



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE



FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE VÝROBY A PROGRAMOVÁNÍ V ŘÍDICÍM SYSTÉMU HEIDENHAIN ITCN 530

OPTIMIZATION OF PRODUCTION AND PROGRAMMING IN THE
HEIDENHAIN ITNC 530

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TIBOR ŠIMON TEKEĽ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POLZER, PhD.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Tibor Šimon Tekeľ

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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 bakalářské práce:

Optimalizace výroby a programování v řídicím systému Heidenhain iTNC 530

v anglickém jazyce:

Optimization of production and programming in the Heidenhain TNC 530 control system

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Závěrečná práce je zaměřena na řešení technologie výroby zvolené součástky třískovým obráběním. Součástí řešení je návrh nástrojového vybavení i volba strojů nezbytných pro efektivní výrobu.

Cíle bakalářské práce:

- vytvoření NC programu pro řídicí systém Heidenhain iTNC 530
- návrh potřebného nástrojového vybavení pro výrobu zvolené součástky
- zpracování technologické dokumentace nezbytné pro výrobu zvolené součástky

Seznam odborné literatury:

MATTOX, Donald M. Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2010, 746 s. ISBN 978-0-81-552037-5.

KRAR, Stephen F. Technology of machine tools. 7th ed. McGraw-Hill: , 2011, x, 925 s. ISBN 978-007-3510-835.

Surface integrity in machining. Editor J Davim. London: Springer, 2010, 215 s. ISBN 978-1-84882-873-5.

Machine tools for high performance machining. Editor L López de Lacalle, A Lamikiz. London: Springer, c2009, xxii, 442 s. ISBN 978-1-84800-379-8.

TSCHÄTSCH, Heinz. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, c2009, xvii, 398 s. ISBN 978-3-642-01006-4.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Optimalizácia technológie výroby danej súčiastky. Zefektívnenie NC programu pre dané obrábacie centrum. Voľba vhodného nástrojového vybavenia. Technologická dokumentácia potrebná pre výrobu súčiastky. Technicko- ekonomické zhodnotenie navrhnutého technologického postupu.

Kľúčové slová

optimalizácia výroby, CNC programovanie, riadiaci systém HEIDENHAIN iTNC 530, obrábacie nástroje, CNC obrábanie

ABSTRACT

Optimization of technology of the specified component. Streamlining the NC program for machining center. Selection of suitable tooling. Technological documentation required for production of the component. Technical and economic evaluation of the proposed technological procedure.

Key words

optimization of production, CNC programing, controlling system HEIDENHAIN iTNC 530, machine tools, CNC machining

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

TEKEL, Tibor Šimon. *Optimalizace výroby a programování v řídicím systému Heidenhain iTNC 530*. Brno 2015. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 42 s. 6 příloh. Vedúci práce Ing. Aleš Polzer, PhD.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému **Optimalizace výroby a programování v řídicím systému Heidenhain iTNC 530** vypracoval samostatne s použitím odbornej literatúry a zdrojov, uvedených v zozname, ktorý tvorí prílohu tejto práce.

Dátum

TIBOR ŠIMON TEKEĽ

POĎAKOVANIE

Týmto ďakujem pánovi Ing. Alešovi Polzerovi, PhD. z ÚST, a pánom Miroslavovi Vrabcovi, Martinovi Zacharovskému, Miroslavovi Vlhovi, Michalovi Račkovi, a Vladimírovi Feketíkovi zo spoločnosti ESOX s.r.o. za cenné rady a pripomienky pri vypracovaní tejto bakalárskej práce.

OBSAH

Abstrakt	4
Prehlásenie	4
PodĎakovanie	5
Obsah	6
Úvod	7
1 Rozbor problému	8
1.1 Popis súčiastky	8
1.2 Materiál súčiastky	9
1.3 Stroje pre výrobu	10
1.4 Frézovanie	11
1.5 Vrtanie	12
1.6 Tepelná úprava	12
1.7 Pôvodná postupnosť jednotlivých operácií na CNC stroji	13
1.8 Navrhovaná postupnosť jednotlivých operácií na CNC stroji	14
2 Technologická dokumentácia	15
2.1 3D model	15
2.2 Časti výkresu potrebné pre výrobu	15
2.3 Pracovný postup	15
3 Nástrojové vybavenie	16
3.1 Frézy	16
3.1.1 Hrubovacie monolitné frézy zo SK	16
3.1.2 Dokončievacie monolitné frézy zo SK	17
3.2 Vrtáky	21
3.2.1 Monolitné vrtáky zo SK	21
3.2.2 Monolitné vrtáky HSCO	22
3.2.3 Monolitný navíťavák HSS	23
3.2.4 Vrtáky s VRD	23
3.3 Upínacie systémy nástrojov	25
4 Tvorba NC programu	26
4.1 Prvá poloha	26
4.2 Druhá Poloha	34
5 Technicko- ekonomické porovnanie	35
6 Záver	38
Zoznam použitých zdrojov	39
Zoznam príloh	42

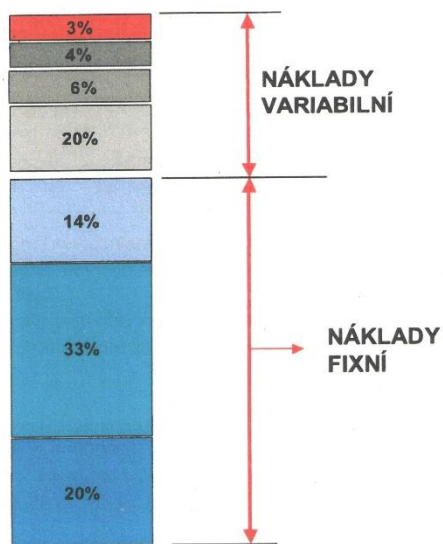
ÚVOD

Optimalizácia výroby je v dnešnej dobe nevyhnutná súčasť každej firmy. K optimalizácii obrábacieho procesu je potrebné postupovať komplexne. Jedným z prvých krokov je optimálny výber stroja (hodinová sadzba stroja, maximálne dosiahnuteľné parametre, stupeň automatizácie). Na základe týchto parametrov sa stanoví optimálny počet kusov v dávke. Ďalším krokom optimalizácie je výber vhodného nástroja a to z hľadiska rezného materiálu a geometrie. Jedným z hlavných kritérií výberu je veľkosť úberu materiálu, vďaka ktorému môže nástroj ušetriť mnoho času [15].

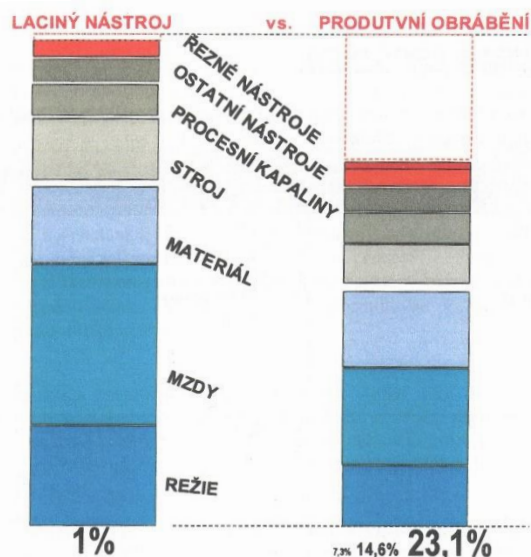
Pri optimalizácii technológie výroby danej súčiastky je nutné zvoliť vhodné nástroje, rezné podmienky obrábacieho procesu a vytvoriť jednoduchý a efektívny program pre CNC.

Pri voľbe nástroja je dôležité zvážiť, ako sa náklady na nástroje premietnu do celkových nákladov na výrobu súčiastky, pretože znižovanie cien nemusí automaticky znamenať znižovanie celkových nákladov. Na obr. 1 je jasne vidieť typickú štruktúru nákladov na výrobu strojnej súčiastky, z ktorého je zrejmé, že náklady na rezné nástroje tvoria cca 3 % z konečnej ceny výrobku. V prípade, že by sa podarilo znížiť túto nákladovú položku o 30 %, celkové náklady by poklesli o 1 %. Oproti tomu pri zvýšení týchto nákladov o 30 % za súčasného rastu produktivity môžeme dosiahnuť podstatne vyšších úspor (obr. 2) [15].

Daná súčiastka sa vyrába v spoločnosti ESOX s r.o., ktorá sa zaoberá predovšetkým konštrukciou vstrekovacích foriem pre plasty a lisovacích nástrojov pre spracovanie tenkých plechov a dosiek plošných spojov. Tieto výrobky sa vyznačujú vysokým podielom pridanej hodnoty, nízkou materiálovou náročnosťou, nízkou sériovosťou a vysokými požiadavkami na kvalitu spracovania.



Obr. 1 Štruktúra nákladov na výrobu strojnej súčiastky [13].



Obr. 2 Porovnanie zníženia nákladov pri voľbe efektívnych nástrojov [13].

1 ROZBOR PROBLÉMU

1.1 Popis súčiastky

V danom prípade je definovaná súčiastka výkresovou dokumentáciou (príloha č. 1, č. 2, č. 3). Súčiastka je časťou výrobného nástroja v automatickej linke na zalisovávanie závitových matic do plechových dielov (obr. 1.3). Optimalizácia bola zameraná na efektívnu výrobu nasledovných detailov obrobku (obr. 1.1, obr. 1.2, tab. 1.1, tab. 1.2) :

1) Kruhové kapsy

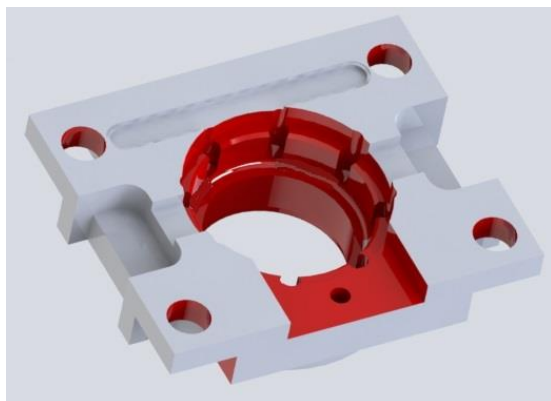
Tab. 1.1 Obrábané kruhové kapsy.

Priemer [mm]	Hĺbka [mm]	Poznámka
30	3,7	-
26	9,8	na dne rádius R1

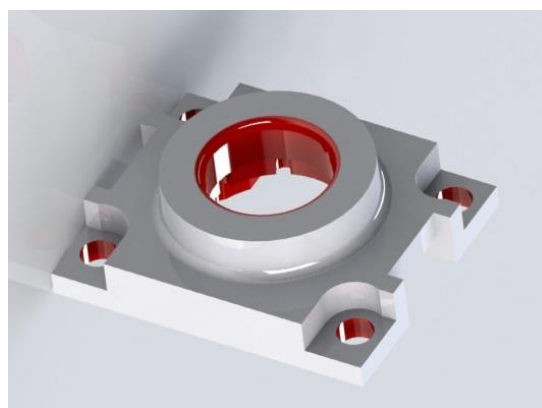
2) Diery

Tab. 1.2 Obrábané diery.

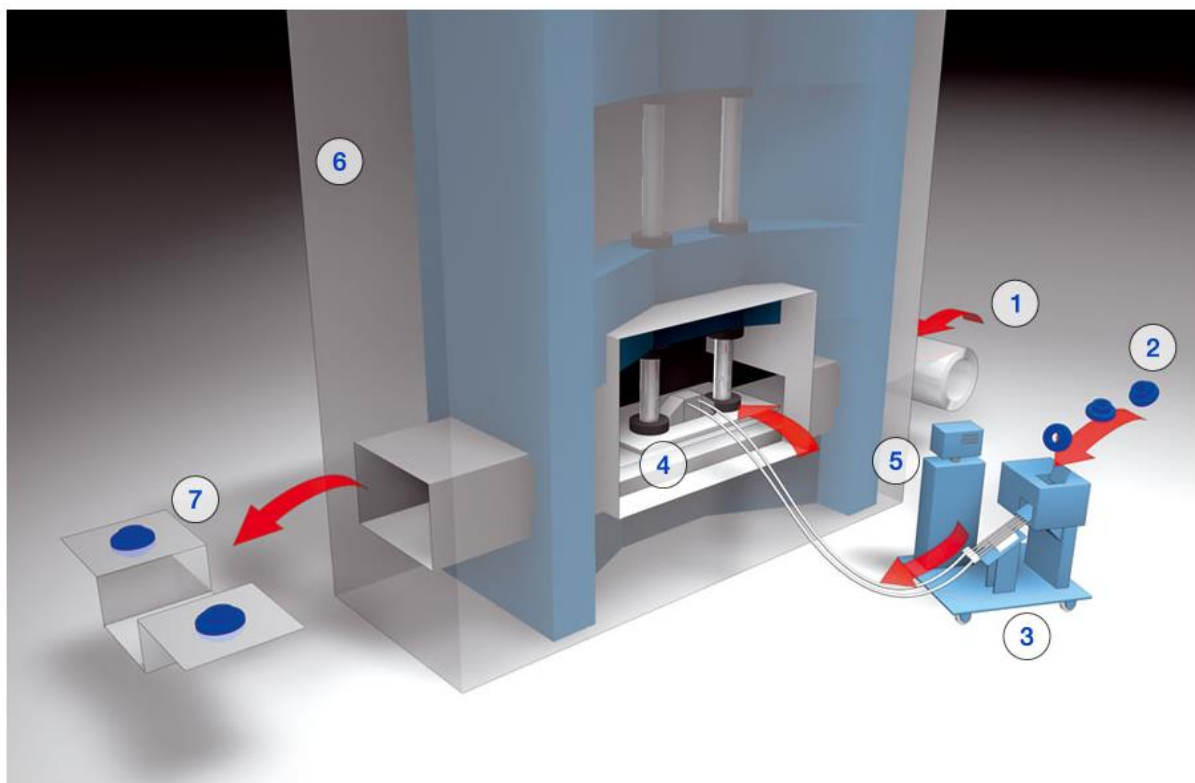
Priemer [mm]	Hĺbka [mm]	Počet	Poznámka
3	8,5	8	Nepriechodzia diera
3,3	8	1	Priechodzia diera
6,4	3,5	4	Priechodzia diera
21,5	18,3	1	Priechodzia diera ukončená skosením a rádiusom R1



Obr. 1.1 Detail obrábaných plôch, pohľad zospodu.



Obr. 1.2 Detail obrábaných plôch, pohľad zhora.



Obr. 1.3 Automatická linka na zalisovávanie závitových matíc do plechových dielov [19].

1.2 Materiál súčiastky

Pre daný výrobok máme predpísaný materiál 1.2842 (STN 19 312, 90MnCrV8). Dodávateľom je spoločnosť BOHLER, ktorá dodáva daný materiál pod označením K720.

Jedná sa o najpoužívanejšiu univerzálnu nástrojovú oceľ, tzv. “stabilku”, s pevnosťou 740 MPa, ktorá sa vyznačuje výbornou rozmerovou stálosťou pri tepelnom spracovaní. Táto vlastnosť nám umožňuje vyrobiť súčiastku na hotové rozmery už pred kalením. Drsnosť obrobku po kalení ale nespĺňa niektoré predpísané hodnoty, ktoré budeme musieť následne obrúsiť. Pre uvedenú oceľ je takisto charakteristická dobrá prekaliteľnosť, ktorá vyplýva s obsahu legujúcich prvkov. Hlavne kvôli chrómu a mangánu a menej vďaka uhlíku a kremíku. Po kalení môžeme dosiahnuť tvrdosť až 63 HRC čo spĺňa požiadavky zákazníka (výrobok má byť vyrobený s tvrdosťou 58 +2 HRC). Materiál je pri dodaní žihaný namätko s maximálnou tvrdosťou 220 HB [22].

Tab. 1.3 Zloženie oceli K720 [20].

Prvok	C	Mn	Si	Cr	V
Obsah [%]	0,9	2	0,25	0,35	0,1

Vplyv legujúcich prvkov:

Mangán (Mn): zlepšuje kaliteľnosť a zvyšuje pevnosť ocelí. Obsah mangánu do 1,5% priaznivo ovplyvňuje obrábanie ocelí s nízkym obsahom uhlíka v dôsledku dobrého tvorenia triesok. Pri vyššom obsahu uhlíka je obrábanie ovplyvňované negatívne, kvôli silnejšiemu opotrebeniu nástroja [10].

Chróm (Cr): zlepšuje kaliteľnosť ocelí a ovplyvňuje tak v cementačných oceliach a oceliach k zušľachtovaniu obrábiteľnosť zmenou štruktúry a pevnosti [1].

Vanád (V): je viazaný väčšinou ako karbid (V_4C_3), v ktorom je rozpustené menšie množstvo W, Mo a Cr. Drobné karbidy vanádu sa rozpúšťajú až pri vysokých teplotách. Pri výdrži na kaliacej teplote zostávajú hlavne v mriežke a bránia v raste zrna [1].

1.3 Stroje pre výrobu

Pre výrobu sa uvažuje s portfóliom obrábacích CNC strojov, ktoré má výrobná spoločnosť k dispozícii (viď tab. 4). Pre výrobu súčiastky bol ponechaný pôvodný 3-osí stroj PINACLE 810, pretože spĺňa všetky požiadavky na výrobu. Pre ešte väčšie zefektívnenie výroby dielu by bolo možné použiť 5- osí obrábací stroj HERMLE C 600 U. Vzhľadom k vyťaženosti tohto stroja to však nie je možné.

Tab. 1.4 Zoznam CNC strojov [24].

Stroj	CNC systém	Maximálny pohyb v osiach x, y, z [mm]	Maximálna váha obrobku [kg]	Otáčky [1/min]	Špeciálna vlastnosť
HERMLE C 600 U	iTNC 530	600x400x450	350	16 000	-
MCV 1000	iTNC 530	1000x550x560	650	10 000	Chladienie cez vreteno
MICRON HSM 400	iTNC 530	500x450x360	120	30 000	Obrábanie grafitu
PINACLE 810	iTNC 530	810x800x570	650	12 000	Chladienie cez vreteno



Obr. 1.3 HERMLE C 600 U.



Obr. 1.4 MICRON HSM 400.



Obr. 1.5 MCV 1000.



Obr. 1.6 PINACLE 810.

1.4 Frézovanie

Kvalitu frézovania ovplyvňuje mnoho faktorov ako tuhosť stroja, geometrická presnosť stroja, spôsob upnutia nástroja a obrobku, výber vhodného nástroja a rezných parametrov pre daný nástroj atď. Spôsob obrábania by mal byť vopred dôkladne naplánovaný pretože vhodným plánom môžeme dosiahnuť nielen najlepšiu kvalitu ale takisto ušetriť čas a náklady na výrobu. [10]

Pri frézovaní rozlišujeme dva pohyby a to **hlavný** a **vedľajší**. Hlavný pohyb koná fréza. Tento pohyb je definovaný reznou rýchlosťou v_c [m/min] [8].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.1)$$

Vedľajší pohyb v_f [m/min] koná obrobok, definovaný druhom frézy, hodnotou posuvu na zub f_z a počtom zubov z [8]:

$$v_f = \frac{f_z \cdot z \cdot n}{1000} \quad (1.2)$$

Vektorový súčet hlavného a vedľajšieho pohybu nám udáva efektívny výsledný pohyb v_e v skalárnom vyjadrení [8]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad (1.3)$$

1.5 Vrtanie

Pojem vrtanie zahŕňa takmer všetky spôsoby obrábania, ktoré sa používajú na výrobu valcových dier v obrobku pri použití rezných nástrojov. Tento pojem zahŕňa okrem vrtania krátkych a dlhých dier aj ďalšie spôsoby obrábania ako vystružovanie, vyvrtávanie ale takisto niektoré operácie načisto ako je valčekovanie a pod. Pri použití moderných nástrojov môžeme vykonať vrtanie do plného materiálu v jedinej operácii bez predchádzajúceho predvrtania. Proces vrtania môžeme síce porovnávať so sústružením a frézovaním, ale požiadavky na vytváranie triesky a jej odvádzanie sú pri vrtaní podstatne vyššie. Čím hlbšiu diery chceme vyvrtáť, tým dôležitejšie je zaistiť kontrolovanú tvorbu triesok, aby sme mohli tieto triesky odstraňovať z diery. Pri vrtaní dlhých dier kladieme dôraz na kvalitu vrtania. Zatiaľ čo u krátkych dier dávame dôraz najmä na objem odobratého materiálu. Najbežnejšou metódou vrtania krátkych dier je vrtanie dier doplna, diery vrtame v jedinej operácii. [10]

Rezná rýchlosť v_c sa vypočíta rovnako ako pri frézovaní (rovnica 1.1). Posuvová rýchlosť v_f [m/min] je závislá na posuve na otáčku f a otáčkach vrtáku n [8]:

$$v_f = \frac{f \cdot n}{1000} \quad (1.4)$$

1.6 Tepelná úprava

Tepelné spracovanie má za účel zmeniť vlastnosti ocelí riadeným ohrevom a následným riadeným chladením. Od výšky teploty závisí, aké zmeny v oceli prebiehajú. V danom prípade bolo použité kalenie a popúšťanie, kvôli dosiahnutiu predpísanej tvrdosti materiálu.

Kalenie materiálov spočíva v ohreve na teplotu austenitizácie a následnom rýchlom ochladení pod teplotu počiatku vzniku martenzitu. Austenitizačná teplota musí byť zvolená tak vysoko, aby došlo k rozpusteniu primeraného množstva karbidov a tým dôjde k obohateniu austenitu uhlíkom a ďalšími prvkami, ktoré sa na tvorbe karbidov podieľali [9].

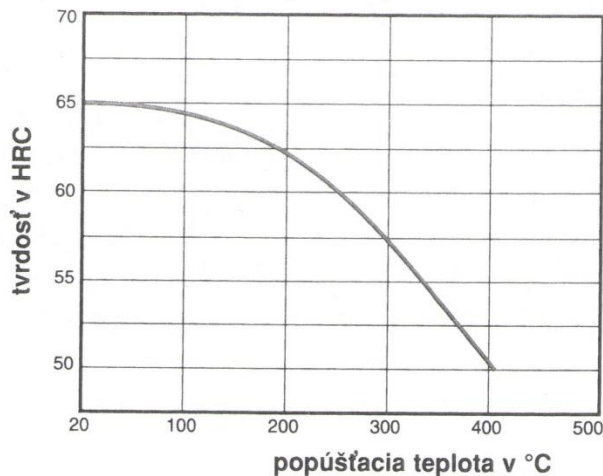
Pre daný typ ocele (BOHLER K720) je výška teploty ohrevu na 790 - 820 °C a nasledujúca výdrž na austenitizačnej teplote po priehriatí v celom priereze 15 - 30 minút [20].

Finálne vlastnosti dielu po kalení sa získajú následným popúšťaním. Nástroje sú po kalení krehké a náchylné k praskaniu. Z tohto dôvodu je nutné okamžité popúšťanie. Výška popúšťanej teploty sa volí podľa požadovanej tvrdosti nástroja a ďalších potrebných mechanických vlastností (napr. húževnatosti) [9].

Popúšťanie pre daný výrobok nasleduje podľa popúšťacieho diagramu, ktorý udáva dodávateľ materiálu (obr. 1.6) [20].

POPÚŠŤACÍ DIAGRAM

- kaliaca teplota 810 °C
- prierez skúšobnej vzorky: štvorhran 20 mm



Obr. 1.7 Popúšťací diagram oceli K720 [20].

1.7 Pôvodná postupnosť jednotlivých operácií na CNC stroji

Pôvodný postup pozostával z nasledujúcich krokov:

- 1) Navrtanie otvoru D21,5 a D6,4 monolitným HSS navrtákom o priemere D5 (zmena v navrhovanom postupe, ďalej NP)
- 2) Vyvrtanie otvoru D21,5 monolitným HSCO vrtákom o priemere D20 (zmena v NP)
- 3) Vyvrtanie otvoru D6,4 HSCO vrtákom o priemere D6,5 (zmena v NP)
- 4) Vyvrtanie otvorov 8xD3 monolitným vrtákom zo spekaných karbidov (ďalej SK) o priemere D3 (zmena v NP)
- 5) Navrtanie diery pre závit M4 rovnakým nástrojom, ktorý je použitý v kroku 4 (zmena v NP)
- 6) Navrtanie diery pre závit M4 monolitným HSCO vrtákom o priemere D3,3 (zmena v NP)
- 7) Frézovanie otvorov 8xD3 na stred tolerancie monolitnou frézou zo SK (zmena v NP)
- 8) Hrubovanie kruhovej kapsy D30 a drážkového vybrania monolitnou frézou zo SK o priemere D12
- 9) Vyhrubovanie kruhovej kapsy o priemere D26 a otvoru o priemere D21,5 monolitnou frézou zo SK o priemere D12
- 10) Dokončenie kruhovej kapsy o priemere D30 dokončievacou monolitnou frézou zo SK o priemere D12
- 11) Dokončenie kruhovej kapsy o priemere D26 a otvoru o priemere D21,5 dokočievacou monolitnou frézou zo SK určenú pre kalené materiály o priemere D16 R1 (zmena v NP)
- 12) Zrazenie hranky 0,5x45° monolitnou frézou zo SK určenou pre zrážanie hrán
- 12) Zmena polohy a následné frézovanie 15° zrazenia ukončeného rádiusom R1 guľovou monolitnou frézou zo SK o priemere D4. (zmena v NP)

Celkový čas podľa simulácie: **13:15 min**

Počet nástrojov: **11 ks**

1.8 Navrhovaná postupnosť jednotlivých operácií na CNC stroji

Navrhovaný postup pozostáva z nasledujúcich krokov:

- 1) Vyvrtanie otvoru o priemere D21,5 monolitným vrtákom s vymeniteľnými reznými doštičkami (ďalej VRD) o priemere D20
- 2) Navrtanie dier 8xD3 a závitú M4 HSS navrtákom o priemere D2
- 3) Vrtanie dier 8xD3 monolitným HSCO vrtákom o priemere D3,05
- 4) Vyhrubovanie kruhových káps o priemeroch D30, D26 a otvore o priemere D 21,5 monolitnou frézou zo SK o priemere D12
- 5) Dokončenie kruhovej kapsy o priemere D26 a otvoru D21,5 monolitnou frézou zo SK o priemere D12 R1
- 6) Dokončenie kruhovej kapsy o priemere D30 a drážky monolitnou frézou zo SK o priemere D12
- 7) Vyvrtanie otvorov 4xD6,4 monolitným HSCO vrtákom o priemere D6,5
- 8) Zrazenie hranky 0,5x45° monolitnou frézou zo SK určenou pre zrážanie hrán
- 9) Zmena polohy a následné frézovanie 15° zrazenia ukončeného rádiusom R1 špeciálne navrhnutou frézou

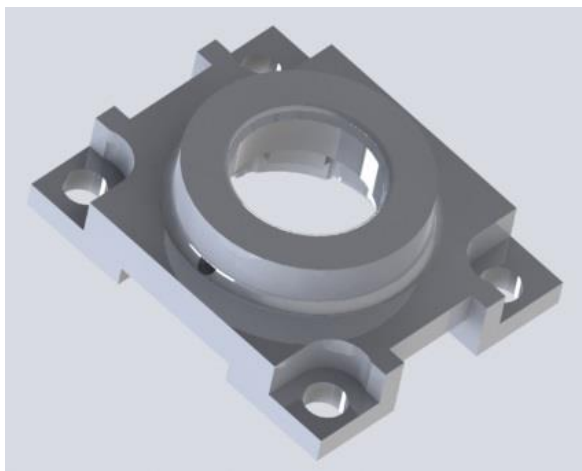
Celkový čas podľa simulácie: **7:24 min**

Počet nástrojov: **10 ks**

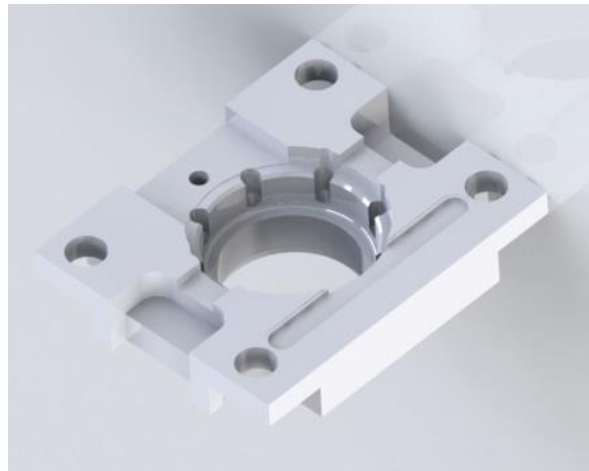
2 TECHNOLOGICKÁ DOKUMENTÁCIA

2.1 3D model

3D model bol vytvorený v CAD programe SolidWorks 2013 podľa výkresu súčiastky (príloha č. 1) dodanej firmou ESOX s.r.o. Náhľad na model je v obr. 2.1 a obr. 2.2.



Obr. 2.1 Pohľad na model zhora.



Obr. 2.2 Pohľad na model zospodu.

2.2 Časti výkresu potrebné pre výrobu

- Časti výkresu potrebné pre výrobu-
- pohľad zdola (príloha 2, obr.2.3)
 - pohľad zhora (príloha 2, obr. 2.4)
 - detail X (príloha 3, obr. 2.5)
 - detail Y (príloha 3, obr. 2.6)
 - rez A – A (príloha 3, obr. 2.7)

2.3 Pracovný postup

Predloha k pracovnému postupu bola prevzatá z firmy ESOX s r.o., do ktorej bol následne vypracovaný pracovný postup pre výrobu danej súčiastky podľa novonavrhnutej technológie (príloha 4).

Číselník pracovísk uvádzaných v pracovnom postupe vychádza z číselníka platného vo firme ESOX s r.o. nasledovne:

Pracovisko	Činnosť pracoviska
596	príprava polotovaru
521.5	operácie na obrábacom centre
823	ručné opracovanie
622	tepelné spracovanie materiálu
561	brúsenie

3 NÁSTROJOVÉ VYBAVENIE

Pri optimalizácii výroby sa podarilo zredukovať počet nástrojov z pôvodných 11 na 10. Hlavným parametrom pri výbere nástroja bola vhodnosť použitia nástroja pre konkrétny materiál (1.2842), objem odobraného materiálu za jednotku času Q a cena.

Výber nástrojov pozostával z aktuálnych dodávateľov pre spoločnosť ESOX s r.o. (FRAISA, GUHRING, MASTER TOOL, POKOLM VOHA, DORMER PRAMET a SANDVIK), pretože nástroje od daných spoločností sú už odskúšané a poskytujú pre danú spoločnosť, ako pre dlhoročného zákazníka, výrazné zľavy.

Uvádzané rezné parametre sú dané katalógom pre použitý typ materiálu.

3.1 Frézy

Pre operáciu frézovania bolo použitých 5 monolitných fréz (1 hrubovacia, 3 dokončievacie a 1 fréza pre zrážanie hrán) vyrobených zo spekaných karbidov.

Pri porovnaní fréz boli použité nasledovné parametre a vzorce (tab. 3.1):

Tab. 3.1 Zoznam použitých parametrov.

Označenie	Vysvetlenie	Jednotka
z	počet zubov	-
a_p	hlbka záberu triesky	mm
a_e	pracovný záber	mm
v_c	rezná rýchlosť	m/min
v_f	veľkosť posuvovej rýchlosti	mm/min
f_z	posuv na zub	mm
n	otáčky	min ⁻¹
Q	veľkosť úberu materiálu	cm ³ /min

Pre výpočet rezných parametrov boli použité rovnice (1.1), (1.2) a (3.1):

$$Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f}{1000} \quad (3.1)$$

3.1.1 Hrubovacie monolitné frézy zo SK

Hrubovacia fréza bola vyberaná od 3 dodávateľov (Tab. 3.2). U všetkých bol typ frézy určený pre obrábanie daného materiálu a bola pri nich použitá povrchová úprava vďaka ktorej dosahovali približne rovnakú životnosť (obr. 3.1).

GUHRING 3736 D12

Vybraná fréza má síce vyššiu cenu ako ostatné, ale dokáže odobrať výrazne väčší objem materiálu Q, čo sa premietne vo výslednom strojnom čase a následne v nákladoch na výrobu (obr. 3.1).

Pri danej fréze je použitý viacvrstvový povlak, ktorý dodávateľ udáva pod názvom "Fire", vďaka ktorému je nástroj odolný voči opotrebeniu a povrch dosahuje tvrdosť 3300 HV. Fréza je určená na obrábanie ocele a liatiny [15].

Rozmery frézy: $d_1=12$ mm $l_1= 86$ mm

$d_2= 12$ mm $l_2= 23$ mm

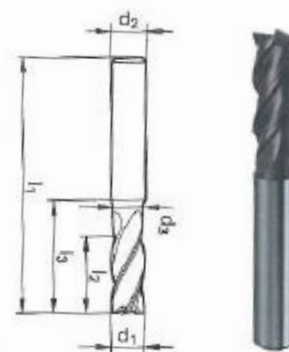
$d_3= 11,2$ mm $l_3= 38$ mm

Tab. 3.2 Prehľad vybraných alternatív pre hrubovacíu frézu D12 [14, 15, 16].

Firma	Označenie	z	a_p	a_e	v_c	v_f	f_z	n	Q	cena
		[-]	[mm]	[mm]	[m/min]	[mm/min]	[mm]	[min ⁻¹]	[cm ³ /min]	[eur]
Guhring	Nr. 3736	4	12	10,8	180	1620	0,085	4774	210	73,9
Fraisa	P45217.501	4	18	10	180	756	0,045	4200	136	45,81
Master-tool	50 954 120	4	12	9	170	940	0,05	4700	102	60

s břitem přes střed

Obj. číslo	3208	3736
Norma	DIN 6527 L	
Materiál nástroje	SK monolit.	
SK aplikační skupina	K	K/P
Povrch. úprava	○	●
Typ	N	N
Tvar stopky	HA	HA
Úhel stoupání	35°/38°	
Tolerance průměru	h10	h10
Rabatová skupina	106	106
Info o produktu na straně	1091	1091



Obr. 3.1 Fréza GUHRING 3736 [14].

3.1.2 Dokončievacie monolitné frézy zo SK

Dokončievacie frézy boli vybrané od 3 dodávateľov. U všetkých bol typ frézy určený pre obrábanie daného materiálu a bola pri nich použitá povrchová úprava vďaka ktorej dosahovali približne rovnakú životnosť.

FRAISA 5360.501 D12

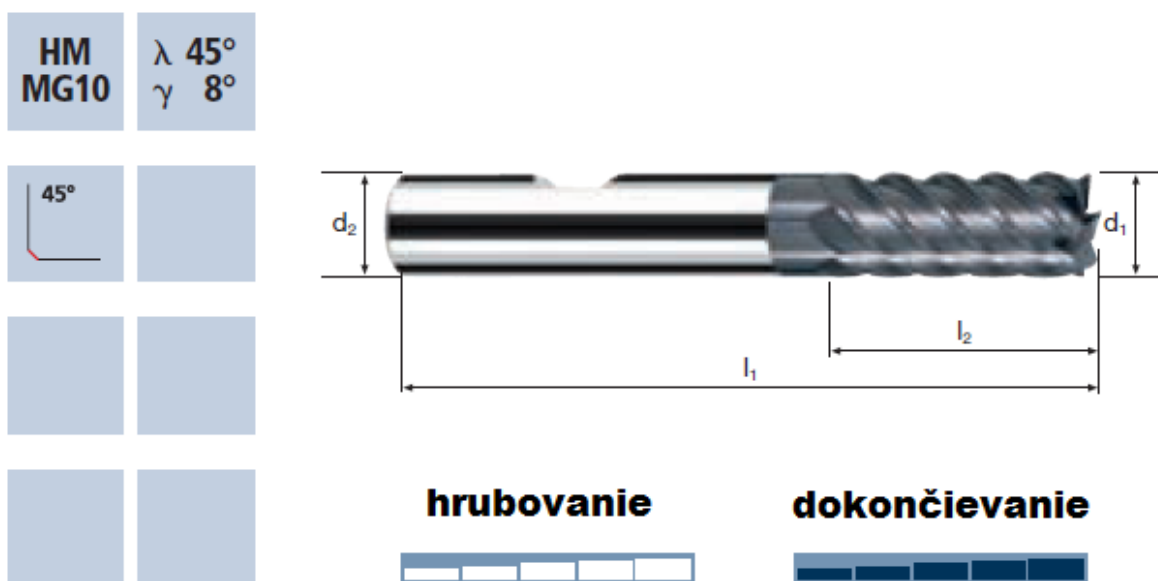
Fréza na dokončevanie tentokrát nebola vybraná podľa maximálnej hodnoty parametra Q z toho dôvodu, že cena za túto frézu má výrazne vyššiu cenu ako ostatné vzhľadom k rozdielu v hodnote Q a pri dokončevaní by rozdiel v tejto hodnote nemal zásadný vplyv na strojný čas (tab 3.3).

Vhodnosť frézy na dokončevanie a schematické vysvetlenie rozmerov je vidieť na obr. 3.2.

Rozmery: $d_1 = 12 \text{ mm}$ $l_1 = 83 \text{ mm}$
 $d_2 = 12 \text{ mm}$ $l_2 = 26 \text{ mm}$

Tab. 3.3 Prehľad vybraných alternatív pre dokončevaciu frézu D12 [10, 17, 18].

Firma	Označenie	z	a_p	a_e	v_c	v_f	f_z	n	Q	cena
		[-]	[mm]	[mm]	[m/min]	[mm/min]	[mm]	[min ⁻¹]	[cm ³ /min]	[eur]
Fraisa	5360.501	6	18	0,1	160	820	0,04	3715	1,5	69
Karnasch	30.6456	6	18	0,12	150	917	0,04	3981	2,0	135
Pokolm voha	NW 032 56 120	6	16	0,1	140	750	0,03	3715	1,5	80



Obr. 3.2 Fréza FRAISA 5360 [13].

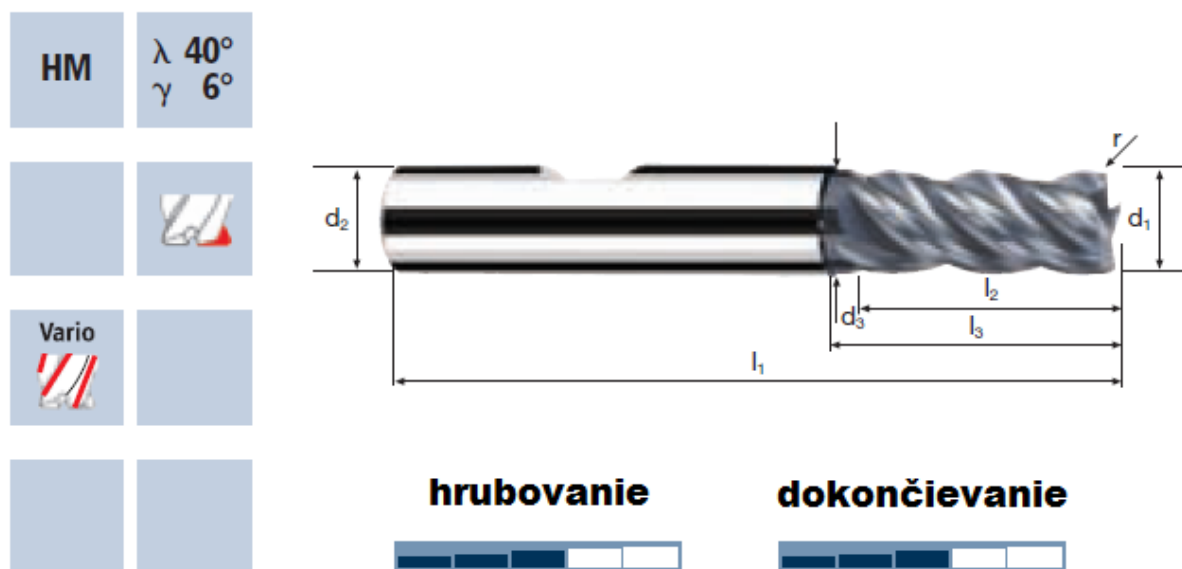
FRAISA P45319 D12 R1

Hlavným parametrom pri výbere dokončovacej frézy s rádiusom R1 bola cena, pretože parameter Q bol vo všetkých prípadoch takmer rovnaký. Fréza nie je určená čisto na dokončovanie ale podľa katalógu by kladené požiadavky mala zvládať (obr. 3.3, tab. 3.4).

Rozmery: $d_1=12$ mm $l_1= 83$ mm $R= 1$ mm
 $d_2= 12$ mm $l_2= 26$ mm
 $d_3= 11$ mm $l_3= 31$ mm

Tab. 3.4 Prehľad vybraných alternatív pre dokončovaciu frézu D12 R1 [10, 12, 17].

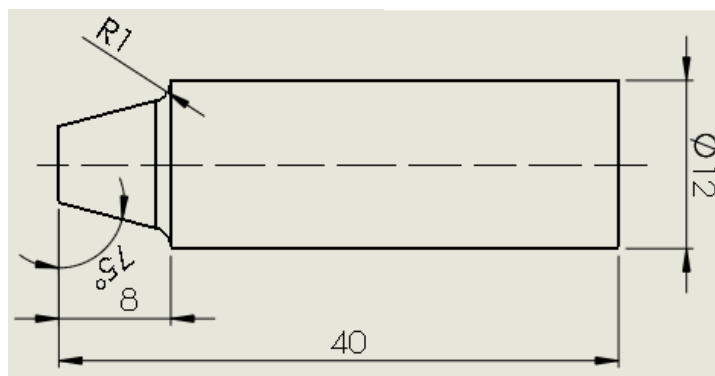
Firma	Označenie	z	a_p	a_e	v_c	v_f	f_z	n	Q	cena
		[-]	[mm]	[mm]	[m/min]	[mm/min]	[mm]	[min ⁻¹]	[cm ³ /min]	[eur]
Fraisa	P45219	4	18	3,5	180	1145	0,060	4775	72,1	65
Sandvik	RA215.26-3250DAL24L	4	16	4	160	1120	0,066	4246	71,7	83
Pokolm voha	NW 0334 56 123	4	16	4	180	1100	0,058	4777	70,4	75



Obr. 3.3 Fréza FRAISA P45319 [13].

ŠPECIÁL A75R1

Pre vyfrézovanie zrazenia 15° hrany ukončenej rádiusom R1 je použitá špeciálna fréza, navrhnutá spoločnosťou MASAM podľa zadania (obr. 3.4). Fréza bola navrhnutá z dôvodu efektívnosti výroby a výrazného skrátenia strojného času. Po konzultácii s firmou MASAM je cena tohto nástroja maximálne 92 eur, ktorú je možno znížiť pri väčších počtoch odberov frézy. Rezné vlastnosti udáva dodávateľ podľa tabuľky (tab. 3.5).



Obr. 3.4 Náčrt frézy A75R1

Tab. 3.5 Rezné parametre frézy špeciál A75R1.

Firma	Označenie	d_1	l_1	l_2	v_f	v_c	f	n	cena
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm/min]	[m/min]	[mm]	[min ⁻¹]	[eur]
Masam	A75R1	12	25	8	100	130	0,08	3000	92

ZRÁŽAČ HRÁN S740

Fréza na zrážanie hrán bola použitá z pôvodného technologického postupu (obr. 3.5, tab. 3.6).

Tab. 3.6 Rezné parametre zrážača hrán S740 [13].

Firma	Označenie	d_1	l_1	l_2	v_f	v_c	f	n	cena
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm/min]	[m/min]	[mm/ot]	[min ⁻¹]	[eur]
Pramet	S740	12	75	25	552	130	0,08	3448	38



Obr. 3.5 Zrážač hrán S740 [13].

3.2 Vrtáky

Pri novom postupe boli navrhnuté monolitné vrtáky zo SK a vrták s VRD povlakovanými technológiou **PVD** a **CVD**.

PVD (Physical Vapour Deposition – fyzikálne naparovanie) je metóda povlakovania vymeniteľných rezných doštičiek zo SK, ktorá je charakteristická nízkymi pracovnými teplotami (pod 500 °C). Povlak je tvorený vákuovým naparovaním, naprašovaním, pulznou laserovou depozíciou alebo depozíciou elektrónovým zväzkom. Medzi výhody patrí napr. presné definovanie chemického zloženia povlaku, vynikajúca adhézia povlaku k podkladu, široký rozsah povlakových a podkladových materiálov (povlaky najčastejšie tvorené na bázi TiN) [3, 11].

CVD (Chemical Vapour Deposition – chemické naparovanie) chemický proces povlakovania, ktorý spočíva v reakcii plyných chemických zlúčenín v bezprostrednej blízkosti povrchu podkladového spekaného karbidu a následnom uložení produktov reakcie na tomto povrchu. Medzi hlavné výhody patrí vysoká hustota povlaku, povlakovanie predmetu zo všetkých strán ako dôsledok pomerne vysokých pracovných tlakov plynnej zmesi (1 – 100 kPa). [3, 11]

3.2.1 Monolitné vrtáky zo SK

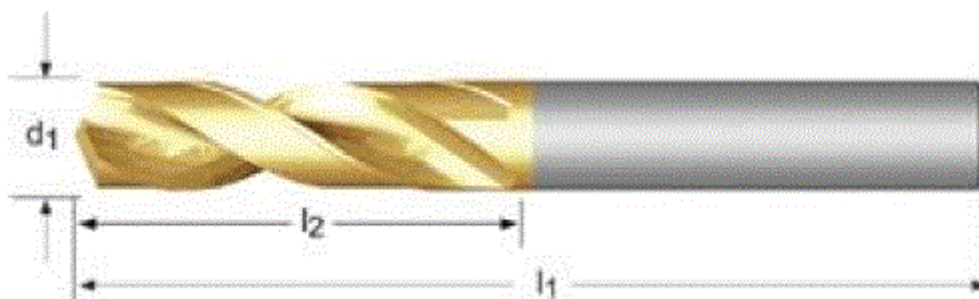
Monolitné vrtáky boli vyberané od dodávateľov PRAMET a SANDVIK.

PRAMET R520 D6,5

Pre vrtanie dier priemeru $D=6,4$ mm bol zvolený rovnaký vrták ako v pôvodnom technologickom postupe, pretože tento vrták maximálne spĺňa svoju funkciu a nie je preto žiadny dôvod vybrať inú alternatívu. Povrchová úprava nástroja je povlak typu TiN, ktorý chráni nástroj pred opotrebením (obr. 3.6, tab. 3.7).

Tab. 3.7 Dĺžkové a rezné parametre vrtáku D6,5 [13].

Označenie	d_1	l_1	l_2	v_f	v_c	f	n	Q	cena
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/min]	[m/min]	[mm/ot]	[min^{-1}]	[cm^3/min]	[eur]
PRAMET R520	6,5	70	31	1058	80	0,27	3918	35,1	40,45



Obr. 3.6 Vrták PRAMET R520 [17].

3.2.2 Monolitné vrtáky HSCO

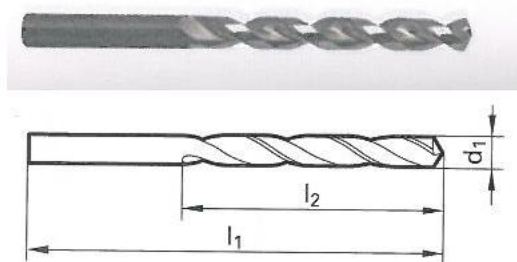
V postupe boli použité dva vrtáky vyrobené z rýchloreznej oceli s prídavkom Co (ozn. HSCO).

GUHRING DIN 338 GT-100 D3,05

Daný vrták je vybraný od výrobcu GUHRING hlavne preto, lebo tak špecifický priemer vrtáku ponúka iba daný dodávateľ. U nástroja je použitý viacvrstvový povlak, ktorý dodávateľ udáva pod názvom "Fire", vďaka ktorému je nástroj odolný voči opotrebeniu a povrch dosahuje tvrdosť 3300 HV (obr.3.7, tab. 3.8) [11].

Tab. 3.8 Dĺžkové a rezné parametre vrtáku D3,05 [11].

Označenie	d ₁	l ₁	l ₂	v _f	v _c	f	n	Q	cena
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/min]	[mm]	[mm/ot]	[min ⁻¹]	[cm ³ /min]	[eur]
DIN 338 GT-100	3,05	36	65	130	98	0,063	2088	0,95	6,52



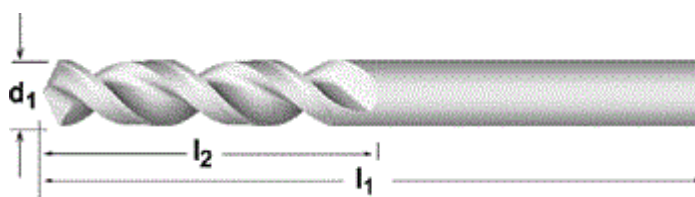
Obr. 3.7 Vrták GUHRING DIN 338 GT- 100 [11].

GUHRING 8524 D3,3

V tomto prípade bol opäť použitý vrták z pôvodného technologického postupu, pretože sa jedná o vrtanie jedného krátkeho otvoru, kde nie je možná výrazná optimalizácia (obr. 3.8, tab. 3.9).

Tab. 3.9 Dĺžkové a rezné parametre vrtáku D3,05 [11].

Označenie	d ₁	l ₁	l ₂	v _f	v _c	f	n	Q	cena
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/min]	[mm]	[mm/ot]	[min ⁻¹]	[cm ³ /min]	[eur]
Guhring 8524	3,3	50	18	576	65	0,09	6270	4,9	5,23



Obr. 3.8 Vrták GUHRING 8524 [11].

3.2.3 Monolitný navrtavák HSS

V postupe bol použitý jeden navrtavák z rychloreznej oceli (ozn. HSS).

PRAMET A2002.0X5.0

Navrtavák o priemere 2 mm je použitý rovnaký aký bol pri pôvodnom technologickom postupe, pretože daný nástroj spĺňa nároky ktoré sú naňho kladené (obr.3.9, tab. 3.10).

Tab. 3.10 Dĺžkové a rezné parametre navrtaváku [13].

Označenie	d1	d2	l1	l2	v _f	v _c	f	n	cena
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm/min]	[m/min]	[mm/ot]	[min ⁻¹]	[eur]
A200	2	5	40	2,8	159	20	0,05	3183	5,2



Obr. 3.9 Navrtavák A2002.0X5.0 [13].

3.2.4 Vrtáky s VRD

V postupe bol použitý jeden vrták s VRD.

PRAMET 805D-20-100-S25

Doštičkový vrták s označením 805D (obr. 3.10) bol vybraný kvôli cene a kvôli rezným vlastnostiam VRD (tab. 3.11, tab. 3.12). Typ 5D znamená $L=5xD$. Pre konkrétnu súčiastku by bol vhodnejší menší pomer dĺžky a priemeru, ale vrták koná hrubovací operáciu, pri ktorej spĺňa kladené nároky na presnosť obrobenia a môže sa použiť neskôr pri výrobe hlbších dier. Pri nástroji môže byť použité vnútorné chladenie, čo umožňuje vrtanie bez prísuvu. Tým ušetríme cca. 20 % času. Na vrtáku sú použité 2 typy VRD, stredová a obvodová.

Stredová VRD je vyrobená z materiálu s označením D8345 povlakovaná PVD technológiou (príloha 5).

Vlastnosti materiálu D8345:

- najhúževnatejší člen rady T8300,
- substrát s vysokým obsahom kobaltu,
- nano-vrstevnatý **PVD** povlak s gradientnými prechodmi,
- znížené vnútorné pnutie v povlaku pri zvýšení tvrdosti,
- zmenšenie vrubového opotrebovania na hlavnom brite,
- nižšie až stredné rezné rýchlosti a väčšie prierezy triesok,
- dobrá prevádzková spoľahlivosť,
- prerušovaný rez, nestabilné záberové podmienky [3, 13].

Obvodová VRD je vyrobená z materiálu s označením D9335 povlakovaná CVD technológiou (príloha 6).

Vlastnosti materiálu:

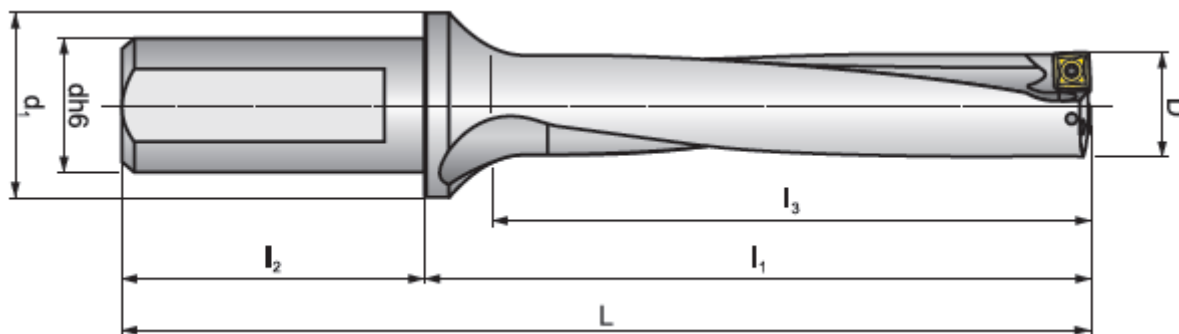
- substrát so strednou veľkosťou zrna,
- relatívne vysoký obsah kobaltu,
- **MT CVD** povlak strednej hrúbky,
- materiál vyznačujúci sa veľmi vysokou húževnatosťou,
- špeciálna úprava povrchu po povlakovaní,
- stredné rezné rýchlosti,
- kontinuálny a silno prerušovaný rez,
- znáša aj veľmi nepriaznivé záberové podmienky [3, 13].

Tab. 3.11 Dĺžkové parametre vrtáku PRAMET 805D [13].

Označenie	D [mm]	L [mm]	l1 [mm]	l2 [mm]	l3 [mm]	dh6 [mm]	d1 [mm]	z [-]	cena [eur]
Pramet 805D	20	181	125	56	105	25	35	2	183
Sandvik 881D2		190	130	53	100	25	34	2	226

Tab. 3.12 Rezné parametre vrtáku PRAMET 805D [13].

Typ doštičky	v_f [mm/min]	v_c [m/min]	f [mm/ot]	n [min ⁻¹]	Q [mm ³ /min]	cena [eur]
SCET, XPET	420	140	0,15	2800	132	5,99
WF1.23	389	130	0,12	3240	122	6,20



Obr. 3.10 Vrták PRAMET 805D [13].

3.3 Upínacie systémy nástrojov

Pri navrhovanom postupe boli použité 3 typy nástrojových upínačov. Spoločnosť ESOX s.r.o disponuje potrebným vybavením preto nebolo nutné dokupovať nové upínače.

Tepelné upínače

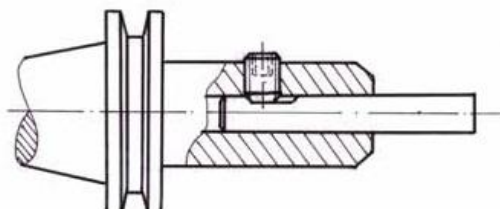
Princíp upínania spočíva v tom, že po ohreve drieku upínača na presnú teplotu dôjde k zväčšeniu priemeru otvoru drieku, do ktorého vsunieme stopku upínaného nástroja. Po vychladnutí upínača sa priemer zmenší a stopka je pevne upnutá. Sú vhodné pre vysoké otáčky vďaka osovo súmernej stavbe a radiálna hádzavosť sa pohybuje okolo 3 μm . Vďaka štíhlému drieku umožňujú prácu v hlbokých dutinách. Nevýhodou je cena a použiteľnosť len pre nástroje zo SK kvôli vyššej teplote topenia ako má oceľ (obr. 3.11) [20].



Obr. 3.11 Tepelný upínač [20].

Upínače typu Weldon

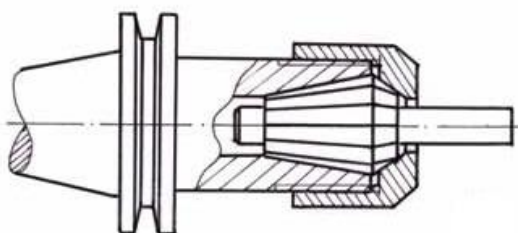
Upínače typu Weldon využívajú k prenosu krútiaceho momentu princíp upnutia pomocou šróbu, ktorý dosadá kolmo na plochu vyfrézovanú do plochy stopky nástroja rovnobežne s osou. Výhodou je jednoduchosť a malá cena. Nevýhodou je nutnosť použiť pre každý priemer stopky nástroja iný upínač a vysoká hádzavosť upnutého nástroja (15- 20 μm), ktorá vyplýva z princípu upnutia- nástroj je vytlačovaný šróbom mimo osu rotácie (obr. 3.12) [20].



Obr. 3.12 Upínač Weldon [20].

Klieštinové upínače

Klieštinové upínače vykazujú rovnakú alebo mierne lepšiu hádzavosť (10- 20 μm) ako upínače typu Weldon. Výhodou je cena a použitie jedného upínaku pre rôzne priemery stopky nástroja jednoduchou výmenou klieštiny (obr. 3.13) [20].



Obr. 3.13 Klieštinový upínač [20].

4 TVORBA NC PROGRAMU

NC program je tvorený na programovacom pracovisku v riadiacom systéme HEIDENHAIN iTNC 530. Pri tvorbe programu bol kladený dôraz na obrobenie súčiastky v požadovanej kvalite povrchu a dosiahnutie presných rozmerov za najkratší možný strojný čas a za použitia najmenšieho počtu nástrojov.

Riadiaci systém HEIDENHAIN iTNC 530 dokáže ovládať 3 až 12 ovládaných osí. Programovanie v HEIDENHAIN iTNC 530 rozdeľujeme na 2 druhy: v **DIN/ISO** alebo pomocou **popisného dialógu**. Pre vytvorenie programu bolo použité programovanie pomocou popisného dialógu pretože na súčiastke nie sú nijaké zložité tvary ani nebolo potrebné robiť zložité prepočty, pre ktoré je vhodnejšie použiť programovanie v DIN/ISO [9].

4.1 Prvá poloha

Prvá poloha je zameraná na výrobu všetkých otvorov kombináciou navrtavania, vrtania a frézovania. V nasledujúcej pasáži je program rozpisovaný krok po kroku ako nasleduje.

Začiatok programu

Na začiatku programu je vytvorený virtuálny hranol podľa výkresových rozmerov súčiastky, ktorý slúži pre simuláciu programu. Vďaka nemu sa predíde chybám ktorých sme sa mohli dopustiť pri programovaní ako napr. kolízií nástroja a obrobku, nesprávne preddefinovanie súradníc alebo rozmerov otvorov.

```
0 BEGIN PGM 01_8B0521_1POL MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-29 Y-23 Z-18.4
2 BLK FORM 0.2 X+29 Y+24 Z+0
```

Predvrtanie stredového otvoru

Pre predvrtanie stredového otvoru je použitý vrták PRAMET 805D s VRD zo SK. Vyvolanie nástroja sa vykoná pomocou príkazu TOOL CALL za ktorým nasleduje poradové číslo nástroja zo zásobníka nástrojov, os rotácie vretena a otáčky pre daný nástroj.

Príkaz M3 zapne rotáciu vretena v zmysle hodinových ručičiek a príkaz M7 zapne vnútorné chladenie.

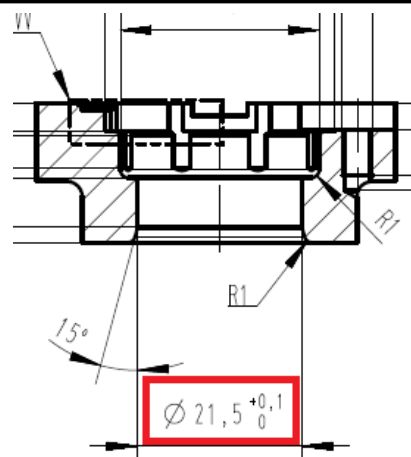
Pre vrtanie je použitý cyklus 200 určený pre vrtanie otvorov. V príkaze Q201 je zadaná hĺbka vrtania a v príkaze Q202 je hĺbka prísuvu. Z týchto hodnôt je zrejmé, že vrtanie prebieha na jeden prísuv. V príkaze Q204 je zadaný čas 0 s, vyjadrujúci koľko sekúnd zotrúva nástroj na spodku diery pokiaľ sa nevysunie von, pretože dno diery bude v polohe 2 odfrézované.

Za cyklom nasleduje vyvolanie cyklu pomocou príkazu M99 na zadané súradnice s korekciou nástroja na stred priemeru. Po dokončení cyklu sa zastaví chladenie pomocou príkazu M9 a vreteno vyjde na referenčné súradnice stroja pomocou príkazu M92 (obr. 4.1).

```

11 TOOL CALL 21 Z S2560 ;VRTAK S VBD D20
12 ;
13 L Z+150 R0 FMAX M3 M7
14 CYCL DEF 200 VRTANI ~
    Q200=+2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
    Q201=-21 ;HLOUBKA ~
    Q206=+170 ;POSUV NA HLOUBKU ~
    Q202=+21 ;HLOUBKA PRISUVU ~
    Q210=+0 ;CAS.PRODLEVA NAHORE ~
    Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
    Q204=+50 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~
    Q211=+0 ;CAS. PRODLEVA DOLE
15 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99
16 L Z+0 R0 FMAX M9 M92

```



Obr. 4.1 Predvrtanie otvoru.

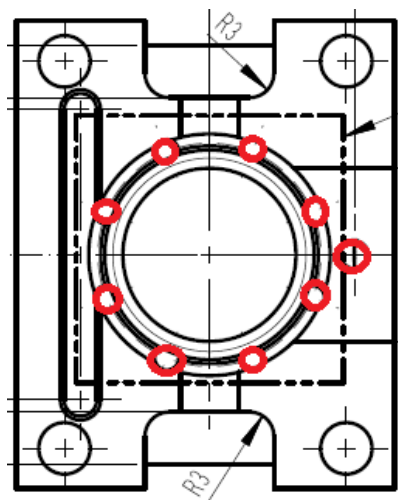
Navrtanie dier

V ďalšom kroku nastáva navrtávanie dier pomocou navrtávaču do hĺbky 1 mm. Spustenie otáčok vretena v zmysle otáčania hodinových ručičiek sa vykoná naraz pomocou jedného príkazu M13. Za cyklom je program vyvolaný na zadaných súradniciach pre závit M4 a vyvolávanie podprogramu LBL 10, ktorý je definovaný na konci programu, na vrtanie ôsmich otvorov priemeru 3 mm. Ukončený je znova rýchloposuvovým výjazdom vretena na referenčné súradnice stroja (obr. 4.2).

```

19 TOOL CALL 1 Z S2000 ;NAVRTAVAK PRAMET A202
20 ;
21 L Z+150 R0 FMAX M13
22 CYCL DEF 200 VRTANI ~
    Q200=+2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
    Q201=-1 ;HLOUBKA ~
    Q206=+60 ;POSUV NA HLOUBKU ~
    Q202=+1 ;HLOUBKA PRISUVU ~
    Q210=+0 ;CAS.PRODLEVA NAHORE ~
    Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
    Q204=+50 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~
    Q211=+0 ;CAS. PRODLEVA DOLE
23 L X+0 Y-18 R0 FMAX M99
24 CALL LBL 10
25 L Z+0 R0 FMAX M92 M9

```



Obr. 4.2 Diery 8xD3 a M4.

Vrtanie ôsmich otvorov priemeru 3 mm

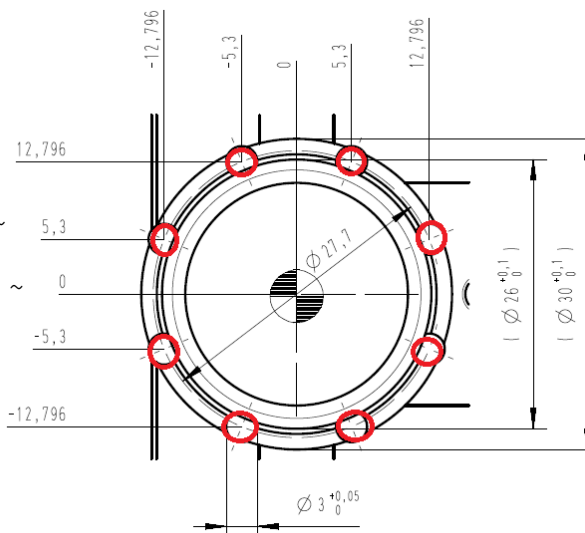
Nasleduje vyvrtanie ôsmich otvorov o priemere 3 mm, ktoré musia byť vyvrtané skôr ako bude vyfrézovaná kruhová kapsa o priemere 30 mm, pretože obvod kapsy prechádza danými otvormi a vrtanie by neprebiehalo do plného materiálu. Z toho dôvodu by mohlo dôjsť ku vybočeniu nástroja a otvory by neboli zhotovené správne.

Za cyklom nasleduje výjazd nástroja na referenčné súradnice stroja a zastavenie rotácie vretena pomocou programu M5 kvôli kontrole, či nedošlo ku jeho zlomeniu (obr. 4.3).

```

28 TOOL CALL 34 Z S2100 ;VRTAK D3,05 HSCO (GUHRING 622)
29 ;
30 L Z+150 R0 FMAX M13
31 CYCL DEF 200 VRTANI ~
    Q200=+2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
    Q201=-9.1 ;HLOUBKA ~
    Q206=+120 ;POSUV NA HLOUBKU ~
    Q202=+2 ;HLOUBKA PRISUVU ~
    Q210=+0 ;CAS. PRODLEVA NAHORE ~
    Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
    Q204=+50 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~
    Q211=+0 ;CAS. PRODLEVA DOLE
32 CALL LBL 10
33 L Z+0 R0 FMAX M9 M92
34 ;
35 STOP M5

```



Obr. 4.3 Diery 8xD3.

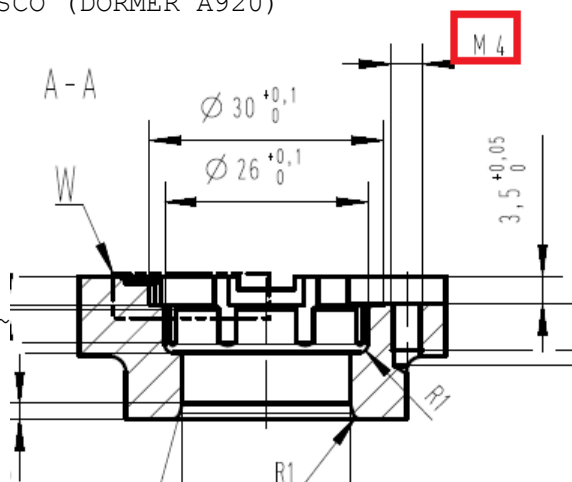
Predvrtanie závitú M4

Ďalej nasleduje predvrtanie diery pre závit na priemer 3,3 mm HSCO vrtákom do hĺbky 12,5 mm kvôli nábehu vrtáku (obr. 2.4).

```

37 TOOL CALL 33 Z S2100 ;VRTAK D3,3 HSCO (DORMER A920)
38 ;
39 L Z+150 R0 FMAX M13
40 CYCL DEF 200 VRTANI ~
    Q200=+2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
    Q201=-12.5 ;HLOUBKA ~
    Q206=+120 ;POSUV NA HLOUBKU ~
    Q202=+2 ;HLOUBKA PRISUVU ~
    Q210=+0 ;CAS. PRODLEVA NAHORE ~
    Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
    Q204=+50 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~
    Q211=+0 ;CAS. PRODLEVA DOLE
41 L X+0 Y-18 R0 FMAX M99
42 L Z+0 R0 FMAX M92 M9

```



Obr. 4.4 Vrtanie M4.

Vyhrubovanie kruhových káps

Pre hrubovanie kruhových káps je použitý cyklus 252 s výberom možnosti pre obrábanie príkazom Q215=+1, ktorý je určený iba na hrubovanie. Nástroj sa v strede kapsy ponorí do obrobku a ide na prvú hĺbku prísuvu v závislosti od príkazu Q366, ktorý sa v našom prípade rovná 0, čo znamená, že ponorovanie bude prebiehať zvislo nadol. Je to použité z toho dôvodu, že v strede kapsy je vopred predvrtaná diery. Príkazom Q370=+1 je zadaná faktor prekrytia dráhy, ktorý nám udáva maximálny prísuv a_e , v našom prípade to znamená polovicu priemeru frézy. Prídavok na priemer je 0,1 mm, na dno 0,05 okrem kapsy o priemere 26 mm kde ostáva prídavok 1 mm kvôli tomu, že je použitá fréza bez rádiusa a na spodnej hrane kapsy je predpísaný rádius R1 (obr. 4.5).

45 TOOL CALL 12 Z S3500 ;FREZA D12 HRUB. SK (GUHRING 3736)

46 ;

47 L Z+150 R0 FMAX M13

48 CYCL DEF 252 KRUHOVA KAPSA ~

Q215=+1 ;ZPUSOB FREZOVANI ~

Q223=+29.95 ;PRUMER KRUHU ~

Q368=+0 ;PRIDAVEK PRO STRANU ~

Q207=+600 ;FREZOVACI POSUV ~

Q351=+1 ;ZPUSOB FREZOVANI ~

Q201=-3.75 ;HLOUBKA ~

Q202=+3.7 ;HLOUBKA PRISUVU ~

Q369=+0 ;PRIDAVEK PRO DNO ~

Q206=+1000 ;POSUV NA HLOUBKU ~

Q338=+0 ;PRISUV NA CISTO ~

Q200=+2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~

Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~

Q204=+50 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~

Q370=+1 ;PREKRYTI DRAHY NAST. ~

Q366=+0 ;PONOROVAT ~

Q385=+0 ;POSUV NA CISTO

49 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99

50 CYCL DEF 252 KRUHOVA KAPSA ~

Q215=+1 ;ZPUSOB FREZOVANI ~

Q223=+25.95 ;PRUMER KRUHU ~

Q368=+0 ;PRIDAVEK PRO STRANU ~

Q207=+600 ;FREZOVACI POSUV ~

Q351=+1 ;ZPUSOB FREZOVANI ~

Q201=-9 ;HLOUBKA ~

Q202=+4.4 ;HLOUBKA PRISUVU ~

Q369=+0 ;PRIDAVEK PRO DNO ~

Q206=+1000 ;POSUV NA HLOUBKU ~

Q338=+0 ;PRISUV NA CISTO ~

Q200=+2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~

Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~

Q204=+50 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~

Q370=+1 ;PREKRYTI DRAHY NAST. ~

Q366=+0 ;PONOROVAT ~

Q385=+0 ;POSUV NA CISTO

51 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99

52 CYCL DEF 252 KRUHOVA KAPSA ~

Q215=+1 ;ZPUSOB FREZOVANI ~

Q223=+21.45 ;PRUMER KRUHU ~

Q368=+0 ;PRIDAVEK PRO STRANU ~

Q207=+500 ;FREZOVACI POSUV ~

Q351=+1 ;ZPUSOB FREZOVANI ~

Q201=-11 ;HLOUBKA ~

Q202=+5.5 ;HLOUBKA PRISUVU ~

Q369=+0 ;PRIDAVEK PRO DNO ~

Q206=+1000 ;POSUV NA HLOUBKU ~

Q338=+0 ;PRISUV NA CISTO ~

Q200=+2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~

Q203=-9 ;SOURADNICE POVRCHU ~

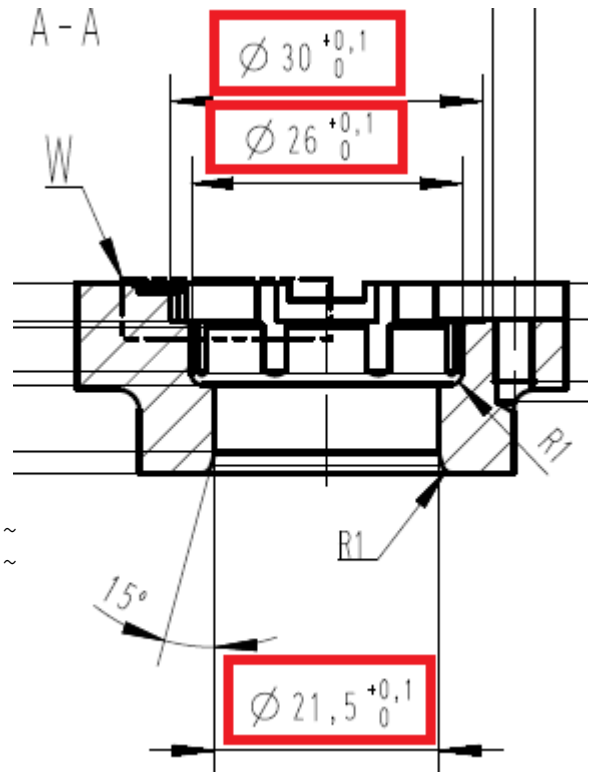
Q204=+50 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~

Q370=+1 ;PREKRYTI DRAHY NAST. ~

Q366=+0 ;PONOROVAT ~

Q385=+0 ;POSUV NA CISTO

53 L X+0 Y+0 R0 FMAX M99

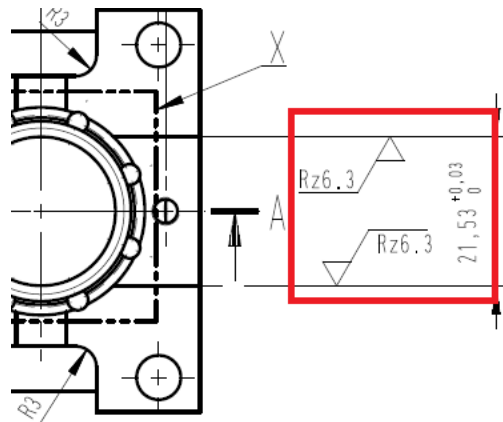


Obr. 4.5 Priemery kruhových káps.

Vyhrubovanie drážky

Nasleduje vyhrubovanie drážky rovnakým nástrojom ako pri hrubovaní kruhových káps. Prídavok na strany nechávame 0,14 mm, na dno 0,12 mm. Pri frézovaní drážky treba dbať na súsledné frézovanie. Použitie príkazu M98, ktorý zabezpečí úplné obrobenie otvorených obrysov (obr. 4.6).

```
54 L X+0 Y-40 R0 FMAX
55 L Z+2 R0 FMAX
56 L Z-3.4 R0 F1000
57 L X+0 Y+0 R0 F400
58 L X-10.7 RL F500
59 L Y-37
60 L X+10.7 RL
61 L Y+0 M98
62 L X+0 Y+0 R0 F1000
63 L Z+0 R0 FMAX M92 M9
```



Obr. 4.6 Rozmery drážky.

Kontrola povrchu a súradníc pred operáciami dokončovania

Po ukončení hrubovania sa prekontroluje sondou výška povrchu, ktorá musí byť pred operáciami dokončovania presná. V programe je príkaz M5, ktorý zabezpečí zastavenie otáčania vretena. Vreteno vyjde na svoju referenčnú Z-ovú a stôl na Y-ovú súradnicu pomocou príkazu M92, čím sa nám uľahčí vyfúkavanie špon.

```
66 L Z+0 R0 FMAX M92
67 L X+0 R0 FMAX
68 L Y+0 R0 FMAX M92
69 ;
70 ;
71 STOP M5
72 ;- !VYFUKAJ SPONY, KONTROLA "Z 0,0"!
```

Operácie dokončenia kruhových káps

Pre dokončenie kruhových káps je použitý cyklus 214 určený na dokončovanie. Pre každú kapsu a drážku je cyklus vyvolaný po 2 krát. Po ukončení prvého cyklu môže dôjsť ku odtlačeniu frézy, preto vyvoláme cyklus ešte raz. Cyklus je naprogramovaný tak aby po prvom prísuve zostal prídavok na dno 0,05 mm (obr. 4.5).

```
75 TOOL CALL 73 Z S4500 ;FREZA D12 R1 SK (FRAISA NF 45319)
76 ;
77 L Z+150 R0 FMAX M13
78 CYCL DEF 214 KRUH.KAPSA NACISTO ~
    Q200=+2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~
    Q201=-9.9 ;HLOUBKA ~
    Q206=+1000 ;POSUV NA HLOUBKU ~
    Q202=+9.85 ;HLOUBKA PRISUVU ~
    Q207=+800 ;FREZOVACI POSUV ~
    Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
    Q204=+50 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~
    Q216=+0 ;STRED 1. OSY ~
    Q217=+0 ;STRED 2. OSY ~
    Q222=+21 ;PRUMER POLTVRU ~
```

```

      Q223=+26.09 ;PRUMER OBROBKU
79 CYCL CALL
80 CYCL CALL
81 CYCL DEF 214 KRUH.KAPSA NACISTO ~
      Q200=+2      ;BEZPEC. VZDALENOST ~
      Q201=-11     ;HLOUBKA ~
      Q206=+1000   ;POSUV NA HLOUBKU ~
      Q202=+10     ;HLOUBKA PRISUVU ~
      Q207=+800    ;FREZOVACI POSUV ~
      Q203=-9.8    ;SOURADNICE POVRCHU ~
      Q204=+50     ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~
      Q216=+0      ;STRED 1. OSY ~
      Q217=+0      ;STRED 2. OSY ~
      Q222=+20     ;PRUMER POLTVRU ~
      Q223=+21.59 ;PRUMER OBROBKU
82 CYCL CALL
83 CYCL CALL
84 L   Z+0 R0 FMAX M92 M9
85 ;
86 ;
87 TOOL CALL 12 Z S3715 ;FREZA D12 DOKONCIEVACIA (FRAISA N 5360)
88 ;
89 L   Z+150 R0 FMAX M13
90 CYCL DEF 214 KRUH.KAPSA NACISTO ~
      Q200=+2      ;BEZPEC. VZDALENOST ~
      Q201=-3.8    ;HLOUBKA ~
      Q206=+1000   ;POSUV NA HLOUBKU ~
      Q202=+3.75   ;HLOUBKA PRISUVU ~
      Q207=+780    ;FREZOVACI POSUV ~
      Q203=+0      ;SOURADNICE POVRCHU ~
      Q204=+50     ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~
      Q216=+0      ;STRED 1. OSY ~
      Q217=+0      ;STRED 2. OSY ~
      Q222=+25     ;PRUMER POLTVRU ~
      Q223=+30.09 ;PRUMER OBROBKU
91 CYCL CALL
92 CYCL CALL

```

Dokončenie drážky

Dokončenie drážky prebieha opäť ako v predchádzajúcom prípade, to znamená, že nástroj prejde každú dráhu po 2x kvôli možnému odtlačeniu frézy. Po prvom prejdení cyklu nechá fréza prídavok na boky 0,05 mm (obr. 4.6).

```

93 L   X+0   Y+0 R0 FMAX
94 L   Z+2   R0 FMAX
95 L   Z-3.575 R0 F1000
96 L   Y-35  F780
97 L   X+10.77 RL
98 L   Y+0  M98
99 L   X-10.77
100 L   Y-37
101 L   X+0  R0
102 L   Y+0
103 L   X-10.775 Y+0 RL
104 L   Y-37
105 L   X+10.775
106 L   Y+0  M98

```

```

107 L X+0 Y+0 R0 F1000
108 L Z+0 R0 FMAX M92 M9

```

Vrtanie 4 otvorov o priemere 6,4 mm

Cyklus pre vrtanie otvorov je vyvolaný 2 krát. Prvý cyklus navrtá vodiacu jamku polovičným posuvom pre presné zavádzanie vrtáku a druhý vyvrta otvory. Vrtanie týchto otvorov sa nachádza na konci programu, pretože sú výrazne vzdialené od stredu a pri ich vrtaní by mohlo dôjsť ku jemnému nakloneniu obrobnku. Keby toto naklonenie nastalo na začiatku programu, museli by sme po hrubovacích operáciách nanovo uchytiť kus, pretože kapsy musia byť obrobené s istou presnosťou, ale tieto otvory majú voľnú mieru, pri ktorej jemné naklonenie kusa nie je problém (obr. 4.7).

```

111 TOOL CALL 37 Z S2900 ;VRTAK D6,5 SK (GUHRING 5515)

```

```

112 ;

```

```

113 L Z+150 R0 FMAX M13

```

```

114 CYCL DEF 200 VRTANI ~

```

```

Q200=+2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~

```

```

Q201=-1.5 ;HLOUBKA ~

```

```

Q206=+150 ;POSUV NA HLOUBKU ~

```

```

Q202=+1.5 ;HLOUBKA PRISUVU ~

```

```

Q210=+0 ;CAS.PRODLEVA NAHORE ~

```

```

Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~

```

```

Q204=+50 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~

```

```

Q211=+0 ;CAS. PRODLEVA DOLE

```

```

115 CALL LBL 11

```

```

116 CYCL DEF 200 VRTANI ~

```

```

Q200=+2 ;BEZPEC. VZDALENOST ~

```

```

Q201=-15 ;HLOUBKA ~

```

```

Q206=+280 ;POSUV NA HLOUBKU ~

```

```

Q202=+15 ;HLOUBKA PRISUVU ~

```

```

Q210=+0 ;CAS.PRODLEVA NAHORE ~

```

```

Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~

```

```

Q204=+50 ;2. BEZPEC.VZDALENOST ~

```

```

Q211=+0 ;CAS. PRODLEVA DOLE

```

```

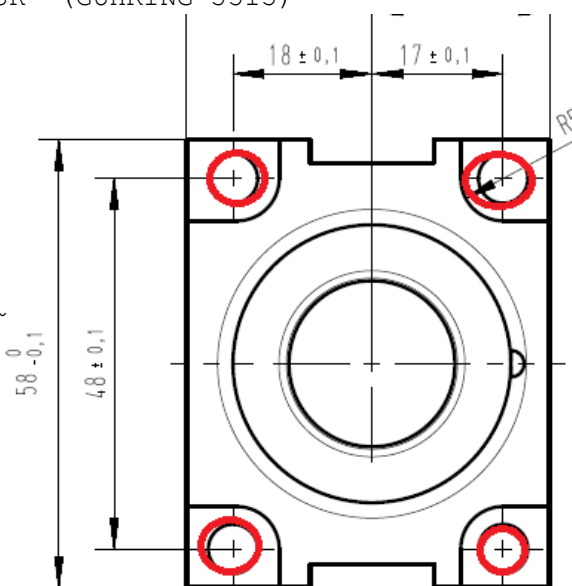
117 CALL LBL 11

```

```

118 L Z+0 R0 FMAX M92 M9

```



Obr. 4.7 Otvory 4xD6,4.

Zrazenie hranky 0,5x45° a ukončenie programu

Zrazenie hranky je naprogramované pomocou polárnych súradníc. Príkazom CC je určený stred kruhu dráhy nástroja. Pomocou príkazu LP zájde nástroj lineárne polárne na hodnotu 6,5 mm, to znamená, na hodnotu rádiusu obežnej kružnice nástroja.

Simulácia prvej polohy vidno na obr. 4.8 a obr. 4.9.

```

121 TOOL CALL 71 Z S4000 ;FREZA NA HRANY D12 x 45 (S740)

```

```

122 ;

```

```

123 L Z+150 R0 FMAX M13

```

```

124 L X+0 Y+0 R0 FMAX

```

```

125 L Z+2 R0 FMAX

```

```

126 L Z-10.2 R0 F500

```

```

127 CC X+0 Y+0

```

```

128 LP PR+6.5 PA+0 R0 F250

```

```

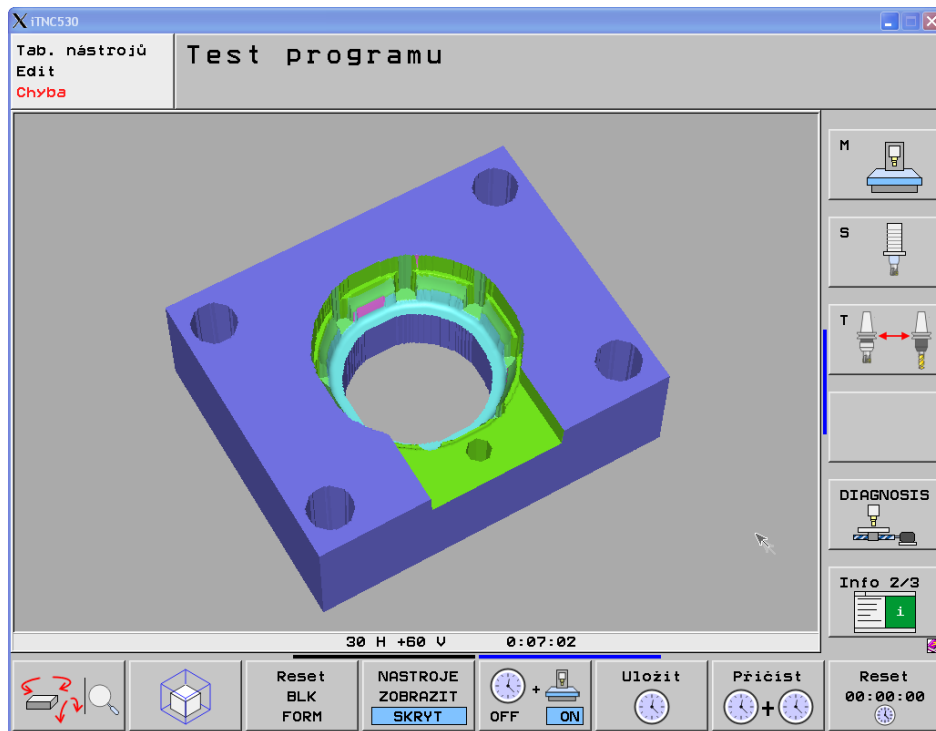
129 CP IPA+362 DR+ R0

```

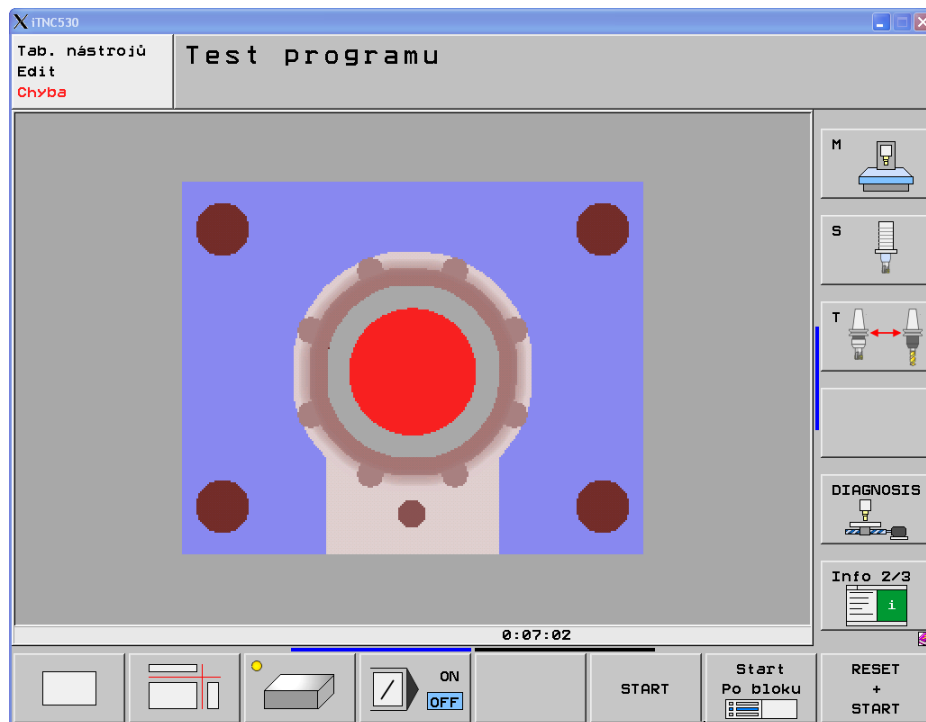
```

130 L Z+0 R0 FMAX M92 M9
131 ;
132 ;
133 L Z+0 R0 FMAX M92
134 L X+0 R0 FMAX
135 L Y+0 R0 FMAX M92 M2

```



Obr. 4.8 Simulácia programu 1. polohy (3D).

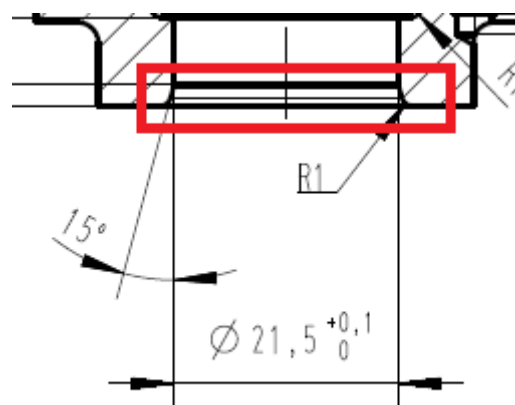


Obr. 4.9 Simulácia programu 1. polohy (2D).

4.2 Druhá Poloha

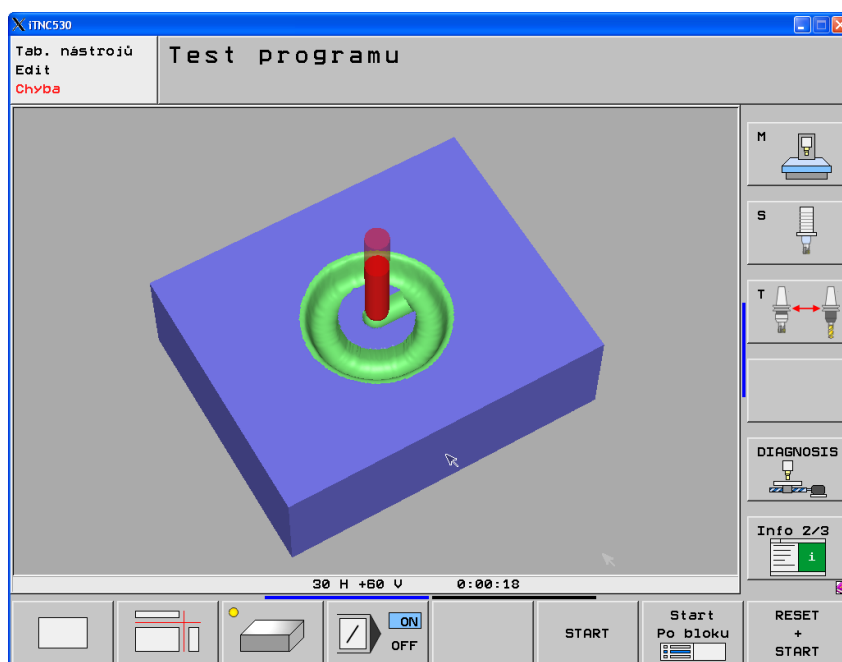
Druhá poloha je výrazne zjednodušená z pohľadu technológie výroby a náročnosti programu a to iba kvôli zmene nástroja. Pohyb je daný rovnako ako v prechádzajúcom kroku (cez polárne súradnice) (obr. 4.10).

```
0 BEGIN PGM 02_8B0521_2POL_2 MM
1 BLK FORM 0.1 Z X-29 Y-23 Z-18.4
2 BLK FORM 0.2 X+29 Y+24 Z+0
.
.
10 TOOL CALL 99 Z S3000 ;UHLOVA FREZA S R1 (SPECIAL)
11 ;
12 ;
13 L Z+150 R0 FMAX M13
14 L X+0 Y+0 R0 FMAX
15 L Z+2 R0 FMAX
16 L Z-8.05 R0 F1000
17 CC X+0 Y+0
18 LP PR+8.5 PA+0 R0 F100
19 CP IPA+362 DR+ R0
20 L Z+0 R0 FMAX M92 M9
21 ;
22 ;
23 ;
24 L Z+0 R0 FMAX M92
25 L X+0 R0 FMAX
26 L Y+0 R0 FMAX M92 M2
27 END PGM 02_8B0521_2POL_2 MM
```



Obr. 4.10 Druhá poloha.

Grafika simulácie druhej polohy nepredstavuje reálne obrobenie hrany, pretože simulácia nedokáže zobrazit' obrysy vyfrézované frézou so špeciálnou geometriou (obr. 4.11).



Obr. 4.11 Simulácia druhej polohy.

5 TECHNICKO- EKONOMICKÉ POROVNANIE

Výsledkom optimalizácie je porovnanie nákladov na výrobu pri pôvodnom technologickom postupe a pri navrhovanom. Náklady pri pôvodnom postupe boli poskytnuté spoločnosťou ESOX s r.o. Výpočet nákladov pre navrhovaný postup je nasledovný:

Celkové náklady/1 ks = [(strojný čas x hodinová sadzba stroja) + cena nástrojov/1 ks]

Hodinová sadzba stroja PINACLE 810: **40 eur/hod.**

Navrhovaný postup (zoznam nástrojov vid'. tab. 16):

Strojný čas daný zo simulácie: **7:23 min**

Náklady na nástroje na 1 ks: **5, 38 eur**

Náklady na stroj na 1 ks: **5, 00 eur**

Náklady spolu: **10, 38 eur**

Pôvodný postup:

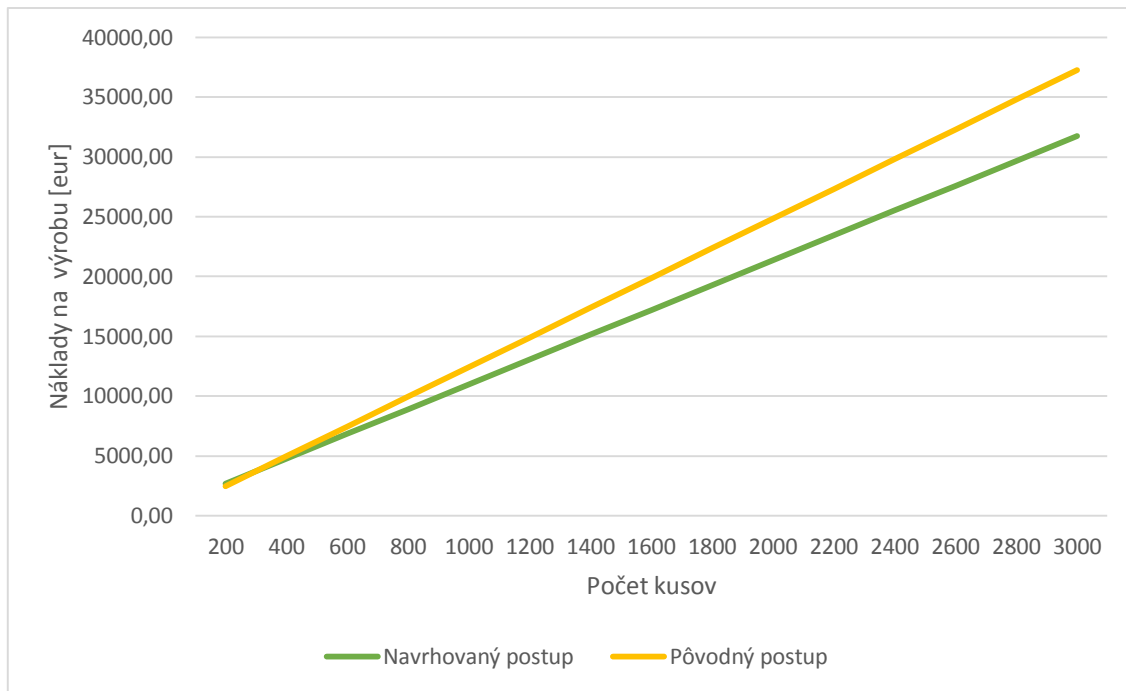
Strojný čas daný zo simulácie: **13:15 min**

Náklady pre postup: **12, 42 eur**

Tab. 5.1 Porovnanie nákladov na jednotlivé nástroje [13 - 18].

Nástroj	Cena nástroja [eur]	Životnosť [ks]	Náklady [eur/ 1 ks]
Guhring 3736	73,90	80	0,92
Fraisa 5360.501	69,00	50	1,38
Fraisa P45319 R1	65,00	50	1,30
Špeciál A75R1	92,00	100	0,92
Pramet S740	38,00	250	0,15
Pramet R520	40,45	100	0,40
Guhring 338	5,52	100	0,06
Guhring 8524	5,23	250	0,02
Pramet A200	5,20	250	0,01
Pramet 805D	183,00	1000	0,18
VBD	11,98	400	0,03
Cena spolu			5,38

Z porovnania nákladov pre jednotlivé postupy (obr. 5.1) je vidno, že pri výrobe podľa navrhovaného postupu, spoločnosť ušetrí **2 eurá** na každom kuse. Ročne sa vyrobí 120 daných kusov, ale celkovo podobných kusov, s jemne odlišnými rozmermi, sa vyrobí okolo 3000. Pri týchto kusoch je možné použiť podobný technologický postup. Výhodnosť optimalizácie sa prejaví niekde pri 300 vyrobených kusoch kde sa pokryjú vstupné náklady na nové nástroje.



Obr. 5.1 Graf pre porovnanie nákladov pôvodného a navrhovaného postupu.

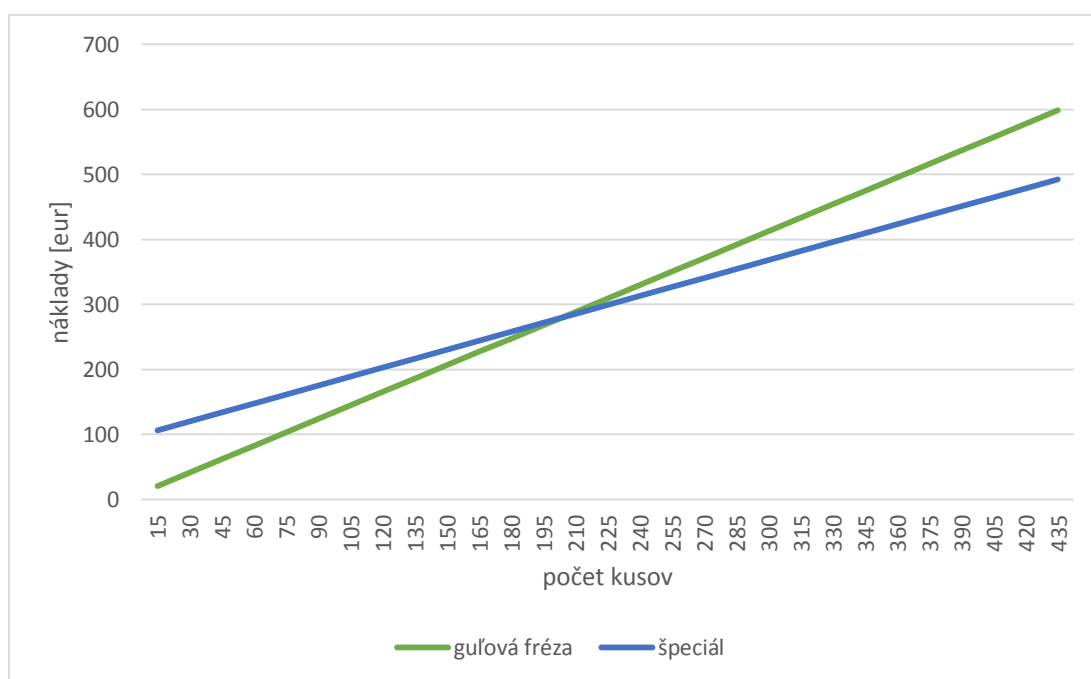
Efektívnosť špeciálneho nástroja vyrobeného na zákazku

Z tabuľky je zrejmé, aký veľký vplyv má na náklady úspora strojného času. Pri pôvodnom postupe, kde bol použitý pôvodný nástroj, je strojný čas **4:21 min** a pri navrhovanom postupe je len **0:18 min**.

Z obr. 5.2 je vidieť ako sa oplatí investovať do nástroja vyrobeného na zákazku. Efektívnosť frézy sa prejaví niekde pri 200 vyrobených kusoch.

Tab. 5.2 Porovnanie nákladov na frézy špeciál a S511[18, 17].

Nástroj	Cena nástroja [eur]	Životnosť [ks]	Cena[eur/1 ks]
Špeciál A75R1	92	100	3,8
Pramet S511	33	24	1,6



Obr. 5.2 Graf pre porovnanie efektívnosti nového nástroja vyrobeného na zákazku a pôvodného

6 ZÁVER

Základným predpokladom pre optimálny proces obrábania je správny výber obrábacieho stroja, nástrojového vybavenia a vhodných rezných podmienok. Pri znižovaní nákladov na výrobu je potrebné zvážiť šetrenie na nástrojovom vybavení, pretože pri vhodnej investícii do kvalitných nástrojov môže spoločnosť ušetriť na celkových nákladoch omnoho viacej ako by ušetrila na nástrojoch.

V bakalárskej práci bol navrhnutý nový technologický postup výroby vybraných častí obrobku pre spoločnosť ESOX s.r.o., s použitím nového progresívneho nástrojového vybavenia, ktorý vedie k zefektívneniu výroby. Navrhnutým postupom sa podarilo znížiť náklady na výrobu obrobku o 15 % hlavne vďaka navrhnutiu nástroja so špeciálnou geometriou, navrhnutou pre konkrétnu súčiastku. Daným nástrojom dokážeme obrobit' konkrétny tvar obrobku za 14-krát nižší čas ako pri použití pôvodnej technológie. Z uvedených informácií vyplýva efektívnosť použitia drahších nástrojov na celkové náklady. Vďaka ušetrenému času by mohol byť stroj použitý na obrábanie ďalších súčiastok, čo by sa odrazilo v celkovej využiteľnosti stroja. Pre návratnosť vstupných nákladov na kúpu nových nástrojov je dôležité opakovanie zákaziek.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮV

1. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing s. r.o. 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
2. HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno: CCB spol s.r.o. 1995. ISBN 80-85825-10-4
3. MATTOX, Donald M. *Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2010, 746 s. ISBN 978-0-81-552037-5.
4. *Machine tools for high performance machining*. Editor L López de Lacalle, A Lamikiz. London: Springer, c2009, xxii, 442 s. ISBN 978-1-84800-379-8.
5. TSCHÄTSCHE, Heinz. *Applied machining technology*. Dordrecht: Springer, c2009, xvii, 398 s. ISBN 978-3-642-01006-4.
6. FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM s.r.o. 2006. ISBN 80-214-2374-9.
7. FREMUNT, P., KREJČÍK J., PODRÁBSKÝ T. *Nástrojové oceli*. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 68 s.
8. AB SANDVIK COROMANT. *Průručka obrábění*. 1. vyd. Sandviken Švédsko: Scientia s.r.o. ISBN 91-97 22 99-4-6
9. CINK, Vladislav. *Možnosti systému HEIDENHAIN při programování obráběcích strojů*. Brno 2010: Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 9 s., 7 příloh. Vedúci práce Ing. Aleš Polzer, PhD.
10. Katalóg FRAISA [online]. [cit.2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.fraisa.com/en/news/productnews/2014/04/30/the-new-fraisa-catalogue-2014-15-is-here>
11. Katalóg GUHRING [online]. [cit.2015-05-01]. Dostupné z: http://guhring.cz/data/produkty/cz_18.pdf
12. Katalóg SANDVIK [online]. [cit.2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/catalogues/cs-cz/c-2900-145.pdf>
13. Katalóg PRAMET [online]. [cit.2015-05-01]. Dostupné z: <http://selector.dormertools.com/web/sky/cs-cz/mm/tool-recommendation/drills/material>

-
14. Průručka pre HEIDENHAIN iTNC 530 [online]. [cit.2015-05-01]. Dostupná z:
<http://heidenhain.webnode.cz/download/navody/>

 15. Oblasti výrobného procesu a ich optimalizácia [online]. [cit.2015-05-01]. Dostupné z:
<http://www.engineering.sk/clanky2/stroje-a-technologie/443-oblasti-vyrobnego-procesu-a-ich-optimalizacia>

 16. Materiálové informácie [online]. [cit.2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2842>

 17. Katalóg POKOLM VOHA [online]. [cit.2015-05-01]. Dostupné z:
<http://pdf.directindustry.com/pdf/pokolm/pokolm-voha-catalogue/9204-20025.html>

 18. Katalóg KARNASCH [online]. [cit.2015-05-01]. Dostupné z:
<http://www.karnasch.de/en/news/karnasch-professional-tools-introduces-the-new-cnc-tools-division-main-catalogue-gk27/>

 19. Obrázok automatickej linky [online]. [cit.2015-05-01]. Dostupné z:
http://www.profil-verbundungs-technik.de/cz/installation_tooling.php

 20. Upínače nástrojov [online]. [cit.2015-05-01]. Dostupné z:
http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/upinace-nastroju/upinace-nastroju-2_8498.html

Zoznam použitých skratiek

Skratka/Symbol	Jednotka	Popis
CAD	-	Computer Aided Design - počítačom podporované konštruovanie
CNC	-	Computer numeric control- číslicové riadenie
CVD	-	Chemical Vapor Deposition- chemické naparovanie
HSCO	-	Rýchlorezná oceľ s obsahom kobaltu
HSS	-	High Speed Steel - rýchlorezná oceľ
NC	-	Numerical control- numericky riadené
PVD	-	Physical Vapor Deposition- fyzikálne naparovanie
SK	-	Spekané karbidy
VRD	-	Vymeniteľné rezné doštičky
a_p	mm	Hĺbka záberu triesky
a_e	mm	Pracovný záber
D	mm	Priemer obrábacieho nástroja
f_z	mm	Posuv na zub
n	min^{-1}	Otáčky
Q	cm^3/min	Veľkosť úberu materiálu
v_e	m/min	Rýchlosť efektívneho výsledného pohybu
v_f	mm/min	Posuvová rýchlosť
Z	-	Počet zubov
π	-	konštanta

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1	Výkres súčasti
Príloha 2	Pohľad zdola, pohľad zhora
Príloha 3	Detail X, detail Y, rez A - A
Príloha 4	Pracovný postup
Príloha 5	Obvodová VRD
Príloha 6	Stredová VRD

