m
	Opakování polohy	004: Poloha Řada
	Urtání závitu	☐+ T=ZÁVITNÍK_M15 P1.25mm/ot. S=2000ot. Z1=-13
	Opakování polohy	002: Poloha Kružnice
	Mnohohran	☐+ T=FRÉZA_32 F=0.15/Z U=220m N=4 SW=75
	Mnohohran	▽▽▽0 ☐+ T=FRÉZA_32 F=0.1/Z U=240m N=4 SW=75
	Mnohohran	Zkos. ☐+ T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=500/min U=80m N=4
	Kruhový čep	Zkos. ☐+ T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=800/min U=100m X0=0
	Kruhová kapsa	Zkos. ☐+ T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=800/min U=100m X0=0
	Kruhová kapsa	Zkos. ☐+ T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=800/min U=100m X0=0
	Urtání	☐+ T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=0.25/ot. U=90m Z1=-1.6
	Opakování polohy	001: Poloha Kružnice
	Urtání	☐+ T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK F=0.25/ot. U=90m Z1=-1.2
	Opakování polohy	002: Poloha Kružnice
	Urtání	☐+ T=ZAROVNÁVAČ_7.5 F=0.3/ot. U=85m Z1=-8.5
	Urtání	☐+ T=KUŽEL_ZÁHLUBNÍK_D12 F=0.25/ot. U=90m
	Opakování polohy	003: Polohy
END	Konec programu	
	Celkový čas:	🕒 8: 43.71

PŘÍLOHA 7 (2/2)

NC program pro 2. upnutí (soustružení)

NC/WKS/DP_PRUNIZKOUSENI/DP_PRUNIZKOUSENI/STIT_2UPNUTI			
P	Hlavička programu		G54 Středový kvádr
	Oddělování třísky	▽▽▽	T=ROUGHING_T80 A F=0.25/ot. U=240m podélné
	Kontura		KONTURA1
	Oddělování třísky	▽	T=ROUGHING_T80 A F=0.4/ot. U=200m příčné
	Oddělování třísky	▽▽▽	T=FINISHING_T35 A F=0.2/ot. U=250m příčné
	Středové vrtání		T=DRILL_18 F=0.25/ot. U=80m Z1=-36
	Středové vrtání		T=DRILL_25 F=0.28/ot. U=90m Z1=9ink
	Kontura		KONTURA2
	Soustruž. zápichů	▽+▽▽▽	T=ZAPICHOVÁK_1 FX0.1/ot. FZ0.1/ot. S2000ot.
END	Konec programu		
	Celkový čas:	🕒	2: 29 .29

PŘÍLOHA 8

Interaktivní prezentace přiložena na CD a současně je k dispozici online [ZDE](#).

Pro správnou funkci online prezentace je třeba být přihlášen k účtu Google a spustit prezentaci v aplikaci „Prezentace Google“.

Odkaz na prezentaci:

https://drive.google.com/file/d/1bHp5RYifUilxiEC0GpERtOIVcrbKw_bD/view?usp=sharing