



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

katedra obrábění a montáže

studijní rok : 2009 / 2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení : Ondřej M U N D U C H
Studijní program : B2341 Strojírenství
Obor : 3911R018 Materiály a technologie
Zaměření : Obrábění a montáž

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách určuje bakalářskou práci na téma:

**Návrh hospodárného postupu obrábění matic střížných nástrojů
ve firmě Swoboda - Stamping, s.r.o. Jihlava**

Zásady pro vypracování :

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Úvod a shrnutí poznatků o technologii frézování a elektrojiskrového obrábění.
2. Rozbor stávajícího postupu výroby tvarových ploch matic střížných nástrojů z chromové nástrojové oceli kalené na 62 HRC ve firmě Swoboda - Stamping, s.r.o.
3. Návrh metodiky experimentů pro optimalizaci postupu výroby matic.
4. Realizace zkoušek frézováním a vyjiskřováním.
5. Návrh optimálního postupu výroby matic střížných nástrojů.
6. Technické a ekonomické hodnocení navrhovaného řešení.
7. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků.

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva : cca 40 - 50 stran textu

- grafické práce : obrázky, tabulky a grafy - dle potřeby

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu) :

1. ŘASA, J., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 - 1. díl - Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 2. vyd. Praha: Scientia, spol. s r.o., 2005. 256 s. ISBN 80-7183-337-1.
2. ŘASA, J., POKORNÝ, P., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 - 2. díl - Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. 1. vyd. Praha: Scientia, spol. s r.o., 2001. 221 s. ISBN 80-7183-227-8.
3. DILLINGER, J., AJ. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Překlad J. Handlíř. 1. vyd. Praha: Europa-Sobotáles cz, s.r.o., 2007. 612 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
4. SANDVIK Coromant, Sandviken: *Technická příručka obrábění - soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. 2005. 601 s.
5. MLEJNEK, M. *Návrh hospodárného postupu obrábění tvarových částí tlakových forem pro lití hliníkových slitin ve firmě ŠkodaAuto Mladá Boleslav. [Diplomová práce]*. Liberec, TU v Liberci, 2005. 76 s.

Vedoucí bakalářské práce :

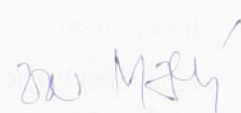
Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Petr Novák - Swoboda - Stamping, s.r.o.


Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry




Prof. Ing. Petr Louda, CSc.
děkan

V Liberci, dne 09. 12. 2009

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní:

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program:

Strojírenská technologie

Zaměření:

Obrábění a montáž

**NÁVRH HOSPODÁRNÉHO POSTUPU OBRÁBĚNÍ MATRIC
STŘIŽNÝCH NÁSTROJŮ VE FIRMĚ SWOBODA-STAMPING, s.r.o.
JIHLAVA**

**THE PROPOSAL OF ECONOMICAL PROCESS OF CUTTING
MATRIX SHEARING TOOLS IN SWOBODA-STAMPING COMPANY,
s. r. o. JIHLAVA**

KOM - 1127

Ondřej Munduch

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146135707

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jan Jersák, CSc

Konzultant: Ing. Petr Novák, Swoboda-Stamping s.r.o.

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 57

Počet obrázků: 24

Počet grafů: 11

Počet tabulek: 8

Počet příloh: 3

Označení BP : 1127

Řešitel: Ondřej Munduch

**Návrh hospodárneho postupu obrábění matric střižných nástrojů ve firmě
Swoboda – Stamping, s. r. o. Jihlava**

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá studiem procesu obrábění matric střižných nástrojů vyrobených z kalené oceli.

Cílem experimentální části je porovnání metod CNC frézování a elektroerozivního hloubení při výrobě uzavřené kapsy s hlavním zřetelem na ceny nástrojů a strojní časy.

**The proposal of economical progress of cutting matrix of shearing tools in
Swoboda – Stamping s. r. o. company Jihlava.**

ANNOTATION

This thesis is about cutting processes of matrix by shearing tools made from hardened steel.

The objective of experimental part is to compare the method CNC milling and electro-erosive deeping by producing of closed pocket with the main view to prices of tools and machine time.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího a konzultanta.

V Liberci dne 19.05.2010



Obsah

01. Úvod.....	10
02. Shrnutí poznatků o technologii frézování.....	11
2.1 Základní informace o technologii frézování.....	11
2.2 Nástroje.....	12
2.3 Nástrojové materiály.....	14
2.4 Trendy ve vývoji fréz.....	14
2.5 Stroje	15
03. Shrnutí poznatků o technologii elektroerozivního obrábění.....	16
3.1 Podstata elektroerozivního obrábění.....	16
3.2 Elektroerozivní hloubení.....	16
3.3 Fyzikální pochod úběru materiálu.....	17
3.4 Trendy v technologii elektroeroze.....	17
3.5 Charakteristika výbojů.....	18
3.6 Časový průběh procesu elektroerozivního obrábění.....	18
3.7 Pracovní prostředí.....	20
3.8 Generátory výbojů pro elektroerozivní obrábění.....	23
3.9 Nástrojové elektrody.....	23
04. Hospodárnost procesu obrábění.....	25
4.1 Trvanlivost nástroje.....	25
4.2 Operační výrobní náklady.....	25
05. Návrh metodiky experimentů.....	27
5.1 Podstata experimentů.....	27
5.2 Materiál matrice.....	27
5.3 Druhy a podmínky experimentů.....	27
5.4 Technologické postupy pro experimenty.....	29
5.5 Stroje, přístroje a nástroje pro experimenty.....	31
06. Realizace zkoušek frézováním a vyjiskřováním.....	36
6.1 Výroba uzavřené kapsy bez otvorů monolitní frézou.....	36
6.2 Výroba uzavřené kapsy bez otvorů frézou s VBD.....	37
6.3 Výroba uzavřené kapsy s otvory monolitní frézou.....	38
6.4 Výroba uzavřené kapsy s otvory za použití frézy s VBD.....	40

6.5 Výroba uzavřené kapsy bez otvorů elektroerozivním obráběním.....	41
07. Ekonomické shrnutí provedených experimentů.....	43
7.1 Způsob určení nákladů na výrobu kapes.....	43
7.2 Ceny nástrojů, materiál a práce.....	43
7.3 Náklady na výrobu uzavřené kapsy bez otvorů pomocí monolitní frézy.....	44
7.4 Náklady na výrobu uzavřené kapsy bez otvorů použitím frézy s VBD.....	44
7.5 Náklady na výrobu uzavřené kapsy s otvory pomocí monolitní frézy.....	45
7.6 Náklady na výrobu uzavřené kapsy s otvory použitím frézy s VBD.....	46
7.7 Náklady na výrobu uzavřené kapsy bez otvorů elektroerozivním hloubením..	47
08. Porovnání jednotlivých technologií.....	49
8.1 Porovnání nákladů na nástroje.....	49
8.2 Porovnání výrobních časů.....	50
8.3 Porovnání celkových nákladů na proces obrábění.....	51
09. Shrnutí a hodnocení dosažených výsledků.....	53
10. Seznam použité literatury.....	56

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

h	[mm]	tloušťka třísky
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
CNC	[-]	počítačem řízené ovládání
q	[-]	časového využití periody výboje
t_i	[s]	doba impulzu
t_0	[s]	doba pauzy
T	[s]	doba periody
t_e	[s]	doba výboje
I	[A]	pracovní proud
N_c	[Kč]	celkové náklady
N_s	[Kč]	náklady na strojní práci
N_v	[Kč]	náklady na vedlejší práci
N_n	[Kč]	náklady na nástroj a jeho výměnu
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
N_{sm}	[Kč]	náklady na minutu strojní práce
L	[mm]	dráha nástroje ve směru posuvu
v_f	[mm/min]	rychlost posuvu
t_{AV}	[min]	jednotkový vedlejší čas
N_{vm}	[Kč]	náklady na minutu vedlejší práce
N_p	[Kč]	pořizovací hodnota nástroje
N_z	[Kč]	zůstatková hodnota nástroje
N_{OSTR}	[Kč]	náklady na ostření (výměnu) nástroje
T	[min]	trvanlivost nástroje
z	[-]	počet možných ostření (výměn) nástroje
n	[ot/min]	počet otáček
v_c	[m/min]	řezná rychlost
a_p	[mm]	axiální hloubka řezu
a_e	[mm]	šířka záběru do obrobku
R_a	[μm]	drsnot povrchu
z_u	[-]	počet zubů

HRC	[-]	tvrdost podle Rockwella
V	[cm ³]	objem
t	[min]	čas
CN _x	[Kč]	cena použitých nástrojů pro konkrétní experiment
F _{d10}	[Kč]	cena frézy průměru 10 mm
NK _x	[Kč]	celkové náklady na výrobu příslušné kapsy
t _{ASx}	[min]	jednotkový strojní čas
t _{AVx}	[min]	jednotkový vedlejší čas
RHS	[Kč]	režijní hodinová sazba frézky CNC
F _{d16}	[Kč]	cena frézy průměru 16 mm
C _{VBD}	[Kč]	cena jedné vyměnitelné břitové destičky
m _{pol}	[kg]	hmotnost polotovaru
l _{pol}	[mm]	délka polotovaru
m ₁₀₀₀	[kg]	hmotnost jednoho metru polotovaru
l ₁₀₀₀	[mm]	délka polotovaru 1 m
C _{pol}	[Kč]	cena polotovaru pro výrobu elektrody
C _{kg}	[Kč]	cena 1 kg polotovaru
CC _{EI}	[Kč]	celková cena elektrody
RHS2	[Kč]	režijní hodinová sazba elektroerozivní hloubičky

1. ÚVOD

V dnešní době je ve všech výrobních společnostech požadavkem maximální produkce při minimálních nákladech, při dodržení požadované jakosti a přesnosti výrobku, za účelem lepšího hospodářského výsledku firmy. To je hlavním důvodem, proč se společnosti snaží důsledně analyzovat použití jednotlivých technologií pro konkrétní výrobu. Například metoda CNC frézování je velice produktivní, ale nelze ji použít vždy, omezujícím faktorem je vysoká tvrdost obráběného materiálu a tvarová složitost vyráběné součástí. Nejnáročnější bývají na výrobu těžko dostupná místa, kde je nutné velké vyložení nástroje a časté přerušování řezu. V případech, kdy tyto technologie nelze použít, se používají nekonvenční technologie jako je elektroerozivní obrábění.

Společnost Swoboda – Stamping s. r. o. je firmou patřící do koncernu Swoboda – Molding Elements se sídlem v Německu. Swoboda – Stamping s. r. o. zajišťuje vývoj, výrobu a servis nástrojů pro stříhání a ohýbání kontaktů pro automobilový průmysl a výrobu forem pro vstřikování plastů. Pro výrobu matric těchto nástrojů se používá těžko obrobitelný materiál ČSN 19 573 kalený na tvrdost 62 HRC. Ve společnosti Swoboda – Stamping s. r. o. bylo rozhodnuto porovnat technologie běžně používané na obrábění těchto materiálů: technologie CNC frézování pomocí monolitické frézy, dále CNC frézování s frézou s vyměnitelnými břitovými destičkami a nekonvenční metoda elektroerozivního obrábění.

Cílem této bakalářské práce je posouzení, která z tří výše uvedených technologií obrábění kaleného materiálu ČSN 19 573 je nejvýhodnější z hlediska celkových nákladů spojených s výrobou zadané součásti, výrobních časů, nákladů na nástroj a trvanlivosti nástrojů.

2. SHRUTÍ POZNATKŮ O TECHNOLOGII FRÉZOVÁNÍ

2.1 Základní informace o technologii frézování

Technologie frézování patří do kategorie třískového obrábění, stroj se nazývá frézka, nástroj je zpravidla vícebřitý a nazývá se fréza. V dnešní době lze na moderních strojích obrábět i otvory, dutiny, povrchy, které dříve byly soustruženy, závitů apod. Přesto je i dnes frézování nejčastěji využíváno k obrábění rovinných ploch [5].

Obrobek upnutý na pracovním stole frézky vykonává plynulý pohyb – posuv. Někdy se posouvá i vřetenem s nástrojem. Jednotlivé břity nástroje nejsou trvale v záběru, ale jen po určitou dobu otáčky. Břity, které právě neodebírají třísku z materiálu, se ochlazují.

Otáčivý pohyb frézy je hlavní řezný pohyb, vedlejší řezný pohyb obrobku je přímočarý nebo kruhový, obvykle kolmý na osu otáčení [6].

Z technologického hlediska se frézování dělí na:

- čelní (frézování čelem nástroje),
- válcové (frézování obvodem nástroje).

Válcové frézování dělíme na:

- sousledné (směr otáčení frézy v místě záběru je shodný se směrem posuvu obrobku),
- nesousledné (směr otáčení frézy v místě řezu je opačný než směr posuvu obrobku).

Podle polohy osy otáčení frézy vzhledem k obráběné ploše existují:

- symetrické (osa nástroje prochází středem frézované plochy),
- nesymetrické (osa nástroje je mimo střed frézované plochy) [7].

V technické praxi je snaha používat při obrábění na CNC strojích převážně sousledné frézování u kterého je tloušťka třísky h na konci nulová a tím nedochází k tak velkému opotřebení břitu jako při nesousledném frézování.

Hlavní typy frézovacích operací podle účinku na součást nebo podle dráhy nástroje (obr. 1):

- | | |
|----------------------------------|------------------------------|
| 01. rovinné frézování, | 02. čelní frézování do rohu, |
| 03. kopírování , | 04. frézování dutin, |
| 05. frézování kotoučovou frézou, | 06. rotační frézování, |

07. frézování závitů,

09. frézování s vysokým posuvem,

11. zahlubování,

13. kruhová interpolace,

08. dělení materiálu,

10. ponorné frézování,

12. šroubovicová interpolace,

14. odvalovací frézování.



Obr. 1 Hlavní typy frézovacích operací [5]

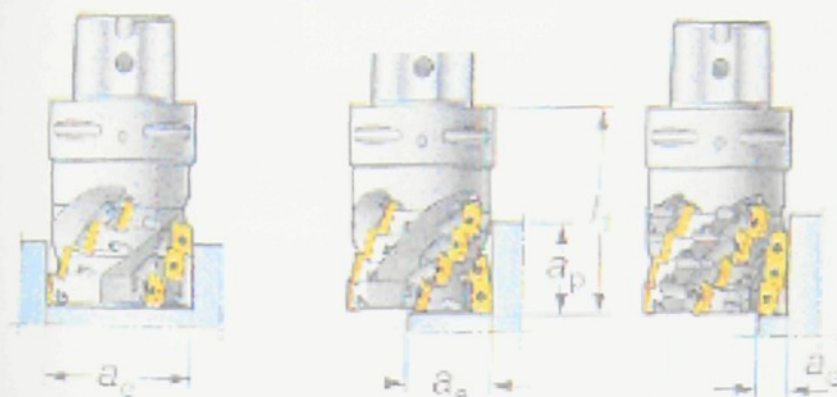
2.2 Nástroje

Frézy je možné dělit z různých hledisek – zejména podle umístění břitů, tvaru zubů, průběhu ostří, upínání a konstrukce [3] :

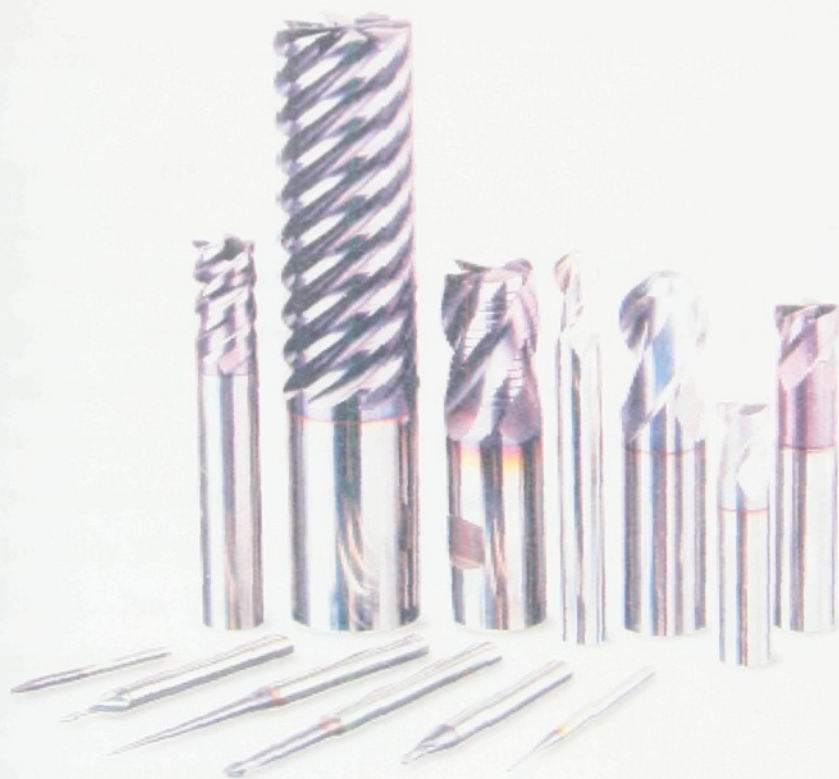
- podle umístění břitů: válcové, čelní, kotoučové, kuželové, tvarové,
- podle tvaru zubů: s frézovanými zuby, s podsoustruženými zuby,
- podle průběhu ostří: s přímými zuby, se zuby do šroubovice,
- podle způsobu upínání: stopkové, nástrčné,
- podle konstrukce frézy: celistvé (monolitní), s vyměnitelnými břitovými destičkami, skládané (obr. 2, 3, 4).

Při obrábění matic střižných nástrojů se ve firmě Swoboda – Stamping, s.r.o. používá celá řada nástrojů s různými způsoby upínání a rozložení břitů. Převažuje však snaha užívat nástroje s VBD.

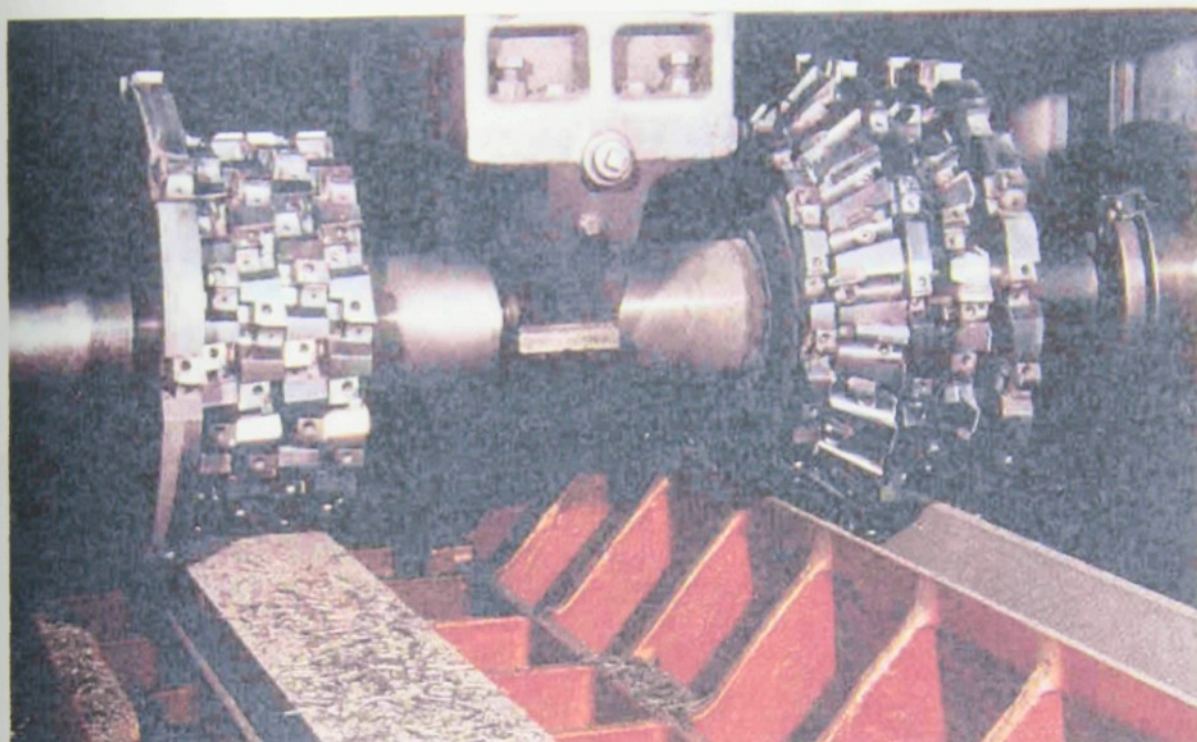
Rozměr VBD - 11 mm



Obr. 2 Čelní stopková fréza CoroMill 390 s vyměnitelnými břitovými destičkami (dle[5])



Obr. 3 Fréza CoroMill z monolitního slinutého karbidu [5]



Obr. 4 Fréza složená ze sady kotoučových fréz a úhlové frézy [5]

2.3 Nástrojové materiály

Celistvé frézy se vyrábějí z rychlořezných ocelí buď obráběním, nebo přesným litím, frézy menších rozměrů se vyrábějí jako celistvé ze slinutých karbidů.

Frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami mají zuby tvořené vyměnitelnými destičkami z rychlořezné oceli, slinutého karbidu, řezné keramiky nebo polykrystalického kubického nitridu boru. Těleso frézy je vyrobeno z konstrukčních ocelí vyšší pevnosti. Břítové destičky mohou být k tělesu připájeny nebo různými způsoby mechanicky upnuty.

Pro obrábění litiny se někdy používají frézy s mechanicky upínanými keramickými břitovými destičkami. Pro obrábění kalených ocelí lze použít frézy s destičkami z polykrystalického kubického nitridu boru [3].

2.4 Trendy ve vývoji fréz

Frézování se vyvíjí ve stále univerzálnější metodu obrábění, což je důsledkem vývoje nových nástrojů. Například válcové a čelní frézy větších průměrů, jsou v dnešní době již nahrazeny frézovacími hlavami s vyměnitelnými břitovými destičkami. Frézy do průměru 25 mm jsou vyráběny ze slinutých karbidů nebo stelitů, jako celistvé, metodou práškové metalurgie.

Pro dosažení kvalitního povrchu již při hrubování, lze upnout do frézovací hlavy jednu hladicí destičku (destička s velmi malým úhlem nastavení vedlejšího ostří) [3].

2.5 Stroje

Frézky jsou vyráběny a dodávány ve velkém počtu modelů a velikostí, často pak s rozsáhlým zvláštním příslušenstvím. Zpravidla se člení na:

- konzolové,
- rovinné,
- speciální,
- stolové,
- NC, CNC.

Z hlediska řízení pracovního cyklu se rozlišují frézky ovládané ručně a řízené programově (tvrdá automatizace, pružná automatizace).

Velikost frézky určuje šířka upínací plochy stolu a velikost kužele ve vřetenu pro upnutí nástroje. Dalšími důležitými technickými parametry jsou maximální délky pohybu pracovního stolu nebo vřeteníku, rozsah otáček vřetena a posuvů (případně plynulá regulace pohybů), výkon elektromotoru pro otáčení vřetena a kvalitativní parametry dosahované u obrobených ploch [7].

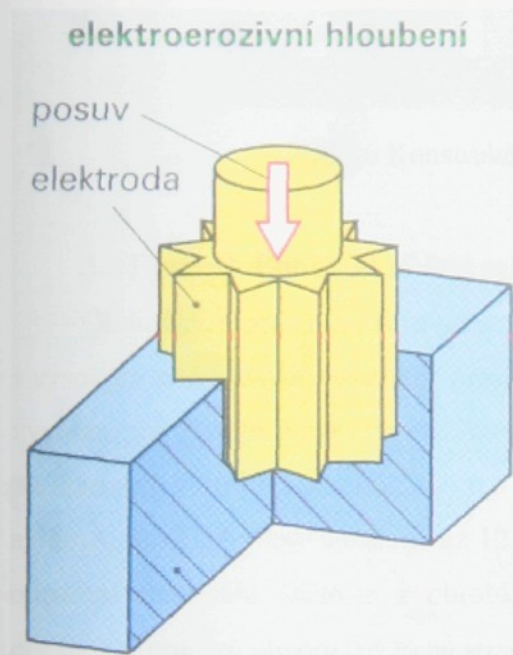
3. SHRUTÍ POZNATKŮ O TECHNOLOGII ELEKTROEROZIVNÍHO OBRÁBĚNÍ

3.1 Podstata elektroerozivního obrábění

Odebírání materiálu elektroerozivními způsoby je založeno na rozrušování kovů přímým působením elektrické energie. V některých případech je působení elektrické energie kombinováno s mechanickým účinkem elektrody – nástroje [6].

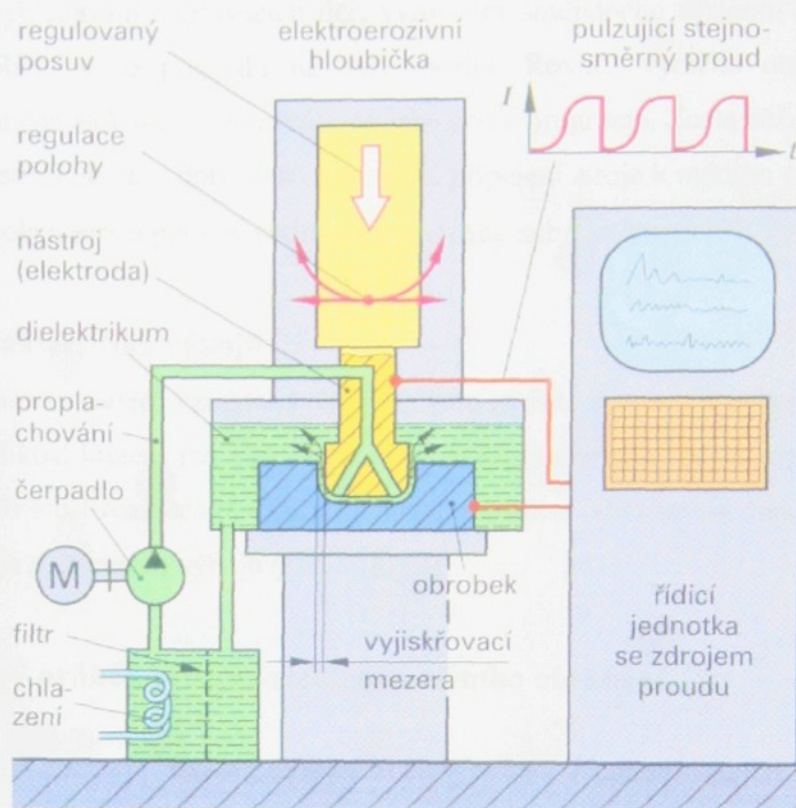
3.2 Elektroerozivní hloubení

Elektroerozivním hloubením se vytváří pomocí elektrody v obrobku dutina požadovaného tvaru (obr. 5). Tvar elektrody odpovídá buď úplně (při pohybu v jedné ose) nebo jen částečně (při CNC řízení ve více osách) tvaru vytvářené dutiny.



Obr. 5 Poloha nástroje vůči obrobku při elektroerozivním hloubení [1]

Elektroerozivní hloubička má podobnou mechanickou konstrukci jako konzolová frézka (obr. 6), má stojan s křížovým stolem a v horní části stroje svisle přestavitelnou hlavu s držákem nástroje. Dále je hloubička vybavena generátorem stejnosměrných elektrických impulzů 20 V až 150 V s frekvencí 200 Hz až 500 kHz a hydraulickým systémem pro čerpání dielektrické (nevodivé) kapaliny a její čištění a chlazení. Moderní elektroerozivní hloubičky mají CNC řízení ve třech osách [1].



Obr. 6 Konstrukce elektroerozivní hloubičky [1]

3.3 Fyzikální pochod úběru materiálu

Obrábění probíhá mezi dvěma elektrodami ponořenými do nevodivé kapaliny s vysokým elektrickým odporem (pracovní médium). Vznik náboje mezi elektrodami je vyvolán přivedením napětí na elektrody. K výboji dochází v místě nejmenší vzdálenosti mezi nástrojem (obráběcí elektrodou) a obrobkem. Proud se pohybuje v rozmezí od 0,5 A až 80 A, teplota výboje dosahuje až 12 000 °C. Dochází při tom k tavení a explozivnímu odpaření materiálu nástroje i obrobku, použitím vhodných materiálů elektrody lze dosáhnout poměru úbytku 0.5 % na straně elektrody a 99.5 % na straně obrobku [1].

3.4 Trendy v technologii elektroeroze

Elektroerozivní CNC obráběcí stroje jsou z pohledu obsluhy stroje, které vyžadují kvalifikovanou obsluhu. Nedostatek takové pracovní síly je pro podniky poměrně tvrdým oříškem a nástrojárny si operátory elektroeroze značně považují. Také výrobci strojů jsou si tohoto faktu vědomi a cílenou snahou je zjednodušit ovládání a řadu operací zautomatizovat. Automaticky probíhá transformace elektronických dat z konstrukčního oddělení na CNC program pro stroj, automatický je i výpočet technologií. Automatizovat

se podařilo i vyhledávání startovacích děr, vyrovnání souřadného systému stroje podle upnutého obrobku, nebo přejezdu na další pozici. Rovněž výměna obrobků nebo u hloubiček výměna elektrod probíhá automaticky podle programu. Zcela běžným prvkem ovládání CNC strojů je dnes dotyková obrazovka, připojení stroje k médiím pomocí USB a dálková kontrola a servis pomocí podnikové LAN sítě nebo internetu [9].

3.5 Charakteristika výbojů

Velikost a tvar kráteru vzniklého výbojem jsou závislé na energii výboje a na době jeho trvání. Velikost kráteru má vliv na účinnost procesu obrábění, jakost opracovaného povrchu a na přesnost rozměrů obrobku. Celkové množství odebraného materiálu závisí na energii výboje a frekvenci výbojů (obr. 7, 8) [2].

3.6 Časový průběh procesu elektroerozivního obrábění

Doba impulsu t_i	-	časový úsek mezi zapojením a vypojením generátoru.
Doba výboje t_e	-	časový úsek mezi zapálením výboje a vypnutím generátoru (skutečná činná délka výboje).
Doba pauzy t_0	-	časový úsek mezi vypojením a novým zapojením generátoru.
Doba zpoždění výboje	-	čas mezi okamžikem zapojení generátoru a průrazem dielektrika.
Doba periody T	-	časový úsek určený dobou impulsu a pauzou ($T=t_i+t_0$), určující frekvenci výbojů.
Pracovní proud I	-	maximální vybíjecí proud protékající mezi elektrodami v okamžiku výboje.

S ohledem na značný význam časového průběhu výboje na intenzitu úběru materiálu a kvalitu obráběné plochy a pro možnost systematického rozdělení výbojů, je vhodné zavést veličinu tzv. časového využití periody výboje, pro kterou platí :

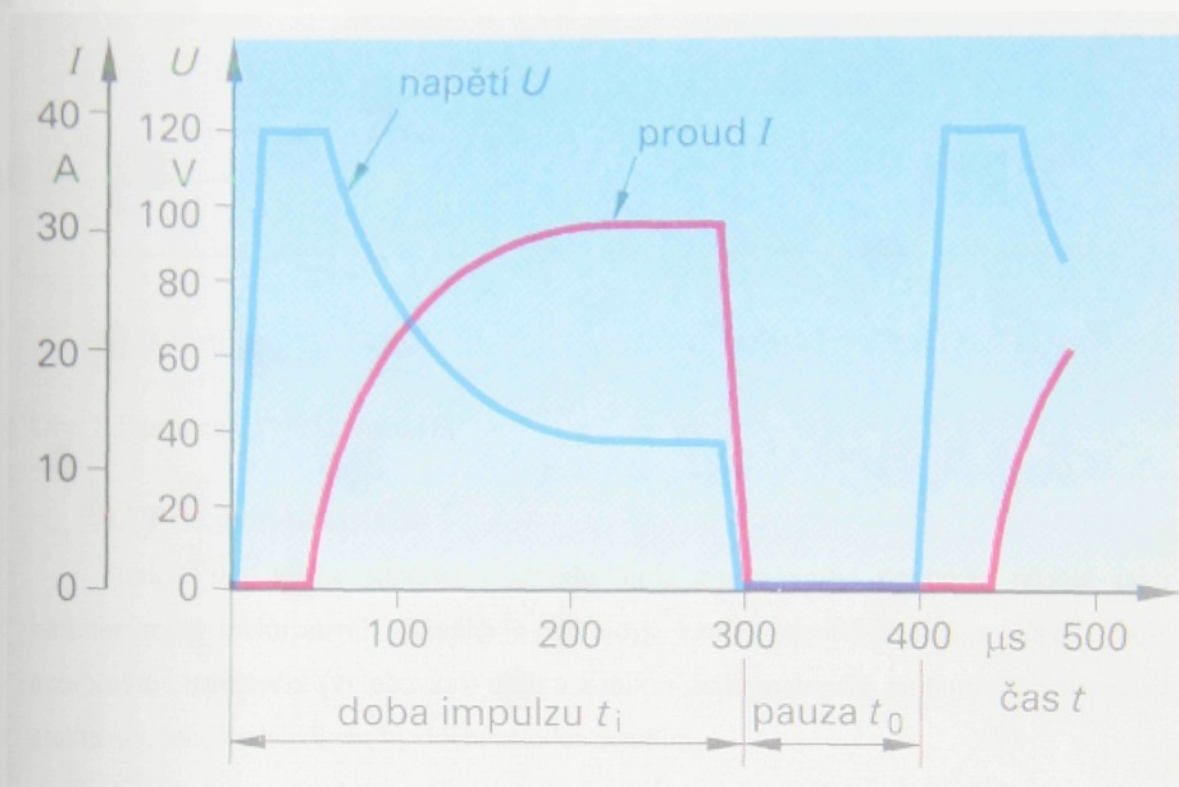
$$q = \frac{t_i}{T} = \frac{t_i}{t_i + t_0}, \quad (1)$$

kde : q časového využití periody výboje [-],
 t_i doba impulsu [s],

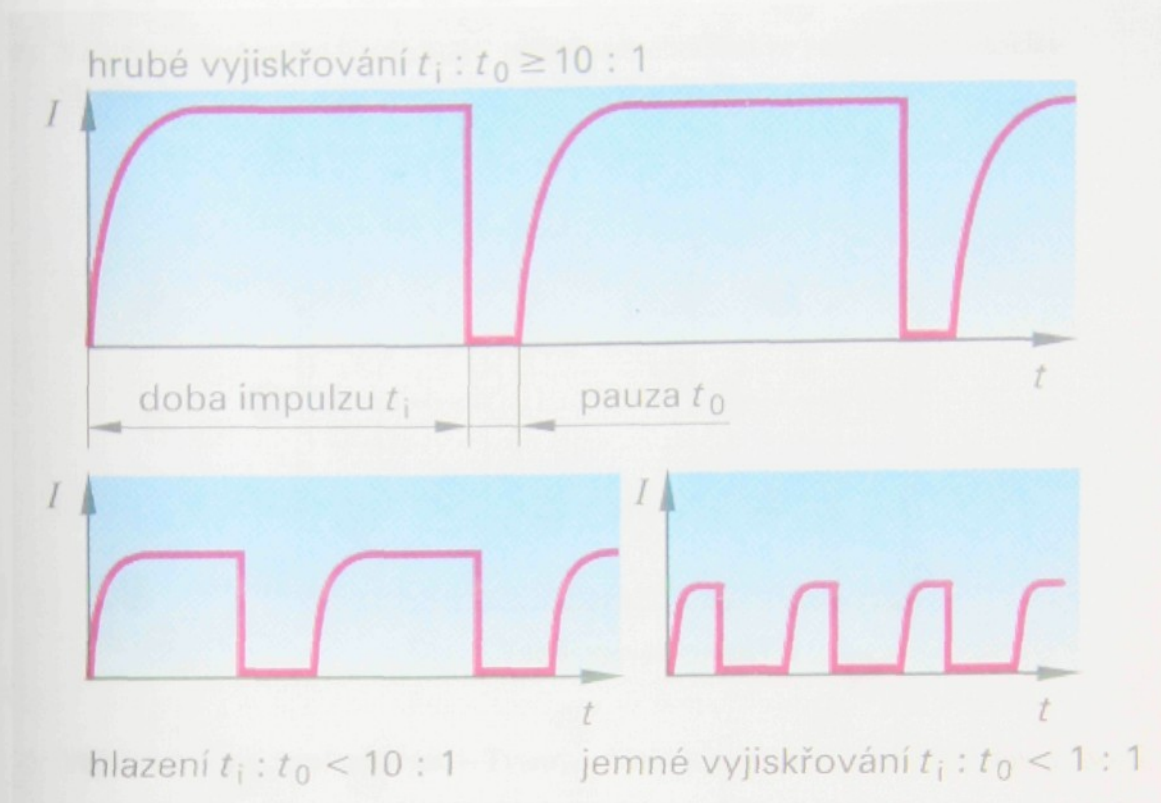
t_0 doba pauzy [s],

T doba periody [s].

Tato veličina umožňuje číselnou hodnotou charakterizovat formu výboje, podává názornější pohled na časový průběh výboje, než parametry t_i , t_0 , T , které se v praxi udávají v mikrosekundách [4].



Obr. 7 Časový průběh elektrického výboje [1]



Obr. 8 Parametry vyjiskřování [1]

3.7 Pracovní prostředí

Funkce dielektrika spočívá v odvodu tepla z pracovního prostoru, působí jako izolátor mezi elektrodami, ohraničuje výbojový kanál, odvádí částice z místa výboje a zabraňuje usazování (vylučování) uhlíku a mikročástic materiálu na povrchu nástrojové elektrody, jehož následkem by docházelo ke zkratům.

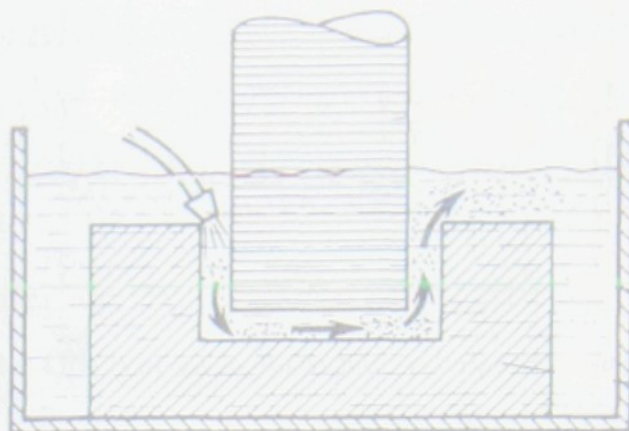
Dielektrikum musí mít přijatelný bod vzplanutí (ne nižší než 60 °C), dostatečný elektrický odpor aby průrazem dielektrika došlo k výboji, dobrou viskozitu a smáčivost, hygienickou a ekologickou nezávadnost, a musí mít nízkou pořizovací cenu.

Jako dielektrika se nejčastěji používají lehké strojní oleje, petrolej, destilovaná voda, deionizovaná voda, transformátorový olej a speciální dielektrika od výrobců strojů [2].

Nezbytnou součástí všech moderních strojů je agregát pro přívod, chlazení a čištění dielektrika. Úkolem tohoto zařízení je přivádět do pracovního prostoru dielektrikum v požadovaném množství, tlaku a čistotě, při současném zajišťování tepelné stabilizace stroje. Pro vlastní filtraci se používají zařízení různých konstrukcí. Používají se průtočné papírové filtry, usazovací filtry nebo odstředivé filtrační zařízení [4].

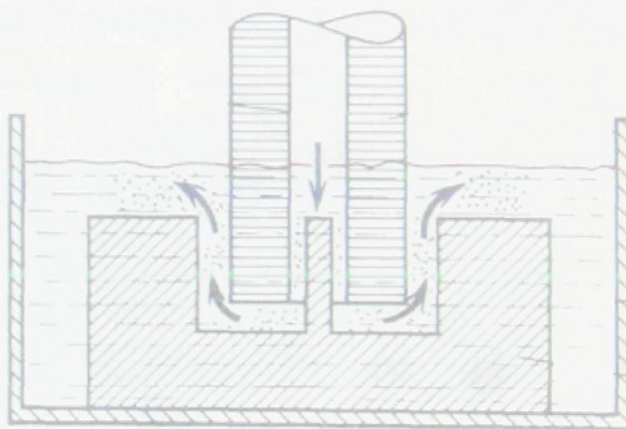
Způsoby řešení vyplachování :

- 1) **Vnější vyplachování** – nejčastější způsob, při obrábění ve velkých hloubkách je vhodné kombinovat s pulzním vyplachováním (obr.9).



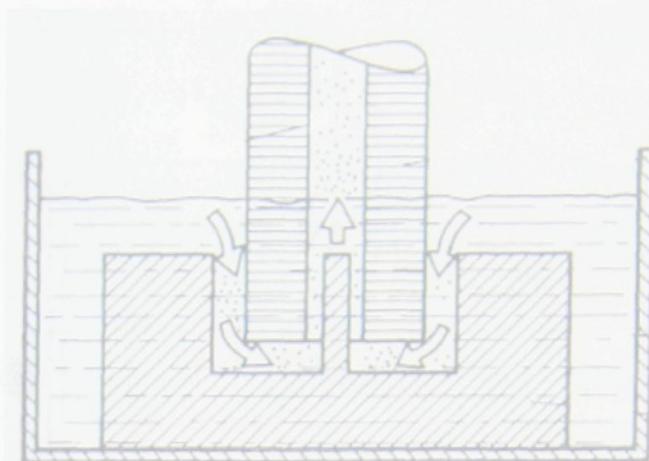
Obr. 9 Vnější vyplachování [2]

- 2) **Vnitřní tlakové vyplachování** – Tvarová přesnost na bocích vyráběné dutiny je horší, neboť dielektrikum je zde přiváděno dutinou v elektrodě přímo do pracovního prostoru, to vede k nežádoucím výbojům na bocích dutiny (obr. 10).



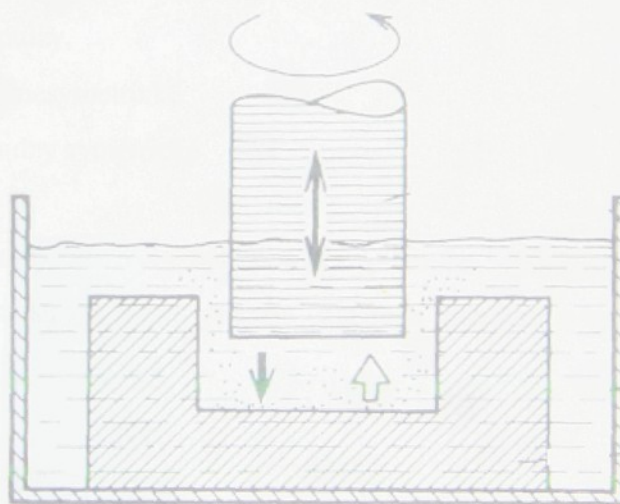
Obr. 10 Tlakové vnitřní vyplachování [2]

- 3) **Vyplachování odsáváním** – Existují dvě varianty této metody, odsávání dutinou v nástroji nebo v obrobku. U této metody je velmi dobrá rozměrová přesnost (obr. 11).



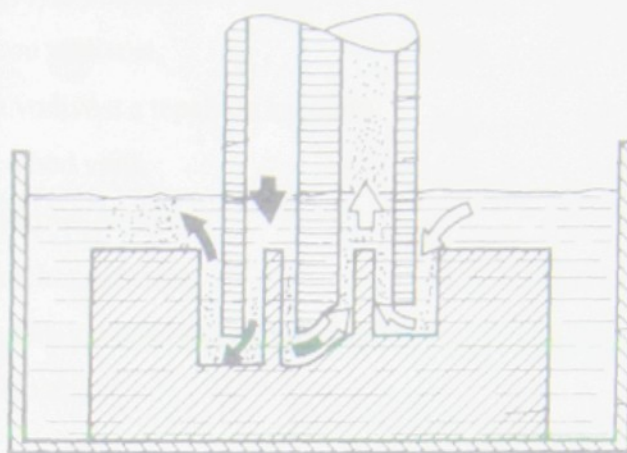
Obr. 11 Vyplachování odsáváním v dutině nástroje [2]

- 4) **Pulzní vyplachování** – Je založeno na oddálení elektrody od obrobku a přerušení procesu elektoreroze. V některých případech je oddálení elektrody spojeno s jejím pootočením. Proud je znovu spuštěn po nastavení pracovní mezery. Tato metoda má kvalitní povrch a hodí se pro obrábění hlubokých dutin (obr. 12).



Obr. 12 Pulzní vyplachování [2]

- 5) **Kombinované vyplachování** – Tato metoda kombinuje vnitřní tlakové vyplachování a odsávání, umožňuje odstranit chyby tvaru obráběné dutin a výrobu tvarově složitých součástí (obr. 13) [2].



Obr. 13 Kombinované vyplachování [2]

3.8 Generátory výbojů pro elektroerozivní obrábění

Parametry impulzů patří k nejdůležitějším ukazatelům elektroerozivního obrábění. Každý tento impulz je z tohoto hlediska charakterizován napětím, proudem a dále svým tvarem.

Podle tvaru dělíme proudové impulzy do tří skupin:

- jednopólové impulzy,
- střídavé impulzy nesymetrické,
- dvoupólové impulzy symetrické.

Jednotlivé impulzy se vyrábějí pomocí pulzního generátoru. Ten je jednou z nejdůležitějších částí stroje. Dnes existuje celá řada zapojení a konstrukcí generátorů [4].

3.9 Nástrojové elektrody

Nástrojové elektrody se konstruují pro hrubovací a dokončovací obráběcí operace zvláště, náklady na jejich výrobu činní 50 % celkových výrobních nákladů, proto je důležité věnovat velkou pozornost volbě nástrojového materiálu, způsobu výroby, upnutí na stroji, identifikaci a systém výměny v zásobníku nástrojů [2].

Nejpoužívanější materiály jsou elektrolytická měď (obr. 15), měkká uhlíková ocel, slitiny wolframu, slitiny chrómu, grafit (obr. 14) a kompozice grafitu a mědi [2].

Vhodné materiály mají tyto vlastnosti:

- dobrou elektrickou vodivost,
- dobrou tepelnou vodivost a tepelnou kapacitu,
- vysoký bod tání a bod varu,
- odolnost proti elektrické erozi,
- vhodnou mechanickou pevnost,
- tvarovou stálost a malou tepelnou roztažnost,
- dobrou obrobiteľnosť.

Dalším kritériem pro volbu materiálu nástroje je úbytek materiálu nástroje při procesu obrábění, ten je závislý na elektrických parametrech výboje, polaritě generátoru a fyzikálních vlastnostech materiálu elektrody jmenovaných výše [2].



Obr. 14 Grafitová elektroda s vyjiskřenou kovací zápustkou [1]



Obr. 15 Měděná elektroda v zařízení pro planetový pohyb [1]

4. HOSPODÁRNOST PROCESU OBRÁBĚNÍ

4.1 Trvanlivost nástroje

Trvanlivost řezného nástroje lze definovat jako součet všech čistých (strojních) časů řezání, od začátku obrábění, až po opotřebení břitu nástroje na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria (kritérium opotřebení a jeho hodnota musí být stanoveny tak, aby vyráběný obrobek měl požadovaný tvar, rozměry a kvalitu povrchu po celou dobu trvanlivosti nástroje). Trvanlivost nástroje, podobně jako opotřebení nástroje, závisí zejména na metodě obrábění, vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu a řezných podmínkách. Závislost nákladů na trvanlivosti znázorňuje obrázek č. 17.

4.2 Operační výrobní náklady

Operační výrobní náklady na obrobení jednoho kusu konkrétní součásti (vztahené k obráběcímu stroji a řeznému nástroji) se za předpokladu, kdy se obrábí jedna plocha jedním nástrojem, vyjádří pomocí vztahu:

$$N_c = N_s + N_v + N_n \text{ [Kč]}, \quad (2)$$

kde: N_c [Kč] – celkové náklady,
 N_s [Kč] - náklady na strojní práci,
 N_v [Kč] - náklady na vedlejší práci,
 N_n [Kč] - náklady na nástroj a jeho výměnu.

Náklady na strojní práci souvisí s jednotkovým strojním časem, potřebným pro obrobení jednoho kusu obrobku:

$$N_s = t_{AS} \cdot N_{sm} \text{ [Kč]}, \quad (3)$$

kde: t_{AS} [min] - jednotkový strojní čas,
 N_{sm} [Kč] - náklady na minutu strojní práce.

Jednotkový strojní čas t_{AS} je čas automatického chodu obráběcího stroje; při obrobení dané součásti je pro většinu obráběcích metod definován obecným vztahem:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \text{ [min]}, \quad (4)$$

5. NÁVRH METODIKY EXPERIMENTŮ

5.1 Podstata experimentů

Na matricích střižných nástrojů se nachází mnoho tvarových ploch, které způsobují potíže při procesu obrábění. Jak bylo uvedeno v úvodu, cílem této bakalářské práce je vyrobit zvolené součásti v co nejkratším čase a s co nejmenšími náklady s přihlédnutím na kvalitu povrchu.

5.2 Materiál matrice

Matrice je vyráběna z oceli X155CrVMo12.1. Odpovídající česká norma pro tento materiál je ČSN 19 573. Údaje o chemickém složení a tepelném zpracování jsou uvedeny v tab. č. 1, 2.

Tab. č. 1: Údaje o složení materiálu

Obsah prvků v %							
C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Mo	V
1,45-1,60	0,10-0,60	0,20-0,60	0,03	0,03	11,00-13,00	0,70-1,00	0,70-1,00

Tab. č. 2: Údaje o tepelném zpracování materiálu

Druh oceli	Žihání na odstranění pnutí	Kalící teplota	Dosažená tvrdost po kalení	Rozmezí popouštěcích teplot	Žihání na měkko	Tvrdost po žihání
19573	600-650°C	1020-1080°C	62-65 HRC	180-570°C	820-850°C	250 HB

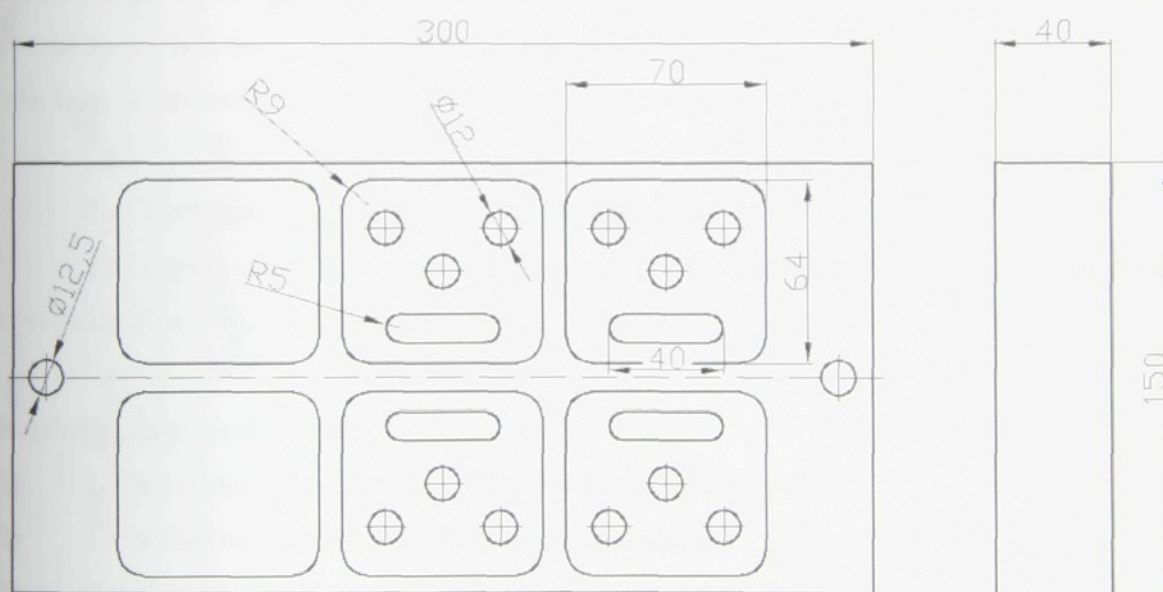
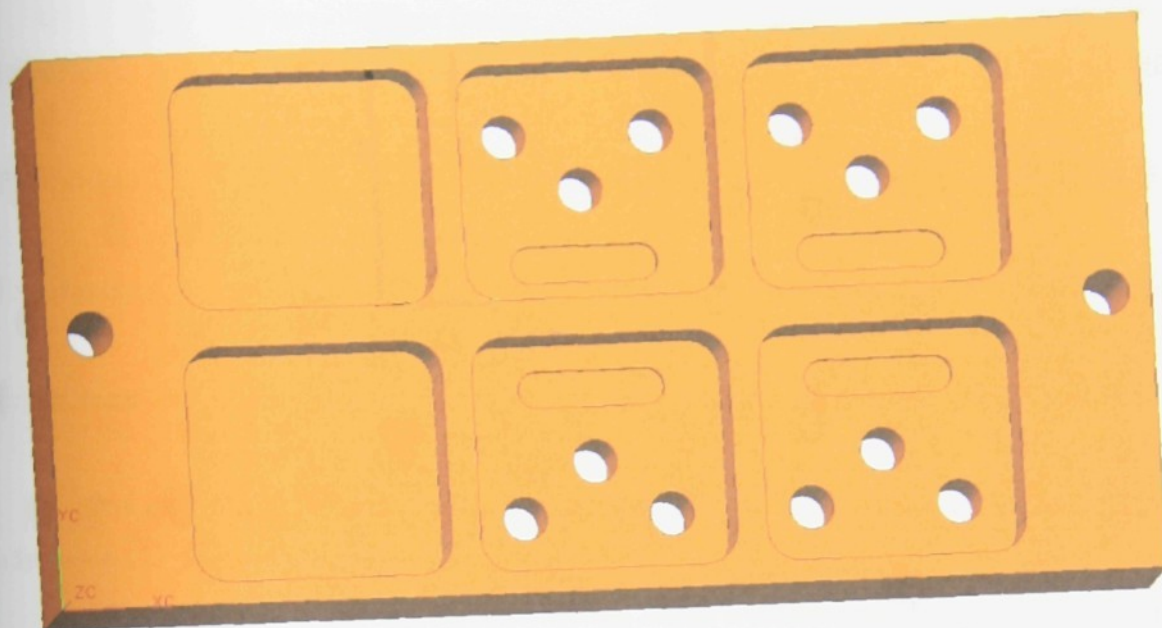
5.3 Druhy a podmínky experimentů

Na tvarových částech matric střižných nástrojů způsobují největší potíže ve výrobě četné dutiny a časté vjíždění a vyjíždění nástroje do záběru a ze záběru. Pro experimenty byla společností Swoboda – Stamping s. r. o. dána deska následujícího typu.

Deska s uzavřenými kapsami (obr. 18) - na této desce jsou čtyři uzavřené kapsy se třemi průchozími otvory a jednou drážkou a dvě uzavřené kapsy bez otvorů, všechny kapsy jsou vyrobeny do hloubky $h = 10$ mm. Tento tvar neumožňuje najetí do záběru z boční strany desky.

Nejprve se uvažovalo o výrobě jedné desky s uzavřenými kapsami a druhé s otevřenými, od tohoto záměru se nakonec upustilo a bylo rozhodnuto provést pouze výrobu uzavřených kapes, náročnějších na výrobu, a druhou desku ponechat pro případ nutnosti opakování některých experimentů.

Deska s uzavřenými kapsami



Obr. 18 Model a výkres s rozměry desky s uzavřenými kapsami

Pro experimenty byly dány dvě metody obrábění, užívané ve společnosti Swoboda – Stamping s. r. o. k výrobě nástrojů:

- CNC frézování,
- elektroerozivní hloubení.

Budou provedeny následující experimenty.

- Experiment 1: výroba uzavřené kapsy bez otvorů technologií CNC frézování s monolitickou frézou.
- Experiment 2: výroba uzavřené kapsy bez otvorů technologií CNC frézování s použitím frézy s VBD.
- Experiment 3: výroba uzavřené kapsy s otvory a drážkou technologií CNC frézování s použitím monolitické frézy.
- Experiment 4: výroba uzavřené kapsy s otvory a drážkou technologií CNC frézování s použitím frézy s VBD.
- Experiment 5: výroba uzavřené kapsy bez otvorů technologií elektroerozivního hloubení.

Pro experiment 1 bude nutné připravit technologií vrtání otvor o průměru 12mm a hloubce 11mm pro zanoření frézy.

Původně bylo v plánu zařadit také výrobu kapsy s otvory metodou elektroerozivního hloubení, od tohoto záměru se však upustilo, protože by nebyl zjištěn žádný rozdíl proti výrobě kapsy bez otvorů (experiment 5). Pouze by bylo nutno obnovit elektrodu ofrézováním výstupků po otvorech, které by se jiskřením neopalovaly.

5.4 Technologické postupy pro experimenty

Pro experimenty byly v rámci bakalářské práce vytvořeny technologické postupy na výrobu desek a tvarové měděné elektrody.

Stručný postup výroby desek.

- 1) Dělení materiálů na rozměry 305x155x45 (sklad materiálu).
- 2) Frézování na rozměry 300x150x40, sražení hran.
- 3) Zakalení materiálů na 62 HRC a zkouška tvrdosti (kalírna).
- 4) Očištění polotovarů pískováním (kalírna).
- 5) Výroba kapes na deskách příslušnými technologiemi podle příslušných programů.

Stručný postup výroby elektrody.

- 1) Dělení materiálů na rozměr 80x80x25 (sklad materiálu).
- 2) Frézování na rozměr 68,5x62,5x15.
- 3) Frézování elektrody pro elektroerozivní hloubení uzavřené kapsy.

Následně byly postupy převedeny do softwaru FeatureCAM který je ve firmě Swoboda – Stamping s. r. o. používán a vytvořeny obráběcí programy které byly poté převedeny do obráběcích strojů.

Experiment 1 – Výroba kapsy bez otvorů pomocí CNC frézování s monolitickou frézou. Řezné podmínky byly stanoveny programátorem.

Nástrojem bude monolitická fréza o průměru 10 mm (obr. 19). Počet otáček $n = 1600$ ot/min, řezná rychlost $v_c = 50$ m/min, rychlost posuvu $v_f = 200$ mm/min, hloubka řezu $a_p = 10$ mm, šířka záběru do obrobku $a_e = 0,3$ mm.

Experiment 2 - Výroba kapsy bez otvorů technologií CNC frézování s použitím frézy s VBD. Řezné podmínky byly dány dle zkušeností obsluhy.

Nástrojem bude fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami o průměru 16 mm (obr. 20). Počet otáček $n = 1200$ ot/min, řezná rychlost $v_c = 60$ m/min, rychlost posuvu $v_f = 150$ mm/min, hloubka řezu $a_p = 1$ mm, šířka záběru do obrobku $a_e = 12$ mm.

Experiment 3 - Výroba uzavřené kapsy s otvory a drážkou technologií CNC frézování s použitím monolitické frézy. Řezné podmínky stanoveny programátorem stejné jako v případě experimentu 1.

Nástrojem bude monolitická fréza o průměru 10 mm (obr. 19). Počet otáček $n = 1600$ ot/min, řezná rychlost $v_c = 50$ m/min, rychlost posuvu $v_f = 200$ mm/min, hloubka řezu $a_p = 10$ mm, šířka záběru do obrobku $a_e = 0,3$ mm.

Experiment 4 - Výroba uzavřené kapsy s otvory a drážkou technologií CNC frézování s použitím frézy s VBD. Řezné podmínky byly dány dle zkušeností obsluhy stejné jako v experimentu 2.

Nástroj bude fréza s vyměnitelnými břitovými destičkami o průměru 16 mm (obr. 20). Počet otáček $n = 1200$ ot/min, řezná rychlost $v_c = 60$ m/min, rychlost posuvu $v_f = 150$ mm/min, hloubka řezu $a_p = 1$ mm, šířka záběru do obrobku $a_e = 12$ mm.

Parametry budou nastaveny dle zkušeností obsluhy a doporučení výrobce nástrojů pro všechny experimenty prováděné frézováním. Pro přehlednost jsou zpracovány do tabulky č. 3.

	v_c [m/min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]	a_p [mm]	a_e [mm]
Experiment 1	50	200	1600	10	0,3
Experiment 2	60	150	1200	1	12
Experiment 3	50	200	1600	10	0,3
Experiment 4	60	150	1200	1	12

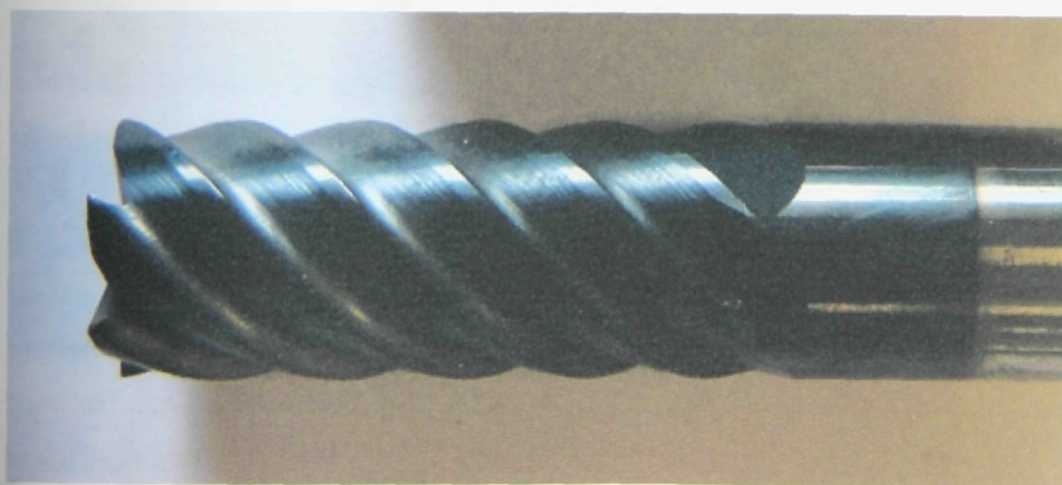
Tab. č. 3 Přehled navrhovaných nastavení stroje pro obrábění CNC frézováním.

Experiment 5 – Výroba uzavřené kapsy pomocí elektroerozivní hloubičky. Na základě údajů které budou do programu dány programátorem: drsnost povrchu $R_a = 1,25 \mu\text{m}$, jiskřicí mezera 1,5 mm a hloubka $h = 10 \text{ mm}$, systém vygeneruje nastavení jiskřicích impulzů a rychlosti posuvu nástroje.

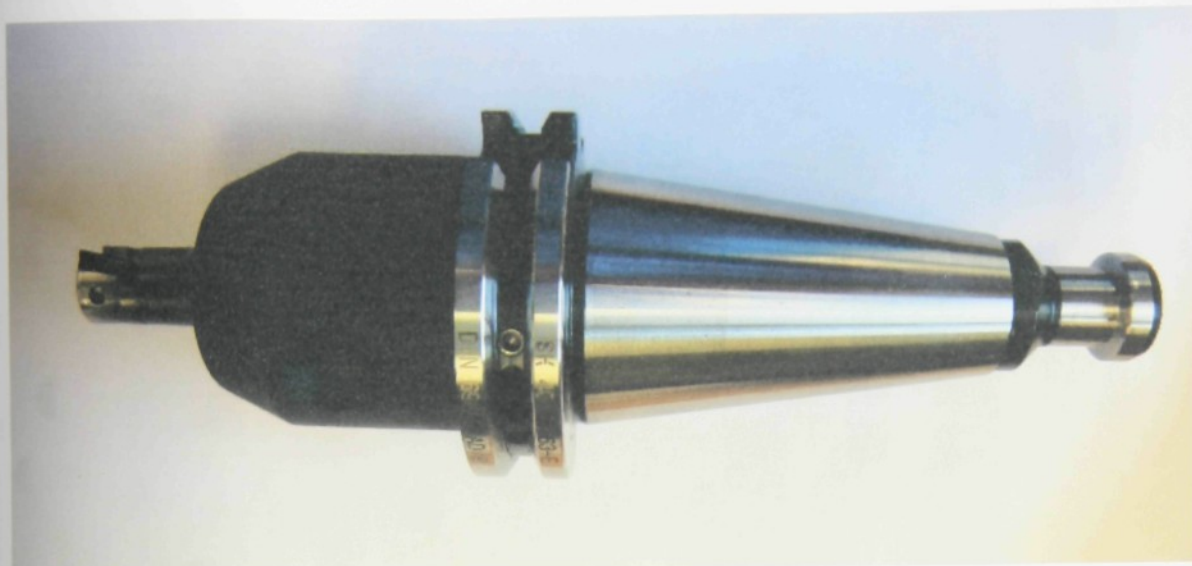
5.5 Stroje, přístroje a nástroje pro experimenty

Pro experimenty byly zvoleny tyto nástroje:

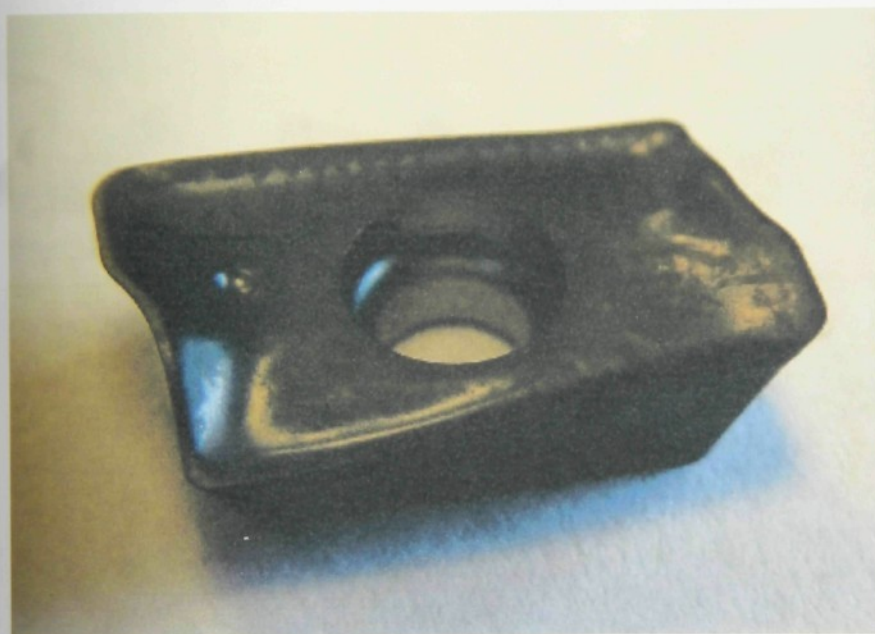
- monolitická celokarbidová stopková fréza R215.36 – 10050 - AC22H 1610, o průměru 10 mm s počtem zubů $z_u = 6$ a úhlem stoupání šroubovice 50° (obr. 19),
- stopková fréza R390 – 016B16 – 11L o průměru 16 mm, upínání Weldon a počet zubů $z_u = 2$ (obr. 20) s vyměnitelnými břitovými destičkami R390 – 11 T3 08M – PL 1010 (obr. 21) ze slinutého karbidu vyrobenými speciální metodou gradientního slinování.



Obr. 19 Monolitická fréza



Obr. 20 Fréza s VBD



Obr. 21 Vyměnitelná břitová destička

Pro experimenty prováděné na CNC frézkách bylo k dispozici tříosé vertikální obráběcí centrum Mikron (AgieCharmilles) VCP 800 (obr. 22). Stroj je vybaven řídicím systémem Heidenhain a měřicím systémem se skleněnými pravítky také od firmy Heidenhain. Stroj má dvou okružové chlazení, tedy vodní chlazení pláště a chlazení hybridních ložisek směsí oleje a vzduchu. V tabulce č. 4 jsou uvedeny parametry stroje.



Obr. 22 Obráběcí centrum Mikron VCP 800

Rozsah otáček vřetene:	50 - 12.000 ot/min
Výkon stroje:	10 kW - 31 kW (max. 20 s)
Výkon chladicího systému:	4,5 kW
Pracovní stůl:	1050 x 530 mm
Doba výměny nástroje:	9 s
Počet míst v zásobníku nástrojů:	30 pevně kódovaných míst
Dráha pojezdu: osa X	800 mm
osa Y	450 mm
osa Z	450 mm
Rychloposuv:	22 m/min
Doporučená rychlost posuvu:	15 m/min
Maximální odpor proti posuvu:	5000 N
Zakládací výška stolu:	960 mm
Maximální výška stolu s vysunutou osou Z:	2810 mm

Tab. č. 4 Parametry obráběcího centra

Pro experimenty prováděné technologií elektroerozivního obrábění byl k dispozici stroj AGIETRON HYPERSPARK (obr. 23). Stroj pracuje převážně v automatickém režimu. Parametry stroje jsou uvedeny v tabulce č. 5.



Obr. 23 Elektroerozivní hloubička AGIETRON HYPERSPARK

Střední vybíjecí proud:	72 A
Vzdálenost stůl - pinola:	170 - 520 mm
Pracovní stůl:	600 x 450 mm
Dráha pojezdu: osa X	350 mm
osa Y	250 mm
osa Z	350 mm
Maximální rozměr obrobku:	650 x 580 x 250 mm
Maximální hmotnost obrobku:	400 kg
Objem nádrže s dielektrikem:	415 l
Doba vyprázdnění nádrže:	1 min
Výkon chladicího systému:	1,5 - 6 kW
Chladicí systém:	vzduch/voda - výměník tepla
Nejlepší dosažitelná drsnost:	Ra 0,2 μ m
Nejmenší programovatelný krok:	0,0001 mm
Maximální hmotnost elektrody:	100 kg
Počet elektrod:	24

Tab. č. 5 Parametry elektroerozivní hloubičky

Kontrola opotřebení nástrojů pro CNC frézování byla provedena na měřicím a seřizovacím přístroji ZOLLER smile 400 (obr. 24). Tento přístroj je určen pro měření úhlů a rádiusů a je vybaven také kamerou která bude v našem případě použita pro posouzení míry opotřebení břitů nástrojů. Maximální váha měřeného nástroje je 10 kg.



Obr. 24 Měřicí přístroj ZOLLER

6. REALIZACE ZKOUŠEK FRÉZOVÁNÍM A VYJISKŘOVÁNÍM

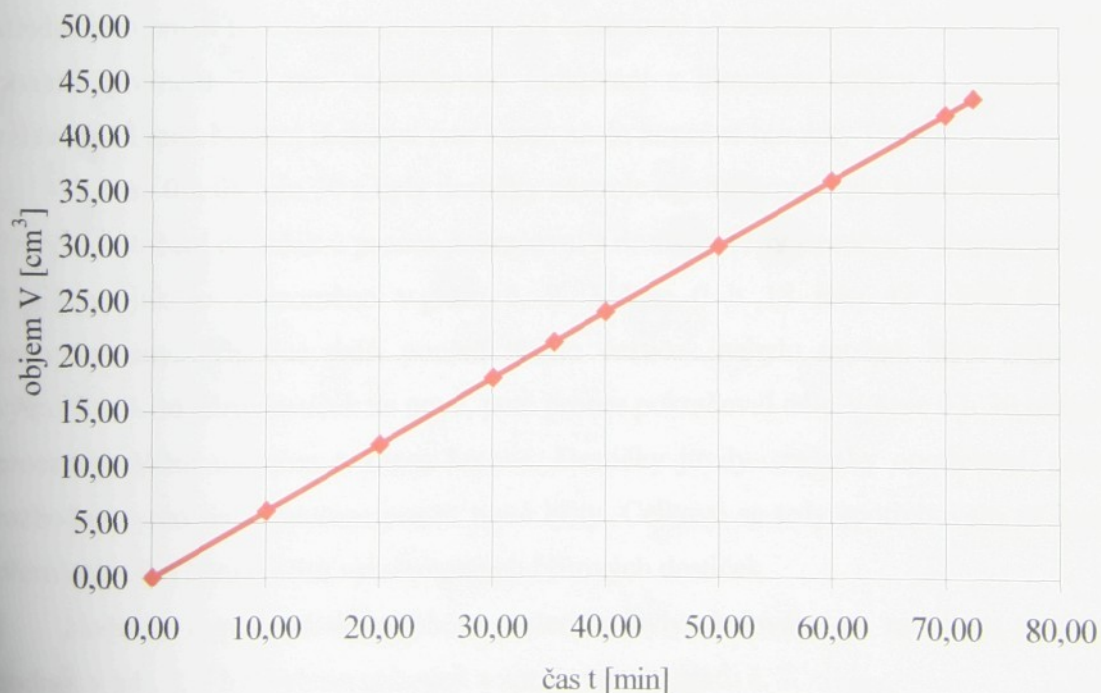
Na experimenty byl objednán základní materiál ČSN 19 573. Následovalo dělení materiálu, frézování na požadovaný rozměr, zúhlování, výroba technologických otvorů potřebných pro měření a zakalení na požadovanou tvrdost 60 HRC.

6.1 Výroba uzavřené kapsy bez otvorů monolitní frézou

Obrábění uzavřené kapsy bez otvorů bylo provedeno monolitickou celokarbidovou frézou o průměru 10 mm, s počtem zubů 6, úhlem stoupání šroubovice 50°. Řezné podmínky byly nastaveny dle metodiky (viz. 5.4).

Čas t [min]	V [cm ³]
0,00	0,00
10,00	6,00
20,00	12,00
30,00	18,00
35,40	21,24
40,00	24,00
50,00	30,00
60,00	36,00
70,00	42,00
72,43	43,46

Tab. č. 6 Časy při frézování monolitní frézou o průměru 10 mm.



Graf č.1 Časový průběh úběru materiálu při frézování uzavřené kapsy bez otvorů, monolitní frézou průměru 10 mm.

Hodnoty času obrábění a úběru materiálu byly sledovány na monitoru stroje. Výběr hodnot v tab. č. 6 byl vybrán náhodně a zpracován do grafu č. 1.

U tohoto měření proběhl proces bez problémů, řez byl klidný. Při obrábění byl nástroj zanořen do hloubky $h = 10$ mm a odebíral celou hloubku najednou. Nástroj obráběl od středu kapsy směrem ke krajům. Dráha nástroje kopírovala tvar kapsy. Kapsa byla vyhotovena v čase 1 h 12 min 26 s. Nástroj byl lehce opotřebovaný a po přestrojení ho bude možno opět použít.

V rámci měření byl proveden také proces frézování frézou o průměru 8 mm s počtem zubů 6. Řezné podmínky byly následující: počet otáček $n = 1600$ ot/min, rychlost posuvu $v_f = 220$ mm/min, hloubka řezu $a_p = 10$ mm a šířka záběru do obrobku $a_e = 0,2$ mm. Celá hloubka byla odebírána najednou. Proces byl ukončen v čase 1 h 40 min 33 s, opotřebení nástroje bylo v porovnání s předchozím případem naprosto zanedbatelné.

6.2 Výroba uzavřené kapsy bez otvorů frézou s VBD

Při obrábění uzavřené kapsy bez otvorů pomocí frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami, byla použita fréza o průměru 16 mm s počtem zubů 2 a dvoubřité vyměnitelné břitové destičky ze slinutého karbidu.

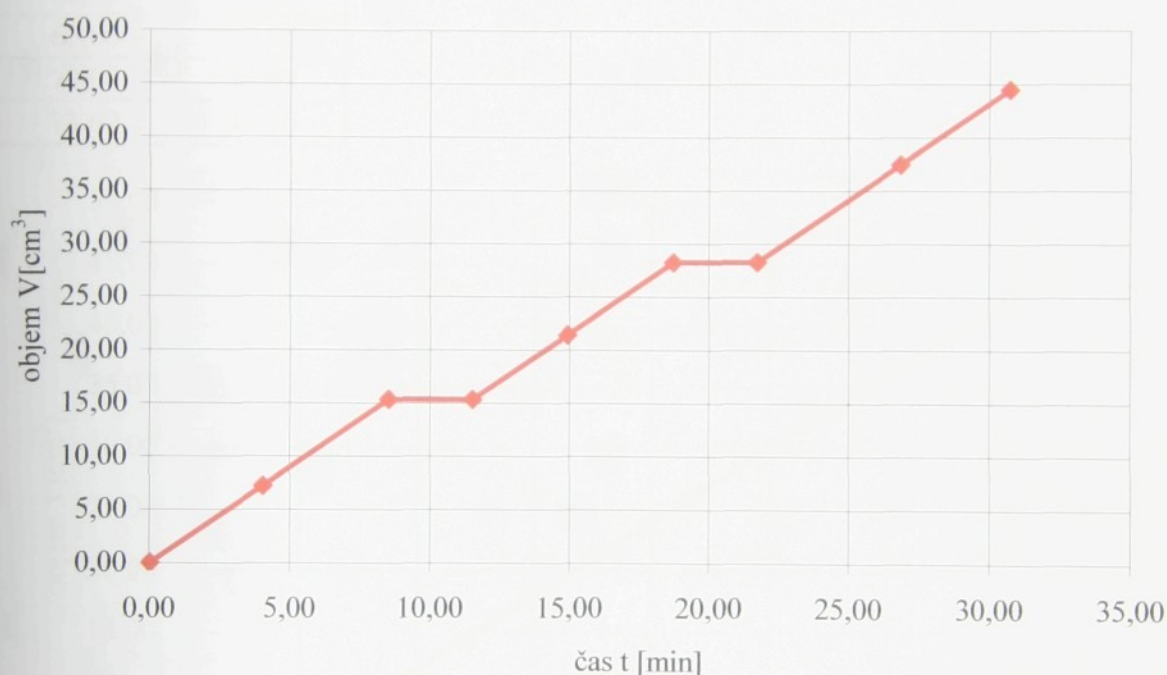
U tohoto procesu byl stroj nastaven dle metodiky (viz. 5.4). Nástroj začal obrábět od středu, sestupným frézováním po šroubovici sestupoval až do hloubky $h = 10$ mm a vytvořil si otvor o průměru 28 mm. Následovalo řádkování s hloubkou záběru 1 mm a radiálním záběrem 12 mm. Nástroj řádkoval tvar kapsy až do konečné hloubky 10 mm.

V čase 0 h 08 min 30 s byly destičky nástroje opotřebovány a bylo nutné provést výměnu. Proběhlo otočení destiček a proces pokračoval s druhými břitými destičkami. Výměna proběhla za 3 minuty, jak je znázorněno v grafu č. 2. V čase 0 h 18 min 42 s byly destičky již znehodnoceny. Případné další použití těchto destiček nebylo možné. Bylo nutné provést výměnu celého páru destiček za nové, poté proces pokračoval dále. V čase 0 h 30 min 42 s byl proces obrábění ukončen a kapsa hotova. Destičky jeví známky opotřebení, proto bylo rozhodnuto pro další operace použít nové břity. Celkově se tedy spotřebovalo na kapsu bez přerušovaného řezu 6 břitů vyměnitelných břitových destiček.

Hodnoty času obrábění a úběru materiálu byly sledovány na monitoru stroje. Výběr hodnot v tab. č. 7 byl vybrán náhodně a zpracován do grafu č. 2.

Čas t [min]	V [cm ³]
0,00	0,00
4,00	7,20
8,50	15,30
11,50	15,30
14,90	21,42
18,70	28,26
21,70	28,26
26,80	37,44
30,70	44,46

Tab. č. 7 Časy při frézování frézou s VBD o průměru 16 mm.



Graf č.2 Časový průběh úběru materiálu při frézování uzavřené kapsy bez otvorů, frézou o průměru 16 mm.

6.3 Výroba uzavřené kapsy s otvory monolitní frézou

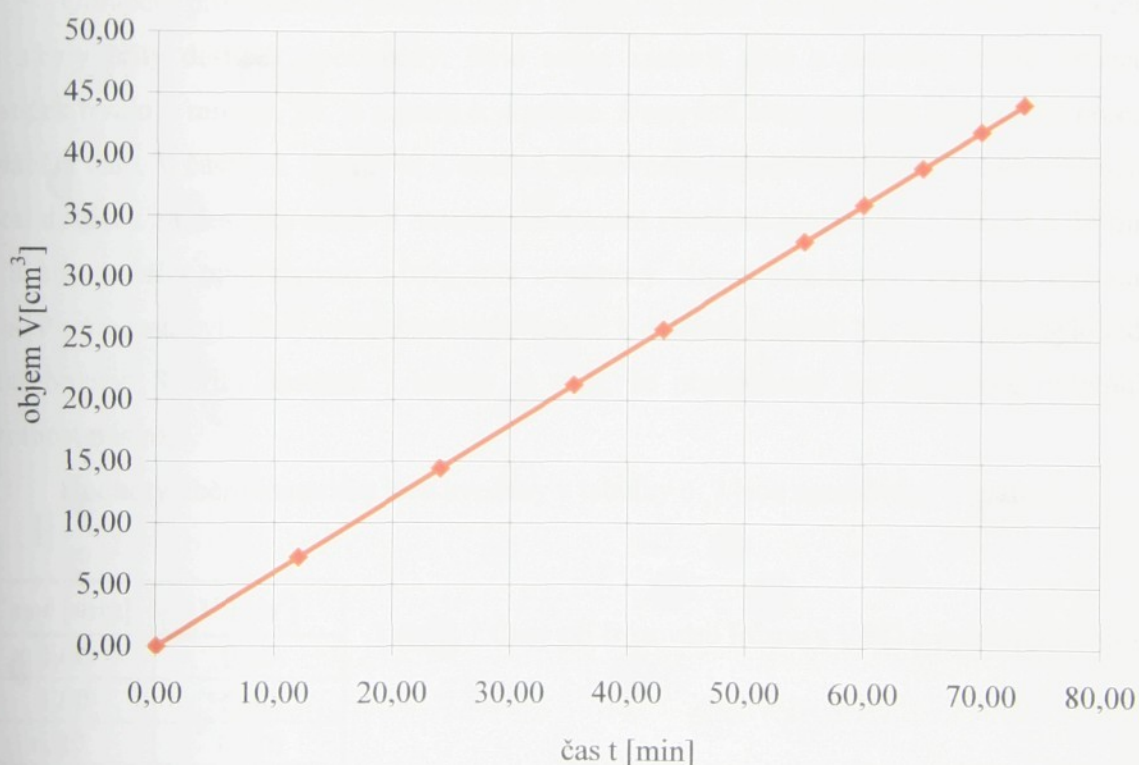
Experiment výroby uzavřené kapsy s otvory monolitickou frézou proběhl za stejných podmínek a se stejným typem nástroje jako v experimentu 1 (viz. 5.4).

Stejně jako u experimentu č. 1 proběhlo obrábění bez potíží. Nástroj odebíral celou hloubku $h = 10$ mm najednou a vytvářel kapsu směrem od středu ke krajům. Kapsa byla hotova v čase 1 h 13 min 36 s. Břité nástroje byly lehce opotřebovány. Po přeastření a povlakování je možno opětovné použití nástroje.

Hodnoty úběru materiálu jsou uvedeny v tabulce č. 6 a pro přehlednost vyobrazeny v grafu č. 3.

Čas t [min]	V [cm ³]
0,00	0,00
12,00	7,20
24,00	14,40
35,40	21,24
43,00	25,80
55,00	33,00
60,00	36,00
65,00	39,00
70,00	42,00
73,60	44,16

Tab. č. 6 Časy při frézování monolitní o průměru 10 mm.



Graf č. 3 Časový průběh úběru materiálu při frézování uzavřené kapsy s otvory, monolitickou frézou o průměru 10 mm.

Vzhledem k zjištěné vysoké trvanlivosti monolitických fréz bylo rozhodnuto vyzkoušet maximální dobu použití, proto byla použita fréza z experimentu č. 3 a začala výroba další kapsy za stejných podmínek jaké byly v experimentu 3, dokud nedojde k otupení

a nutnosti výměny nástroje. V čase 29 minut byla fréza již opotřebena a bylo nutno ji vyměnit, případně přestrojit. Ukázalo se tedy, že tato fréza je schopna vyrobít přibližně jednu a půl kapsy s otvory.

V závěru byla vyzkoušena také fréza stejného průměru s počtem zubů 10 a úhlem stoupání šroubovice 30° , nastavení řezných podmínek zůstalo stejné. Po 13 minutách v řezu došlo k zlomení frézy, fotografie je popsána v příloze č. 1. U této frézy se tedy potvrdilo doporučení výrobce, že je fréza vhodná spíše k dokončovacím operacím.

6.4 Výroba uzavřené kapsy s otvory za použití frézy s VBD

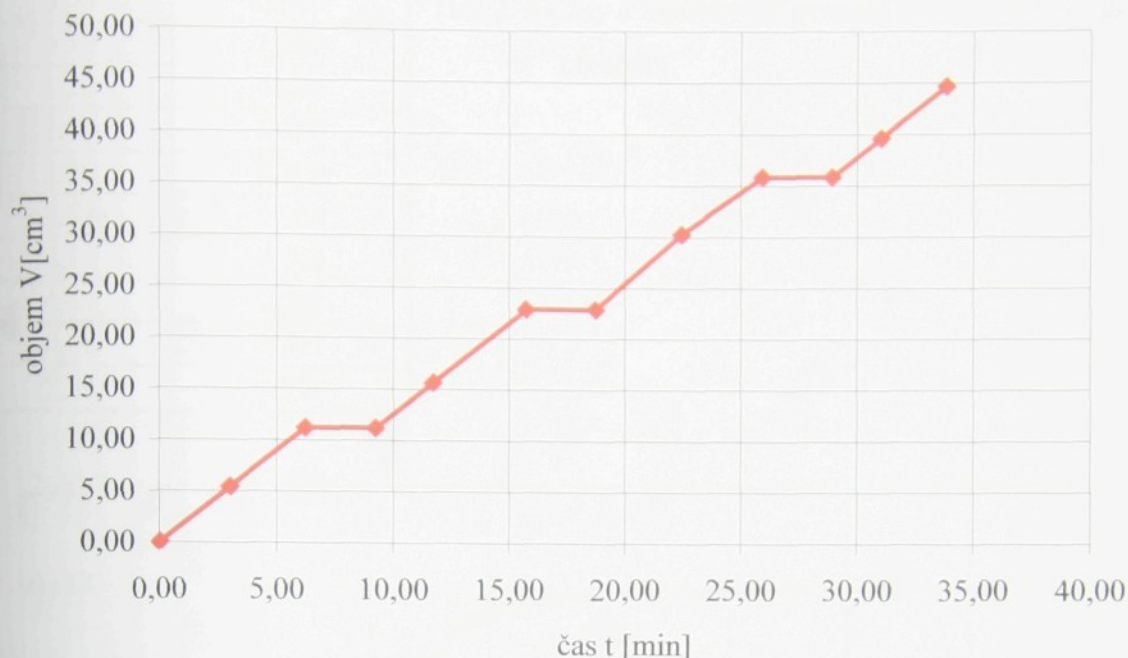
Při experimentu č. 4 proběhla výroba uzavřené kapsy s otvory za použití stejného typu nástroje jako u experimentu č. 2. Nastavení stroje bylo také shodné, programátorem byl zadán stejný způsob obrábění popsaný v kapitole 6.2.

Obrábění probíhalo dle předpokladů a nevznikla žádná komplikace. V čase 0 h 06 min 12 s byly bříty destiček opotřebený. Bylo nutné zastavit stroj a destičky otočit. Otočení destiček trvalo 3 minuty, jak je z grafu č. 4 patrné. S novými bříty destiček pokračoval proces obrábění dále. V čase 0 h 15 min 42 s, došlo k opětovnému opotřebení břitů. Proběhla výměna obou destiček za destičky nové. S novými destičkami obrábění probíhalo do času 0 h 25 min 54 s, kdy se bříty opotřebovaly a byly opět vyměněny. Kapsa byla hotova v čase 0 h 33 min 48 s. Po procesu byly bříty opotřebené a nevhodné k dalšímu použití. Na tuto kapsu bylo tedy spotřebováno 8 břitů destiček. Ukázalo se tedy, že přerušovaný řez negativně ovlivňuje životnost nástroje.

Hodnoty úběru materiálu jsou uvedeny v tabulce č. 7 jsou zpracovány v grafu č. 4.

Čas t [min]	V [cm ³]
0,00	0,00
3,00	5,40
6,20	11,16
9,20	11,16
11,70	15,66
15,70	22,86
18,70	22,86
22,40	30,24
25,90	35,82
28,90	35,82
31,00	39,60
33,80	44,64

Tab. č. 7 Časy při frézování frézou s VBD o průměru 16 mm.



Graf č. 4 Časový průběh úběru materiálu při frézování uzavřené kapsy s otvory, frézou s VBD o průměru 16 mm.

V příloze č. 1 jsou uvedeny a popsány fotografie rozlomené frézy, opotřebení frézy po zkoušce maximální doby obrábění, deska před začátkem obrábění a také fotografie vyhotovených kapes.

6.5 Výroba uzavřené kapsy bez otvorů elektroerozivním obráběním

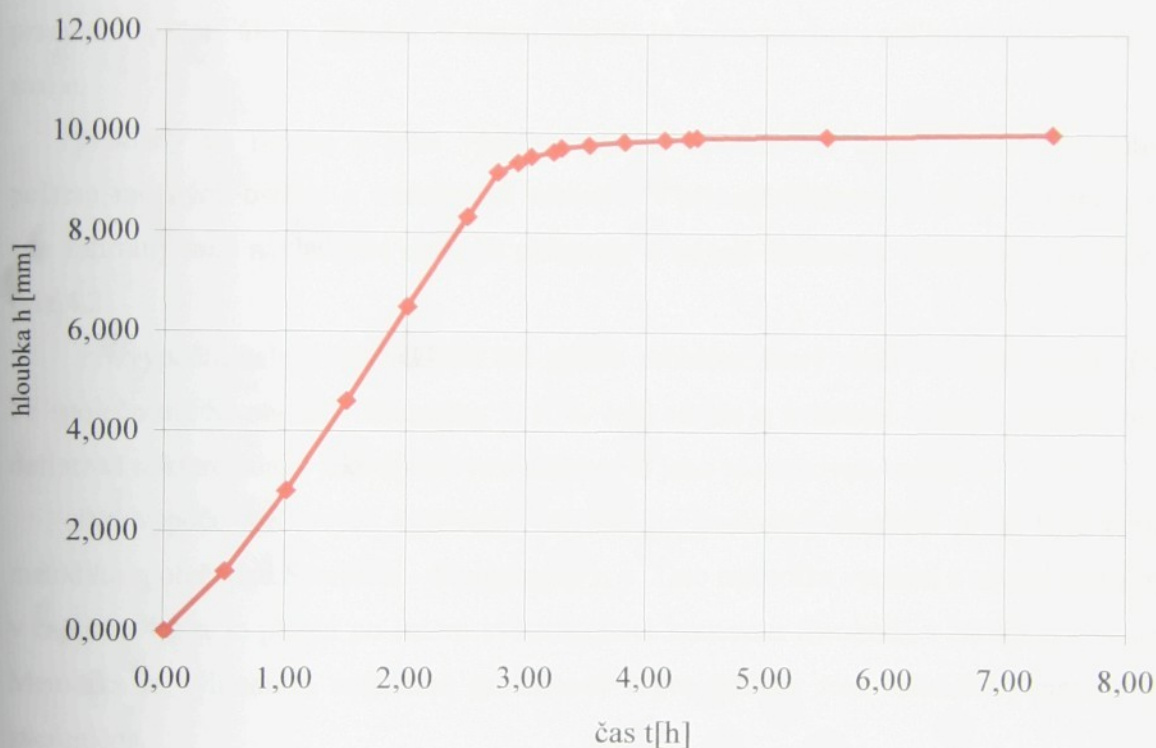
Posledním prováděným experimentem byla výroba uzavřené kapsy bez otvorů technologií elektroerozivního hloubení. Pro tento proces bylo rozhodnuto použít pouze jednu elektrodu. Byla objednána měď na výrobu elektrody, následovalo dělení materiálu a výroba samotné elektrody na CNC frézovacím centru. Výroba elektrody byla ukončena v čase 0 h 43 min 12 s.

Fotografie elektrody před i po obrábění jsou popsány v příloze číslo 2.

Hodnoty hloubky a času obrábění byly sledovány na řídicím panelu stroje. Stručný přehled hodnot je zobrazen v tabulce č. 8 a zpracován v grafu č. 5.

čas t [h]	hloubka h [mm]
0,00	0,000
0,50	1,200
1,50	4,600
2,00	6,500
2,50	8,300
3,52	9,765
4,15	9,864
4,42	9,912
5,50	9,937
7,38	9,999

Tab. č. 8 Časy a hloubky při procesu elektroerozivního obrábění.



Graf č. 5 Časový průběh úběru materiálu při hloubení uzavřené kapsy.

Proces hloubení na základě zadaných hodnot probíhal zcela automatizovaně. Stroj pracoval v 13 různých typech impulzů které byly vygenerovány. Do hloubky $h = 9,2$ mm pracoval stroj v režimu prvního impulzu. Poté začal automaticky s dokončovacím obráběním, na které měl vyhrazeno 12 různých typů impulzů a dokončil obráběcí proces do hloubky $h = 10$ mm. Obráběcí proces byl ukončen v čase 7 h 38 min 01 s. Proces proběhl bez jakýchkoliv problémů, elektroda byla lehce opotřebena a po obnovení ji bude možno bez problémů znovu opakovaně použít.

7. EKONOMICKÉ SHRUTÍ PROVEDENÝCH EXPERIMENTŮ

7.1 Způsob určení nákladů na výrobu kapes

Celkové výrobní náklady na výrobu kapes dle rovnice (2) (viz. 4.2) jsou dány jako součet nákladů na strojní práci, na vedlejší práci a nákladů na nástroj a jeho výměnu.

Náklady na strojní práci souvisí s jednotkovým strojním časem, potřebným pro obrobení jednoho kusu obrobku. Rovnice (3) (viz. 4.2) určuje tyto náklady jako součin jednotkového strojního času a režijní hodinové sazby stroje.

Náklady na vedlejší práci jsou spojeny s časy na upnutí, měření a vyjmutí obrobku. Dle rovnice (5) (viz. 4.2) se počítají jako násobek časů na výše zmíněné úkony a sazby na pracovníka, který úkony provádí. V tomto případě je sazba totožná s režijní hodinovou sazbou stroje.

Náklady na nástroj a jeho výměnu souvisí s pořizovací cenou použitých nástrojů, počtem možných ostření a trvanlivostí nástroje. V případě elektroerozivního hloubení jsou zde zahrnuty také náklady na materiál elektrody a na její samotnou výrobu viz. rovnice (6) (viz. 4.2).

Při výpočtu celkových nákladů byl zjištěn problém, který vyplívá z charakteru výroby ve společnosti Swoboda – Stamping s. r. o. Jelikož jde o kusovou výrobu, nebylo možné definovat některé údaje, jako trvanlivost nástroje či jeho zůstatkovou hodnotu.

Pro výpočet celkových výrobních nákladů na konkrétní obrábění proto byla použita metodika společnosti Swoboda – Stamping s. r. o. Tato metodika vychází z rovnic zmíněných v kapitole 4.2 a je platná po celém světě v rámci koncernu Swoboda - Molding Elements. Metodika je výhradním majetkem společnosti a pro potřeby této bakalářské práce nebyla zveřejněna.

7.2 Ceny nástrojů, materiál a práce

Nástroje frézovací:	Čelní stopková fréza průměr 16 mm pro VBD	5470,00 Kč.
	Vyměnitelné břitové destičky 10 ks	3300,00 Kč.
	Čelní stopková fréza průměr 10 mm, monolitická	3940,00 Kč.
Náklady na materiál pro výrobu elektrody:	Měď ČSN 42 3001	920,00 Kč/kg.
Režijní hodinová sazba CNC frézky (RHS)		821,40 Kč.

Režijní hodinová sazba elektroerozivní hloubičky (RHS2)

702,30 Kč.

Náklady na pracovní sílu (NPS) jsou ve firmě Swoboda – Stamping s. r. o. započteny v rámci režijní hodinové sazby strojů.

7.3 Náklady na výrobu uzavřené kapsy bez otvorů pomocí monolitní frézy

Jedním z faktorů ovlivňujících výslednou cenu výroby uzavřené kapsy bez otvorů pomocí monolitické frézy, je pořizovací cena použitého nástroje, kterým byla celokarbidová fréza o průměru 10 mm. Jelikož v tomto experimentu nebyla nutná výměna nástroje, není tato položka navyšována.

$$CN_1 = F_{d10} = 3940 \text{ Kč}, \quad (7)$$

kde: CN_1cena použitých nástrojů pro experiment 1 [Kč],
 F_{d10}cena frézy průměru 10 mm [Kč].

Dle metodiky společnosti Swoboda – Stamping s. r. o. je celková výše nákladů na výrobu této kapsy počítána jako násobek režijní hodinové sazby stroje (tato sazba je počítána pro daný stroj a zahrnuje náklady na nástroj, provoz stroje i obsluhu stroje) a všech časů ovlivňujících výrobu kapsy (příprava, upnutí obrobku, upnutí nástroje, strojní čas, vyjmutí obrobku).

$$NK_1 = (t_{AS1} + t_{AV1}) \cdot \frac{RHS}{60} = (72,43 + 8,20) \cdot 13,69 = 1103,82 \text{ Kč}, \quad (8)$$

kde: NK_1celkové náklady na výrobu kapsy 1 [Kč],
 t_{AS1} jednotkový strojní čas [min],
 t_{AV1} jednotkový vedlejší čas [min],
 RHSrežijní hodinová sazba stroje [Kč].

7.4 Náklady na výrobu uzavřené kapsy bez otvorů použitím frézy s VBD

V případě výroby uzavřené kapsy bez otvorů pomocí frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami je také cena nástroje důležitým faktorem ovlivňujícím celkovou cenu výrobku. V tomto případě je do ceny však zahrnuto více položek a to cena nástroje a ceny použitých břitových destiček.

$$CN_2 = F_{d16} + 3 \cdot C_{VBD} = 5470 + 3 \cdot 330 = 6460 \text{ Kč}, \quad (9)$$

kde: CN_2cena použitých nástrojů pro experiment 2 [Kč],

F_{d16}cena frézy průměru 16 mm [Kč],

C_{VBD}cena jedné vyměnitelné břitové destičky [Kč].

Z důvodů spotřebování 6 břitů frézy s VBD, při výrobě kapsy metodou CNC frézování, byla cena jedné destičky pro výpočet navýšena třikrát protože destičky jsou dvoubřité.

Samotný výpočet celkových nákladů na výrobu této kapsy byl proveden podle již popsané metodiky společnosti Swoboda – Stamping s. r. o.

$$NK_2 = (t_{AS2} + t_{AV2}) \cdot \frac{RHS}{60} = (24,72 + 14,20) \cdot 13,69 = 532,81 \text{ Kč}, \quad (10)$$

kde: NK_2celkové náklady na výrobu kapsy 2 [Kč],

t_{AS2} jednotkový strojní čas [min],

t_{AV2} jednotkový vedlejší čas [min],

RHSrežijní hodinová sazba stroje [Kč].

V případě tohoto způsobu frézování byl jednotkový vedlejší čas navýšen oproti předchozí metodě, o čas nutný na výměny a otočení břitových destiček.

7.5 Náklady na výrobu uzavřené kapsy s otvory pomocí monolitní frézy

Při experimentu obrábění uzavřené kapsy s otvory pomocí monolitické frézy bylo při určování nákladů postupováno podobně jako v případě experimentu 1 (viz. 7.3). Pro tento proces obrábění byla použita stejná monolitní fréza průměru 10 mm, tedy i náklady na nástroje jsou stejné.

$$CN_3 = CN_1 = F_{d10} = 3940 \text{ Kč}, \quad (11)$$

kde: CN_3cena použitých nástrojů pro experiment 3 [Kč],
 CN_1cena použitých nástrojů pro experiment 1 [Kč],
 F_{d10}cena frézy průměru 10 mm [Kč].

Výpočet celkových nákladů na proces obrábění uzavřené kapsy s otvory bude proveden dle stejného vzorce, jako tomu bylo u experimentu 3. V souladu s metodikou společnosti Swoboda – Stamping s. r. o.

$$NK_3 = (t_{AS3} + t_{AV3}) \cdot \frac{RHS}{60} = (73,60 + 8,20) \cdot 13,69 = 1119,84 \text{ Kč}, \quad (12)$$

kde: NK_3celkové náklady na výrobu kapsy 3 [Kč],
 t_{AS3} jednotkový strojní čas [min],
 t_{AV3} jednotkový vedlejší čas [min],
 RHSrežijní hodinová sazba stroje [Kč].

Nástroj při tomto způsobu obrábění bez problémů vydržel po celou dobu obrábění, proto nebylo nutné provádět jeho výměnu a jednotkový vedlejší čas nemusel být navýšen stejně jako v experimentu 1.

7.6 Náklady na výrobu uzavřené kapsy s otvory použitím frézy s VBD

Proces výroby uzavřené kapsy s otvory metodou CNC frézování s použitím frézy s VBD byl, nejnáročnějším z hlediska spotřeby nástrojů, jak vyjadřuje výpočet.

$$CN_4 = F_{d16} + 4 \cdot C_{VBD} = 5470 + 4 \cdot 330 = 6790 \text{ Kč}, \quad (13)$$

kde: CN_4cena použitých nástrojů pro experiment 4 [Kč],
 F_{d16}cena frézy průměru 16 mm [Kč],
 C_{VBD}cena jedné vyměnitelné břitové destičky [Kč].

Pro výrobu této kapsy metodou CNC frézování frézou s VBD bylo spotřebováno 8 břitů, byla cena jedné destičky pro výpočet navýšena čtyřikrát, protože destičky jsou dvoubřité stejně jako v případě experimentu 2.

Výpočet celkových nákladů na výrobu této kapsy byl proveden dle stejného vzorce jako v případě experimentu 2. Tento vzorec vychází z již popsané metodiky společnosti Swoboda – Stamping s. r. o.

$$NK_4 = (t_{AS4} + t_{AV4}) \cdot \frac{RHS}{60} = (24,80 + 17,20) \cdot 13,69 = 574,98 \text{ Kč}, \quad (14)$$

kde: NK_4celkové náklady na výrobu kapsy 4 [Kč],
 t_{AS4}jednotkový strojní čas [min],
 t_{AV4}jednotkový vedlejší čas [min],
 RHSrežijní hodinová sazba stroje [Kč].

Podobně jako u experimentu 2 byl jednotkový vedlejší čas navýšen o čas nutný na výměnu a otočení destiček úměrně k počtu prováděných úkonů.

7.7 Náklady na výrobu uzavřené kapsy bez otvorů elektroerozivním hloubením

Určení ceny nástroje pro výrobu uzavřené kapsy bez otvorů metodou elektroerozivního obrábění je komplikovanější než u metody CNC frézování. Zde ovlivňují výslednou cenu nástroje pořizovací cena materiálu potřebného pro výrobu elektrody a cena výroby konečného tvaru elektrody. Pro stanovení ceny polotovaru pro výrobu elektrody bylo nutno určit jeho hmotnost. Výroba elektrody byla hotova za 0h 43min 12 s jednotkového strojního času.

Velikost polotovaru na výrobu tvarové elektrody: 80 mm x 80 mm x 25 mm. Výrobce udává hmotnost polotovaru o rozměrech 80 mm x 80 mm x 1000 mm 57 kg.

$$m_{pol.} = \frac{l_{pol.} \cdot m_{1000}}{l_{1000}} = \frac{25 \cdot 57}{1000} = 1,425 \text{ kg} \quad (15)$$

kde: $m_{pol.}$hmotnost polotovaru [kg],
 $l_{pol.}$ délka polotovaru [mm],
 m_{1000} hmotnost jednoho metru polotovaru [kg],
 l_{1000} délka polotovaru 1 m [mm],

Cena polotovaru pro výrobu elektrody se určí dle jednoduché rovnice:

$$C_{\text{pol.}} = m_{\text{pol.}} \cdot C_{\text{kg}} = 1,425 \cdot 920 = 1311 \text{ Kč} \quad (16)$$

kde: $C_{\text{pol.}}$cena polotovaru pro výrobu elektrody [Kč],
 $m_{\text{pol.}}$hmotnost polotovaru [kg],
 $C_{\text{kg.}}$cena 1 kg polotovaru [Kč].

Elektroda byla vyráběna na CNC frézce, cenu výrobního nákladu tedy snadno vypočítáme.

$$NK_E = (t_{\text{ASE}} + t_{\text{AVE}}) \cdot \frac{\text{RHS}}{60} = (43,20 + 8,20) \cdot 13,69 = 703,67 \text{ Kč}, \quad (17)$$

kde: NK_E náklady na obrábění elektrody [Kč],
 t_{ASE}jednotkový strojní čas [min],
 t_{AVE}jednotkový vedlejší čas [min],
 RHSrežijní hodinová sazba stroje [Kč].

Výsledná cena elektrody byla dosažena součtem těchto dvou položek:

$$CC_{\text{El}} = C_{\text{pol.}} + NK_E = 1311 + 703,67 = 2014,67 \text{ Kč}. \quad (18)$$

Výpočet celkových nákladů na proces obrábění uzavřené kapsy bez otvorů metodou elektroerozivního hloubení pak bude proveden dle podobného vzorce jako tomu bylo u experimentů 1 - 4. V souladu s metodikou společnosti Swoboda – Stamping s. r. o.

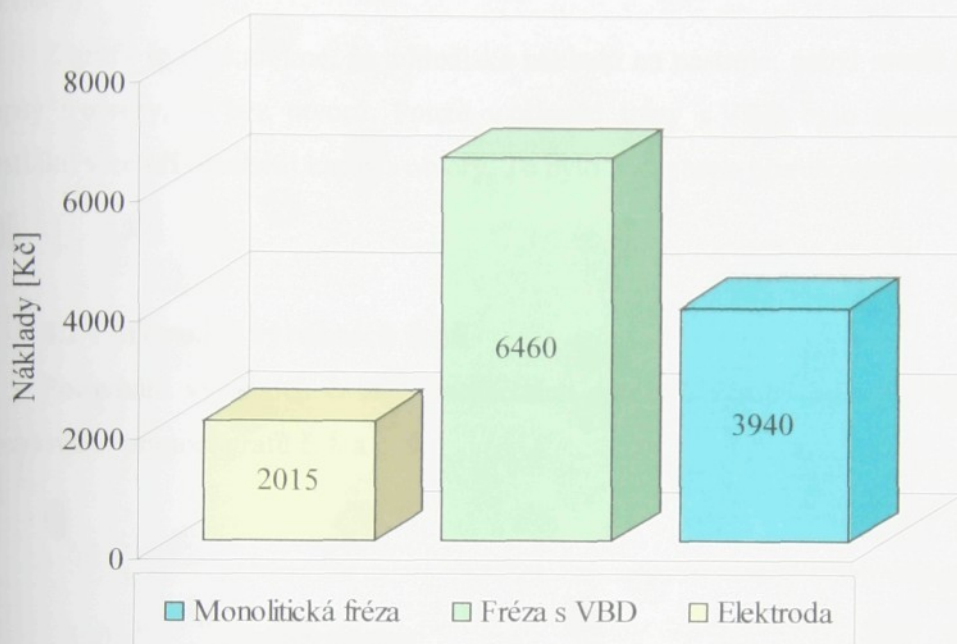
$$NK_5 = (t_{\text{AS5}} + t_{\text{AV5}}) \cdot \frac{\text{RHS2}}{60} = (442,80 + 9,20) \cdot 11,705 = 5290,66 \text{ Kč}, \quad (19)$$

kde: NK_5celkové náklady na výrobu kapsy 5 [Kč],
 t_{AS5}jednotkový strojní čas [min],
 t_{AV5}jednotkový vedlejší čas [min],
 RHS2režijní hodinová sazba stroje [Kč].

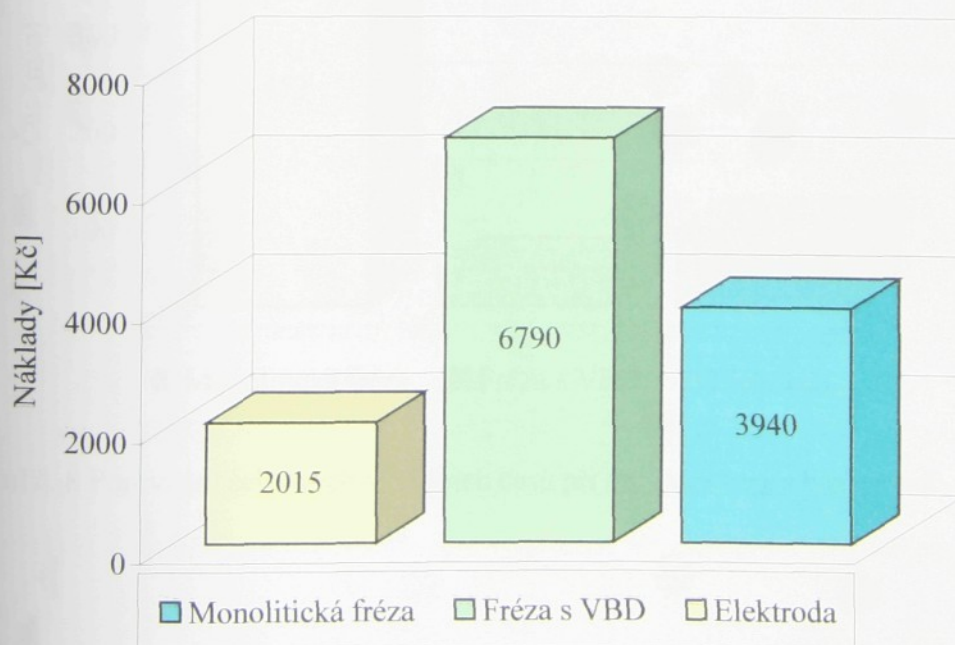
8. POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ

8.1 Porovnání nákladů na nástroje

Porovnání nákladů na nástroje u konkrétních způsobů výroby bylo pro vyšší přehlednost provedeno pomocí grafů č. 6 a č. 7.



Graf č. 6 Porovnání nákladů na nástroje při obrábění kapes bez otvorů



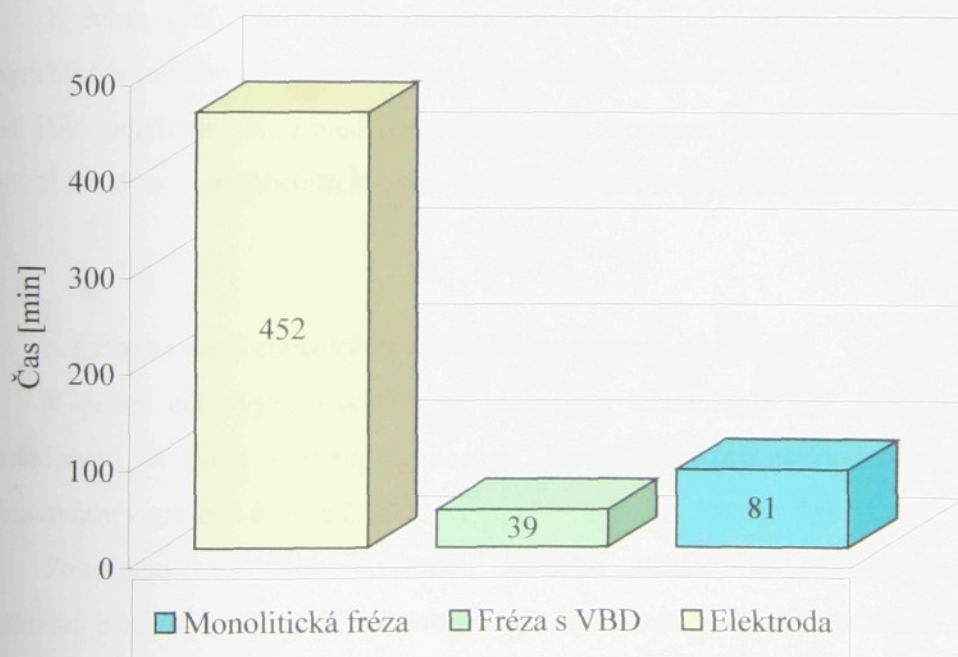
Graf č. 7 Porovnání nákladů na nástroje při obrábění kapes s otvory

Z těchto grafů je zřejmé, že nejvyšší náklady na nástroj jsou u metody CNC frézování pomocí frézy s VBD. Tato realita je způsobena vysokou pořizovací cenou samotné frézy, do které se upínají destičky. Ve výsledku však tato položka není nikterak „závratná“, výrobce uvádí trvanlivost nástroje až 300 výměn břitových destiček. Jeho předpokládaná trvanlivost je tedy vysoká. Nejnižší náklady byly naopak na měděnou elektrodu pro elektroerozivní hloubení.

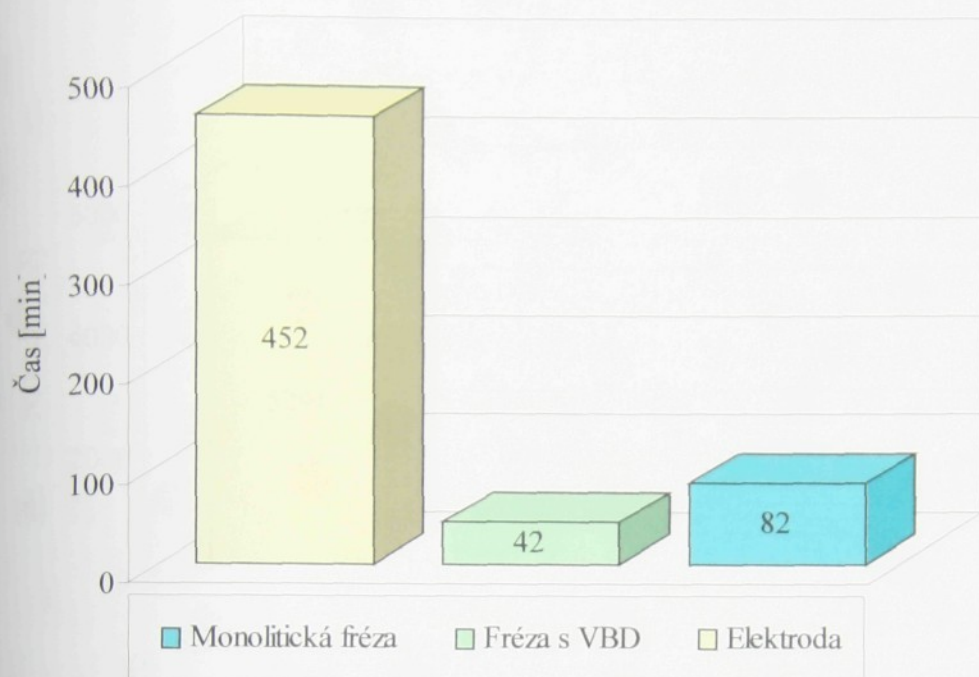
Z grafů je také zřejmé, že z hlediska nákladů na nástroje, nebyl rozdíl mezi obráběním kapsy s otvory, či bez otvorů. Pouze v případě frézy s VBD bylo spotřebováno o jednu destičku více při obrábění kapsy s otvory. To bylo způsobeno přerušovaným řezem.

8.2 Porovnání výrobních časů

Porovnání výrobních časů u konkrétních způsobů výroby bylo pro vyšší přehlednost zpracováno pomocí grafů č. 8 a č. 9.



Graf č. 8 Porovnání celkových výrobních časů při obrábění kapes bez otvorů



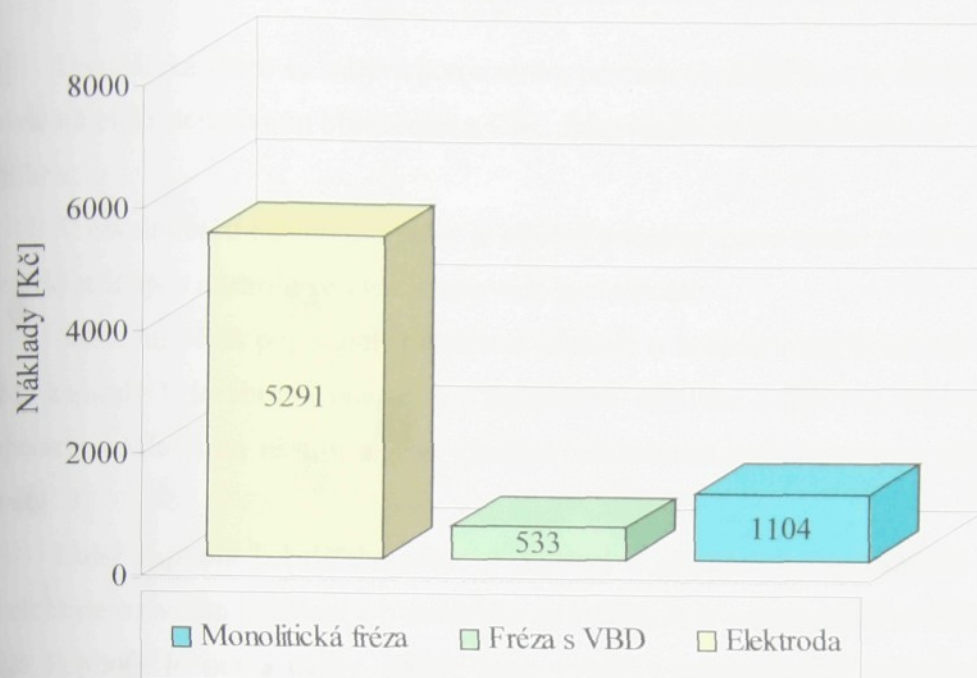
Graf č. 9 Porovnání celkových výrobních časů při obrábění kapes s otvory

Z těchto grafů je zřejmé, že výrobní čas na elektroerozivní obrábění je nejvyšší. Nejnižší čas je naopak u procesu CNC frézování s použitím frézy s VBD, tato metoda se tedy jeví jako nejvhodnější, z hlediska úspory času. Podobně jako při porovnávání nákladů na nástroj, není mezi obráběním kapsy s otvorem a bez otvoru velký finanční rozdíl.

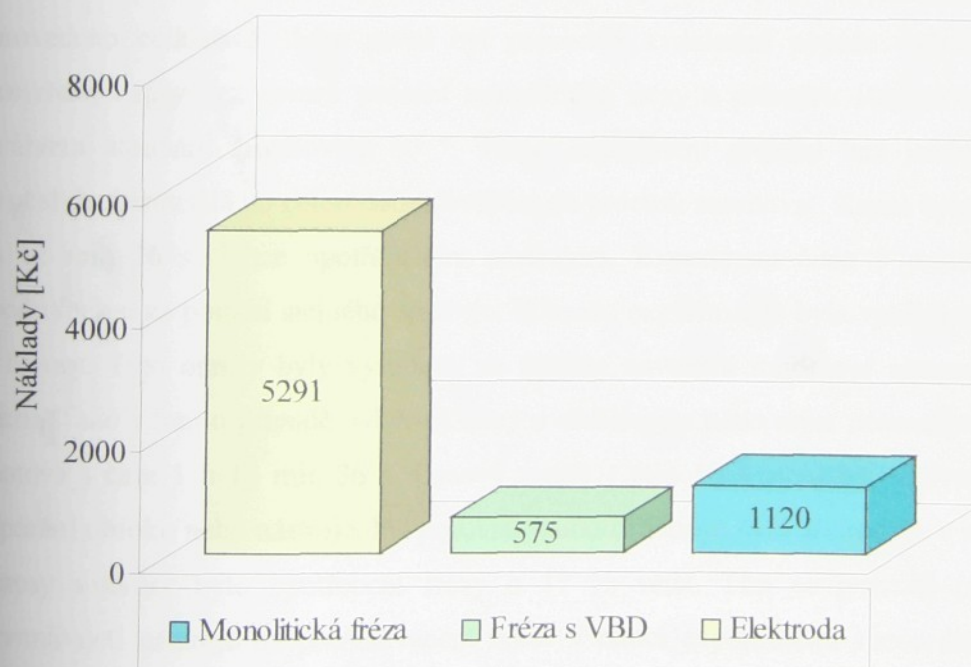
8.3 Porovnání celkových nákladů na proces obrábění

Výpočet celkových nákladů na jednotlivé technologie byl proveden dle metodiky společnosti Swoboda – Stamping s. r. o. (viz. 7. 2) a pro přehlednost byly tyto hodnoty zpracovány v grafech č. 10 a č. 11.

Porovnání celkových výrobních nákladů ukázalo, že náklady na elektroerozivní obrábění jsou nejvyšší, to je způsobeno vysokou hodnotou času obrábění. Nejnižší náklady jsou naopak u procesu CNC frézování s použitím frézy s VBD, tato metoda se tedy jeví jako nejvhodnější, z hlediska celkových výrobních nákladů. Stejně jako při porovnávání nákladů na nástroj, není mezi obráběním kapsy s otvorem a bez otvoru velký finanční rozdíl.



Graf č. 10 Porovnání celkových výrobních nákladů při obrábění kapes bez otvorů



Graf č. 11 Porovnání celkových výrobních nákladů při obrábění kapes s otvory

9. SHRUTÍ A HODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Bakalářská práce se zabývá porovnáním procesu obrábění matic střížných a ohybových nástrojů elektroerozivním obráběním a CNC frézováním ve firmě Swoboda –Stamping s. r. o. Jihlava.

V úvodní části bakalářské práce je obecně popsána teorie metod používaných při výrobě matic střížných nástrojů ve výše jmenované společnosti.

Následuje část popisující trvanlivost nástroje a hospodárnost obrábění. Hlavním cílem této kapitoly bylo shrnutí poznatků o způsobech určování celkových nákladů na jednotlivé operace, nákladů na nástroj a jeho výměny, nákladů na vedlejší práci a nákladů na strojní práci.

Další kapitola bakalářské práce pojednává o přípravách experimentů CNC frézování a elektroerozivního hloubení a o materiálu na kterém byly experimenty provedeny. Další částí této kapitoly je popis desky, kterou jsem vybral z navrhovaných variant a na které byly experimenty prováděny. Dále nastavení strojů při experimentech, stručná charakteristika použitých nástrojů strojů a měřicího zařízení.

Následovala již samotná kapitola popisu jednotlivých experimentů, kterých bylo provedeno celkem 5. Jako první byl proveden a následně popsán experiment 1 výroba uzavřené kapsy bez otvorů pomocí monolitické frézy o průměru 10 mm s počtem zubů 6 a úhlem stoupání šroubovice 50 °. Tento experiment proběhl bez jakýchkoli problémů a obsluha nemusela po celou dobu obrábění do procesu zasahovat. Kapsa byla hotova v čase 1 h 12 min 26 s s lehce opotřeбенým nástrojem. Experiment číslo 3 probíhal za stejných podmínek a za použití stejného nástroje. V tomto experimentu byla vyráběna uzavřená kapsa s otvory. Tyto otvory byly vyrobeny za účelem navození modelové situace přerušovaného řezu. Také v tomto případě byl řez klidný a obsluha do něho nijak nezasahovala. Kapsa byla hotova v čase 1 h 13 min 36 s. Časový rozdíl 1 min 10 s mohl být ovlivněn obsluhou při upínání obroku nebo nástroje. Při porovnání obou nástrojů bylo zřejmé, že v případě obrábění kapsy s otvory bylo opotřebení frézy o 17 % větší. Tím se potvrdil předpoklad nižší trvanlivosti nástroje na přerušovaném řezu. V rámci experimentů s monolitickými frézami, byly provedeny také experimenty 1A a 3A. Experiment 1A byl proces obrábění kapsy bez otvorů monolitickou frézou o průměru 8 mm s počtem zubů 6. Byly pozměněny řezné

podmínky (viz. 6.1), výsledný čas obrábění byl 1 h 40 min 33 s tedy o 38 % delší, ale opotřebení o 10 % menší. Experiment 3A provedený pro posouzení vhodnosti nástroje k obrábění daného materiálu byl proveden na doporučení výrobce nástrojů, byla použita fréza o stejném průměru jako při experimentech 1 a 3. Řezné podmínky byly také stejné, rozdíl byl pouze v nástroji který, měl 10 zubů a úhel stoupání šroubovice 30 °. Výsledkem tohoto obrábění bylo rozlomení nástroje po 13 minutách v řezu, což je o 82 % kratší obráběcí čas. Bylo tedy potvrzeno, že tento nástroj není vhodný na hrubování, ale je určen pro dokončovací obrábění. Obrábění kapes pomocí VBD probíhalo také bez problémů. Při experimentu 2 bylo nutné nástroj, kterým byla fréza o průměru 16 mm s počtem zubů 2, dvakrát zastavit na výměnu destiček, jinak proces probíhal klidně a kapsa byla hotova v čase 30 min 42 s. Při experimentu 4 byl stroj nastaven stejně jako u experimentu 2. Řez byl také klidný, pouze bylo nutno třikrát zastavit stroj a vyměnit destičky. Tento rozdíl byl způsoben přerušovaným řezem, kapsa byla hotova v čase 33 min 48 s. Při porovnání metod CNC frézování tedy vychází, že CNC frézování pomocí VBD bylo přibližně o 53 % kratší. Experiment 5 byla výroba kapsy pomocí elektorerozivního obrábění. Průběh byl klidný, proces nemusel být obsluhou zastavován. Do hloubky 9,2 mm byl úbytek materiálu poměrně rychlý, vzhledem k požadované jakosti povrchu se však stala dokončovací fáze obrábění značně neproduktivní. Výsledný čas obrábění byl 7 h 38 min 01 s, což je v porovnání s předcházejícími technologiemi čas výrazně delší. Plánované porovnání jakosti povrchů jednotlivých způsobů výroby a opakování všech procesů výroby kapes nebylo možné provést vzhledem k časovým možnostem ve společnosti Swoboda – Stamping s. r. o.

V předposlední kapitole bylo provedeno ekonomické shrnutí provedených experimentů. Účelem této části bylo vyjádřit finanční náklady na použité nástroje, režijní hodinovou sazbu stroje, práci a materiál. V průběhu této kapitoly jsme také byly seznámeny se způsobem určování celkových nákladů na obrábění ve společnosti Swoboda – Stamping s. r. o.

V poslední části je provedeno porovnání všech dříve zjištěných nákladů a pro přehlednost byly tyto údaje zpracovány graficky. Porovnání výsledných nákladů na výrobu kapes ukazuje jednoznačně ve prospěch CNC frézování s VBD. Rozdíl mezi výrobou kapsy pomocí této technologie a technologie elektroerozivního hloubení byl téměř 10 – ti násobný ve prospěch CNC frézování pomocí frézy s VBD. Z porovnání nákladů na nástroje byly vynaloženy největší náklady na nástroje pro technologii CNC frézování pomocí VBD. Tento

fakt byl způsoben vysokou pořizovací cenou frézy, která má ovšem vysokou trvanlivost a tyto náklady budou rozloženy na velké množství výrobků. Naopak nejmenší náklady na nástroj byly pro technologii elektroerozivního hloubení. To bylo způsobeno použitím pouze jedné elektrody na celý proces hloubení. Při porovnání výrobních časů vyšla jednoznačně nejvýhodnější technologie CNC frézování s VBD, naopak nejhůře vyšla technologie elektroerozivního obrábění. To bylo zapříčiněno dokončovací fází obrábění, která značně prodloužila celý výrobní proces. Technologie CNC frézování pomocí monolitické frézy v porovnání s technologií CNC frézování pomocí frézy s VBD, vycházela dle všech kritérií dražší. Naopak při porovnání CNC frézování pomocí monolitické frézy a elektroerozivního obrábění, bylo CNC frézování levnější.

10. Seznam použité literatury :

[1].

DILLINGER, J., aj. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Překlad J.Handlíř. 1. vyd. Praha: Europa-Sobotáles cz, s.r.o., 2007. 612 s. ISBN 978-80-86706-19-1.

[2].

ŘASA, J., POKORNÝ, P., GABRIEL, V., *Strojírenská technologie 3 – 2. díl Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění*. 2. vyd. Praha: Scientia, spol. s.r.o., 2005. ISBN 80-7183-336-3.

[3].

ŘASA, J., GABRIEL, V., *Strojírenská technologie 3 – 1. díl Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. 2. vyd. Praha: Scientia, spol. s.r.o., 2005. 256 s. ISBN 80-7183-337-1.

[4].

MLEJNEK, M., *Návrh hospodárního postupu obrábění tvarových částí tlakových forem pro lití hliníkových slitin ve firmě ŠkodaAuto Mladá Boleslav. [Diplomová práce]*. Liberec, TU v Liberci, 2005. 76 s.

[5].

SANDVIK Coromant, *Technická příručka obrábění – soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. Sandiken, 2005. 601 s.

[6].

NĚMEC, D., a kol. *Strojírenská technologie 3 – strojní obrábění*. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1979. 320 s.

[7].

BRYCHTA, J., aj. *Technologie II – 2. díl*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2007. 146 s.

[8].

HUMÁR, A. *TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. [cit. 18. ledna 2007]. Studijní opory pro magisterskou formu studia „Strojírenská technologie“. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138s. Dostupné na World Wide Web: http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-1cast.pdf.

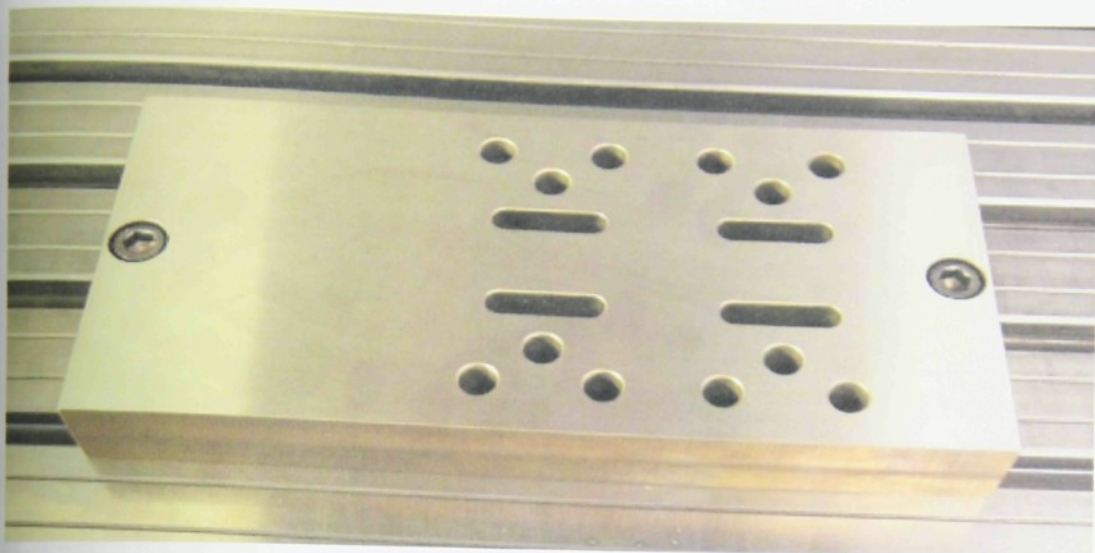
[9].

MATOUŠEK, J., *Vysoce přesná elektroeroze na vzestupu*. [cit. 18. ledna 2010].
Dostupné na: <http://hn.ihned.cz/c1-22095550-vysoce-presna-elektroeroze-na-vzestupu>.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.	Název	Počet stran	Počet obrázků	Počet grafů
Příloha I.	Fotografie vyrobených kapes, zlomeného nástroje a opotřebeného nástroje	2	8	---
Příloha II.	Fotografie elektrody před a po obrábění	1	2	---
Příloha III.	Grafy závislostí	2	---	4

Příloha I



Obr. 1 Deska před začátkem obrábění



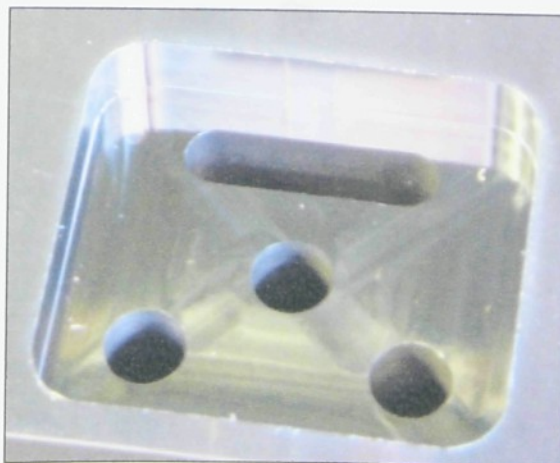
Obr. 2 Kapsa vyrobená elektroerozivně



Obr. 3 Kapsa s otvory vyrobená s VBD



Obr. 4 Kapsa bez otvorů vyrobená monolitní frézou



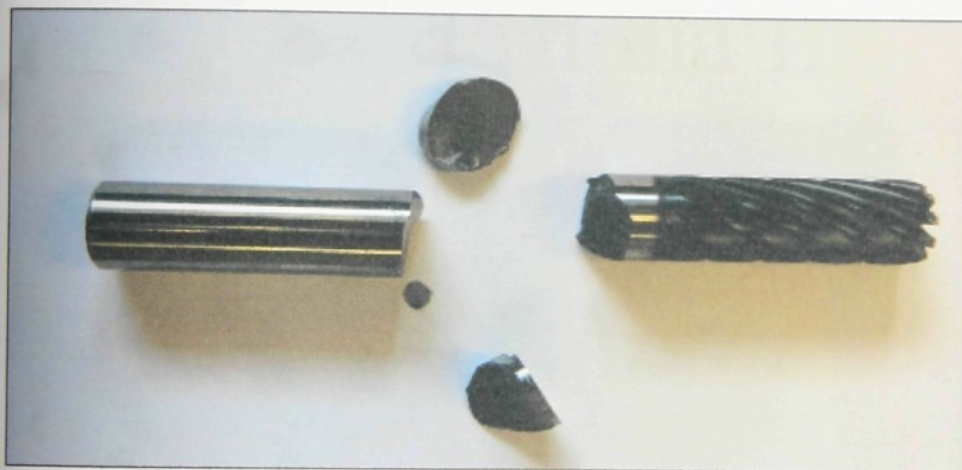
Obr. 5 Kapsa s otvory vyrobená monolitní frézou



Obr. 6 Kapsa bez otvorů vyrobena frézou s VBD při poslední výměně destičky

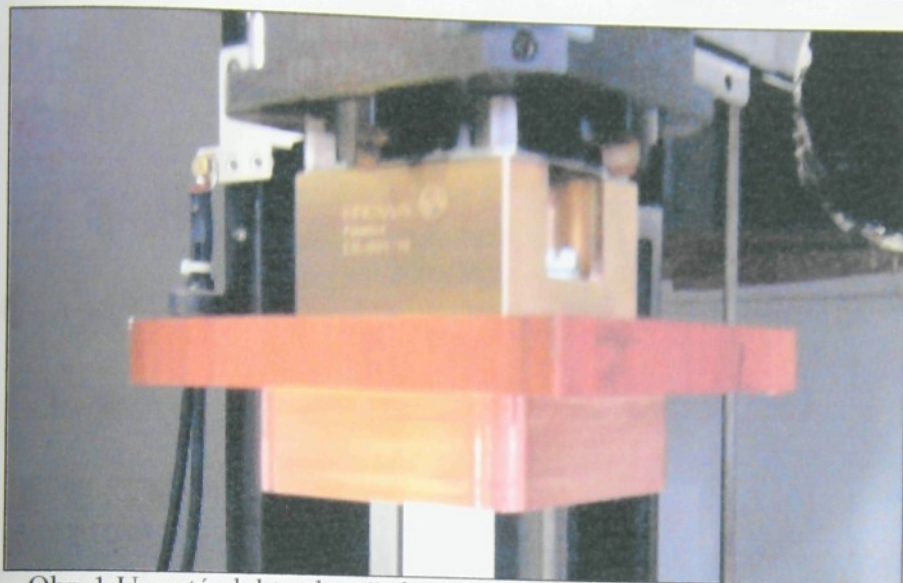


Obr. 7 Monolitní fréza na konci zkoušky maximální doby obrábění



Obr. 8 Rozlomená monolitní fréza

Příloha II



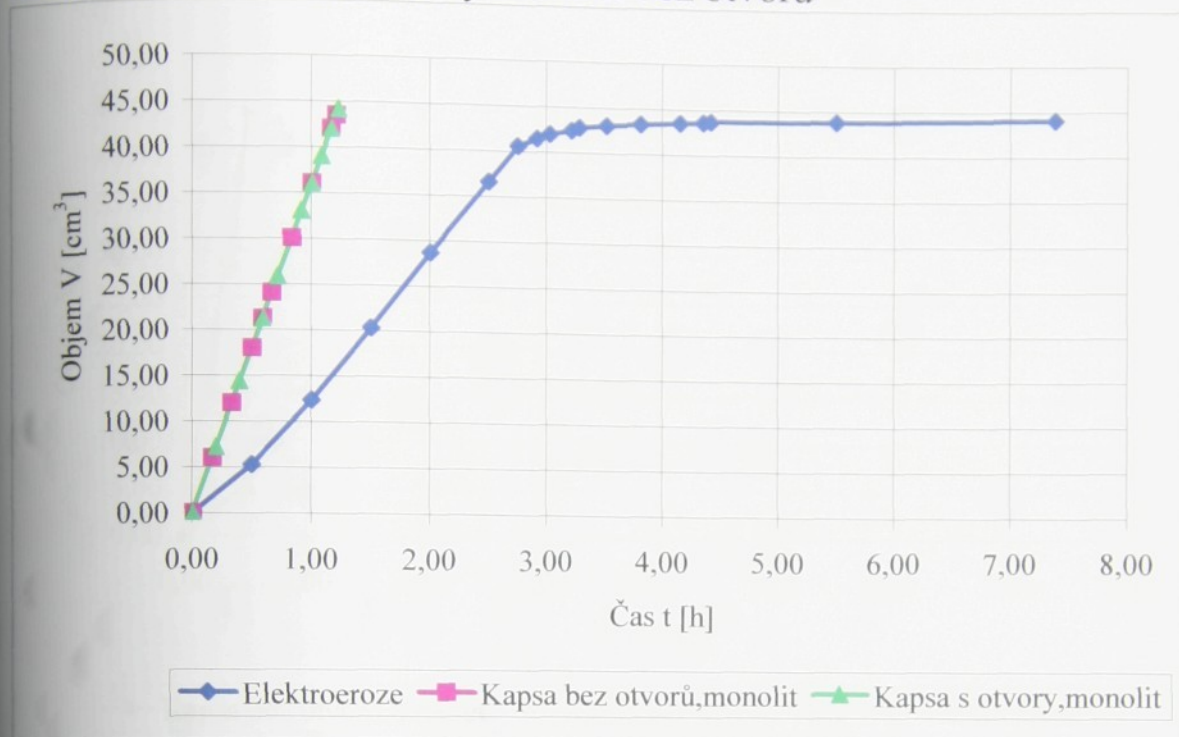
Obr. 1 Upnutá elektroda, před začátkem obrábění



Obr. 2 Vyjmutá elektroda, po ukončení obrábění

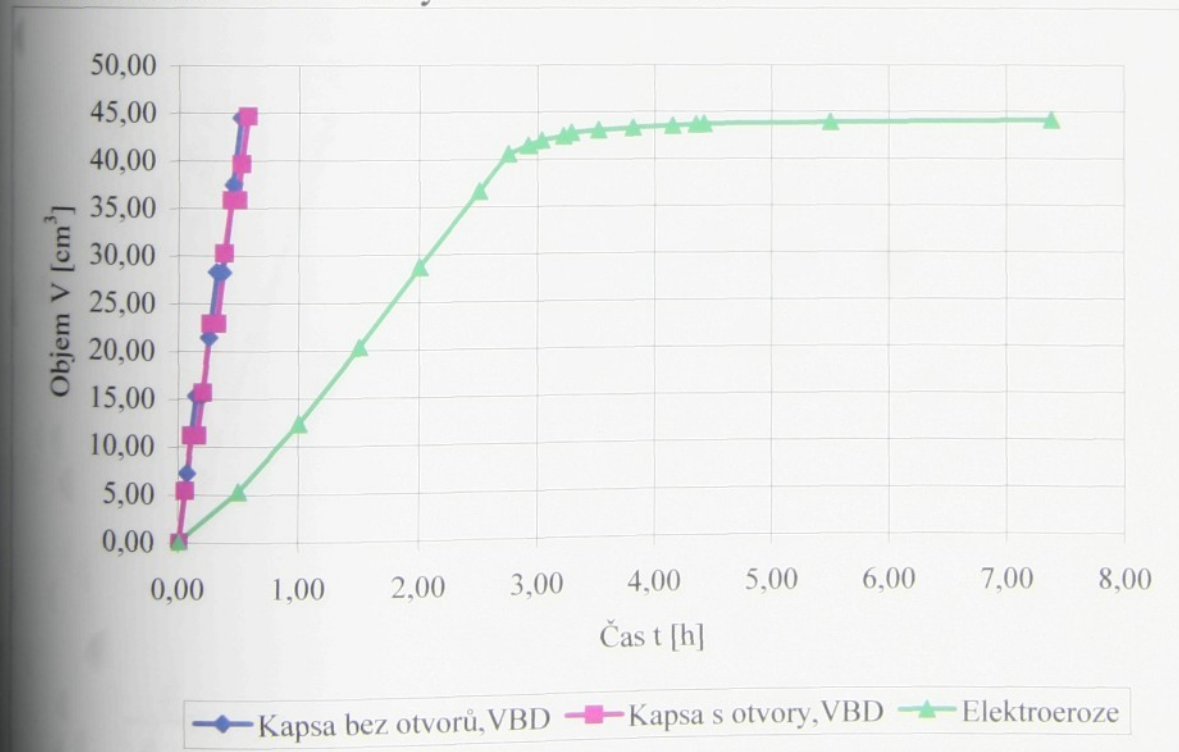
Příloha III

Elektroeroze/monolit otvory/monolit bez otvorů



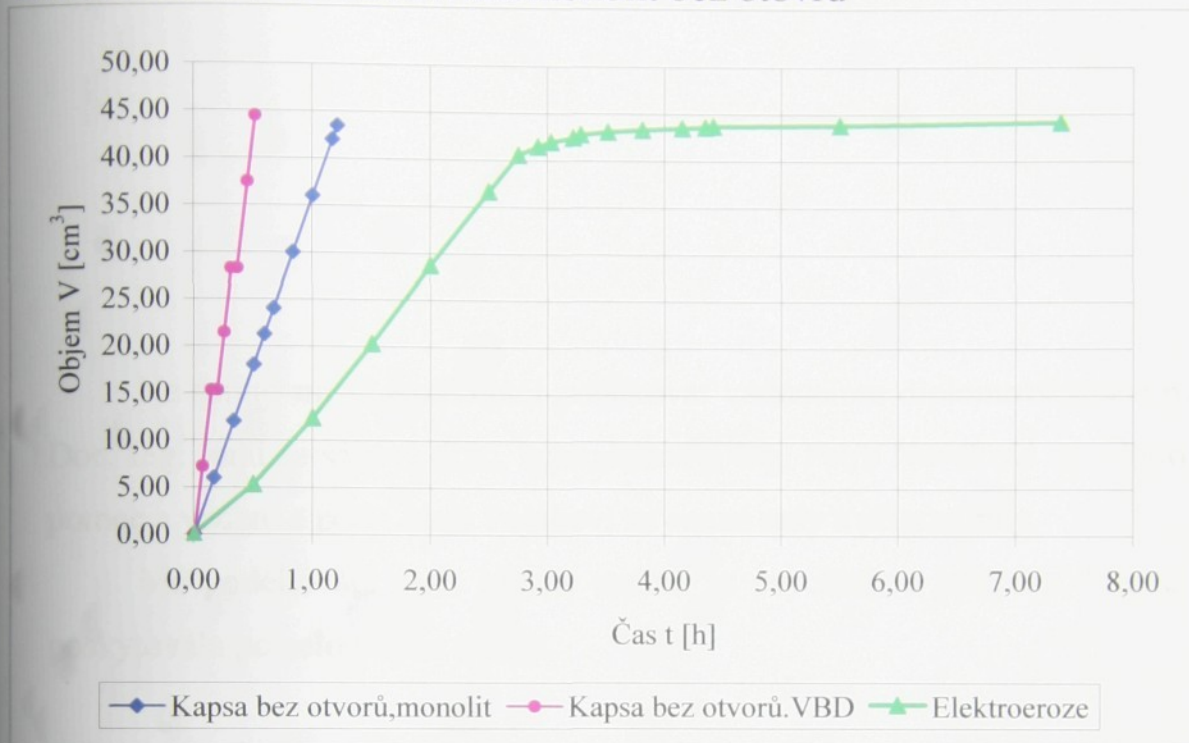
Graf č. 1 Závislosti odebrného objemu materiálu na čase pro výše uvedené způsoby obrábění

Elektroeroze/VBD otvory/VBD bez otvorů



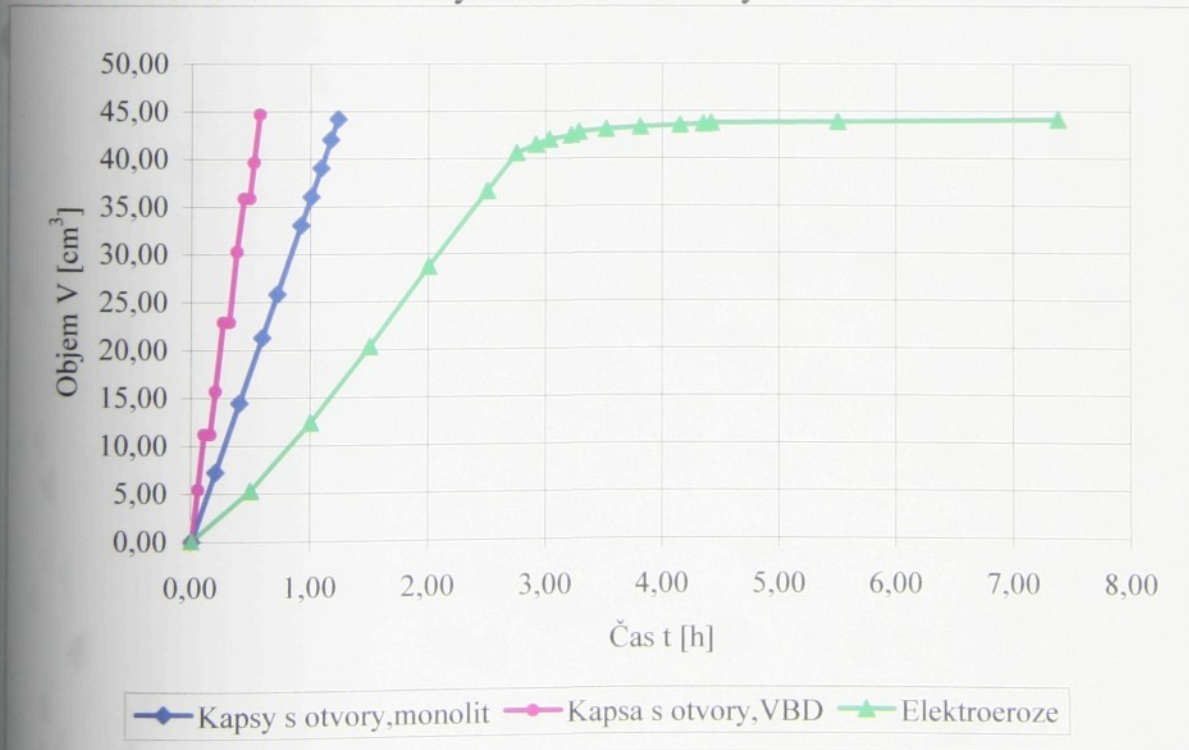
Graf č. 2 Závislosti odebrného objemu materiálu na čase pro výše uvedené způsoby obrábění

Elektroeroze/VBD bez otvorů/monolit bez otvorů



Graf č. 3 Závislosti odebrného objemu materiálu na čase pro výše uvedené způsoby obrábění

Elektroeroze/VBD s otvory/monolit s otvory



Graf č. 4 Závislosti odebrného objemu materiálu na čase pro výše uvedené způsoby obrábění

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc, konzultantovi Ing. Petru Novákovi za odbornou pomoc a vedení a panu Aleši Polákovi za cenné rady a připomínky.

Mé poděkování patří hlavně rodině za psychickou podporu, kterou mi poskytovala po celou dobu studia.