



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA VIDLICE PRO AUTOMATICKOU VÝMĚNU NÁSTROJŮ CNC STROJE
MANUFACTURE OF A FORK FOR AUTOMATIC TOOL CHANGING OF CNC MACHINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Dvořák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	David Dvořák
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Milan Kalivoda
Akademický rok:	2017/18

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:

Výroba vidlice pro automatickou výměnu nástrojů CNC stroje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Poruchovost stávajícího stroje si vyžádala konstrukční řešení za účelem spolehlivosti a úspor.

Cíle bakalářské práce:

- Charakteristika dílu "vidlice" v CNC stroji
- Vyhodnocení ekonomického stanoviska
- Konstrukční řešení vidlice
- Sestavení technologického postupu pro výrobu dílu
- Vyrobení dílu ve fázi prototypu
- Funkční zkoušky prototypu
- Zhodnocení výsledného stavu

Seznam doporučené literatury:

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

FREIBAUER, Martin, Hana VLÁČILOVÁ a Milena VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 2000. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.

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

ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. Praha: Technická literatura BEN, 200 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 25. 10. 2017



prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá výrobou podávací čelisti nástrojů ze zásobníku stroje Mikron 1150U. Jedná se o kusovou výrobu pro firmu Chotěbořské strojírny a.s. z důvodu vysoké nákupní ceny vidličky. První část přiblíží vidličku a ekonomické hledisko. Následuje tvorba modelu, technologického postupu a výroba prvního zkušebního kusu. Výroba je provedena na 3-osém obráběcím centru Mikron VCP800. V závěru dojde ke kontrole a vyhodnocení vyrobené součásti.

Klíčová slova

čelist, výměna nástrojů, výroba součásti, třískové obrábění, ekonomické hledisko

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the manufacturing of tool change forks from the tool magazine of Mikron 1150U. By this method several pieces would be produced for Chotěbořské strojírny a.s. due to save money. At first fork would be introduced and economic point of view, then this thesis would be focus to production of a 3D model, compilation of a technological procedure and manufacturing trial piece. Manufactruing is made by 3-axis machining centre Mikron VCP800. In the end the trial part would be checked and evaluated.

Key words

tool gripper, tool change, manufacturing of a part, cutting operation, economic point of view

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁK, D. *Výroba vidlice pro automatickou výměnu nástrojů CNC stroje*. Brno, 2018. Bakalářská práce 34s. 4 přílohy. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba vidlice pro automatickou výměnu nástrojů CNC stroje** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
David Dvořák

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce panu Ing. Milanu Kalivodovi za rady a konzultace, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Leoši Vyčichlovi z firmy Chotěbořské strojírný a.s. za cenné rady a připomínky, kterými mě v průběhu práce směřoval a nakonec i provedl výrobu vidlice.

Rád bych také poděkoval samotné firmě Chotěbořské strojírný a.s., která mi umožnila pracovat s jejich programy a být přítomen u samotné výroby součástky.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině, přítelkyni a svým blízkým za podporu a trpělivost po celou dobu studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 VÝMĚNA NÁSTROJŮ A CHARAKTERISTIKA DÍLU	10
1.1 Automatická výměna nástrojů	10
1.2 Základní rozdělení automatické výměny nástrojů	10
1.2.1 Systém s nosným zásobníkem	10
1.2.2 Systém se skladovacím zásobníkem	10
1.3 Automatické výměnné rameno	11
1.4 Uchopovací čelist	11
2 ZHODNOCENÍ EKONOMICKÉHO HLEDISKA	12
2.1 Poruchovost	12
2.2 Porovnání cen	12
2.3 Vynaložené náklady	12
2.4 Očekávaná úspora	12
3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	13
3.1 Základní parametry součásti	13
3.1.1 Vzhled	13
3.1.2 Tvarová drážka HSK 63	13
3.1.3 Upevnění součásti do stroje	14
3.1.4 Sonda Balluf	14
3.2 Program SolidWorks	14
3.2.1 Modelování	15
3.2.2 Tvorba výkresů	15
4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP	16
4.1 Sestavení technologického postupu	16
4.2 Technologický postup výroby vidličky	16
4.3 Určení rezných podmínek a stanovení strojních časů:	17
4.3.1 Výpočet strojního času frézování:	17
4.3.2 Výpočet strojního času vrtání:	18
4.3.3 Výpočet strojního času obrábění závitů strojním závitníkem	19
4.3.4 Výpočet strojního času sražení hran $1 \times 45^\circ$	20
5 VÝROBA DÍLU	21
5.1 Výběr materiálu	21

5.2	Výběr nástrojů	22
5.3	NC program	26
6	FUNKČNÍ ZKOUŠKY	27
7	ZHODNOCENÍ VÝSLEDNÉHO STAVU.....	28
7.1	Teoretický stav	28
7.2	Praktický stav	28
	DISKUSE	29
	ZÁVĚR.....	30
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	31
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	32
	SEZNAM PŘÍLOH	34

ÚVOD

V dnešní době je cílem téměř každé firmy zajistit co nejefektivnější výrobu s maximálním ziskem. S tím je spjatý stále vzrůstající pokrok techniky. Stroje jsou výkonnější, pracují rychleji, přesněji a hlavně i bezpečněji. Jedním z nejvýkonnějších způsobů výroby je využití víceosých CNC strojů, které jsou dnes z větší části zcela automatizovány a dosahují lepších výsledků.

Výroba součástí zahrnuje mnoho technologických kroků, které jsou vykonány různými nástroji. Tyto nástroje bývají umístěny v zásobníku, jenž se nejčastěji nachází v okolí stroje a dochází k jejich automatické výměně. Zde je více způsobů, jak vyměnit potřebné nástroje. Mezi možnosti výměny nástroje se řadí např. pick-up, otočné rameno, výsuvné rameno, či automatizovaná robotická paže, s níž bude souviset i tato bakalářská práce.

Výše jmenovaná robotická paže je zakončena plastovou čelistí. Do ní je vždy uchopena nástrojová jednotka, se kterou se manipuluje následujícím způsobem. Nejprve je potřeba uchopit již nepotřebný nástroj, umístěný ve vřetenu a přesunout ho do zásobníku. Následně dojde k pootočení zásobníku do pozice, ve které je umístěna nástrojová jednotka s vyžadovaným nástrojem pro další operaci. Ta je uchycena a umístěna do vřetenu stroje. Jedná se o velice rychlý a efektivní způsob výměny nástroje. Díky tomu lze u dané součásti provést více operací na jedno upnutí. V případě přeupínání produktu ze stroje na stroj by se výrobní časy násobně zvýšily a produktivita by klesla.

Bakalářská práce se zabývá konstrukcí a výrobou zmíněné plastové čelisti pro firmu Chotěbořské strojírny, a.s. z důvodu poruchovosti a vysokých kupních nákladů. Cílem tedy je dosažení uspokojivých výsledků z hlediska vynaložených financí a následného opotřebení vyrobené součásti. V případě úspěchu bude daná součást opakovaně vyráběna a využívána za účelem úspory výdajů.

1 VÝMĚNA NÁSTROJŮ A CHARAKTERISTIKA DÍLU

1.1 Automatická výměna nástrojů

V dnešní době se ke zvýšení produktivity výroby používají u obráběcích center k výměně nástrojů automatické výměníky, které dle naprogramování zvolí potřebný nástroj pro danou operaci a neprodleně ho po ukončení operace vymění. Nejedná se o manuální výměnu obsluhou, čímž se zkrátí čas, během kterého je stroj nečinný. Kromě urychlení upnutí nástroje je zde i neméně důležitý faktor, a to bezpečnost práce. Nehrozí zde poranění obsluhy, neboť není vystavena hrozcímu nebezpečí jako jsou např. ostré třísky, stísněný prostor pro manipulaci, či přítomnost řezné kapaliny.

1.2 Základní rozdělení automatické výměny nástrojů

Využívá se několika systémů automatické výměny nástrojů. Každý systém má své výhody a nevýhody, proto se většinou využívají v různých případech.

1.2.1 Systém s nosným zásobníkem

Tento typ je nejčastěji prezentován revolverovými a nožovými hlavami. Jedním z hlavních výhod využití je rychlost změny nástroje a variability držáků. Naopak velkou nevýhodou je omezený počet upnutých nástrojů a velká nosnost zásobníku.



Obr. 1 Revolverová hlava [1].

1.2.2 Systém se skladovacím zásobníkem

Jedná se o nejčastěji využívaný systém. Zásobník zde plní pouze skladovací funkci a nástroje jsou přeupnuty pomocí manipulátorů nebo výměnou pick-up, kdy se stroj přiblíží k zásobníku (nebo naopak) a dojde k odložení nástrojové jednotky z vřetene do zásobníku a upnutí jiného nástroje. Nejvyužívanější je tzv. otočný manipulátor (rameno), které se dělí dle způsobů výměny nástrojů na zasekávací a napichovací. Další manipulátor je formou automatického ramene, které uchopí již nepotřebný nástroj ve vřeteni, umístí ho do zásobníku a naopak ze zásobníku je vyzvedne nástroj, který bude potřeba při další operaci [2].



Obr. 2 Skladovací zásobník [3].

1.3 Automatické výměnné rameno

Automatické výměnné rameno je poslední zmíněný způsob výměny nástroje. Toto rameno je zakončené uchopovací čelistí. Výměnná vidlice či čelist, v angličtině označována jako CNC tool forks, CNC tool clips aj. Je uchycena pevně, čímž nedochází k otáčení či naklápění vidlice v průběhu výměny nástroje. To vše zajišťuje naprogramované robotické rameno.

1.4 Uchopovací čelist

Uchopovací čelist je umístěna na konec automatického ramene, které dle programu mění nástrojové jednotky s upnutými nástroji mezi vřetenem a zásobníkem. Nejčastěji je spojená s otočným či lineárním zásobníkem. Ten je součástí stroje nebo umístěn bezprostředně vedle něj. Charakteristická je hlavně svým tvarem upínací drážky, aby došlo ke správnému uchopení měněné nástrojové jednotky. Vyrábí se několik druhů nástrojových držáků s různým označením např. ISO, HSK, BT či DIN.

Jedná se o plastový materiál, jehož nevýhodou může být rychlé opotřebení, které je provázáno změnou tvaru uchopovací drážky a tím pádem i nefunkčností. Čelist se vyrábí velkosériově vstříkáním horkého plastu do formy [4].



Obr. 3 Uchopovací čelisti ISO 30 ATC [5].



Obr. 4 Uchopovací čelist HSK 63F [6].



Obr. 5 Uchopovací čelist BT 30 [7].



Obr. 6 Uchopovací čelist DIN 30 [8].

2 ZHODNOCENÍ EKONOMICKÉHO STANOVISKA

Hlavním důvodem k vypracování bakalářské práce je cena zmiňované součásti, která je až příliš vysoká. Jedním z aspektů vysoké ceny je i to, že se daná součást dodává v sadě se sondou Baluff, u níž však nedochází k tak časté ztrátě funkčnosti a v případě potřeby je možné danou sondu objednat zvlášť. Tato bakalářská práce vyzkouší, zda bude nalezen materiál, jenž by svou funkci plnil alespoň po stejnou dobu jako nynější, ale za násobně nižší cenu při zpracování jinou technikou.

2.1 Poruchovost

Univerzální obráběcí centrum, kterému je tato čelist určena má 2 uchopovací čelisti na výměnném rameni. Průměrně dojde k výměně jedné čelisti za 3 roky. Nejčastějším důvodem výměny je opotřebení tvarové drážky. Není to ale jediný případ, kdy dochází k výměně nové čelisti. Může dojít k chybě v programu, automatické rameno s upnutou nástrojovou jednotkou narazí do vřetene, či jiné pevné konstrukce a dojde k rozlomení součásti.

2.2 Porovnání cen

Stávající cena se pohybuje okolo 25 000,- Kč a zahrnuje plastovou vidličku HSK 63 i senzor Balluf. Odhadovaná cena za samostatnou součást bez sondy se pohybuje okolo 20 000,- Kč, což je stále vysoká částka a řešení zahrnuje výrobu součásti. Dle požadovaných vlastností a pořizovací ceny bude zvolen materiál, který nejlépe splní požadované parametry pro realizaci výroby. Dále je třeba vyrobít tvarovou frézu, která obrobí uchopovací drážku a výstupky. Samozřejmě se úspora projeví až po rozpočtu na více vyrobených kusech, z důvodu vyšší pořizovací ceny tvarové frézy. Předběžná odhadovaná cena výroby by měla být 2 000-3 000,- Kč. Prvotní srovnání zmíněných cen poukazuje, že vlastní výroba bude zhruba za desetinu původní ceny. Náklady budou zahrnovat pouze nákup materiálu, výrobu tvarové frézy a potřebnou energii na výrobu.

2.3 Vynaložené náklady

Nejdražší je tvarová fréza, která byla vyrobena za 2600,- Kč. Zvolený materiál PE 1000(PE-UHMW) byl nakoupen za 342,- Kč a daný polotovár bude využit na výrobu 4 dílů. Náklady na energii jsou vypočteny dle rovnice 2, která vychází z vypočtené spotřebované energie z rovnice 1. Cena elektřiny je 80,07,- Kč. Opotřebení použitých nástrojů, procesní kapalina, úklid třísek a další cenově nenákladné operace jsou zanedbány.

$$E = P \cdot t = 16 \cdot 1,31 = 20,96 \text{ kWh} \quad (1)$$

$$N = E \cdot c = 20,96 \cdot 3,82 = 80,07 \text{ Kč} \quad (2)$$

Kde:	E	[kWh]	spotřebovaná energie
	P	[kW]	příkon
	t	[h]	čas
	N	[Kč]	cena energií
	c	[Kč.kWh ⁻¹]	cena energií za hodinu

Cena energií je vypočítána vzhledem k průměrné ceně energií za 1kWh v České republice, která je momentálně stanovena na 3,82 Kč.kWh⁻¹[15].

2.4 Očekávaná úspora

Firma disponuje třemi obráběcími centry, jež využívají tento typ čelisti. Za předpokladu, že vyrobený kus vydrží alespoň stejně dlouho jako kupovaný, vychází úspora zhruba na 24 000,- Kč za 3 roky. V případě, že jsou z původní ceny odečteny náklady na tvarovou frézu a materiál. Závěr je, že se daný výrobní proces finančně vyplatí již po první výměně čelisti.

3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Doposud byla bakalářská práce zaměřena pouze na funkční stránku součásti, což se změní v této kapitole. Bude představen vzhled výměnné vidlice, způsoby upevnění a jednotlivé prvky, které se na čelisti vyrobí a za jakým účelem. Poté bude stručně popsán program SolidWorks verze 2017, ve kterém je součást vymodelována.

3.1 Základní parametry součásti

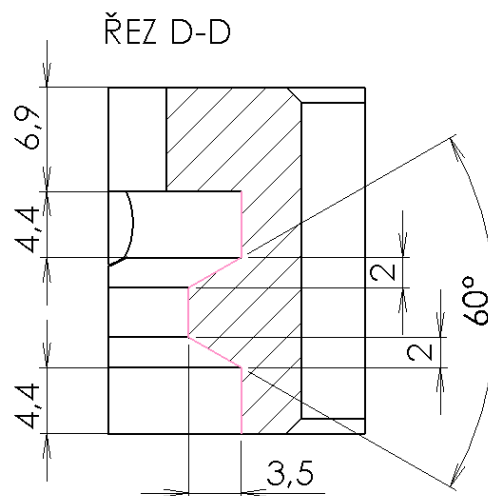
Každý stroj je vyrobený dle určitých parametrů, jež odpovídají součástkám, které bude dále obsahovat. Zde tomu není jinak. Vyráběná součást je pro stroj Mikron 1150U, čili není možné použít čelisti s označením ISO, DIN atd., protože by neodpovídala ostatním součástem stroje, které již obsahuje.

3.1.1 Vzhled

Vidlice je navržena tak, aby bylo jednoduché s ní manipulovat v případě výměny ve stroji. Díky plastovému materiálu je velice lehká. Z bezpečnostních důvodů jsou všechny venkovní hrany sražené $1 \times 45^\circ$. Díry pro pojistné šrouby mají dostatečné zahloubení, které umožňuje snadné povolení a vyndání šroubu. Nejedná se o tvarově složitou součástku. Disponuje spíše jednoduchými, ale funkčními tvary.

3.1.2 Tvarová drážka HSK 63

Nejdůležitějším parametrem je specifická tvarová uchopovací drážka s výstupky, které odlišují vidlici s označením HSK od ostatních, např. ISO, DIN, BT aj. Jedná se o parametr, zvýrazněný na obr. 7 růžovou barvou. Daný tvar odpovídá uchopovací drážce na nástrojové jednotce označené HSK 63, aby došlo k přesné a bezchybné manipulaci. Drážka začíná již od vrchního okraje součásti, konkrétně vybráním $\varnothing 64$ a pokračuje dále dle obr. 7. Tvarové vybrání je doprovázeno 2 vstupními úhly o drobném zkosení 95° a 100° , které umožní lehčí vniknutí nástrojové jednotky do čelisti. Vtlačováním jednotky do čelisti dojde k nepatrnému elastickému rozevření čelisti, aby do ní mohla nástrojová jednotka vniknout a k následnému stažení, které slouží jako pojistka při manipulaci. Výsledkem je bezpečný přesun nástroje ze zásobníku do stroje. Vše je způsobeno elastickými vlastnostmi zvoleného materiálu.



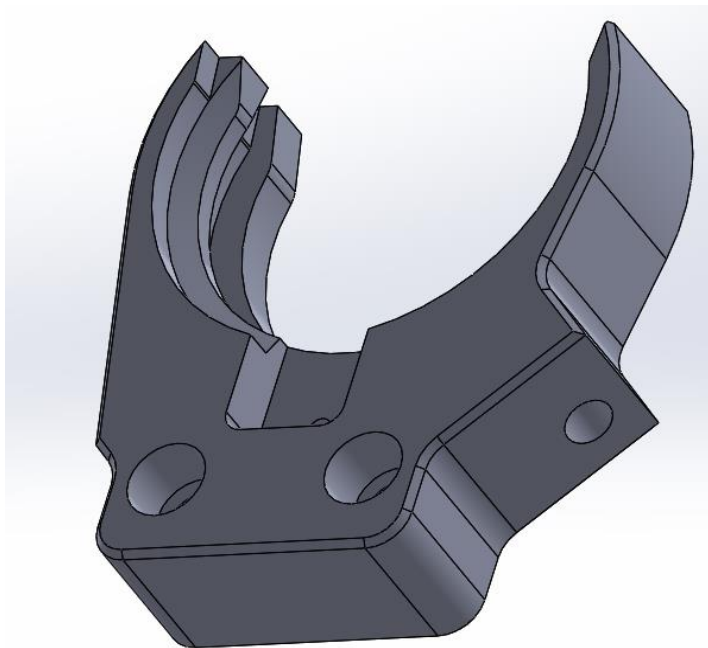
Obr. 7 Tvarová drážka HSK 63.

3.1.3 Upevnění součásti do stroje

Součást je upnuta hlavně pomocí 2 děr o \varnothing 6H7 na spodní části vidlice s roztečí 40 mm. Tyto prvky musí být vyrobeny s vysokou přesností, jelikož mají rozměrovou toleranci $+12/0 \mu\text{m}$ a musí přesně dosednout na upínací kolíky, které jsou vyrobeny na výměnném rameni. Dále dojde k utažení čelisti pomocí 2 šroubů M6 s pružnou podložkou, které jsou umístěny do děr \varnothing 6,6 mm se zahloubením \varnothing 11,5 mm.

3.1.4 Sonda Balluf

Jedním z posledních parametrů stojících za zmínku je boční závit s jemným stoupáním M8x1, do něhož je umístěna kontrolní sonda Balluf. Toto čidlo slouží jako pojistka, jež nám dává informaci o tom, zda je v čelisti upnuta nástrojová jednotka s nástrojem, či nikoli. Je tak důležitou součástí pro programování a funkci celého stroje, které v závislosti na výstupech např. určují, zda má jet rameno blíže k zásobníku, aby nabralo potřebný nástroj nebo zda má výměnné rameno odjet, protože je nástroj ve vřetení atd.



Obr. 8 Model uchopovací čelisti.

3.2 Program SolidWorks

SolidWorks, dále jen SW, je strojírenský 3D CAD software, který byl vyvinut společností SolidWorks corporation. Nejedná se o volně dostupný software a mezi komerční produkty se řadí SW Standard, SW Professional a SW Premium. Tento program zahrnuje nástroje pro 3D modelování, sestavy, výkresy, plechové součásti, svařované konstrukce a další. Nabízí ve své třídě velmi výkonné modelování a vytváření 2D výrobní dokumentace. Velice často se také využívá k importu 2D a 3D dat různých formátů. Slouží dále i k simulacím, či vizuální kontrole sestavených dílů [9].

Softwary na tvorbu modelů jsou funkčně velice podobné. Například SW se od Autodesk Inventoru v mnohém neliší, proto přechod mezi jednotlivými programy nebývá moc náročný. Z pohledu autora byl přechod ze studentské verze Autodesk Inventor na plnou verzi SW pouze maličkostí. Bylo zaznamenáno větší množství rozdílů mezi studentskými a plnými verzemi. Studentské verze jsou ochuzené o obrovské množství prvků při skicování, modelování i kótování, čímž se práce stává složitější.

4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Technologický postup se může v každé situaci lišit, ale vždy by měl mít shodné základní parametry. Nejdůležitějším je úplnost, což znamená, že musí zahrnovat všechny operace, které vedou k přesné výrobě součásti dle rozměrů a parametrů. Výrobní postup by měl být dále stručný, přehledný a krokově co nejméně náročný. Stručného a přehledného postupu se dosáhne vypichováním důležitých informací, které nejsou psány ve větě, ale v bodech, čímž se daný text zkrátí a poskytuje pouze potřebné informace k výrobě. Kroková nenáročnost souvisí s ekonomickým hlediskem, protože cílem je získat výrobek za co nejkratší dobu a nejmenší počet upnutí. Proto je vždy dobré si pořádně rozmyslet, co všechno lze na jedno upnutí vyrobit. A tím se vyvarovat situacím, kdy bude obrobek několikrát zbytečně upnut do stejné polohy i přesto, že bylo možné daný úkol provést v předchozím upnutí.

4.1 Sestavení technologického postupu

Postupy lze rozdělit na výrobní a montážní. Výrobní i montážní postup obsahuje popis práce, rozměry polotovaru, materiál, počet výrobních kusů, výrobní prostředky (stroje, nástroje, aj.), technologické podmínky (např. strojní časy), číslo výkresu a zakázky. Montážní postup obsahuje pouze informace potřebné k sestavení výsledného kusu. Na počátku musí být zakótovaný výkres nastudován. V případě nedefinovaného výrobního materiálu, je nutné jeho stanovení, eventuálně prověření výchozího materiálu na požadované vlastnosti. Zkontrolován musí být také polotovar, který bude obráběn. Po zvolení základních parametrů se přejde k sestavení sledů operací, jež povedou k získání součásti. S tímto krokem se váže výběr způsobu, jakým bude operace provedena čili soustružení, frézování, vrtání atd. Nedílnou součástí je také volba nástroje. Spektrum možností je velice široké. Musí být dobře promyšleno, zda v daném kroku bude odebráno velké množství materiálu nehledě na přesnosti (hrubování) nebo malá vrstva s požadovanou rozměrovou či povrchovou přesností (dokončování). Po vhodném zvolení nástrojů jsou určeny řezné podmínky a stanoveny strojní časy [10].

4.2 Technologický postup výroby vidličky

Materiál: PE 1000 - vysoká otěruvzdornost, výborné kluzné vlastnosti a obrobitelnost [11].

Polotovar: 130 x 90 x 25 mm

Upnout na plochu ozn. žlutě (v příloze 1)

- vrtat 2x Ø 10H7 skrz,
- vrtat Ø 6H7,
- vrtat Ø 6,6 skrz.
- frézovat obvodový tvar včetně vnitřního průměru Ø 54 a sražení 100° do hl. 10 mm,
- srazit obvodové sražení 1x45°.

Upnout na základnu a z horní strany najet na 2x Ø 10H7,

- frézovat sílu na rozměr 23 mm,
- vypíchnout vnitřní průměr vidličky na Ø 56 do hloubky 15 mm,
- frézovat zahlobení 2x Ø 11,5 do hloubky 8,5 mm,
- frézovat kapsu šíře 18 s přídavkem 1 mm do hloubky 8,5 mm,
- frézovat kapsu šíře 18 $_{+0,1/+0}$ do hloubky 8,5 mm,
- předvrtat díru Ø 3,3 skrz pro závit M4,
- vrtat závit M4 skrz,
- frézovat tvarovou frézou vnitřní tvarovou část vidličky Ø 64 včetně náběhu 95° na rozměr 6,9 mm od základny,
- frézovat obvodový tvar na hotovo do hloubky 7 mm,

- srazit obvodové sražení 1x45°,
- odfrézovat hotově obvodový tvar do hloubky 14 mm.

Položit na přední stranu, upnout do svěráku

- frézovat Ø 3 uvnitř tvarového vybrání.

Upnout do svěráku dle pohledu C

- předvrtat díru Ø 7 skrz pro závit M8x1 skrz,
- vrtat závit M8x1 skrz.

Nástroje:

- Stopková dokončovací fréza různých průměrů,
- Speciální vrták na plasty ze SK,
- Vysokovýkonný NC vrták,
- Strojní závitník M4 do průchozích otvorů,
- Strojní závitník M8x1 do průchozích otvorů,
- Odjehlovač hran,
- Hrubovací fréza Iscar,
- Tvarová fréza.

4.3 Určení řezných podmínek a stanovení strojních časů:

Řezné rychlosti byly voleny po konzultaci s pracovníkem firmy a ve většině případů jsou odlišné od doporučených. Hlavním důvodem pro snížení řezných rychlostí je využívání nástrojů, které nejsou přímo specializovány na obrábění plastů, ale jsou pro tuto operaci vhodné. Dále byla snaha o co nejmenší zatížení a zahřátí obráběného materiálu. Důsledkem využití doporučených parametrů by mohlo dojít ke změně rozměrů, ale také vlastností. Díky snížení rychlosti bylo možné zvýšit odebrání materiálu na posuv jednoho zubu.

4.3.1 Výpočet strojního času frézování:

Výpočet bude znázorněn na frézování první kontury pomocí drážkovací frézy o průměru 10 mm dle doporučených a zvolených hodnot.

V prvním kroku jsou vypočteny otáčky nástroje z rovnice 3 ze zvolené řezné rychlosti z rovnice 3.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000} \quad (3)$$

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D_c} = \frac{1000 \cdot 130}{\pi \cdot 10} = 4138,03 \text{ min}^{-1} \quad (4)$$

Kde:	v_c	[m.s ⁻¹]	řezná rychlost
	D_c	[mm]	průměr řezné části nástroje
	n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje

Pomocí doporučeného posuvu na zub, rovnice 5, se vypočte rychlost posuvu nástroje v_f .

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \quad (5)$$

$$v_f = n \cdot f_z \cdot z = 4138,03 \cdot 0,12 = 827,61 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad (6)$$

Kde:	f_z	[mm]	střední posuv
	v_f	[mm.min ⁻¹]	rychlost posuvu
	z	[/]	počet zubů
	n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje

Použitím vypočtených hodnot lze spočítat strojní čas z rovnice 8, pro který je nejprve důležité určit délku dráhy, kterou nástroj urazí při obrábění – rovnice 7 a byla určena pomocí zvolených náběhů a přeběhů.

$$L = l_n + l + l_p = 2 + 353,3 + 2 = 357,3 \text{ mm} \quad (7)$$

$$l_n = l_p = 2 \text{ mm}$$

$$l = 353,3 \text{ mm}$$

$$t_s = \frac{L}{v_f} = \frac{357,3}{827,61} = 0,43 \text{ min} = 26 \text{ s} \quad (8)$$

Kde:	L	[mm]	celková dráha
	l_n	[mm]	délka náběhu
	l_p	[mm]	délka přeběhu
	l	[mm]	délka dráhy obrábění
	t_s	[min]	strojní čas
	v_f	[mm]	rychlost posuvu

Pomocí rovnic 3 až 8 budou vypočteny všechny strojní časy pro frézování a započítány do celkového času daného upnutí v technologickém postupu.

4.3.2 Výpočet strojního času vrtání:

Výpočet bude znázorněn na vrtání neprůchozí přesné díry 6H7 pomocí speciálního vrtáku o průměru 6 zaručující toleranční pásmo IT7 dle doporučených a zvolených hodnot.

Nejprve jsou vypočteny otáčky vrtáku z rovnice 10 ze zvolené řezné rychlosti z rovnice 9.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000} \quad (9)$$

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D_c} = \frac{1000 \cdot 50}{\pi \cdot 6} = 2652,58 \text{ min}^{-1} \quad (10)$$

Kde:	v_c	[m.s ⁻¹]	řezná rychlost
	D_c	[mm]	průměr řezné části nástroje
	n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje

Výpočet strojního času je proveden dle rovnice 12, ve kterém figuruje délka (hloubka) vrtání, rovnice 11, která je určena z hloubky vrtu a zvolených náběhů vrtáku.

$$L = l_n + l = 2 + 13 = 15 \text{ mm} \quad (11)$$

$$l_n = \frac{1}{3} \cdot D_c = \frac{1}{3} \cdot 6 = 2 \text{ mm}$$

$$l = 13 \text{ mm}$$

$$t_s = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{15}{2652,58 \cdot 0,1} = 0,06 \text{ min} = 4 \text{ s} \quad (12)$$

Kde:	L	[mm]	celková dráha
	l_n	[mm]	délka náběhu
	l_p	[mm]	délka přeběhu
	l	[mm]	délka dráhy obrábění

t_s	[min]	strojní čas
f	[mm.ot ⁻¹]	posuv na otáčku
n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje

Pomocí rovnic 9 až 12 budou vypočteny všechny strojní časy vrtání a započítány do celkového času daného upnutí v technologickém postupu.

4.3.3 Výpočet strojního času obrábění závitů strojním závitníkem

Při počítání strojního času výroby závitů není zahrnuta doba pro předvrtání děr pro závitníky, protože tato operace je znázorněna v předchozích krocích 9 až 12 a rozměry předvrtaných děr byly zvoleny na základě doporučených rozměrů předvrtaných děr pro jednotlivé závitníky.

Strojní čas výroby závitů je předveden na výrobě závitu M4 s běžným stoupáním při použití strojního závitníku pro průchozí otvory M4.

Z řezné rychlosti – rovnice 13 se zjistí otáčky závitníku po dosažení zvolených a doporučených hodnot do rovnice 14.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000} \quad (13)$$

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D_c} = \frac{1000 \cdot 5}{\pi \cdot 4} = 397,89 \text{ min}^{-1} \quad (14)$$

Kde:	v_c	[m.s ⁻¹]	řezná rychlost
	D_c	[mm]	průměr řezné části nástroje
	n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje

Strojní čas je určen po dosažení vypočtených hodnot do rovnice 16. Pracovní délka zahrnuje náběh, dvojnásobnou délku záběru a přeběh nástroje.

$$L = l_n + 2 \cdot l + l_p = 1,3 + 2 \cdot 25 + 1,3 = 52,6 \text{ mm} \quad (15)$$

$$l_n = l_p = \frac{1}{3} \cdot D_c = \frac{1}{3} \cdot 4 = 1,3 \text{ mm}$$

$$l = 25 \text{ mm}$$

$$t_s = \frac{L}{n \cdot P} = \frac{52,6}{397,89 \cdot 0,7} = 0,188 \text{ min} = 11,3 \text{ s} \quad (16)$$

Kde:	L	[mm]	celková dráha
	l_n	[mm]	délka náběhu
	l_p	[mm]	délka přeběhu
	l	[mm]	délka dráhy obrábění
	t_s	[min]	strojní čas
	P	[mm]	stoupání závitu
	n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje

Z rovnic 13 až 16 budou určeny všechny strojní časy výroby závitů a započítány do celkového času daného upnutí v technologickém postupu.

Rovnice pro výrobu závitů jsou téměř totožné s vrtáním. Liší se pouze v parametru f (posuv na jednu otáčku), který je v následujících rovnicích nahrazen P (stoupání závitu). Výpočet délky vrtání nezahrnuje přeběh nástroje l_p , protože se jednalo o neprůchozí otvor. Závit je průchozí,

proto přeběh l_p obsahuje. Druhá změna u délky je to, že má dvojnásobnou délku záběru, neboť závitník musí sjet dolů, ale pracuje i při výjezdu nahoru, aby nedošlo k poškození hotového závitu. Obě změny jsou zaznamenány v rovnici 15.

4.3.4 Výpočet strojního času sražení hran $1 \times 45^\circ$

Následující výpočet zahrnuje sražení hran $1 \times 45^\circ$ po obvodu součásti při použití odjehlovače hran.

Rovnice 17 vyjadřuje závislost řezné rychlosti na průměru nástroje a otáčkách, z čehož se získá rovnice 18, vyjadřující otáčky nástroje.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000} \quad (17)$$

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D_c} = \frac{1000 \cdot 130}{\pi \cdot 10} = 4138,03 \text{ min}^{-1} \quad (18)$$

Kde: v_c [m.s⁻¹] řezná rychlost
 D_c [mm] průměr řezné části nástroje
 n [min⁻¹] otáčky nástroje

Z rovnice 19, posuvu na zub je vyjádřena rychlost posuvu nástroje, rovnice 20.

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \quad (19)$$

$$v_f = n \cdot f_z \cdot z = 4138,03 \cdot 0,12 = 827,61 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad (20)$$

Kde: f_z [mm] střední posuv
 v_f [mm.min⁻¹] rychlost posuvu
 z [/] počet zubů
 n [min⁻¹] otáčky nástroje

Získané výsledky jsou uplatněny v rovnici 22, ve které zbývá neznámý parametr nástroje – L , který zahrnuje náběh, pracovní dráhu a přeběh odjehlovače.

$$L = l_n + l + l_p = 2 + 353,3 + 1,5 = 227,80 \text{ mm} \quad (21)$$

$$l_n = 2 \text{ mm}$$

$$l = 224,3 \text{ mm}$$

$$l_p = 1,5 \text{ mm}$$

$$t_s = \frac{L}{v_f} = \frac{227,80}{827,61} = 0,79 \text{ min} = 47 \text{ s} \quad (22)$$

Kde: L [mm] celková dráha
 l_n [mm] délka náběhu
 l_p [mm] délka přeběhu
 l [mm] délka dráhy obrábění
 t_s [min] strojní čas
 v_f [mm] rychlost posuvu

Z rovnic 4.15 až 4.20 budou vypočteny všechny strojní časy pro srážení a započítány do celkového času daného upnutí v technologickém postupu.

5 VÝROBA DÍLU

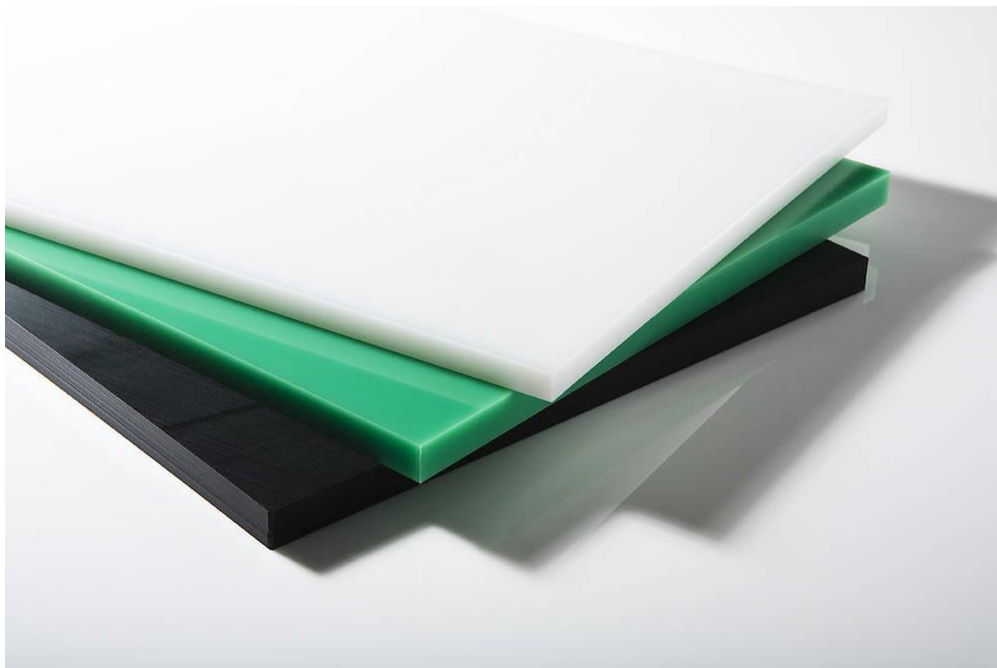
Výroba součásti se uskuteční na 3-osém CNC stroji a představuje praktické provedení všech předchozích kroků dohromady. Pro správnou výrobu je potřeba dobře a úplně sestavený i zakótovaný výkres, vhodný technologický postup a dále také správně naprogramovaný NC program, podle kterého bude CNC stroj obrábět.

5.1 Výběr materiálu

V dnešní době je velice těžké se rozhodnout, jaký materiál zvolit. Trh nabízí velké množství druhů materiálů. Pro nejlepší výběr je nutno stanovit více parametrů, které musí materiál splňovat. Čím více stanoveným parametrům daný materiál odpovídá, tím je vhodnější.

Daná čelist je vyrobena z plastového materiálu, což je široké spektrum vlastností a druhů, proto byly stanoveny parametry, dle kterých byl daný materiál vybrán. Jeden ze dvou nejdůležitějších parametrů se odvíjí od způsobu výroby. Výroba bude prováděna pouze třískovým obráběním na CNC stroji, čímž první vlastnost je dobrá obrobiteľnost. Druhý nejdůležitější parametr je roztažnost, aby došlo k dostatečnému rozevření a následně i sevření čelisti při zasouvání a vysouvání nástrojové jednotky ze zásobníku a vřetene do čelisti. Tyto dva hlavní parametry musí být splněny vždy. Další omezující vlastností je opotřebení. Požadavkem je co nejdelší funkčnost součásti, parametrem je tedy výborná oteřuvzdornost. Poslední podmínkou může být cena, materiál je vybírán dle předchozích parametrů a zároveň v porovnání s cenovou nabídkou.

Na základě výše uvedených nejdůležitějších parametrů byly vybrány 3 materiály, PE 1000, PET a POM-C. Následně byly porovnány s dalšími vlastnostmi a požadavky na materiál, z čehož byl vyvozen závěr, že všechny tři materiály z větší části vyhovují předem stanoveným parametrům. Materiál PE 1000 také známý jako PE UHMW či Murtfeld byl vybrán z důvodu ceny, na který byla obdržena téměř o polovinu nižší cenová nabídka než na oba dva zbylé materiály. Dalším důležitým faktorem bylo, že s daným materiálem má již firma zkušenost s obráběním a volbou nástrojů [12].



Obr. 9 Materiál PE 1000 ve 3 dostupných barevných variantách [11].

5.2 Výběr nástrojů

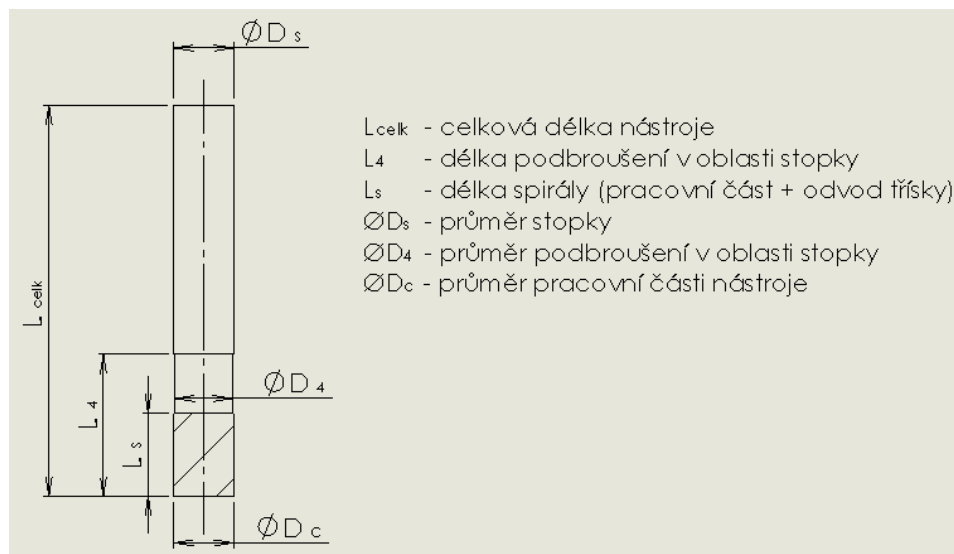
Nástroje byly voleny na základě několika parametrů. Zprv se volily nástroje, kterými daná firma disponuje, aby nedošlo ke zbytečnému prodražení výroby. Pouze nově navržený tvarový nástroj bude vyroben na zakázku. Dále musí nástroj dobře obrábět plastové materiály, aby nedošlo ke zbytečnému zničení polotovaru či nástroje. Posledním parametrem je zvolit vhodný nástroj pro danou operaci. Na základě těchto požadavků byly voleny následující nástroje. Všechny nástroje kromě hrubovací frézy byly voleny z e-katalogu Hoffman Group 2017/2018 [3]. Hrubovací fréza byla vybrána od firmy ISCAR [14].

Frézování:

Stopková dokončovací fréza s parametry viz tab. 1 a obr. 10.

Tab. 1 Přehled parametrů frézy.

Katalogové hodnoty												
$\varnothing D_c$	L_s	L_4	$\varnothing D_4$	L_{celk}	$\varnothing D_s$	f_{z-dr}	f_{z-obv}	v_c	z	λ	Materiál	Typ
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m.s ⁻¹]	[/]	[°]	[/]	[/]
3h10	5	12	2,4	54	3h6	0,008	0,01	180	2	45	SK	W
6h10	10	17	5,9	54	6h6	0,025	0,03	180	2	45	SK	W
10h10	14	24	9,7	66	10h6	0,04	0,05	180	2	45	SK	W
Vypočtené (zvolené) hodnoty												
$\varnothing D_c$	v_c		v_f		n							
[mm]	[m.min ⁻¹]		[mm.min ⁻¹]		[min ⁻¹]							
3h10	50		1061,03		5305,16							
6h10	130		1379,34		6896,71							
10h10	130		827,61		4138,03							

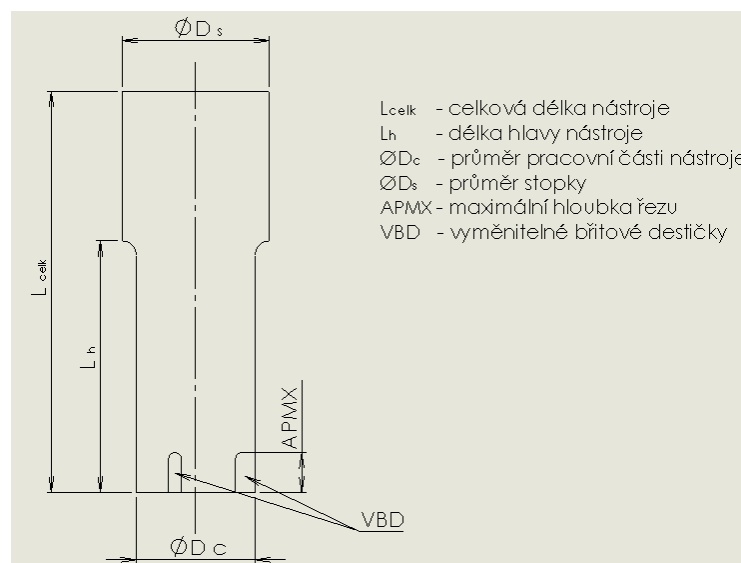


Obr. 10 Náčrt stopkové frézy.

Hrubovací fréza Iscar HM90 E90A-D32-4-C32 s VBD HM90 APKT 1003 s parametry viz tab. 2 a obr. 11.

Tab. 2 Přehled parametrů hrubovací frézy.

Katalogové hodnoty							
$\varnothing D_c$	APMX	L_h	L_{celk}	$\varnothing D_s$	počet VBD	n	typ
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[/]	[min^{-1}]	[/]
32	10	30	130	32	4	35350	C
Vypočtené (zvolené) hodnoty							
$\varnothing D_c$	v_c	v_f	n				
[mm]	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	[$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$]	[min^{-1}]				
32	251,3	1875	2500				

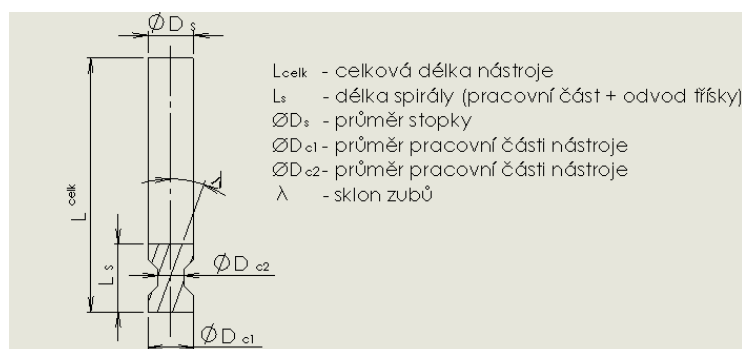


Obr. 11 Náčrt frézy Iscar s VBD.

Tvarová fréza s parametry viz tab. 3 a obr. 12.

Tab. 3 Přehled parametrů tvarové frézy.

Požadované hodnoty										
$\varnothing D_{c1}$	$\varnothing D_{c2}$	L_s	L_{celk}	$\varnothing D_s$	f_{z-dr}	f_{z-obv}	v_c	z	λ	Materiál
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	[/]	[°]	[/]
20-0,03/0	13	20	70	20h6	0,09	0,1	200	4	20	SK
Vypočtené (zvolené) hodnoty										
$\varnothing D_{c1}$	v_c	v_f	n							
[mm]	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	[$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$]	[min^{-1}]							
20-0,03	130	827,60	2069,01							



Obr. 12 Náčrt tvarové frézy.

Vrtáky:

Speciální vrták ze SK zaručující toleranční pásmo IT7 s parametry viz tab. 4 a obr. 14.

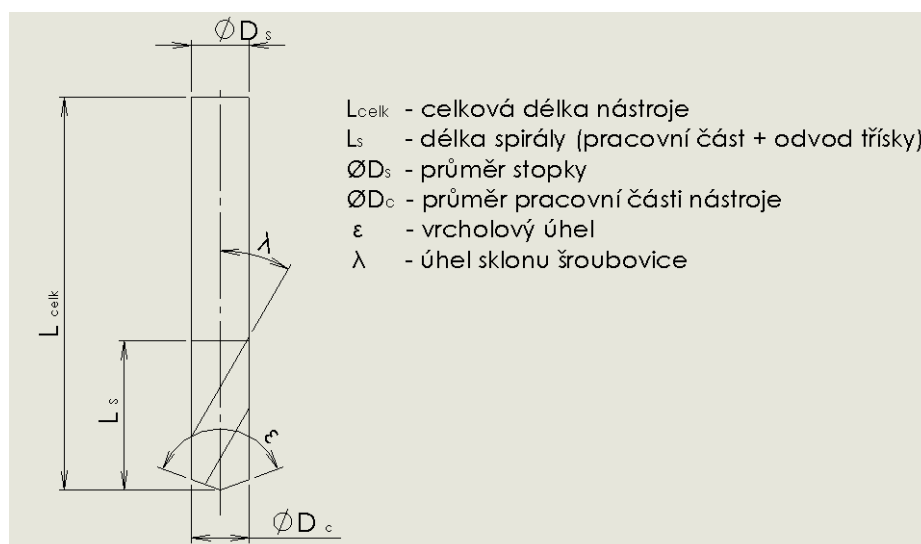
Tab. 4 Přehled parametrů speciálních vrtáků.

Katalogové hodnoty										
$\varnothing D_c$	L_s	L_{celk}	$\varnothing D_s$	f	ε	λ	z	Materiál	Hl. vrtání	v_c
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm.ot ⁻¹]	[°]	[°]	[/]	[/]	[mm]	[m.s ⁻¹]
6±0,003	44	82	6h6	0,15	120	30	3	SK	5xD	50
10±0,003	61	103	10h6	0,25	120	30	3	SK	5xD	50
Vypočtené (zvolené) hodnoty										
$\varnothing D_c$			v_c				n			
[mm]			[m.min ⁻¹]				[min ⁻¹]			
6			50				2652,58			
10			50				1591,55			

Vysokovýkonný NC vrták s parametry viz tab. 5 a obr. 14.

Tab. 5 Přehled parametrů vrtáků.

Katalogové hodnoty										
$\varnothing D_c$	L_s	L_{celk}	$\varnothing D_s$	f	ε	λ	z	Materiál	Hl. vrtání	v_c
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm.ot ⁻¹]	[°]	[°]	[/]	[/]	[mm]	[m.s ⁻¹]
3,3h7	28	66	6h6	0,14	140	30	3	SK	23,1	200
6,6h7	53	91	8h6	0,2	140	30	3	SK	43,1	200
7h7	53	91	8h6	0,2	140	30	3	SK	42,5	200
Vypočtené (zvolené) hodnoty										
$\varnothing D_c$			v_c				n			
[mm]			[m.min ⁻¹]				[min ⁻¹]			
3,3h7			50				4822,88			
6,6h7			50				2411,44			
7h7			50				2273,64			



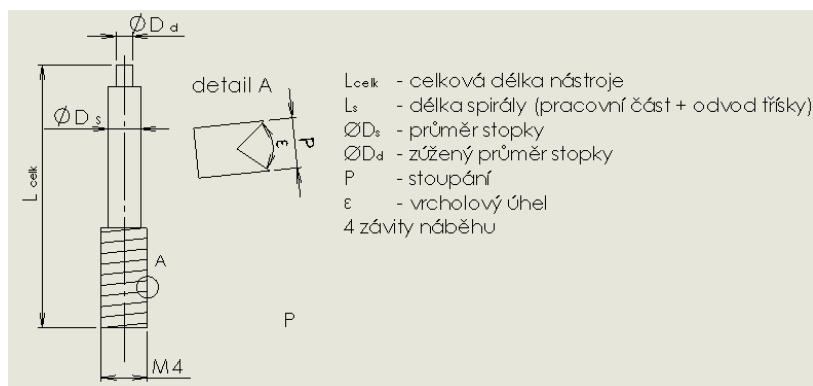
Obr. 14 Náčrt vrtáku.

Závitníky:

Strojní závitník M4 do průchozích otvorů s parametry viz tab. 6 a obr. 15.

Tab. 6 Přehled parametrů závitníku M4.

Katalogové hodnoty							
Závit	P	L _{celk}	Ø D _s	Ø D _d	Ø D _{před}	v _c	ε
[/]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m.s ⁻¹]	[°]
M4	0,7	40	2,5	2,1	3,3	28	60
Vypočtené (zvolené) hodnoty							
Závit	v _c		n				
[/]	[m.min ⁻¹]		[min ⁻¹]				
M4	5		397,89				

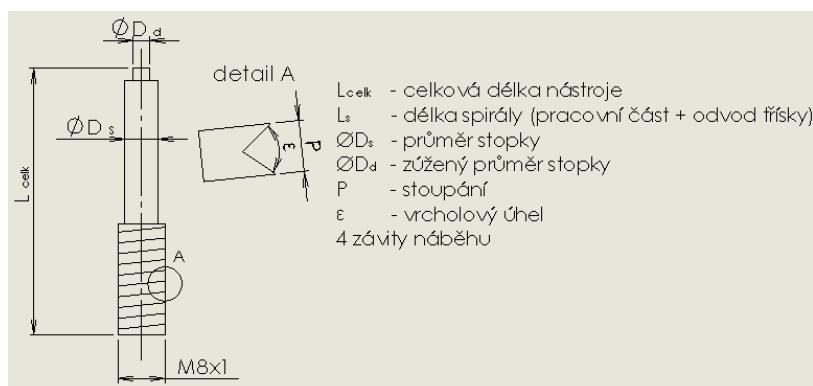


Obr. 15 Náčrt strojního závitníku M4.

Strojní závitník M8x1 do průchozích otvorů s parametry viz tab. 7 a obr. 16.

Tab. 7 Přehled parametrů závitníku M8x1.

Katalogové hodnoty						
Závit x stoupání	L _{celk}	Ø D _s	Ø D _d	Ø D _{před}	v _c	ε
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m.s ⁻¹]	[°]
M8x1	90	6	4,9	7,2	16	60
Vypočtené (zvolené) hodnoty						
Závit	v _c		n			
[/]	[m.min ⁻¹]		[min ⁻¹]			
M8x1	5		198,94			



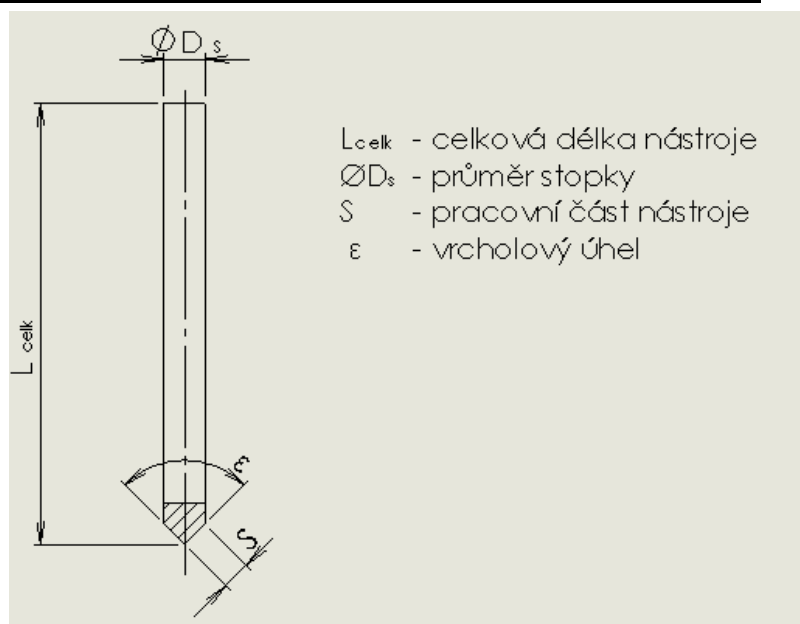
Obr. 16 Náčrt strojního závitníku M8x1.

Odjehlovač:

Odjehlovač hran 90° 10 mm s parametry viz tab. 8 a obr. 17.

Tab. 8 Přehled parametrů odjehlovače.

Katalogové hodnoty								
$\varnothing D_c$	S	L_{celk}	$\varnothing D_s$	f_z	v_c	Materiál	ε	z
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[m.s ⁻¹]	[/]	[°]	[/]
10h6	7	72	10h6	0,03	180	SK	90	2
Vypočtené (zvolené) hodnoty								
$\varnothing D_c$	v_c	v_f	n					
[mm]	[m.min ⁻¹]	[mm.min ⁻¹]	[min ⁻¹]					
10h6	130	827,61	4138,03					



Obr. 17 Odjehlovač hran.

5.3 NC program

Programy na obrábění plastů jsou vyhotoveny pro nesousledné frézování. Program byl vytvořen pracovníkem ve firmě CHSS, následně byl převzat a část byla přiložena jako příloha práce. Programování bylo provedeno ve speciálním CAM softwaru zvaný Surfcam. Jsou v něm zahrnuty veškeré úkony, které stroj provádí, ať už se jedná o dráhy, po kterých nástroj obrábí, či změnu nástroje. Dále je také možné nasimulovat danou operaci nebo vypočítat skutečné strojní časy obrábění. Program musí být vytvořen tak, aby odpovídal technologickému postupu. Poté je nahrán do stroje a zahájena výroba součásti.

6 FUNKČNÍ ZKOUŠKY

Z důvodu složité situace ve firmě byla součást zahrnuta do výroby v polovině května 2018, proto nebyly provedeny žádné složité zkoušky výrobku, ale pouze nenáročné operace, které lze provést zaměstnanci firmy.

Již před začátkem výroby byl zkontrolován polotovár z hlediska rozměrů. Následně po prvním obrobení součásti z prvního upnutí byly obsluhou stroje jednoduše překontrolovány vytvořené obrysy pomocí posuvného měřítka. Kompletně vyrobený kus byl ve firmě dopraven na kontrolu, kde byla zaměstnanci provedena kontrola rozměrů pomocí měřicího přístroje. Následně byly změřeny průměry a hloubky děr. Pomocí kalibru byla prověřena přesnost díry s tolerancí 6H7, a kontrola závitů M4 a M8x1 pomocí závitových kalibrů. Jako poslední byla provedena kontrola odhrocení hran.

Na základě volených vlastností materiálu a omezení výrobních parametrů je předpokládáno, že bude výrobek plnit stejnou funkci jako stávající součást, kterou má nahradit. Je poněkud obtížné říci, zda se dosáhne nižší, totožné či dokonce vyšší životnosti čelisti. To vše se ukáže až časem, kdy dojde k montáži vidlice na stroj a praktickému odzkoušení, či následném uvedení do plného provozu.

7 ZHODNOCENÍ VÝSLEDNÉHO STAVU

7.1 Teoretický stav

Teoretického konečného stavu bylo dosaženo po několika úpravách, ať už se jednalo o drobné úpravy nefunkčních částí modelu, tak technologického postupu. Z funkčního hlediska byly zachovány veškeré vlastnosti na upnutí čelisti na stroj, mimo otvor se závitem M8x1 pro sondu Balluf, která je proti původnímu dílu vyrobena skrz. Dále byly zachovány všechny tvary na uchycení nástrojové jednotky. Z pohledu výroby došlo k několika úpravám. Autorem byl například navrhnout technologický postup a nástroje na obrábění, ke kterým byly vzneseny připomínky a tyto námitky byly následně řešeny ke spokojenosti konzultujícího. Výsledný stav by měl zajistit co nejjednodušší i bezproblémovou výrobu a zároveň funkčnost součásti.

7.2 Praktický stav

Z praktického hlediska byla součást vyrobena a následně odzkoušena na nejdůležitější funkci, kterou je upnutí nástrojové jednotky označené HSK 63, které bylo provedeno úspěšně. Další funkce jako upnutí do stroje a správná činnost součásti bude prověřena až postupem času.

DISKUSE

V nákladech na výrobu nejsou započítány operace jako je opotřebení nástroje či cena procesní kapaliny, z důvodu kusové výroby. Vyrobí se pouze malé množství čelistí pro potřebu firmy a bylo by obtížné vykalkulovat cenu.

Při výrobě byly použity nástroje, kterými výrobce disponuje. Záměrem bylo vybrat co nejvhodnější nástroje na jednotlivé operace, ale nejednalo se o žádné speciální nářadí. To by bylo řešeno pouze při sériové výrobě, kdy by byl zvýšený požadavek na řezné podmínky a snížení časů výroby, což není tento případ. Jediný nový nástroj byla tvarová fréza, která usnadnila výrobu tvarové drážky.

Vhodné zvolení nástrojů bylo vybráno dle katalogu dodavatele nástrojů Hoffmann Group, v jehož katalozích jsou nástroje odlišeny barevnými štítky. Toto barevné označení umožňuje rozlišit použití nástrojů dle materiálů. V této práci byly voleny nástroje se žlutým štítkem, který označuje snadné obrábění polymerních materiálů pro frézy a zelený štítek označující univerzální použití pro vrtáky.

U technologického postupu a výpočtů strojních časů byly autorem práce voleny náběhy a přeběhy v řádech jednotek milimetrů, které zajistí bezpečný prostor pro přísun a následný odjezd nástroje od výrobku, aby nedošlo ke kolizi.

Přejezdy mezi jednotlivými operacemi nejsou započítávány do strojních časů, protože budou uskutečněny pomocí rychloposuvů a tyto časy jsou v řádech sekund. Na rozdíl od vrtání, u něhož jsou strojní časy také velice malé, jsou tyto přejezdy uskutečněny strojem v době, kdy není činný nástroj.

U výkresu součásti (příloha 1) je zvolen nulový bod v díře $\varnothing 6,6$. Počátek je zvolen v tomto bodě z důvodu najíždění obráběcího stroje. Proto byla zvolena méně přesná díra, u které bude najíždění jednodušší a kontrola rozměrů snazší, protože se jedná o průchozí díru. Ideální by bylo zvolit počátek v díře $\varnothing 6H7$, která je velice přesná, ale není vyrobena skrz.

Technologický postup zahrnuje najížděcí díry $2 \times \varnothing 10H7$, které nejsou uvedeny ve výkresu součásti, neboť tyto díry jsou vyvrtány mimo součást v polotovaru a slouží pouze k najetí stroje. Umístění těchto děr je v ose y rovno 0 a v ose x $+55_{\pm 0,01}$ a $-25_{\pm 0,01}$ vzhledem ke zvolenému počátku.

Při samotné výrobě bylo řešeno, zda všechny operace provést na 3-osém obráběcím centru nebo obrobení vnitřní díry $\varnothing 3$ a bočního závitu M8x1 na 5-osém CNC centru. Nakonec byla zvolena výroba pouze na 3-osém centru, protože by bylo obtížné upnout předobrobenou čelist tak, aby byl zajištěn bezproblémový přísun pro výrobu $\varnothing 3$ a zároveň závitu M8x1.

Výroba prvního kusu trvala zhruba 3 hodiny, což se neshoduje s technologickým postupem, protože se řešilo přesné upínání polotovaru a doladění detailů z pohledu výroby. Další kusy by měly být vyrobeny dle časového plánu v technologickém postupu.

ZÁVĚR

Práce byla zaměřena na výrobu podávací vidličky do CNC stroje, která je při nákupu od dodavatele až příliš drahá. Cílem bylo zajistit funkčnost a snížit cenu vidličky na minimum svou vlastní výrobou. Vedlejším úkolem bylo z pohledu autora nahlédnout z širšího spektra, čím vším je provázena výroba součástí. Seznámit se s jednotlivými úkony. Od modelování, přes tvorbu technologického postupu a volbu nástrojů až k finální výrobě na stroji.

V první fázi byl vymodelován 3D model v programu SolidWorks dle předložené vidličky, která byla využívána doposud. Došlo k drobným změnám nefunkčních částí čelisti a následně byla vytvořena výkresová dokumentace. Dle výkresů byl sestaven technologický postup, zvoleny nástroje a následně vypočteny strojní časy výroby součástí. V dalším kroku byl pracovníkem firmy vytvořen NC program na obrábění, který byl nahrán do 3-osého obráběcího centra Mikron VCP 800, na němž byla celá součást vyrobena. Součást byla zhotovena pouze metodou třískového obrábění, na kterou je firma specializována. Předpokládá se, že změna výroby by neměla mít zásadní dopad na vlastnosti a bude možné nahradit metodu originálního dodavatele, což bylo vstřikování plastu do formy.

Po zvážení všech aspektů lze tuto bakalářskou práci považovat za úspěšnou, protože původní cena vidličky byla kolem 25 000,- Kč. Při vlastní výrobě je cena součástí pouze za zlomek ceny původní. Nová cena je tvořena převážně cenou tvarové frézy, o něco méně nákladný je materiál, který bude nakupován opakovaně, čímž se do budoucna bude jednat o nejdražší parametr. Pouze malou část ceny tvoří náklady na energie. Mimo jiné je díky tomu firma nezávislá na dodavateli a v momentě, kdy bude potřeba vyměnit vidličku, může mít svoji vlastní zásobu několika kusů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Revolverová hlava* [online]. Řevnice: Ciessetrade, 2018 [cit. 2018-02-24]. Dostupné z: <http://www.ciessetrade.cz/wordpress/wp-content/uploads/dm-700x525.jpg>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [2] *Automatická výměna nástrojů - držáky nástrojů* [online]. Brno, 2016 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=128056. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [3] *Mikron HPM 1150U, HPM 1350U* [online]. Ženeva: GF Machining Solutions, 2015 [cit. 2018-02-24]. Dostupné z: http://www.gfms.com/content/dam/gfac/proddb/milling/high_performance_machine/en/mikron-hpm-1150u-1350u_en.pdf. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [4] *Uchopovací čelist* [online]. Suzhou: RICO MACHINERY [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/341567772/CNC-Tool-Forks-ISO30-HSK-BT30-BT40-Plastic-Gripper-Clip-Fingers>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [5] *Uchopovací čelist* [online]. Suzhou: RICO MACHINERY [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <https://html2-f.scribdassets.com/9rn0o7gcw05r394d/images/2-f7aed59821.jpg>
- [6] *Uchopovací čelist* [online]. Suzhou: RICO MACHINERY [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <https://html2-f.scribdassets.com/9rn0o7gcw05r394d/images/2-f7aed59821.jpg>
- [7] *Uchopovací čelist* [online]. Suzhou: RICO MACHINERY [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <https://html1-f.scribdassets.com/9rn0o7gcw05r394d/images/3-80270decc8.jpg>
- [8] *Uchopovací čelist* [online]. Suzhou: RICO MACHINERY [cit. 2018-03-06]. Dostupné z: <https://html1-f.scribdassets.com/9rn0o7gcw05r394d/images/4-2a617276ba.jpg>
- [9] *SolidWorks* [online]. Wikipedie, 2016 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>
- [10] *Technologický postup* [online]. Kroměříž: SŠ - COPT Kroměříž [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=33813&revision=-1&instance=2>
- [11] *Plasty pro použití ve strojírenství a v ostatních průmyslových zařízeních* [online]. Smržovka: TITAN – MULTIPLAST, 2014 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: [https://www.titan-multiplast.cz/storage/titan_CatalogueModule-Download/179-file-File\[cs\]-polyetylen-pe1000.pdf](https://www.titan-multiplast.cz/storage/titan_CatalogueModule-Download/179-file-File[cs]-polyetylen-pe1000.pdf)
- [12] *Plasty pro průmysl* [online]. Ledeč nad Sázavou: AK Plast, c1995-2017 [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: [https://www.titan-multiplast.cz/storage/titan_CatalogueModule-Download/179-file-File\[cs\]-polyetylen-pe1000.pdf](https://www.titan-multiplast.cz/storage/titan_CatalogueModule-Download/179-file-File[cs]-polyetylen-pe1000.pdf)
- [13] *E-katalog Hoffman Group Tools to make you better* [online]. Ejpvovice: HOFFMANN GROUP, 2017 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3101894&fnum=1000&mapp=ML&app=0&GFSTYP=M&isoD=1&lang=WZ>
- [14] *E-katalog Iscar Czech Cutting Tools* [online]. Iscar Czech Cutting Tools [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=3101894&fnum=1000&mapp=ML&app=0&GFSTYP=M&isoD=1&lang=WZ>
- [15] *Energie123* [online]. c2011-2018 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

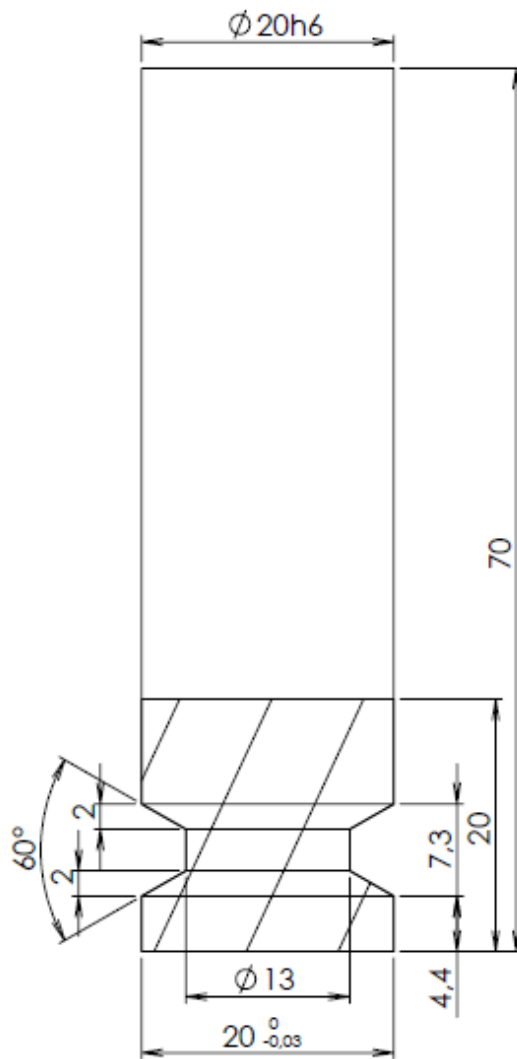
Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a.s.	-	akciová společnost
CNC	-	Computer Numerical Control – číslicové řízení počítačem
E	kWh	spotřebovaná energie
P	kW	příkon
t	h	čas
N	Kč	cena energií
c	Kč.kWh ⁻¹	cena energií za hodinu
Ø	mm	průměr
CAD	-	Computer Aided Design - počítačem podporované navrhování
SW	-	SolidWorks
v _c	m.min ⁻¹	řezná rychlost
n	min ⁻¹	otáčky
D _c	mm	průměr pracovní části nástroje
f _z	mm	střední posuv
v _f	mm.min ⁻¹	rychlost posuvu
z	-	počet zubů
L	mm	celková dráha
l _n	mm	délka náběhu
l _p	mm	délka přeběhu
l	mm	délka dráhy obrábění
t _s	s	strojní čas
P	mm	stoupání závitu
PE	-	polyethylen
PET	-	polyethylentereftalát
POM-C	-	polyoxymethylen
L _{celk}	mm	celková délka nástroje
L ₄	mm	délka podbroušení v oblasti stopky
L _s	mm	délka spirály
ØD _s	mm	průměr stopky
ØD ₄	mm	průměr podbroušení v oblasti stopky
f _{z_dr}	mm	střední posuv při obrábění drážky
f _{z_obv}	mm	střední posuv při obrábění obvodu
α	°	alfa
f	mm.ot ⁻¹	posuv na otáčku
SK	-	slinutý karbid
APMX	mm	maximální hloubka řezu
L _h	mm	délka hlavy nástroje
VBD	-	vyměnitelné břitové destičky
ØD _{c1,2}	mm	průměr pracovní části tvarové frézy
λ	°	sklon zubů
ε	°	vrcholový úhel

CAM	-	Computer Aided Manufacturing - počítačem podporovaná výroba
NC	-	Numerical control – číslicově řízený
CHSS	-	zkratka firmy Chotěbořské strojírny
aj.	-	a jiné
např.	-	například
atd.	-	a tak dále
obr.	-	obrázek
tab.	-	tabulka

SEZNAM PŘÍLOH


Příloha 1	Výkres součásti – Podávací vidlička
Příloha 2	Výkres tvarové frézy
Příloha 3	Technologický postup
Příloha 4	Ukázka NC programu pro první upnutí

PŘÍLOHA 2 – VÝKRES TVAROVÉ FRÉZY



POČET BŘITŮ	4
ÚHEL ČELA	15°
ÚHEL HRBETU	11°
SKLON ZUBŮ	20°
POVRCHOVÁ ÚPRAVA	BEZ POVLAKU
ORIENTACE NÁSTROJE	PRAVOTOČIVÁ

TOLERANCE FUNKČNÍ ČÁSTI ± 0,03

Struktura povrchu: √ Ra 6,3 (✓)		Hrany: └-0,3 └-0,3		Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768 m H
					Tolerování ISO 8015 ANO
					Promítání
Materiál SK	Polotovar	Hmotnost	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16013		
 ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ	Druh dokumentu	VÝKRES SOUČÁSTI		Název	
	Kreslil	DAVID DVOŘÁK		TVAROVÁ FRÉZA Ø20/13	
	Schválil			Číslo dokumentu	
	Datum vydání	11.5.2018		4_BP_DVORAK	
				List 1/1	

PŘÍLOHA 3 – TECHNOLOGICKÝ POSTUP

TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY				
DATUM:	11.05.2018	NÁZEV:	PODÁVACÍ ČELIST	POČET KUSŮ
ZPRACOVAL:	DVOŘÁK	VÝKRES:	3_BP_DVORAK	1
MATERIÁL:	PE - 1000 (PE-UHMW)	POLOTOVAR:	130 x 90 x 25	
ČÍSLO OPERACE	CELKOVÝ ČAS [hod]	STROJNÍ ČAS[hod]	POPIS OPERACE	
1	0,34	0,09	upnout na plochu ozn. žlutě dle přílohy 1 vrtat 2x \varnothing 10H7 vrtat \varnothing 6H7 vrtat \varnothing 6,6 skrz frézovat obvodový tvar včetně vnitřního průměru \varnothing 54 a sražení 100° do hloubky 10 mm srazit obvodové sražení 1x45°	
2	0,44	0,19	upnout na základnu, z horní strany najet na 2x \varnothing 10H7 frézovat sílu na rozměr 23 mm vypíchnout vnitřní úrůměr vidličky frézovat zahlužení 2x \varnothing 11,5 do hloubky 8,5 mm frézovat kapsu šíře 18 s přídavkem 1 mm do hloubky 8,5 mm frézovat kapsu šíře 18 +0,1/+0 do hloubky 8,5 mm předvrtat díru \varnothing 3,3 skrz pro závit M4 vrtat závit M4 skrz frézovat tvarovou frézou vnitřní tvarovou část vidličky \varnothing 64 včetně náběhu 95° na rozměr 6,9 mm od základny frézovat obvodový tvar na hotovo do hloubky 7 mm srazit obvodové sražení 1x45° odfrézovat hotově obvodový tvar do hloubky 14 mm	
3	0,26	0,01	položit na přední stranu, upnout do svěráku frézovat \varnothing 3 uvnitř tvarového vybrání	
4	0,27	0,02	upnout do svěráku dle pohledu C v příloze 1 předvrtat díru \varnothing 7 skrz pro závit M8x1 vrtat závit M8x1 skrz	

PŘÍLOHA 4 – 1/2 – UKÁZKA NC PROGRAMU PRO PRVNÍ UPNUTÍ

```
0 BEGIN PGM 7042964 MM 1 BLK FORM 0.1 Z
X-34.339 Y-27. Z-4.
2 BLK FORM 0.2 X55.377 Y82.169 Z100.
3 ; -- prekl.- Hei 530 L.V. 05.09.2014 --
4 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
5 CYCL DEF 32.1 T0.04
6 ; -- SEZNAM NASTROJU POUZITYCH V
TOMTO PROGRAMU
7 ; T20 VRTAK - D=10.
8 ; T560 VRTAK - D=6.
9 ; T75 VRTAK - D=6.6
10 ; T90 FREZA VALCOVA - D=10. / r=0
11 ; T45 FREZA VALCOVA - D=10. / r=0
12 ; -- KONEC SEZNAMU --
13 ;
14 *-2x vrtat D10H7 15 ; T20 VRTAK - D=10.
16 TOOL CALL 20 Z S1592
17 L M6
18 L X-25. Y+0 R0 FMAX M3
19 L Z+100. FMAX M8
20 CYCL DEF 200 VRTANI ~
Q200=+2. ;BEZPEC.VZDAL. ~
Q201=-29. ;HLOUBKA ~
Q206=+477.6 ;POSUV PRISUVU DO HL. ~
Q202=+29. ;HLOUBKA PRISUV ~
Q210=0 ;CAS.PRODLEVA NAHORE ~
Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
Q204=+100. ;2.BEZP.VZDAL. ~
Q211=0 ;CAS.PRODLEVA DOLE
21 L X-25. Y+0 FMAX M99
22 L X+55. FMAX M99
23 L Z+100. R0 FMAX
24 ;
25 STOP M9 M5
26 ;
27 *-2x vrtat D 6H7 28 ; T560 VRTAK - D=6.
29 TOOL CALL 560 Z S2653
30 L M6
31 L X-5. Y+13. R0 FMAX M3
32 L Z+100. FMAX M8
33 CYCL DEF 200 VRTANI ~
Q200=+2. ;BEZPEC.VZDAL. ~
Q201=-14.803 ;HLOUBKA ~
Q206=+795.9 ;POSUV PRISUVU DO HL. ~
Q202=+14.803 ;HLOUBKA PRISUV ~
Q210=0 ;CAS.PRODLEVA NAHORE ~
Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
Q204=+100. ;2.BEZP.VZDAL. ~
Q211=0 ;CAS.PRODLEVA DOLE
34 L X-5. Y+13. FMAX M99
35 L X+35. FMAX M99
36 L Z+100. R0 FMAX
37 ;
38 STOP M9 M5
39 ;
40 *-2x vrtat D 6,6
41 ; T75 VRTAK - D=6.6
42 TOOL CALL 75 Z S2411
43 L M6
44 L X+0 Y+0 R0 FMAX M3
45 L Z+100. FMAX M8
46 CYCL DEF 200 VRTANI ~
Q200=+2. ;BEZPEC.VZDAL. ~
Q201=-28. ;HLOUBKA ~
Q206=+723.3 ;POSUV PRISUVU DO HL. ~
Q202=+28. ;HLOUBKA PRISUV ~
Q210=0 ;CAS.PRODLEVA NAHORE ~
Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
Q204=+100. ;2.BEZP.VZDAL. ~
Q211=0 ;CAS.PRODLEVA DOLE
47 L X+0 Y+0 FMAX M99
48 L X+30. FMAX M99
49 L Z+100. R0 FMAX
50 ;
51 STOP M9 M5
52 ;
53 *-1x frezovat obvodovy tvar, D54, ukos 100°
hotove, hl 10mm FR D10 54 ; T90 FREZA
VALCOVA - D=10. / r=0
55 TOOL CALL 90 Z S4200
56 L M6
57 L X+33.5 Y-27. R0 FMAX M3
58 L Z+100. FMAX M8
59 L Z+2. FMAX
60 L Z+0 F850
61 L Y-17. RR
62 CC X+33.5 Y-6.5
63 C X+44. Y-6.5 DR+
64 L Y+0.222
65 CC X+44.5 Y+0.222
66 C X+44.146 Y+0.575 DR-
67 L X+47.976 Y+4.405
68 L X+55.377 Y+46.38
69 CC X+15. Y+53.5
70 C X+49.275 Y+76. DR+
71 L X+38.884
72 L X+36.29 Y+62.746
73 CC X+45.613 Y+60.922
74 C X+36.381 Y+58.684 DR+
75 CC X+15. Y+53.5
76 C X-6.381 Y+58.684 DR-
77 CC X-15.613 Y+60.922 78 C X-6.29 Y+62.746
DR+ 79 L X-8.884 Y+76.
80 L X-19.275
81 CC X+15. Y+53.5
82 C X-25.377 Y+46.38 DR+
83 L X-22.934 Y+32.522
84 CC X-23.426 Y+32.436
85 C X-23.072 Y+32.082 DR-
86 L X-34.339 Y+20.815
87 L X-14.146 Y+0.622
88 CC X-14.5 Y+0.269
89 C X-14. Y+0.269 DR-
90 L Y-6.5
91 CC X-3.5 Y-6.5
```

PŘÍLOHA 4 – 2/2 – UKÁZKA NC PROGRAMU PRO PRVNÍ UPNUTÍ

92 C X-3.5 Y-17. DR+
93 L X+33.5
94 L Y-27. R0
95 L Z+100. FMAX
96 STOP M9 M5
97 ;
98 *-1x srazeni 1x45° hotove FR D10 srazec
99 ; T45 FREZA VALCOVA - D=10. / r=0
100 TOOL CALL 45 Z S4200
101 L M6
102 L X-15.969 Y+82.169 R0 FMAX M3
103 L Z+100. FMAX M8
104 L Z-2. FMAX
105 L Z-4. F850
106 L X-15.095 Y+81.683 RR
107 L X-19.956 Y+72.944
108 CC X+15. Y+53.5
109 C X-24.392 Y+46.554 DR+
110 L X-21.949 Y+32.696
111 CC X-23.426 Y+32.436
112 C X-22.365 Y+31.375 DR-
113 L X-32.925 Y+20.815
114 L X-13.439 Y+1.329
115 CC X-14.5 Y+0.269
116 C X-13. Y+0.269 DR-
117 L Y-6.5
118 CC X-3.5 Y-6.5
119 C X-3.5 Y-16. DR+
120 L X+33.5
121 CC X+33.5 Y-6.5
122 C X+43. Y-6.5 DR+
123 L Y+0.222
124 CC X+44.5 Y+0.222
125 C X+43.439 Y+1.282 DR-
126 L X+47.046 Y+4.889
127 L X+54.392 Y+46.554
128 CC X+15. Y+53.5
129 C X+49.956 Y+72.944 DR+
130 L X+45.095 Y+81.683
131 L X+45.969 Y+82.169 R0
132 L Z+100. FMAX
133 M2
134 END PGM 7042964 MM