



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

APLIKACE ELEKTROEROZIVNÍHO
OBRÁBĚNÍ V KOMBINACI S FRÉZOVÁNÍM
APPLICATION OF EDM IN COMBINATION WITH MILLING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Radim Drmela

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Radim Drmela**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce: **Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

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

Aplikace elektroerozivního obrábění v kombinaci s frézováním

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozebírá stávajícího stavu a zvolených technologií. Výběr typových výrobků. Vypracování vhodných technologií pro zvolené díly. Aplikace na tenkostěnné díly. Vypracování technické dokumentace. Technicko-ekonomické zhodnocení a doporučení do budoucna.

Cíle diplomové práce:

- rešerše problematiky
- návrh a vypracování technologie výroby
- aplikace technologie na tenkostěnné díly
- technicko-ekonomické zhodnocení

Seznam literatury:

SADÍLEK, Marek. Nekonvenční metody obrábění I. 1. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009, 146 s. ISBN 9788024821078.

FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. Autodesk Inventor. Brno: Computer Press, 2007, 296 s. ISBN 978-80-251-1773-6.

GRZESIK, Wit. Advanced machining processes of metallic materials: modelling and applications. 1. Oxford: Elsevier, 2008, 446 s. ISBN 9780080445342.

MÁDL, J., M. KAFKA a J. DVOŘÁK. Technologie obrábění. Praha: ČVUT, 2007, 252 s. ISBN 978-80-01-03752-2.


Springer handbook of mechanical engineering. 1st ed. New York: Springer, 2008, p. cm. ISBN 978-354-0491-316.

PÍŠKA, Miroslav. Speciální technologie obrábění. 1. Brno: CERM, 2009, 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

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

V Brně, dne 18. 11. 2015





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

Diplomová práce je pomyslně rozdělena do tří částí. První rešeršní část práce se zabývá elektroerozivním obráběním. Druhá hlavní část řeší problematiku obrábění tvárníku do vstřikovací formy. Je zde vytvořen technologický postup včetně výrobních návodů. Pro tuto část jsou spočteny náklady spojené s výrobou. Poslední část práce řeší problematiku aplikace technologie hloubení oproti technologii frézování.

Klíčová slova

technologický postup, návodka, EDM, elektroda, náklady

ABSTRACT

The diploma thesis is notionally divided into three parts. The first literature search part deals with the electronic discharge machining. The second main part solves the problem of machining plungers (movable part of the injection mold). This part also includes a technological process including production instruction cards. There are also calculated costs of production for this diploma part. The last part compares applications of electronic discharge machining technology with applications of milling technology.

Key words

technological proces, production instruction cards, EDM, electrode, costs

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Drmela, Radim. *Aplikace elektroerozivního obrábění v kombinaci s frézováním*. Brno 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 103 s. 12 příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Aplikace elektroerozivního obrábění v kombinaci s frézováním** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

24.5.2016

Datum

Bc. Radim Drmela

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Oskarovi Zemčíkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování této diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat firmě GAMARTIS TRADE s.r.o. za poskytnutí spolupráce a cenných informací.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ.....	10
1.1 Základní parametry elektroerozivního obrábění	10
1.2 Dělení elektroerozivního obrábění	10
1.2.1 Dřívější dělení EDM.....	11
1.2.2 Novější dělení EDM	13
1.3 Princip elektroerozivního obrábění	13
1.4 Výhody elektroerozivního hloubení.....	18
1.5 Nevýhody elektroerozivního hloubení.....	19
1.6 Nástrojové elektrody	19
1.6.1 Opotřebenění elektrody	21
1.7 Dielektrická kapalina	24
1.8 Kvalita, struktura a geometrie opracovaného povrchu	27
2 GAMARTIS.....	30
2.1 Zaměření firmy	30
2.2 Strojový park.....	30
2.3 Volba stroje.....	30
3 OBRÁBĚNÍ TVÁRNÍKU	32
3.1 Materiál 41 9552.....	32
4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP	34
4.1 Nástrojové listy	35
4.2 Výrobní návodky	41
5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	60
5.1 Technické zhodnocení	60
5.2 Ekonomické zhodnocení.....	60
5.2.1 Časové a nákladové zhodnocení	60
6 APLIKACE TECHNOLOGIÍ.....	69
6.1 Časové hledisko	69
6.2 Tvarové části.....	69
6.3 Obrobená plocha	70

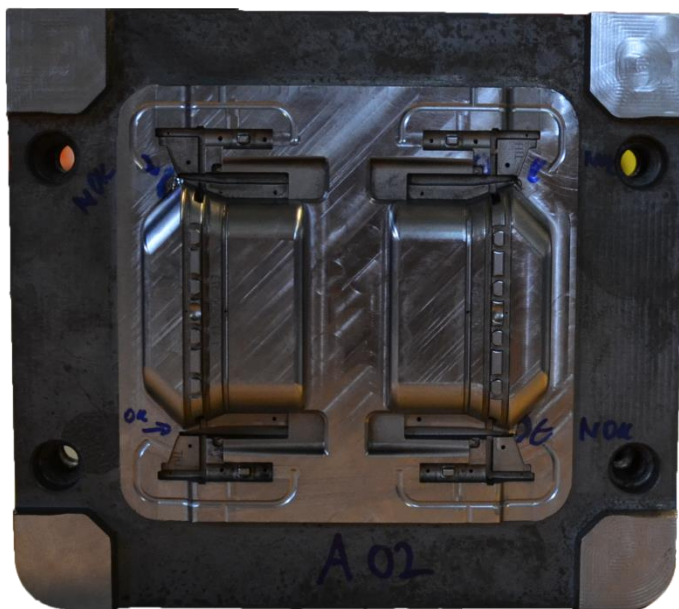
6.4 Cena	71
6.5 Tenkostěnné díly	71
ZÁVĚR	72
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	73
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	76
SEZNAM PŘÍLOH.....	79

ÚVOD

Technologie elektroerozivního obrábění je známa již řadu let, nepatří však mezi nejrozšířenější technologie výroby. Řazena je do skupiny tzv. nekonvenčních metod obrábění. Nejčastěji se používá pro výrobu vstřikovacích forem na plasty nebo pro výrobu střížných a lisovacích nástrojů. Technologie hloubení je využívána pro výrobu problematických tvarů, které jsou obtížně dosažitelné jinými metodami. Jediným limitujícím faktorem hloubení je požadavek na vodivý obrobek.

Praktická část diplomové práce řeší problematiku obrábění tvárníku (viz obr. 1) do vstřikovací formy z materiálu 41 9552. Veškerá praktická část této práce je řešena ve spolupráci s firmou Gamartis Trade s.r.o. sídlící v Žatčanech u Brna. Výliskem z formy je poté držák clony z plastového materiálu PC Makrolon. Funkcí tohoto držáku je fixace zrcátek (clon). Vhodným nastavením držáku clony je pak dosaženo správné barvy světla se správným tvarem. Vhodným pozicováním tohoto držáku (blíže nebo dále od světla), se dosahuje rozhraní světlo/tma u tlumeného světla.

V závěrečné části práce je řešena problematika aplikace technologie frézování oproti technologii hloubení.



Obr. 1 Tvárník vstřikovací formy.

1 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ

Základy elektroerozivního obrábění (dále také EDM) položil roku 1768 Sir Joseph Priestley, který jako první popsal jev elektroze, když na plochách kovů zaznamenal vznik kráterů naproti vodivým elektrodám, což bylo důsledkem elektrického výboje [1].

V průmyslu se tohoto jevu začalo využívat až v první polovině dvacátého století, když teoretické základy a zároveň i první patent elektroerozivního procesu vypracovali roku 1943 manželé B. R. Lazarenko a N. I. Lazarenkovová [1].

1.1 Základní parametry elektroerozivního obrábění

Mezi faktory charakterizující proces elektroerozivního obrábění je řazeno [1]:

- vznik výboje – energie impulsu, výsledný tvar a frekvence výboje (viz kapitola 1.3),
- nástrojová elektroda – její tvar, rozměry, chemické a fyzikální vlastnosti (viz kapitola 1.5),
- dielektrická kapalina – její intenzita a způsob proudění, chemické a fyzikální vlastnosti, stupeň znečištění a pracovní vzdálenost mezi elektrodami (viz kapitola 1.7),
- materiál obrobku – jeho rozměry a tvar, fyzikální a chemické vlastnosti,
- stroj – jeho tuhost a stabilita, stupeň automatizace a řídicí systém.

Dalšími ukazateli elektroerozivního obrábění jsou technické a ekonomické ukazatele [1]:

- intenzita objemového úběru materiálu,
- čas obrábění,
- relativní opotřebení nástrojové elektrody (viz kapitola 1.6.1),
- geometrie a vlastnosti povrchové vrstvy po opracování (viz kapitola 1.8).

1.2 Dělení elektroerozivního obrábění

Z časového průběhu je elektroerozivní obrábění děleno dvěma způsoby (dřívější dělení EDM viz kapitola 1.2.1 a novější dělení EDM je popsáno v kapitole 1.2.2).

1.2.1 Dřívější dělení EDM

Dělení elektroerozivního obrábění do 70. let dvacátého století [2]:

- a) elektrokontaktní,
- b) elektroimpulzní,
- c) anodomechanické,
- d) elektrojiskrové (známé taky pod názvem elektroerozivní, viz kapitola 1.2).

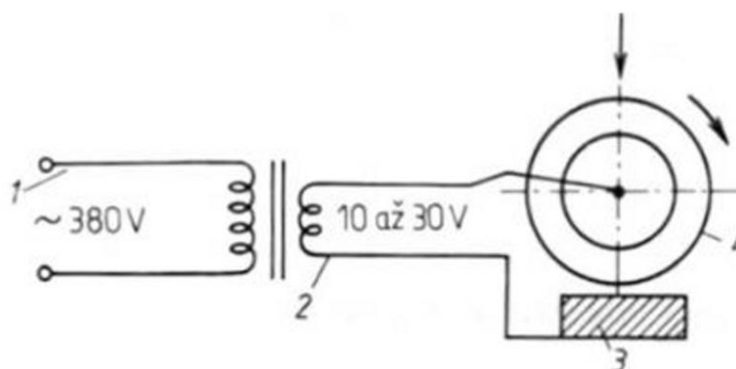
Ad a) Podstatou metody elektrokontaktního obrábění je odtavování obráběného materiálu, pomocí odporu v místě styku nástroje s povrchem obrobku. Používá se střídavý proud s nízkým napětím, přibližně 25 V a rovněž malý počet impulsů v rozsahu 50 až 500 Hz. Při přiblížení nástroje s obrobkem dochází ke vzniku krátkodobého oblouku. V místech přímého kontaktu nástroje s obrobkem dochází k odtavování materiálu obrobku, roste přechodový odpor, což má za následek vznik velkého množství tepla. Aby v místech přímého kontaktu nedošlo ke svařování, musí nástroj neustále vykonávat pohyb (většinou rotační, jelikož nástrojem je obvykle kotouč nebo disk). Tímto neustálým vznikem nových a nových kontaktů se tvoří elektrické oblouky, čímž se vytváří mechanické buzení elektrických oblouků. Pro ochlazení nástroje se používá nejčastěji stlačený vzduch nebo proud kapaliny (vody), který z místa řezu rovněž odstraňuje ztuhlé částice obrobeného materiálu. Princip elektrokontaktního obrábění je znázorněn na obr. 2 [1, 3].

Výhody [1, 3]:

- vysoká produktivita (úběr materiálu 30 až $200 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$),
- jednoduchost výrobního zařízení (malé investiční náklady).

Nevýhody [3]:

- nižší rozměrová a tvarová přesnost obrobené plochy,
- horší drsnost povrchu obrobené plochy.



Obr. 2 Princip elektrokontaktního obrábění [4]. 1 – napájecí zdroj, 2 – transformátor, 3 – obrobek, 4 – nástrojová elektroda.

Ad b) Metoda elektroimpulzního obrábění, která využívá obloukového výboje vhodného tvaru se správnou délkou časového průběhu. Na rozdíl od elektrojiskrového obrábění je nástrojová elektroda napojena na pól plus (+), je tedy anodou, zatímco obrobek na pól mínus (-), z něhož je katoda. Zdrojem proudu je impulzní generátor, u kterého nezávisí amplituda, doba trvání, polarita, frekvence ani tvar impulzů na době obrábění ani na fyzikálním stavu jiskrové mezery [1, 3].

Výhody [3]:

- vyšší úběr materiálu v porovnání s elektrojiskrovým obráběním (až $25 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$),
- menší opotřebení elektrody (méně než 1 %), proto se někdy používá název „no-wear EDM“, což v překladu znamená bez opotřebení,
- využití převážně u rozměrových obrobků, pro hrubovací operace a v případech, kdy jsou náklady na nástrojové elektrody příliš vysoké.

Nevýhody [3]:

- horší drsnost povrchu a přesnost rozměrů obrobené plochy.

Ad c) Metoda anodomechanického obrábění je z hlediska odebrání materiálu na rozhraní elektrochemického a elektroerozivního obrábění, přičemž zařazení do příslušné skupiny je ovlivněno zejména energetickými parametry. Při použití nižších napětí a nižších proudových hodnot, dochází k úběru pomocí elektrochemického účinku,

naopak pokud je použito vyšších hodnot, dochází k úběru elektrotermickým účinkem (elektroerozivní metoda viz kapitola 1.2). Další složkou ovlivňující toto obrábění je elektrochemické rozpouštění, jelikož jsou zde vytvořeny vhodné podmínky pro elektrolýzu. Celkový úběr materiálu při řezání touto metodou je 1 až 7 $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ s dosahovanou drsností povrchu obrobene plochy $R_a = 6,3 \div 50,0 \mu\text{m}$. Při leštění a broušení touto metodou pak celkový úběr materiálu činí pouze 2 až 30 $\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ s dosahovanou drsností povrchu $R_a = 0,1 \div 3,2 \mu\text{m}$. Tyto výše zmíněné hodnoty jsou ovlivněny druhem elektrolytu, elektrickými a mechanickými parametry procesu, teplotou tavení a teplotou vodivosti materiálu obrobku.

Výhody [3]:

- použití pro řezání tvrdých a těžkoobrobitelných materiálů, tenkostěnných trubek, vyřezání profilů,
- další použití například pro tvarové broušení ze slinutých karbidů.

Nevýhody:

- nižší produktivita práce.

1.2.2 Novější dělení EDM

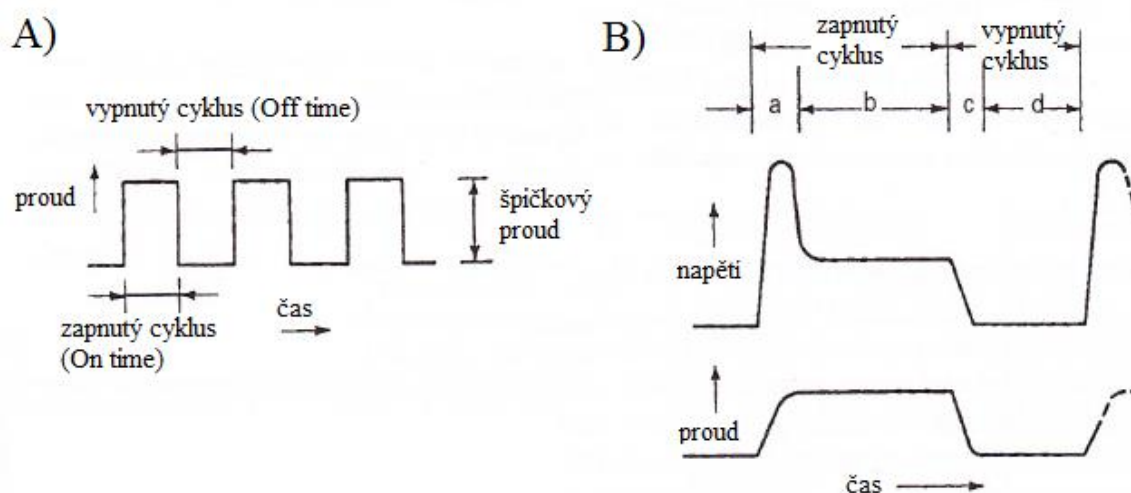
V současné době se elektroerozivní obrábění dělí podle technologických možností [1]:

- a) hloubení, nebo-li elektroerozivní tvarové obrábění (EDM Sinking),
- b) drátové řezání (WEDM – Wire Electrical Discharge Machining),
- c) broušení (EDG – Electrical Discharge Grinding).

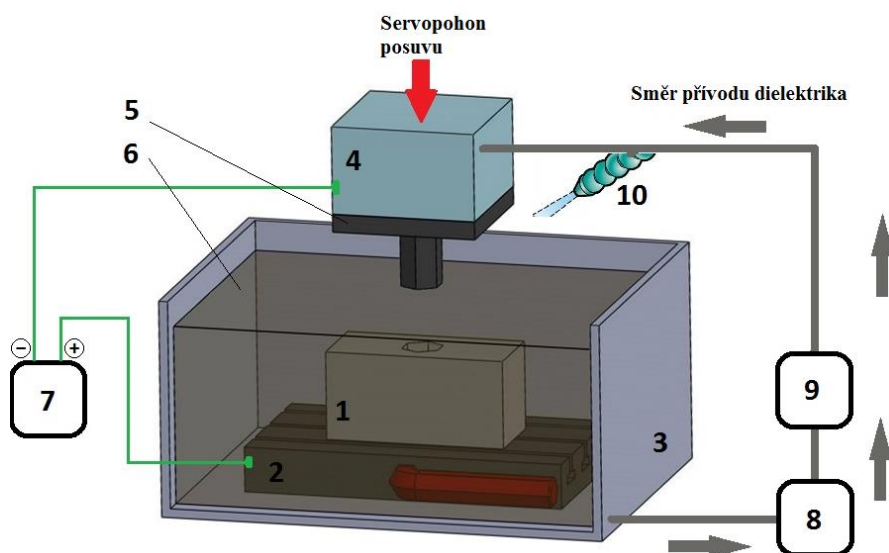
1.3 Princip elektroerozivního obrábění

Elektroerozivní obrábění je proces, u kterého se dosahuje úběru materiálu vlivem vysoké koncentrace energie, materiál taje a odpařuje se. Obrábění se uskutečňuje pomocí elektrického výboje, probíhajícího pomocí rychle se opakujících periodických impulzů (viz obr. 3), které jsou později přeměněny na tepelnou energii. Jeden puls pak odpovídá součtu jednoho vypnutého cyklu s jedním cyklem zapnutým (Off time + On time). Zapnutý cyklus a špičkový proud u průběhu impulsu určují energii výboje. Tyto elektrické výboje probíhají mezi anodou (nejčastěji obrobek) a katodou (nejčastěji nástrojová elektroda),

za přítomnosti dielektrika. Při výboji jsou z materiálu odstraňovány, pomocí tavení a následného odpaření, mikročástice okem neviditelné, ve formě dutých kuliček. Větší částice vzniklé při elektrolýze, jsou z pracovní mezery vyplavovány pomocí dielektrika. Princip zařízení elektroerozivního obrábění je vyobrazen na obr. 4 [1, 3, 4].



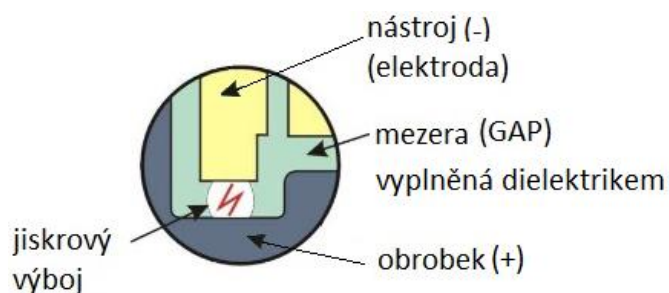
Obr. 3 A - Typický průběh impulzů pro EDM obrábění, B – Profil jednoho výboje, a) doba ionizace, b) doba výboje, c) deionizace, d) zbytkový čas [1].



Obr. 4 Princip zařízení elektroerozivního obrábění vytvoření v programu Solidworks [5].

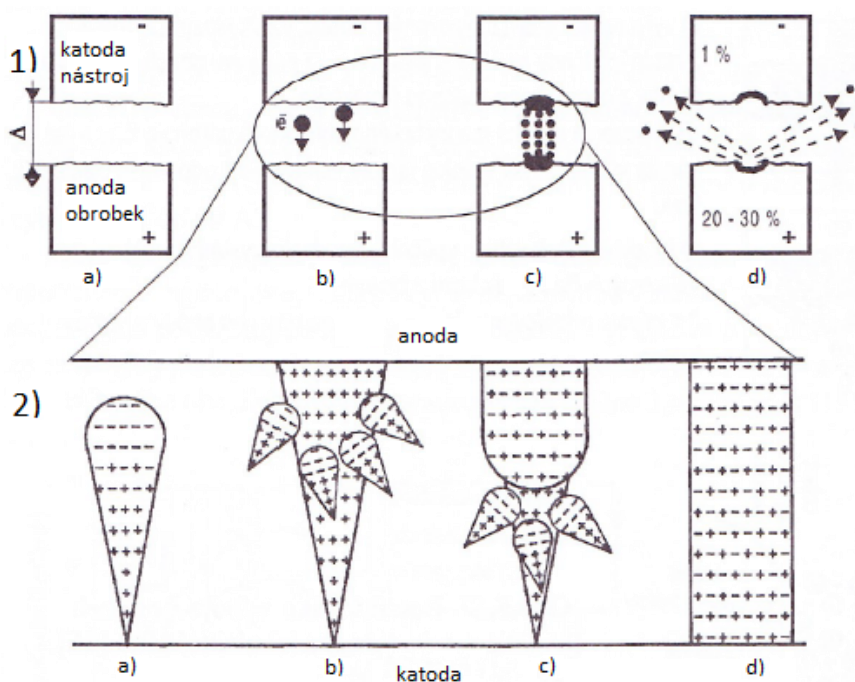
1 – obrobek, 2 – upínací magnetický přípravek, 3 – pracovní vana, 4 – držák nástroje, 5 – nástrojová elektroda, 6 – dielektrikum (směr označen šipkami), 7 – generátor impulzů, 8 – čerpadlo, 9 – filtr, 10 – tryska.

Obě elektrody, mezi kterými probíhá výboj, musí být z vodivého materiálu. Přičemž katoda (nástrojová elektroda) je umístěna do těsné blízkosti k anodě, není s ní však v kontaktu (viz obr. 5) [1].



Obr. 5 Místo vzniku jiskrového výboje [1, 3].

V přibližné vzdálenosti Δ (0,001÷0,1 mm) dochází mezi elektrodami k vzniku výboje jako důsledek pulzujícího elektrického pole. Na katodě (nástroji) vzniká lavina elektronů, které jsou urychlovány směrem k anodě (obrobku). Tyto záporně nabité elektrony naráží na neutrální atomy dielektrika, čímž vyvolávají jeho ionizaci. U opakovaného procesu se postupně navyšuje intenzita výboje a tím vzniká tzv. sekundární lavina elektronů, která má za důsledek spojení katody a anody kanálem výboje. Tento princip vzniku výboje je vyobrazen na obr. 6.



Obr. 6 Mechanismus vzniku výboje při elektroerozivním obrábění [1]. 1) a) doporučená vzdálenost mezi elektrodami, b) vznik jiskrového výboje, c) vznik laviny elektronů, d) vymrštění částic kovu z povrchu a vznik kráteru. 2) a) vznik laviny elektronů na katodě, b) průběh ionizace v mezeře mezi elektrodami, c) vznik sekundární laviny elektronů, d) vznik kanálu výboje.

Detailněji popsáný princip výboje s jeho vznikajícím napěťovým a proudovým profilem v závislosti na čase (sdružující obrázky 3 a 6) je zobrazen a následně popsán na obr. 7.

Časový průběh vzniku výboje, rovněž jako průběh proudového a napěťového profilu je rozdělen do následujících 9 fází [6, 7, 8, 9, 10]:

Fáze 1: Přivedením napětí na elektrody dochází ke vzniku elektrického napěťového pole. V místě s nejkratší vzdáleností mezi elektrodami se vlivem nerovnosti povrchu vytvoří maximální gradient, který pohlcuje elektricky vodivé částice.

Fáze 2: V důsledku maximálního napětí dochází za pomoci elektricky vodivých částic ke vzniku můstků, potřebných k zapálení výboje.

Fáze 3: Vlivem působení elektrického pole dochází k uvolnění záporně nabitých částic (elektronů), které se sráží v prostoru s neutrálními částicemi a tříští se. Tímto tříštěním vznikají kladné a záporné ionty, takto označovaný jev se nazývá ionizace prostředí.

Fáze 4: Ionty obalují střed kanálu a dochází ke vzniku plazmy. Protékajícím proudem roste proudová hustota a plazma vytváří vodivý kanál. Se zvyšujícím proudem se zvyšuje rovněž teplota na povrchu elektrod a napětí klesá.

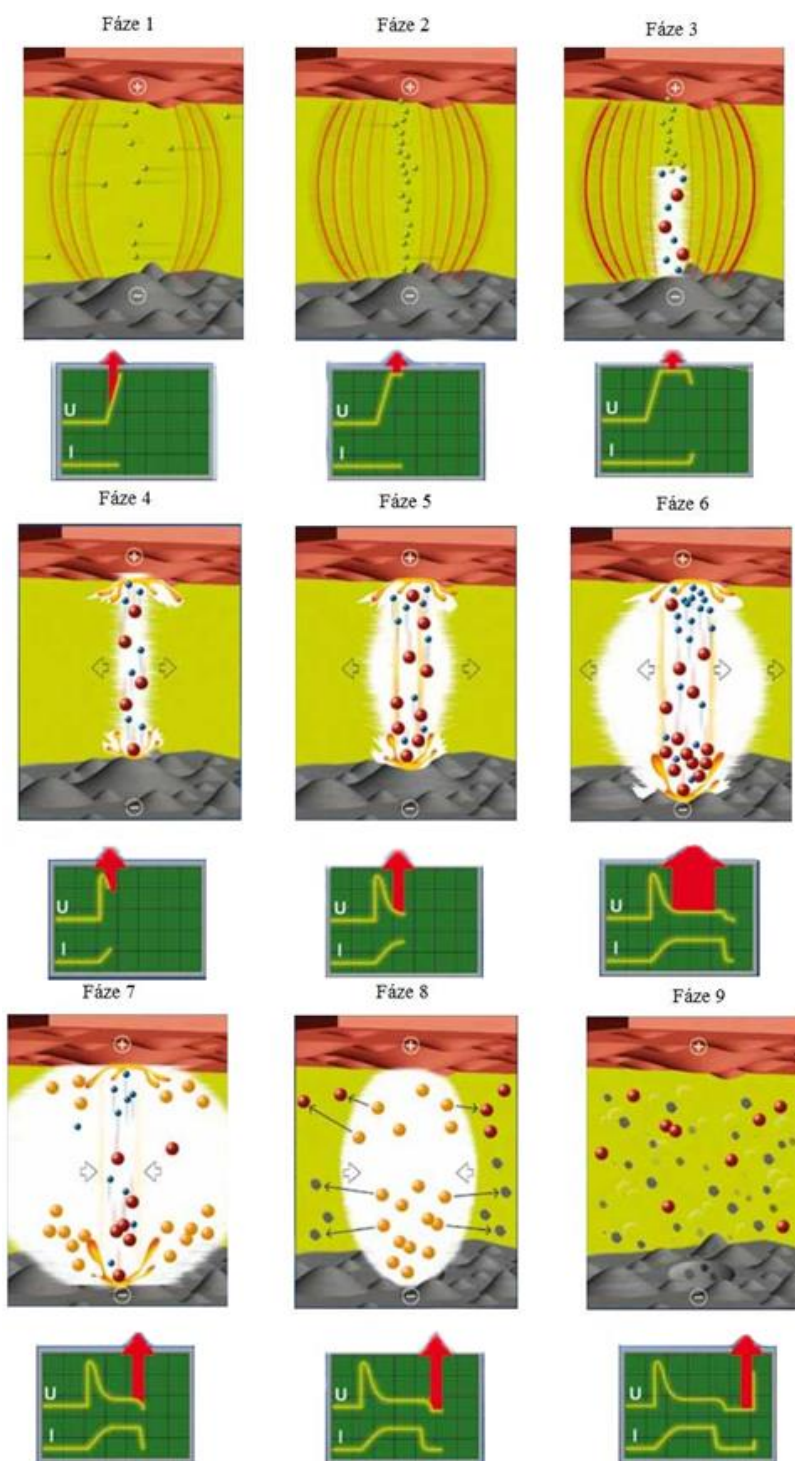
Fáze 5: Vznik plynových bublin v důsledku odpařování dielektrika. Vlivem narážení elektronů na anodu a kationtů na katodu se uvolňuje velké množství energie, která zvyšuje teplotu. Zvýšením teploty dochází k tavení a odpařování ohraničených míst na povrchu elektrod. Proud dosahuje maximální hodnoty a napětí se ustaluje na tzv. zápalné hodnotě výboje.

Fáze 6: Bubliny intenzivně expandují a dochází k tavení a odpaření materiálu.

Fáze 7: Přerušením přívodu energie dochází k poklesu proudu a teploty. Dochází k implozi vzduchových bublin a k narušení materiálu na povrchu obou elektrod. V důsledku působení elektrického pole a snížením tlaku plynů je materiál obrobku vytrháván do prostoru, což způsobuje vznik kráterů.

Fáze 8: Proud a napětí klesají na nulovou hodnotu, tím zaniká bublina i výboj. Do vytvořeného kráteru vniká dielektrikum, které materiál obrobku ochlazuje. Odebraný materiál ve formě mikročástic kulového tvaru je odplaven dielektrikem.

Fáze 9: Celý děj se opakuje s tím, že zbývající volné ionty v dielektriku slouží jako základ pro nový výboj.



Obr. 7 Vznik výboje s napěťovým a proudovým profilem v závislosti na čase [9].

V plazmovém kanále odevzdávají elektrony a kladně nabitě ionty svou kinetickou energii ve formě tepla do povrchu elektrod. Teplota v tomto kanále výboje (plazmovém kanále) dosahuje teploty přibližně $8\,000 \div 12\,000 \text{ }^\circ\text{C}$. Vzniklý tepelný tok nabývá hodnot přibližně $10^{12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, kterého dosahuje ve velmi krátkém časovém intervalu ($0,1 \div 2\,000 \text{ } \mu\text{s}$). Lokální teplota povrchu elektrod dosahuje vyšší hodnoty než je bod tavení materiálu,

důsledkem této teploty a následného odpařování dielektrika narůstá tlak v plazmovém kanálu na hodnoty až okolo 2 000 MPa. Takto vysoký tlak omezuje odpaření žhavého kovu, k němuž dochází až po přerušení impulsu, poté co klesne napětí i tlak. Žhavé částičky kovu jsou vymrštěné z kovu a vytváří kráter (více v kapitole 1.8) na místě výboje, doprovázeny jsou vznikem plynových bublinek [1, 3].

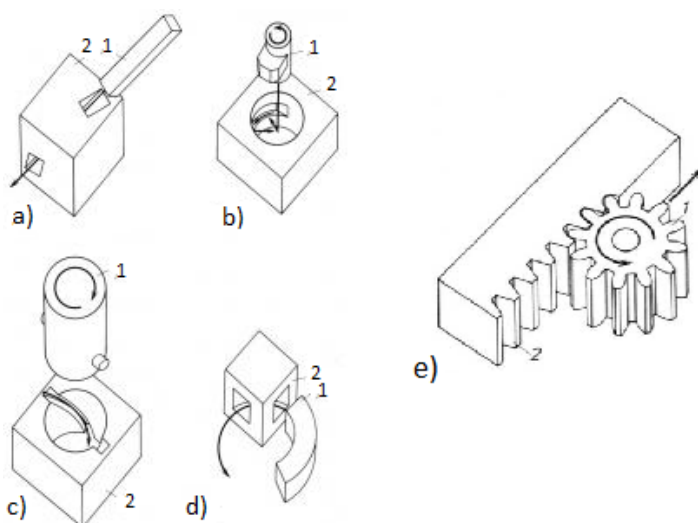
Produktivita obrábění a daná jakost povrchu obrobené plochy jsou výsledkem vhodně nastavených parametrů elektrického proudu, tvaru a frekvenci výbojů, dále také na vhodně zvoleném dielektriku, materiálu nástroje a materiálu obrobku [3].

1.4 Výhody elektroerozivního hloubení

Elektroerozivní hloubení se uplatňuje především k výrobě složitých vnějších ploch, ale také při výrobě vnitřních ploch u zápustek, forem pro lití, u střížných nástrojů nebo také u nástrojů pro lisování plastů [3].

Mezi výhody elektroerozivního hloubení je řazeno [3]:

- možnost obrábění jakýchkoli vodivých materiálů bez ohledu na jejich mechanické vlastnosti (pevnost, houževnatost, křehkost, tvrdost),
- z důvodu velkého rozsahu navolení parametrů umožňuje vyrábět povrchy různých jakostí,
- možnost výroby součástí složitějších tvarů, které by třeba i jinou technologií výroby byly přespříliš složité (např.: výroba děr se zakřivenou osou (viz obr. 8)),
- na obrobek nepůsobí žádné mechanické zatížení,
- vznik nesrovnatelně menšího množství odpadu než při konvenčním obrábění,
- snížení pracnosti při výrobě tvarově složitých ploch, doprovázené poměrně jednoduchou výrobou nástrojových elektrod,
- hrany obrobku zůstávají bez otřepů,
- automatizace výrobního procesu je poměrně snadná.



Obr. 8 Princip výroby děr se zakřivenou osou [4]. 1 – nástrojová elektroda, 2 – obrobek, a) průchozí nekruhová díra, b) uzavřená drážka, c) drážka ve šroubovici, d) díra tvaru části kruhového oblouku, e) ozubený hřeben.

1.5 Nevýhody elektroerozivního hloubení

K nevýhodám elektroerozivního hloubení patří [3, 5]:

- nepřímá úměra mezi jakostí povrchu obrobene plochy a produktivitou obrábění,
- nutnost ponoření obrobku a elektrody do dielektrika a to alespoň do vzdálenosti 40 mm pod hladinu dielektrika,
- požadavek na zkušenost obsluhy, zejména při volbě faktorů zapříčiňujících vhodnou jakost obrobeneho povrchu,
- poměrně nízká produktivita při obrábění měkkých materiálů,
- značné náklady při vyhotovení elektrody,
- stroj pro elektroerozivní obrábění ruší některé signály (například televizní a rádiové) a je proto nutné dbát na jeho vhodné umístění.

1.6 Nástrojové elektrody

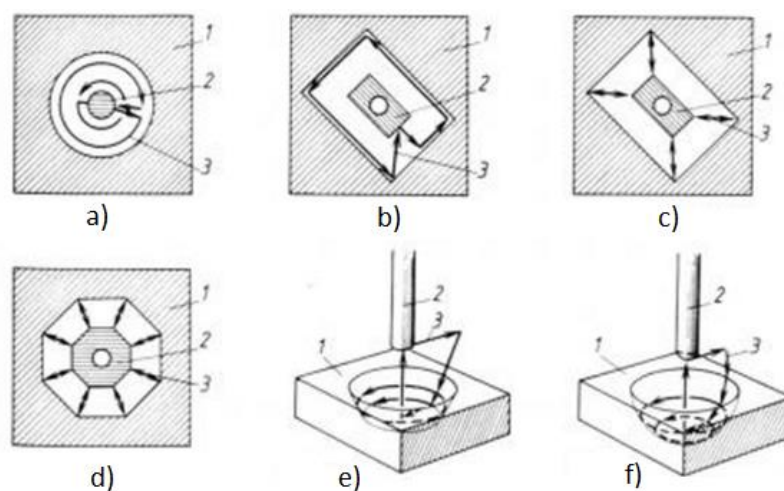
Pro EDM hloubení se používají nástrojové elektrody. Tyto tvarové elektrody odpovídají negativnímu tvaru obrábene plochy a jsou postupně posouvány směrem do obrobku, čímž vytvářejí požadovaný profil, jedná se o tzv. trojrozměrné obrábění (3D). Vše je řízeno řídicím systémem, který udržuje konstantní velikost jiskrové mezery.

Při výrobě elektrod se nejčastěji používají tyto výrobní technologie: obrábění, lisování, lití, prášková metalurgie, stříkání a galvanoplastika [3]. Před samotnou výrobou dané elektrody je třeba brát v potaz její materiál, nejvíce však možnosti materiálu a cenu. Nejpoužívanější materiály elektrod jsou vypsány v tab. 1.

Tab. 1 Nejčastěji používané materiály nástrojových elektrod [1, 3].

Materiál elektrody	Charakteristika
Grafit	Nejpoužívanější materiál pro výrobu elektrod. Dobře obrobitelný materiál, který má vysokou teplotu tavení (okolo 3 000 °C). Vhodný pro obrábění ocelí. K jeho nevýhodě patří znečištění zařízení, díky erozním zplodinám, které vznikají jeho opracováním.
Měď	Poměrně snadno dostupný materiál, který je odolný vůči erozivnímu opotřebení. Vykazuje nízké opotřebení a má dobrou vodivost. Měděné elektrody nepracují tak dobře jako elektrody z grafitu nebo mosazi. Používají se pro obrábění karbidů, převážně pak pro obrábění karbidu wolframu. Dosahovaná drsnost povrchu obrobene plochy bývá lepší než $R_a = 0,5 \mu\text{m}$.
Mosaz	Relativně levný a dobře obrobitelný materiál, ale v porovnání s grafitem nebo mědí se rychleji opotřebovává. Použití zejména pro hloubení úzkých otvorů a pro vrtání a to zejména tam, kde opotřebení elektrody výrazně neovlivňuje rozměrovou přesnost.
Wolfram	Využití zejména u hloubení velmi malých otvorů o průměru do 2 mm.
Měď – grafit	Vhodný pro obrábění karbidu wolframu, je však 1,5 až 2krát dražší než samotný grafit.
Měď – wolfram a stříbro - wolfram	Velice drahý materiál (přibližně 18 až 100 krát dražší v porovnání s měděnou elektrodou). Použití zejména u elektrod na hluboké drážky. Tyto elektrody jsou vyráběny slinováním wolframu s mědí nebo stříbrem. V důsledku křehkosti tohoto materiálu však nemůže být po slinutí elektroda již dále tvarována.

Výhodou CNC řídicího systému je také schopnost kombinace tvaru a pohybu elektrody, čímž je možno vyrobit i velice složité tvarové dutiny. Příklad této kombinace je k vidění na obr. 9.

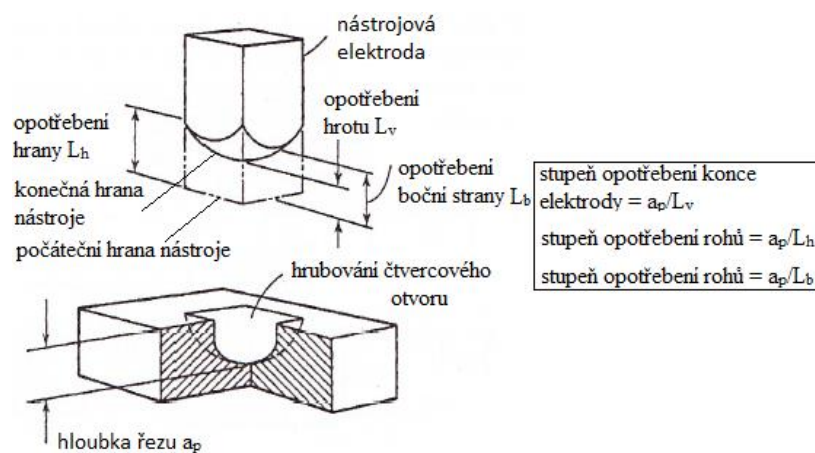


Obr. 9 Princip výroby děr se zakřivenou osou [4]. 1 – obrobek, 2 – nástrojová elektroda, 3 – pracovní pohyby nástrojové elektrody, a) kruhová elektroda, b) i c) obdélníková elektroda, d) osmihranná elektroda, e) kuželová elektroda, f) kulová elektroda.

1.6.1 Opatření elektrody

V padesátých letech dvacátého století se z důvodu malých znalostí této technologie, pohybovalo opotřebení okolo 40÷60 % z celkového objemu. Na rozdíl od současnosti, kde tato technologie umožňuje se dostat s opotřebením až k hodnotám 1 % (výše zmíněné „no-wear EDM“) [1].

Největším vlivem opotřebení elektrody je teplota tavení použitého materiálu. U elektrody se vyhodnocuje stupeň opotřebení boků, rohů a konce elektrody, které jsou znázorněny na obr. 10. Nejvýznamnějším faktorem z těchto opotřebení je kritérium opotřebení rohů, od něhož se určuje trvanlivost elektrody a vymezuje se tak délka časového pracovního úseku mezi úpravami [3].



Obr. 10 Charakteristika opotřebení nástrojové elektrody [11].

U elektrod se rovněž stanovuje relativní opotřebení, které lze spočítat podle vztahu (1).

Výpočet relativního opotřebení nástrojové elektrody [1]:

$$m_V = \frac{V_E}{V_M} \cdot 100\% \quad (1)$$

kde: m_V [-] - relativní opotřebení nástrojové elektrody,

V_E [mm³] - úbytek objemu elektrody,

V_M [mm³] - úbytek obráběného materiálu.

K opotřebení elektrod dochází vlivem elektroerozivních účinků a vlastnostmi materiálu a to díky následujícím důvodům [1]:

- jako důsledek vysoké hustoty elektronů na povrchu výboje dochází k oddělování iontů nebo přímo celých částecek kovu,
- kolísání proudu výboje nebo vlivem polarity dochází k rozrušování povrchu elektrody,
- termickým vlivům (vysoká teploty při výboji nebo nepravidelný ohřev elektrody v průběhu výboje),
- mechanickým nárazům způsobených kavitací,
- mechanickým nárazům částecek oddělených od obráběného materiálu,
- díky nepříznivým pracovním podmínkám (nepříznivé proudění dielektrika, vysoká hustota proudu),
- důsledkem chyb v materiálu elektrody (pórovitost nebo struktura materiálu).

Před stanovením rozměrů elektrod pro požadované rozměry dutiny je třeba vzít v potaz následující parametry [4]:

- velikost pracovní mezery (volena z podkladů dodávaných výrobcem stroje),
- požadovaná drsnost povrchu (dána funkcí pracovních parametrů generátoru a tvarové chyby vzniklé např. hrubováním),
- tloušťku narušení obrobeného povrchu (význam jen při velkých energiích výbojů),

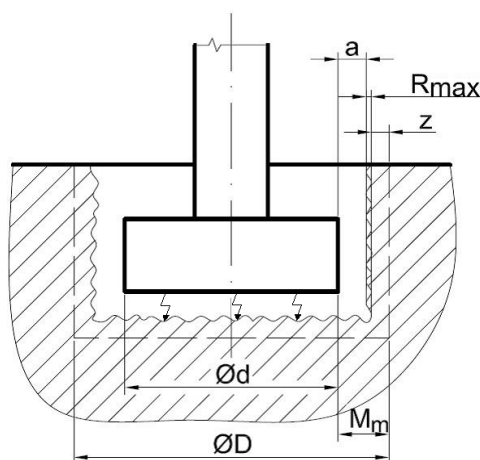
- minimální hodnotu, o kterou musí být nástrojová elektroda menší (při výrobě dutiny) například pro hrubovací elektrody,
- pro výrobu ostrých rohů je nutné zohlednit korekci nástrojové elektrody.

Příklad stanovení rozměru hrubovací elektrody pro hloubení dutiny kruhového tvaru je uveden ve vztahu (2), popis jednotlivých parametrů je na obr. 11. Při určování rozměru dokončovací elektrody se již nebere v potaz tloušťky narušeného povrchu a požadované drsnosti obrobeneho povrchu. Tyto hodnoty v porovnání s hodnotou velikosti pracovní mezery jsou zanedbatelně malé, jelikož se pracuje s výboji o nižší energii impulsů. Rozměr pro dokončovací elektrodu pro výrobu dutiny kruhového tvaru je uveden ve vztahu (3).

Výpočet rozměru hrubovací elektrody pro dutinu kruhového tvaru [4]:

$$d_{hrub} = D - 2 \cdot (a + R_{max} + z_p) = D - 2 \cdot M_m \quad (2)$$

- kde: d_{hrub} [mm] - průměr hrubovací nástrojové elektrody,
 D [mm] - požadovaný průměr dutiny,
 a [mm] - velikost pracovní mezery (GAP),
 R_{max} [μm] - požadovaná drsnost obrobeneho povrchu,
 z_p [μm] - tloušťka narušeného povrchu,
 M_m [mm] - minimální hodnota, o kterou musí být nástroj menší.



Obr. 11 Charakteristika opotřebení nástrojové elektrody [4, 6].

Výpočet rozměru dokončovací elektrody pro dutinu kruhového tvaru [4]:

$$d_{dok} = D - 2 \cdot a \quad (3)$$

kde: d_{dok} [mm] - průměr dokončovací nástrojové elektrody.

1.7 Dielektrická kapalina

Dielektrická kapalina, která tvoří pracovní prostor, má vliv na vznik elektrojiskrového výboje. Toto prostředí zajišťuje izolaci mezi elektrodami, zabraňuje tepelnému ovlivnění obráběného materiálu, odvádí teplo, ohraničuje výbojový kanál, odplavuje částice z kráterů a zabraňuje vylučování uhlíku na povrchu elektrod, čímž zabraňuje zkratům. Dielektrikum jako takové pak musí plnit následující požadavky [3]:

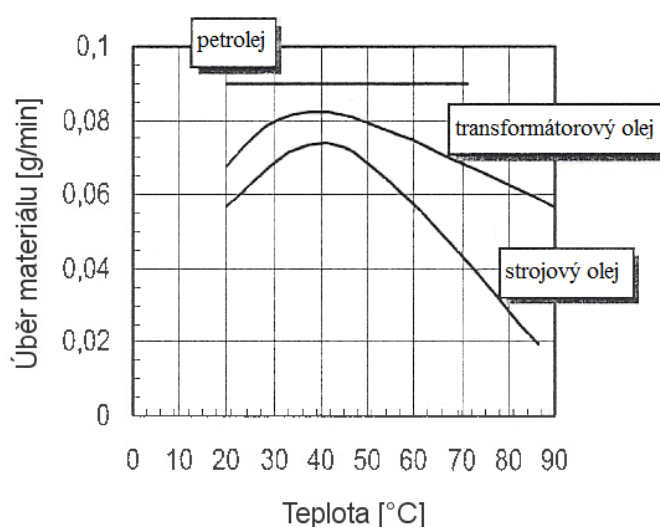
- mít nízkou viskozitu a dobrou smáčivost proto, aby byla rychle obnovena schopnost izolace po výboji,
- zabezpečovat potřebnou vzdálenost mezi elektrodami tak, aby přechod proudu mezi těmito elektrodami vyústil ve výboj,
- být chemicky neutrální tak, aby zamezovala vzniku koroze,
- musí mít dostatečnou vysokou teplotu hoření, tak aby nedošlo ke vzplanutí,
- plnit funkci chlazení elektrod a odebrání částic obráběného materiálu,
- při práci s ní nesmí vznikat žádné jedovaté výpary ani nepříjemný zápach,
- zabezpečovat spolehlivý odvod (odplavení) erozních zplodin z okolí obráběného materiálu,
- nesmí podléhat chemickým změnám, musí být stálá,
- v neposlední řadě musí být lehce vyrobitelná a levná.

Jako dielektrická kapalina se nejčastěji používají nevodivé látky, méně pak polovodivé. K nejčastěji používaným látkám se řadí například petrolej, vodní sklo, solné roztoky, vzduch a voda. V průmyslových podmínkách se nejvíce používá petrolej, z důvodu dobré kontroly výboje.

V poslední době se používá deionizovaná destilovaná voda, která splňuje požadavky na požární bezpečnost, požadavek na nízkou cenu a nízkou viskozitu a zároveň chemicky

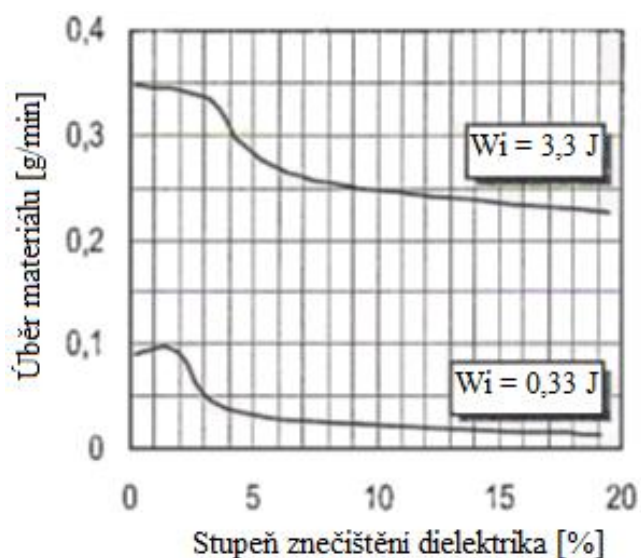
nereaguje s uhlíkem. Deionizovaná destilovaná voda má nízkou vodivost a doporučuje se používat pro jemné obrábění.

Pro tři různé druhy dielektrické kapaliny byl vytvořen graf závislosti teploty na úběru materiálu (viz obr. 12), velikost elektrody byla ponechána stejná. Z grafu je patrné, že stabilitu procesu, která je požadována při přesném obrábění nejlépe splňuje petrolej. Tento druh dielektrické kapaliny (petrolej) napomáhá udržovat konstantní úběr materiálu i přes navyšující se teplotu. Je rovněž zřejmé, že transformátorový a strojový olej s rostoucí teplotou ztrácí svoje vlastnosti a nedosahují tak požadovaného úběru materiálu.



Obr. 12 Vliv teploty dielektrika na úběr materiálu [1].

Úlohou dielektrika je mimo jiné odplavování nečistot vzniklých po erozi. Tyto nečistoty bývají pevné a plynné. Pevné částice se zachycují na opracovaném materiálu obrobku a také na pracovní elektrodě, zde vytváří izolační vrstvu a zabraňují tak elektroerozi. S plynnými částicemi je to stejné, pokud nejsou rychle odstraněny. Proto je důležité pro správný průběh procesu elektroeroze, aby dielektrikum bylo přiváděno v co největší čistotě. Obnovení čistoty dielektrika je dosahováno pomocí kazetového filtru, který zachytává částice o velikosti $2 \div 5 \mu\text{m}$. Závislost znečištění dielektrika na úběru materiálu je pak možno vidět na obr. 13, ve kterém jsou vyobrazeny dva příklady energií výboje, pro stejnou elektrodu. Energie jednotlivého výboje lze spočítat podle vzorce (4). Z grafu vyplývá, že přibližně do 2% znečištění se účinnost výrazně nemění. Již ale při znečištění 2 až 4 % je pak účinnost, zaznamenaná pomocí úběru materiálu, snížena o 30 až 40 % (převážně u výbojů s menší energií) [1].



Obr. 13 Vliv teploty dielektrika na úběr materiálu [1].

Výpočet energie jednotlivého výboje [7]:

$$W_i = \int_0^{T_v} U_{(t)} \cdot I_{(t)} dt \quad (4)$$

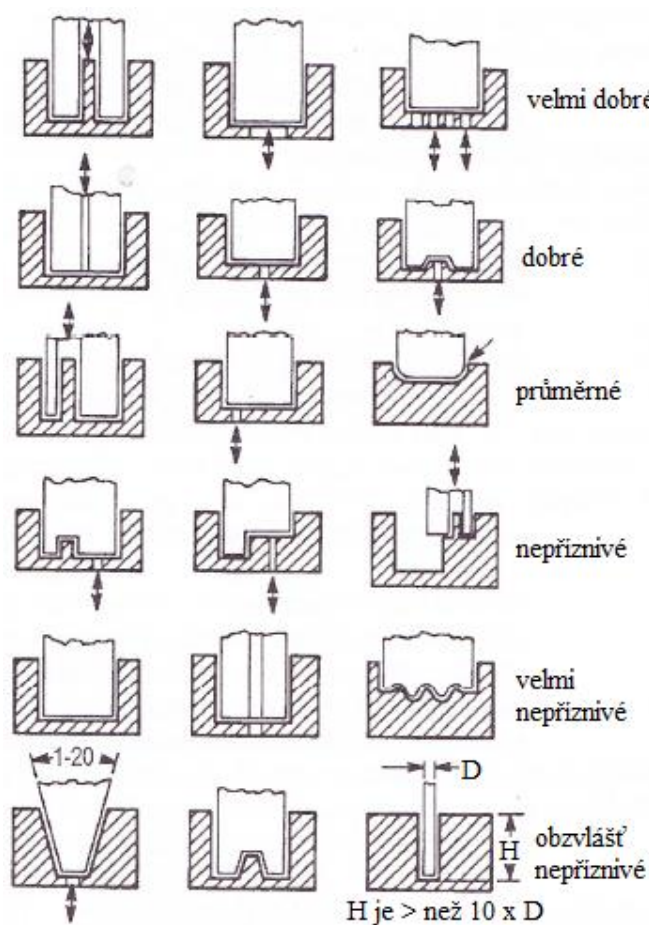
kde: W_i [J] - energie výboje,

U [V] - napětí,

I [A] - proud,

T_v [μ s] - perioda výboje.

Způsoby proudění dielektrické kapaliny klasifikoval Bengner roku 1973. Vliv proudění na tvar elektrody klasifikoval do 6 skupin (viz obr. 14). Nejmodernější elektroerozivní stroje používají techniku vysokofrekvenčních vibrací pro zlepšení činnosti odplavení nečistot [1].



Obr. 14 Bengerova klasifikace proudění dielektrické kapaliny při elektrojiskrovém obrábění [1].

1.8 Kvalita, struktura a geometrie opracovaného povrchu

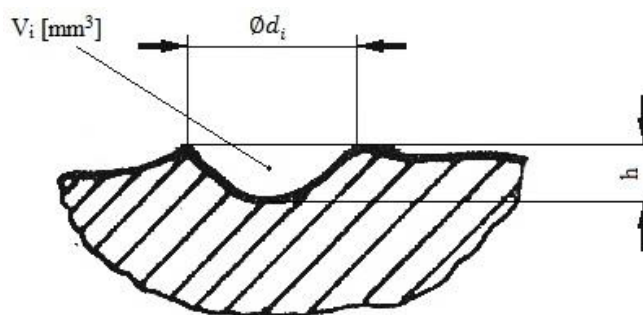
Povrch po elektroerozivním obrábění má náhodný izotropní profil, který je tvořen charakteristickými krátery (viz obr. 15) na rozdíl od povrchu získaného klasickými metodami obrábění jako jsou např. frézování nebo soustružení. Rozměry těchto kráterů, $\varnothing d_i$ a hloubka h jsou ovlivněny velikostí přivedené energie a délkou výboje. Poměr mezi hloubkou kráteru a průměrem kráteru bývá v rozmezí 1:5 až 1:50. Hloubka kráteru nabývá nejčastěji hodnot okolo $2,5 \mu\text{m}$ a průměr okolo $12,5 \mu\text{m}$. Velikost těchto rozměrů se se zvýšenou energií výboje mohou navýšit až na hodnoty: $12 \mu\text{m}$ pro hloubku a $60 \mu\text{m}$ pro průměr. Tyto rozměry pak mají zásadní vliv na jakost opracovaného povrchu a tedy i účinnost procesu a přesnost rozměrů [1, 7]. Typické profily kráterů, pro různé materiály při stejných podmínkách, jsou zobrazeny na obr. 16. Z profilů je patrné, že největší kráter vzniká u hořčíku, naopak nejmenší u molybdenu.

Množství odebraného materiálu je úměrné energii výboje a lze jej vypočítat podle vztahu (5).

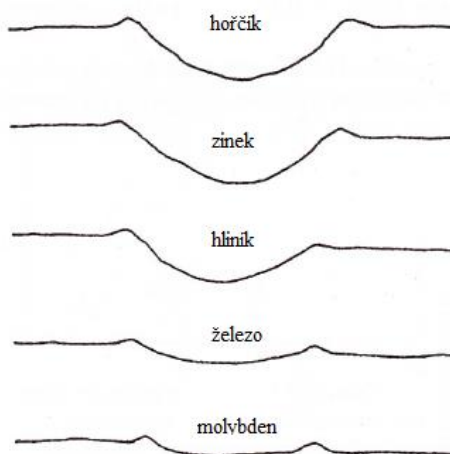
Výpočet množství odebraného materiálu [7]:

$$V_i = K \cdot W_i \quad (5)$$

- kde: V_i [mm³] - objem odebraného materiálu,
 K [-] - součinitel úměrnosti pro anodu a katodu,
 W_i [J] - energie výboje.



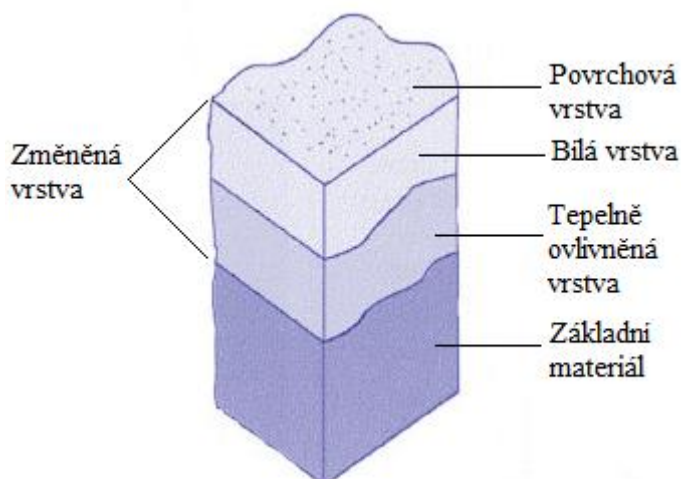
Obr. 15 Profil kráteru vzniklého po elektroerozivním obrábění [7].



Obr. 16 Typické profily kráterů pro různé materiály za stejných podmínek výboje [12].

Krátery vznikají vlivem plastických deformací, v kráteru i jeho okolí, a vlivem tepla. Natavená vrstva lehce reaguje s materiálem, k tomuto jevu dochází při chemickém rozkladu dielektrika. Touto reakcí dochází ke vzniku stabilní austenitické vrstvy. Následným rychlým ochlazením způsobeným dielektrickou kapalinou je povrch zakalen.

Účinkem vysokých lokálních teplot dochází ke vzniku metalurgických poruch v povrchové vrstvě, jako jsou trhliny, dvojčatění nebo vznik charakteristické Bílé vrstvy. Tato tzv. Bílá vrstva je velmi tvrdá (okolo 60 HRC) a v porovnání se základním materiálem má rozdílné vlastnosti. Rozložení jednotlivých vrstev povrchu je zobrazeno na obr. 17 [1, 8, 12].



Obr. 17 Rozložení jednotlivých vrstev povrchu [13].

U elektroerozivního hloubení se erodovaná plocha (u většiny výrobců hloubicích strojů) označuje normou VDI 3400. Pro přepočítání na střední aritmetickou úchylku R_a lze použít vztah (6) nebo také zde přiloženou tab. 2.

Výpočet VDI drsnosti povrchu pro elektroerozivní obrábění [14, 15]:

$$VDI = 20 \cdot \log(10 \cdot R_a) \quad (6)$$

kde: VDI [-] - drsnost povrchu používaná u elektroerozivního obrábění,

R_a [μm] - střední aritmetická úchylka profilu.

Tab. 2 Převod drsnosti povrchu mezi parametrem R_a a drsností VDI [14, 15].

VDI [-]	4	6	12	15	18	19	20	21	22	23	24
R_a [μm]	0,16	0,2	0,4	0,56	0,8	0,9	1	1,12	1,26	1,4	1,6
VDI [-]	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	42
R_a [μm]	1,8	2	2,2	2,5	2,8	3,2	3,5	4	4,5	5	12,6

2 GAMARTIS

Jedná se o mladou firmu, založenou v únoru roku 2015. Tato firma našla své uplatnění především v kusové a malosériové výrobě.

2.1 Zaměření firmy

Mezi hlavní náplně firmy patří výroba vstřikovacích forem pro plastové součástky typu:

- technické dílce z materiálu PA a PBT atd.,
- pohledové dílce s elektroerozivními nebo chemickými dezény,
- elektrotechnické dílce s kovovými zálisky a konektory,
- funkční díly s vysoce leštěným povrchem, čiré nebo i transparentní.

Další specifické formy:

- tlakové licí formy,
- formy pro více komponentní (2K) vstřikování technických i pohledových plastových dílců,
- formy pro speciální technologie.

Firma Gamartis, s.r.o. také realizuje výrobu prototypových plastových výlisků. Spolupracují s partnerskou lisovnou, ve které jsou prováděny testy forem a rovněž i výroba malosériových plastových dílců. Jedná se zejména o prototypy typu:

- optické díly,
- technické plastové díly i se zálisky,
- pohledové kryty elektrozařízení.

2.2 Strojový park

K výrobě výše zmíněných dílců dochází frézováním, soustružením, vyhlubováním, vrtáním a broušením. Všechny stroje, kterými firma disponuje, jsou vypsány v přehledné tabulce v příloze 1.

2.3 Volba stroje

Daná zakázka bude vyráběna na hloubicím stroji Oscarmax S500, který je zobrazen na obr. 18. Elektrody pro tuto hloubičku budou vyráběny na CNC frézce CT - 600, která je na obr. 19. Technické parametry těchto strojů jsou uvedeny v příloze 2 a 3.



Obr. 18 Hloubicí stroj Oscarmax S500.



Obr. 19 CNC frézka CT – 600 používaná pro výrobu elektrod.

3 OBRÁBĚNÍ TVÁRNÍKU

Pro diplomovou práci byla zvolena obráběcí část výroby tvárníku do vstřikovací formy. Výkresová dokumentace tvárníku je v příloze 4. Výliskem z formy je držák clony, který je vyrobený z plastu PC makrolon. Správným nastavením držáku clony (zrcátek) je pak docílena správná barva, tvar a částečně i ostrost tlumeného světla.

3.1 Materiál 41 9552

Obráběná část formy - tvárník je z nástrojové oceli vhodné pro práci za tepla. Převod zvolené oceli napříč normami je uveden v tabulce 3. Složení legur v této oceli je pak uvedeno v tabulce 4.

Tab. 3 Normy oceli 1.2343 (41 9552) [16, 17].

Norma	Označení
ČSN	41 9552
ČSN staré označení	19 552
Německo DIN	X38CrMoV51
Francie AFNOR	Z38CDV5
Velká Británie BS	BH11
Itálie UNI	X37CrMoV51KU
Španělsko UNE	X37CrMoV5
USA AISI/SAE	H11
Japonsko JIS	SKD6

Tab. 4 Složení legur v oceli 1.2343 (41 9552) [18].

Značka oceli	Chemické složení [hm. %]							
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	P max.	S max.
DIN X38CrMoV51	0,36 – 0,42	0,3-0,5	0,9-1,2	4,8-5,5	1,1-1,4	0,25-0,5	0,03	0,03
ČSN 19 552	0,32-0,42	0,2-0,5	0,8-1,2	4,5-5,5	1,1-1,6	0,35-0,6	0,03	0,03

Tato ocel má velmi dobrou prokalitelnost, vysokou pevnost za tepla, odolnost proti popouštění a velmi dobrou houževnatost. Rovněž vykazuje velmi dobrou odolnost proti vzniku trhlin za tepelné únavy a malou citlivost na prudké změny teploty. Ocel je vhodná pro tepelné zpracování i pro pevnosti přes 1800 MPa a na nástroje chlazené vodou, dobře tvárná za tepla a také dobře obrobitelná ve stavu žíhaném na měkko [18].

Materiál 41 9552 je vhodný použít na výrobu pevných i pohyblivých dílů formy jádra i jiných částí forem pro tlakové lití. Dále například na nástroje pro tváření za tepla jako jsou velmi namáhané malé a středně velké zápustky a vložky zápustek. Ocel je často využívána také pro matrice, trny, čelisti a razníky zejména s vysokou pevností přes 1800 MPa chlazené vodou. Mezi další nespočet využití se řadí např.: velmi namáhané průtláčnický nebo i pro malé a středně velké nože nůžek [18].

4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Postup výroby tvárníku se skládá z operací hloubení, pro které musí být vyrobeny elektrody, a frézování. Tyto operace jsou voleny v logickém pořadí a dohromady tvoří technologický postup (viz tab. 5). V technologickém postupu jsou rovněž uvedena měřidla a pomůcky, za pomoci kterých bude výroba kontrolována.



Tab. 5 Technologický postup výroby vložky.



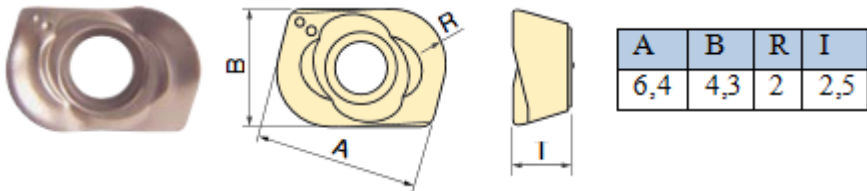
Diplomová práce		Technologický postup		Datum	11. 4. 2016
Vyhotovil	Drmela Radim	Název součástky	Tvárník	Číslo listu	1/1
Číslo operace	Název stroje, zařízení, pracoviště	Dílna	Popis práce v operaci	Pomůcky, měřidla	
01/01	CNC Mikron VCE 1200 Pro	Obrobna	CNC úhlování	-	
02/02	VR4		Vrtání chlazení	-	
03/03	CNC Mikron VCE 1200 Pro		Hrubování kontury	-	
			Vrtání závitů, odjehlení	-	
04/04	Oddělení technické kontroly	Kontrola	Kontrola vrtaných děr	Pohledově, posuvné měřítko	
			Kontrola hrubování		
05/05	09913	Balírna	Balit, předat na expedici	-	
xx/xx	Externí kalení ve firmě Bodycote Brno, Tuřanka		Kalení na 50+2 HRC – kooperace	-	
06a/06a	BPH 20	Brusírna	Broušení na plocho	-	
07a/07a	SD 350 ZNC Oscarmax – drátořez	Obrobna	Vrtání děr pro EDM	-	
08/08	CNC Mikron VCE 1200 Pro		Dokončení tvaru	-	
06b/06b	CNC CT-600		Frézovat elektrody A01-A10	-	
07b/07b	3D souřadnicové měřicí centrum Aberlink Axiom too HS 900 CNC	Kontrola	Kontrola rámečku elektrody	Posuvné měřítko	
			Kontrola rozměrů elektrod	-	
09/09	Oscarmax S500 C-osa EROWA	Obrobna	Hloubit elektrody	Elektrody	
10/10	3D souřadnicové měřicí centrum Aberlink Axiom too HS 900 CNC	Kontrola	Kontrola tvárníku	-	
11/11	09626	Balírna	Čistit, konzervovat, balit	-	
			Předat na expedici	-	


4.1 Nástrojové listy

Všechny nástroje, které jsou použity při CNC frézování na stroji Mikron, jsou uvedeny v nástrojovém listu v tabulce 6. Pro výrobu elektrod na CNC frézce CT-600 jsou nástroje uvedeny v tabulce 7. Nástroje jsou v návodkách značeny písmenem T, tato označení se shodují s umístěním ve stroji. Frézka pro výrobu elektrod má zásobník na 18 nástrojů, CNC Mikron pak až pro 22 nástrojů. Monolitní frézy pro obrábění grafitu jsou objednávány u firmy PM-Tech, kdežto VBD s diamantovým povlakem pro obrábění grafitu u firmy LMT Fette. Všechny schématické obrázky nástrojů jsou čerpány z literatury těchto firem.

Tab. 6 Nástroje list CNC Mikron VCE 1200 Pro.



Diplomová práce		Nástrojový list – frézování Micron			Datum	9. 4. 2016
Vyhotovil	Drmela Radim	Název součástky	Výroba elektrod	Číslo listu	1/3	
Pozice nástroje	Posuvová rychlost [mm/min]		Průměr frézy [mm]	Objednávací číslo		
	Délka nástroje	Rádus špičky		Používané otáčky [min^{-1}]		
Znázornění, název nástroje, výrobce, cena						
T1	5000		52	AXMW 1403PN		
	-	1,5		1150		
VBD AXMW 1403PN (6 ks v hlavě po dvou břitech), Arno katalog [19], 310 Kč						
						
T2	5000		16	WPB 12 HF LCPK		
	-	geometrie HF		4500		
LMT – geometrie HF – Turbo [20], 531 Kč						
						

Diplomová práce		Nástrojový list – frézování Micron			Datum	9. 4. 2016								
Vyhotovil	Drmela Radim	Název součástky	Výroba elektrod	Číslo listu	2/3									
Pozice nástroje	Posuvová rychlost [mm/min]		Průměr frézy [mm]	Objednávací číslo										
	Délka nástroje	Rádus špičky		Používané otáčky [min ⁻¹]										
Znázornění, název nástroje, výrobce, cena														
T3	5000		10	WPB 10 HF LCPK										
	-	Geometrie HF		5000										
LMT – geometrie HF – Turbo [20], 533 Kč														
														
T4	2000		6	WPB 10 HF LCPK										
	-	Geometrie HF		6000										
LMT – geometrie HF – Turbo [20], 533 Kč														
														
T5	1000		3	40-6130-3/0,2-16										
	16	0,2		8500										
HAM monolit dvoubřítá toroidní fréza [21], 656 Kč														
T6	1000		4	40-6090-4-25										
	25	2		10000										
HAM monolitní dvoubřítá kulová fréza [21], 695 Kč														
T7	3000		12	EDMT070220R JX1020										
	-	2		3000										
Hitachi [22], 1495Kč														
 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>R</th> <th>I</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>6,4</td> <td>4,3</td> <td>2</td> <td>2,5</td> </tr> </tbody> </table>							A	B	R	I	6,4	4,3	2	2,5
A	B	R	I											
6,4	4,3	2	2,5											
T8	1000		6	40-6130-6/0,5-30										
	30	0,5		6500										
HAM monolitní dvoubřítá toroidní fréza [21], 695 Kč														
T9	1000		4	40-6090-4-25										
	25	2												
HAM monolitní dvoubřítá kulová fréza [21], 695 Kč														

Diplomová práce		Nástrojový list – frézování Micron			Datum	9. 4. 2016
Vyhotovil	Drmela Radim	Název součástky	Výroba elektrod	Číslo listu	3/3	
Pozice nástroje	Posuvová rychlost [mm/min]		Průměr frézy [mm]	Objednávací číslo		
	Délka nástroje	Rádus špičky		Používané otáčky [min ⁻¹]		
Znázornění, název nástroje, výrobce, cena						
T10	350		2	40-6090-2-10		
	10	1		12000		
HAM monolitní dvoubřitá kulová fréza [21], 675 Kč						
T11	200		1	40-6090-1-6		
	6	0,5		18000		
HAM monolitní dvoubřitá kulová fréza [21], 675 Kč						
T12	1000		12	WPB 12 AF 10 LCHK		
	-	1		5500		
LMT – geometrie AF [20], 675 Kč						
						
T13	500		6	40-1161-6-50		
	50	0		6000		
HAM monolitní dvoubřitá kulová fréza [21], 311 Kč						

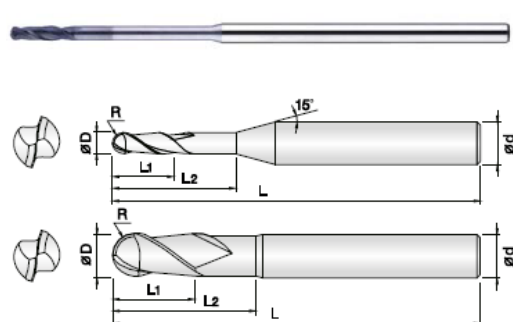
Nástroje s geometrií HF - „Turbo“ jsou chlazeny vzduchem (jedná se o nástroje T2, T3, T4), stejně tak VBD od firmy Hitachi (nástroj T7). Ostatní nástroje jsou chlazeny procesní kapalinou od firmy Ekolube.

Tab. 7 Nástrojový list CNC frézky CT-600 pro výrobu elektrod.

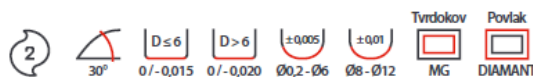
Diplomová práce		Nástrojový list – pro výrobu elektrod			Datum	22. 4. 2016
Vyhotovil	Drmela Radim	Název součástky	Výroba elektrod	Číslo listu	1/4	
Pozice nástroje	Posuvová rychlost [mm/min]		Průměr frézy [mm]	Objednávací číslo		
	Délka nástroje	Rádus špičky		Používané otáčky [min ⁻¹]		
Znázornění, název nástroje, výrobce						
T6	5000		12	WPB 12 CF 10 LCN10M		
	-	1		12000		
VBD 12R1 DIA, LMT FETTE [23]						
						
T7	3000		6	WPB 06 CF 05 LCN10M [22]		
	-	0,5		16000		
Nanamold DIA 6R0,5, LMT FETTE						
						

Diplomová práce	Nástrojový list – pro výrobu elektrod			Datum	22. 4. 2016
Vyhotovil	Drmela Radim	Název součástky	Výroba elektrod	Číslo listu	2/4
Pozice nástroje	Posuvová rychlost [mm/min]		Průměr frézy [mm]	Objednávací číslo	
	Délka nástroje	Rádus špičky		Používané otáčky [min ⁻¹]	
Znázornění, název nástroje					
T8	2000		4	2DBE-040-250-060-5	
	60	2		12000	

dvoubřítá kulová fréza s diamantovým povlakem pro obrábění grafitu



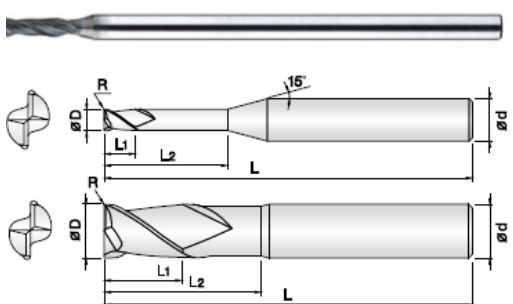
- Určeno pro grafit, karbon, vyztužené plasty a ZrO₂
- Vysoká odolnost proti opotřeby díky CVD diamantovému povlaku
- Široký sortiment rádiusů a vyložení pro optimální výběr nástroje



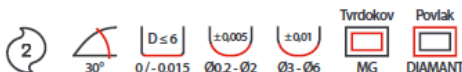
D [mm]	R [mm]	L2 [mm]	L1 [mm]	L [mm]	d h6	Kč/ks
4	2	25	5	60	4	645

T9	2000		3	2DCR-030-002-200	
	80	0,2		13000	

dvoubřítá toroidní fréza s diamantovým povlakem pro obrábění grafitu



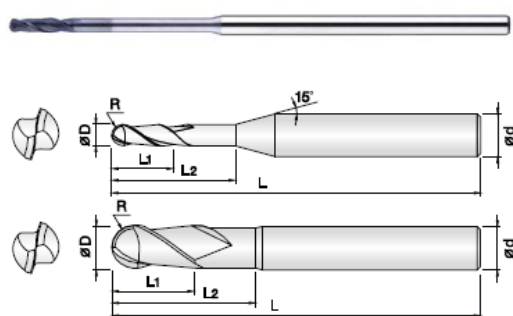
- Určeno pro grafit, karbon, vyztužené plasty a ZrO₂
- Vysoká odolnost proti opotřeby díky CVD diamantovému povlaku
- Široký sortiment rádiusů a vyložení pro optimální výběr nástroje



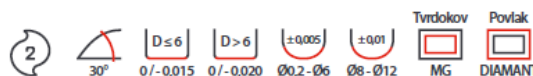
D [mm]	R [mm]	L2 [mm]	L1 [mm]	L [mm]	d h6	Kč/ks
3	0,2	20	4	80	4	840

T11	2000		2	2DBE-020-300-S04	
	80	1		18000	

dvoubřítá kulová fréza s diamantovým povlakem pro obrábění grafitu



- Určeno pro grafit, karbon, vyztužené plasty a ZrO₂
- Vysoká odolnost proti opotřeby díky CVD diamantovému povlaku
- Široký sortiment rádiusů a vyložení pro optimální výběr nástroje

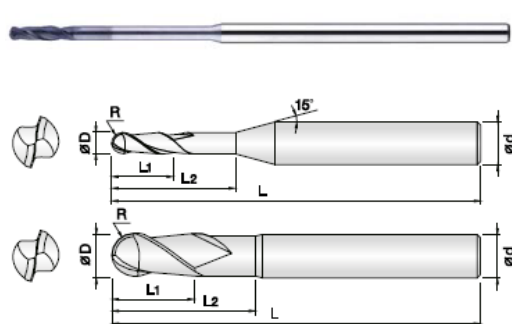


D [mm]	R [mm]	L2 [mm]	L1 [mm]	L [mm]	d h6	Kč/ks
2	1	30	6	80	4	651

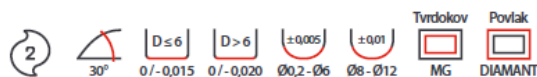
Diplomová práce		Nástrojový list – pro výrobu elektrod			Datum	22. 4. 2016														
Vyhotovil	Drmela Radim	Název součástky	Výroba elektrod	Číslo listu	3/4															
Pozice nástroje	Posuvová rychlost [mm/min]		Průměr frézy [mm]	Objednávací číslo																
	Délka nástroje	Rádus špičky		Používané otáčky [min ⁻¹]																
Znázornění, název nástroje																				
T12	1000		1	2DBE-010-250-S04																
	80	0,5		22000																
dvoubřitá kulová fréza s diamantovým povlakem pro obrábění grafitu																				
			<ul style="list-style-type: none"> ▶ Určeno pro grafit, karbon, vyztužené plasty a ZrO₂ ▶ Vysoká odolnost proti opotřebení díky CVD diamantovému povlaku ▶ Široký sortiment rádiusů a vyložení pro optimální výběr nástroje 																	
			<div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">2</div> <div style="text-align: center;"> 30° </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D ≤ 6</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D > 6</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">±0,005</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">±0,01</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Tvrdočkov</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Povlak</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0/-0,015</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0/-0,020</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ø0,2-Ø6</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ø8-Ø12</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">MG</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">DIAMANT</div> </div>																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>D [mm]</th> <th>R [mm]</th> <th>L2 [mm]</th> <th>L1 [mm]</th> <th>L [mm]</th> <th>d h6</th> <th>Kč/ks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,5</td> <td>25</td> <td>3</td> <td>80</td> <td>4</td> <td>651</td> </tr> </tbody> </table>							D [mm]	R [mm]	L2 [mm]	L1 [mm]	L [mm]	d h6	Kč/ks	1	0,5	25	3	80	4	651
D [mm]	R [mm]	L2 [mm]	L1 [mm]	L [mm]	d h6	Kč/ks														
1	0,5	25	3	80	4	651														
T13	800		0,6	2DBE-006-060-S04																
	45	0,3		22000																
dvoubřitá kulová fréza s diamantovým povlakem pro obrábění grafitu																				
			<ul style="list-style-type: none"> ▶ Určeno pro grafit, karbon, vyztužené plasty a ZrO₂ ▶ Vysoká odolnost proti opotřebení díky CVD diamantovému povlaku ▶ Široký sortiment rádiusů a vyložení pro optimální výběr nástroje 																	
			<div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">2</div> <div style="text-align: center;"> 30° </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D ≤ 6</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D > 6</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">±0,005</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">±0,01</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Tvrdočkov</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Povlak</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px; margin-top: 5px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0/-0,015</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0/-0,020</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ø0,2-Ø6</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ø8-Ø12</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">MG</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">DIAMANT</div> </div>																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>D [mm]</th> <th>R [mm]</th> <th>L2 [mm]</th> <th>L1 [mm]</th> <th>L [mm]</th> <th>d h6</th> <th>Kč/ks</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,6</td> <td>0,3</td> <td>6</td> <td>2</td> <td>45</td> <td>4</td> <td>743</td> </tr> </tbody> </table>							D [mm]	R [mm]	L2 [mm]	L1 [mm]	L [mm]	d h6	Kč/ks	0,6	0,3	6	2	45	4	743
D [mm]	R [mm]	L2 [mm]	L1 [mm]	L [mm]	d h6	Kč/ks														
0,6	0,3	6	2	45	4	743														
T15	1000		1	využity zásoby - přebroušení																
	20	0		22000																
vybroušená fréza z již nepoužitelných kulových fréz Ø 1 - „ostrá“																				

Diplomová práce	Nástrojový list – pro výrobu elektrod			Datum	22. 4. 2016
Vyhotovil	Drmela Radim	Název součástky	Výroba elektrod	Číslo listu	4/4
Pozice nástroje	Posuvová rychlost [mm/min]		Průměr frézy [mm]	Objednací číslo	
	Délka nástroje	Rádus špičky		Používané otáčky [min ⁻¹]	
Znázornění, název nástroje					
T17	1000		1	2DBE-010-150-S04	
	60	0,5		19000	

dvoubřitá kulová fréza s diamantovým povlakem pro obrábění grafitu



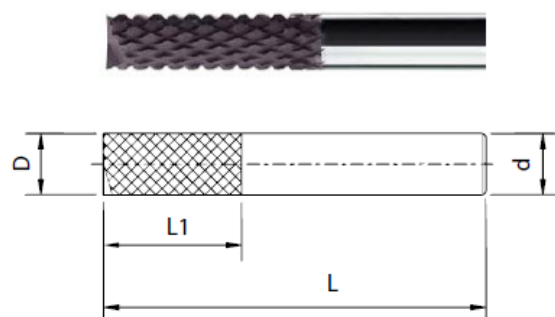
- Určeno pro grafit, karbon, vyztužené plasty a ZrO₂
- Vysoká odolnost proti opotřebení díky CVD diamantovému povlaku
- Široký sortiment rádiusů a vyložení pro optimální výběr nástroje



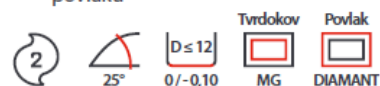
D [mm]	R [mm]	L2 [mm]	L1 [mm]	L [mm]	d h6	Kč/ks
1	0,5	15	3	60	4	595

T18	6000		10	2DKU-100-290-078	
	78	0		10000	

Hrubovací fréza – tzv. „kukuřice“ [24]



- Určeno pro hrubování grafitu
- Vysoká rychlost odebrání materiálu
- Vysoká odolnost proti opotřebení díky CVD diamantovému povlaku



D [mm]	L1 [mm]	L [mm]	d h6 [mm]	Kč/ks
10	29	78	10	3335

4.2 Výrobní návodky

Výrobní návodky slouží k podrobnějšímu popsání operací z technologického postupu včetně volby nástroje z nástrojového listu (viz kapitola 4.1). Návodky jsou zhotoveny pomocí programu Delcam PowerMill 2015 (odtud pochází i obrázky) a obsahují již zmíněný nástroj, posuvovou rychlost (stanovena podle převodníku viz obr. 20), rozměry polotovaru, jednotkový strojní čas, minimální hodnotu Z osy pro dané dráhy a přídatky v osách X, Y a Z. Používaný převodník odpovídá vztahu (7). U každé elektrody je zhotoven rámeček vysoký 7 mm, pro lepší seřízení hloubicího stroje. Výrobní návodka

pro frézování na CNC stroji Mikron je v tabulce 8 pro frézování před kalením a v tabulce 9 pro frézování po kalení. Návodky pro výrobu elektrod jsou pak v tabulkách 10 až 19 (pro elektrody A01 až A10). Jednotkový vedlejší čas je spočten podle vztahu (8), přičemž se jedná o výjezd nástroje do bodu výměny. Při každé výměně nástroje dochází ke změření jeho korekce v ose Z, tato časová prodleva je rovněž zahrnuta ve vedlejším strojním čase.



Obr. 20 Převodník používaný pro zjištění posuvové rychlosti.

Výpočet posuvové rychlosti [25]:

$$v_f = n \cdot z \cdot f_z \quad (7)$$

- kde: v_f [mm/min] - posuvová rychlost,
 n [min⁻¹] - otáčky vřetene řezného nástroje,
 z [-] - počet zubů řezného nástroje,
 f_z [mm] - posuv na zub.

Výpočet vedlejšího strojního času [26]:

$$t_{AVi} = \left(\frac{L_{RX}}{v_{fRXYZ}} + \frac{L_{RY}}{v_{fRXYZ}} + \frac{L_{RZ}}{v_{fRXYZ}} + t_{KS} \right) \cdot p_{vým} = \left(\frac{\sum L_R}{v_{fRXYZ}} + t_{KS} \right) \cdot p_{vým} \quad (8)$$

- kde: t_{AVi} [min] - vedlejší strojní čas jednotlivých výrobních operací,
 L_{RX} [mm] - délka rychloposuvu v ose X,
 L_{RY} [mm] - délka rychloposuvu v ose Y,

- L_{RZ} [mm] - délka rychloposuvu v ose Z,
 t_{KS} [min] - čas pro změření korekce Z jednotlivého nástroje (0,1 min),
 $p_{vým}$ [-] - počet měření sondou (odpovídá počtu nástroje),
 v_{FRXYZ} [mm/min] - rychloposuv v osách X, Y a Z.

Čas na výměnu nástroje pro jednu operaci (frézování) nebo pro operaci výroby jedné elektrody je spočten podle vztahu (9). Celkový čas potřebný pro výrobu jedné elektrody je spočten podle vztahu (10), kde se nezapočítává čas na přípravu polotovaru elektrody, jelikož k této přípravě dochází souběžně s obráběním jiné elektrody. Některé elektrody jsou vyráběny ve větším množství z důvodu zrcadlení nebo jako hrubovací elektrody (s jinou podmínkou). Čas na výměnu VBD, čas na výměnu monolitních fréz v tepelném upínači a rovněž čas potřebný pro nastavení stroje byl experimentálně stanoven na 20 % z celkového času výroby každé elektrody.

Výpočet času pro výměnu nástroje pro jednu elektrodu [27]:

$$t_{AXi} = t_{vým} \cdot p_{vým} \quad (9)$$

- kde: t_{AXi} [min] - čas na výměnu nástroje pro jednu operaci,
 $t_{vým}$ [min] - čas potřebný pro jednu výměnu nástroje,
 $p_{vým}$ [-] - počet výměn nástroje (odpovídá počtu měření sondou).

$$t_{AV01} = \left(\frac{450}{15000} + \frac{300}{15000} + \frac{200}{15000} + 0,1 \right) \cdot 8 = 1,307 \text{ min}$$

$$t_{AX01} = 0,3 \cdot 8 = 2,400 \text{ min}$$

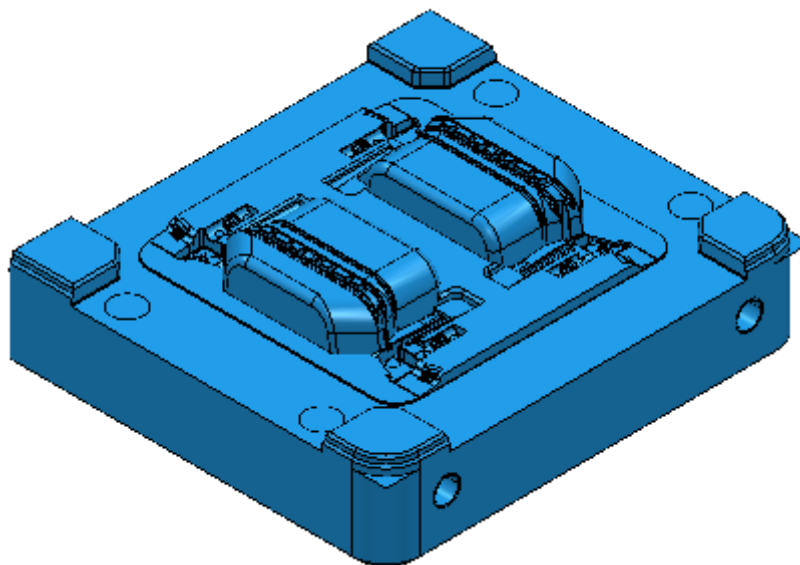
Výpočet času potřebného pro výrobu jedné elektrody [27]:

$$t_{Ai} = \left(\sum t_{ASi} + t_{AXi} + t_{AV} \right) \cdot k_{nas} \quad (10)$$

- kde: t_{Ai} [min] - celkový jednotkový čas práce jedné elektrody,
 k_{nas} [-] - koeficient zohledňující nastavení stroje včetně výměny VBD a monolitních fréz v tepelném upínači (120 % výrobního času).

$$t_{A01} = (32,198 + 1,307 + 2,400) \cdot 1,2 = 43,086 \text{ min}$$

Tab. 8 Výrobní návodka pro operaci 03/03 - frézování na CNC stroji Mikron.



Výrobní návodka – operace 03/03 frézování

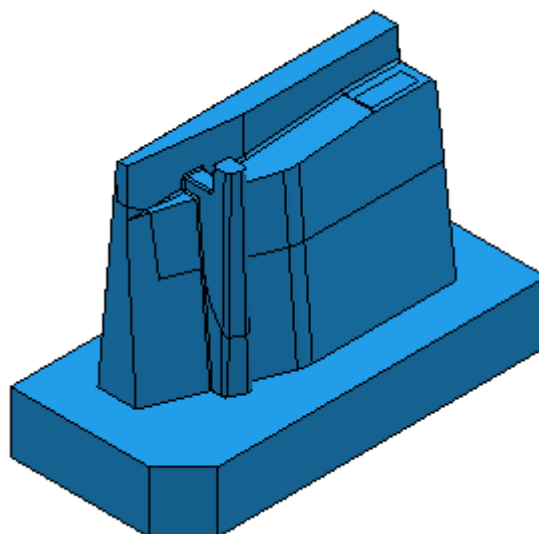
Diplomová práce	Polotovár	X_{\min}	-92,5	Y_{\min}	-165	Z_{\min}	0	Vložka
		X_{\max}	92,5	Y_{\max}	0	Z_{\max}	55,106	
Úsek – název dráhy nástroje	CNC Mikron		v_f	min Z	t_{AS}	Výrobní nástroj		
	Přídavek XY [mm]	Přídavek Z [mm]	[mm/min]	[mm]	[min]			
Hrubování kontury a1	0,4	0,4	5000	35,743	9,800	T1		
Hrubování kontury b1	0,4	0,4	5000	36,404	4,483	T2		
Hrubování kontury c1	0,4	0,4	5000	36,404	1,650	T3		
Plošný offset c2	0,4	0,4	5000	36,404	1,467	T3		
Hrubování kontury d1	0,4	0,4	2000	35,869	4,950	T4		
Plošný offset d2	0,4	0,4	2000	36,404	0,150	T4		
Hrubování kontury e1	0,4	0,4	1000	36,404	0,683	T5		
Hladina Z f1	0,4	0,4	1000	35,968	18,367	T6		
Rastr f2	0,4	0,4	1000	35,845	6,617	T6		
					Σ 48,167			

Jednotlivé úseky frézování operace 03/03 jsou vyobrazeny v příloze 5 a operace 08/08 v příloze 6. Obrázky byly pořízeny v programu Delcam PowerMill 2015.

Tab. 9 Výrobní návodka pro operaci 08/08 - frézování na CNC stroji Mikron.

Výrobní návodka – operace 08/08 frézování								
Diplomová práce	Polotovary	X _{min}	-92,5	Y _{min}	-165	Z _{min}	0	Vložka
		X _{max}	92,5	Y _{max}	0	Z _{max}	55,106	
Úsek – název dráhy nástroje	CNC Mikron		v _f		min Z	t _{AS}	Výrobní nástroj	
	Přídavek XY [mm]	Přídavek Z [mm]	[mm/min]	[mm]	[min]			
Plošný offset g1	1	0,1	3000	37,08	3,450	T7		
Hladina Z g2	0,1	0,1	3000	37,366	8,550	T7		
Rastr g3	0,1	0,1	3000	37,08	4,683	T7		
Hladina Z h1	0,1	0,1	1000	35,6	18,083	T8		
Rastr h2	0,1	0,1	1000	35,569	17,333	T8		
Hladina Z i1	0,1	0,1	1000	35,518	17,650	T9		
Rastr i2	0,1	0,1	1000	35,495	16,733	T9		
Hladina Z j1	0,1	0,1	350	33,15	204,751	T10		
Rastr j2	0,1	0,1	350	33,112	51,809	T10		
Hladina Z k1	0,1	0,1	200	37,72	492,335	T11		
Rastr k2	0,1	0,1	200	37,706	91,000	T11		
Plošný offset l1	0,5	0	1000	36,98	19,783	T12		
Hladina Z l2	0	0,02	1000	37,017	50,300	T12		
Rastr l3	0,02	0	1000	36,98	73,717	T12		
Hladina Z m1	0	0,02	1000	35,518	20,183	T8		
Rastr m2	0,02	0	1000	35,47	11,833	T8		
Hladina Z n1	0	0,02	500	37,007	14,534	T13		
Roh perem n2	0	0	500	36,98	0,634	T13		
Hladina Z o1	0	0,02	350	43,781	16,143	T10		
Rastr o2	0,02	0	350	39,849	33,380	T10		
Hladina Z p1	0	0,02	200	44,52	112,085	T11		
Rastr p3	0,02	0	200	46,513	20,085	T11		
						Σ 1299,054		

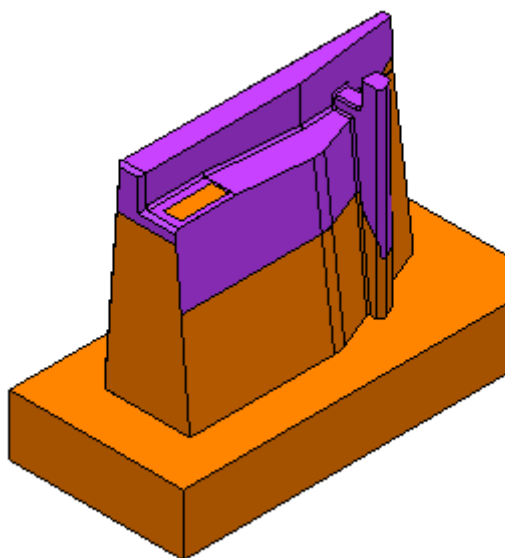
Tab. 10 Výrobní návodka pro výrobu elektrody A01.



Výrobní návodka – pro elektrodu

Diplomová práce	Polotovár	X _{min}	-21	Y _{min}	-10	Z _{min}	-7	Elektroda: A01
		X _{max}	21	Y _{max}	10	Z _{max}	22,988	
Úsek – název dráhy nástroje	CNC frézka: CT-600		v _f	min Z	t _{AS}	Výrobní nástroj		
	Přídavek XY [mm]	Přídavek Z [mm]	[mm/min]	[mm]	[min]			
Hrubování kontury	0,2	0,2	6000	0	0,800	T18		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	22,147	0,700	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	5000	-6,999	4,950	T6		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	18,296	0,183	T6		
Plošný offset	0	-0,2	5000	-0,2	0,183	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	3000	1,097	0,783	T7		
Rastr	-0,2	-0,2	3000	17,457	0,100	T7		
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	0,697	2,283	T9		
Rastr	-0,2	-0,2	2000	17,487	0,267	T9		
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	-0,15	1,617	T11		
Rastr	-0,2	-0,2	2000	17,615	0,083	T11		
Hladina Z	-0,2	-0,2	1000	5,035	9,033	T12		
Rastr	-0,2	-0,2	1000	17,408	1,500	T12		
Hladina Z	-0,2	-0,2	800	10,349	8,583	T13		
Rastr	-0,2	-0,2	800	17,428	0,850	T13		
Rastr	-0,2	-0,2	1000	17,335	0,283	T15		
						Σ 32,198		

Tab. 11 Výrobní návodka pro výrobu elektrody A02.



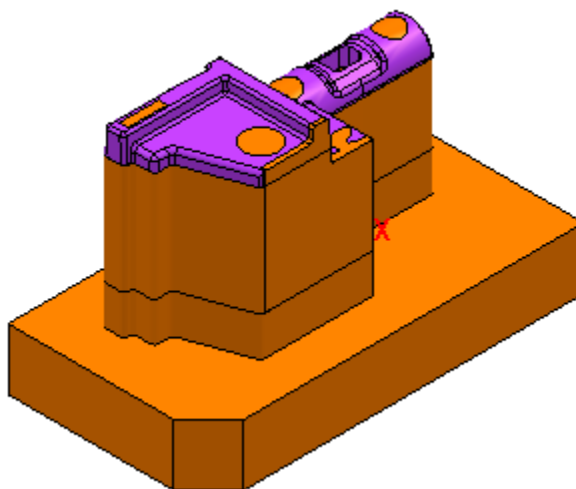
Výrobní návodka – pro elektrodu

Diplomová práce	Polotovár	X_{\min}	-21	Y_{\min}	-10	Z_{\min}	-7	Elektroda: A02	
		X_{\max}	21	Y_{\max}	10	Z_{\max}	22,988		
Úsek – název dráhy nástroje	CNC frézka: CT-600	v_f		$\min Z$	t_{AS}	Výrobní nástroj			
	Přídavek XY [mm]	Přídavek Z [mm]	[mm/min]	[mm]	[min]				
Hrubování kontury	0,2	0,2	6000	0	0,783	T18			
Rastr	-0,2	-0,2	5000	22,147	0,700	T6			
Hladina Z	-0,2	-0,2	5000	-6,999	4,950	T6			
Rastr	-0,2	-0,2	5000	18,295	0,183	T6			
Plošný offset	0	-0,2	5000	-0,2	0,183	T6			
Hladina Z	-0,2	-0,2	3000	1,097	0,766	T7			
Rastr	-0,2	-0,2	3000	17,458	0,100	T7			
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	-0,103	2,700	T9			
Rastr	-0,2	-0,2	2000	17,488	0,267	T9			
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	-0,15	1,617	T11			
Rastr	-0,2	-0,2	2000	17,792	0,067	T11			
Hladina Z	-0,2	-0,2	1000	3,076	9,883	T12			
Rastr	-0,2	-0,2	1000	17,407	1,500	T12			
Hladina Z	-0,2	-0,2	800	10,909	8,017	T13			
Rastr	-0,2	-0,2	800	17,43	0,717	T13			
Rastr	-0,2	-0,2	1000	17,48	0,250	T15			
						Σ 32,683			

$$t_{AV02} = 1,307 \text{ min}$$

$$t_{AX02} = 2,400 \text{ min}$$

Tab. 12 Výrobní návodka pro výrobu elektrody A03.



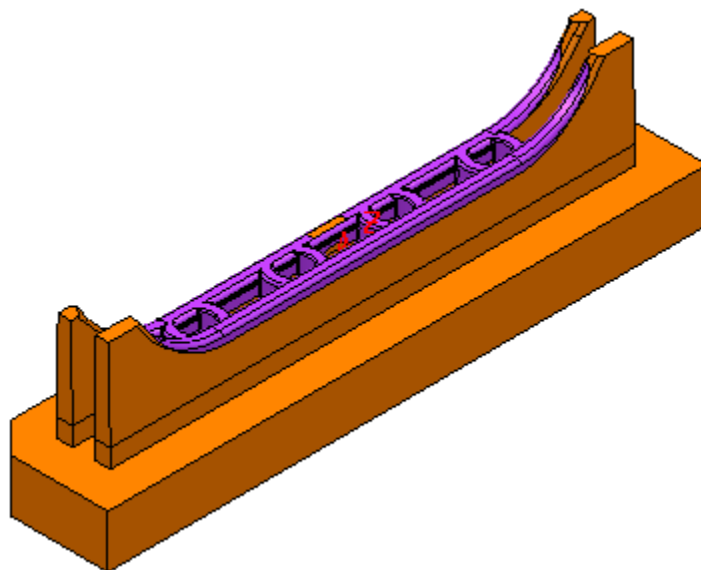
Výrobní návodka – pro elektrodu

Diplomová práce	Polotovár	X_{\min}	-21,5	Y_{\min}	-11,5	Z_{\min}	-7	Elektroda: A03
		X_{\max}	21,5	Y_{\max}	11,5	Z_{\max}	20,041	
Úsek – název dráhy nástroje	CNC frézka: CT-600		v_f		$\min Z$	t_{AS}	Výrobní nástroj	
	Přídavek XY [mm]	Přídavek Z [mm]	[mm/min]	[mm]	[min]			
Hrubování kontury	0,2	0,2	6000	0	0,667	T18		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	19,498	0,567	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	5000	-6,999	4,650	T6		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	14,479	0,500	T6		
Plošný offset	0	-0,2	5000	-0,2	0,233	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	3000	-0,114	1,600	T7		
Rastr	-0,2	-0,2	3000	14,625	0,200	T7		
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	-0,128	2,100	T8		
Rastr	-0,2	-0,2	2000	14,185	0,400	T8		
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	1,315	4,933	T11		
Rastr	-0,2	-0,2	2000	14,476	0,950	T11		
Hladina Z	-0,2	-0,2	1000	11,547	8,633	T17		
Rastr	-0,2	-0,2	1000	11,818	1,783	T17		
Hladina Z	-0,2	-0,2	800	11,774	3,300	T13		
Rastr	-0,2	-0,2	800	15,106	0,300	T13		
						$\Sigma 30,816$		

$$t_{AV03} = 1,143 \text{ min}$$

$$t_{AX03} = 2,100 \text{ min}$$

Tab. 13 Výrobní návodka pro výrobu elektrody A04.



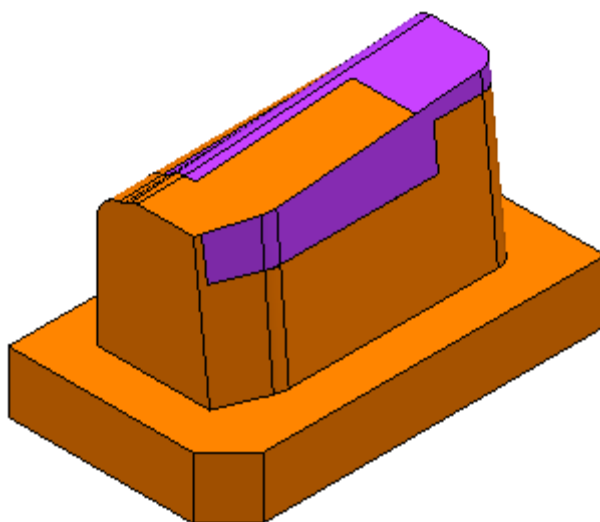
Výrobní návodka – pro elektrodu

Diplomová práce	Polotovár	X_{\min}	-40	Y_{\min}	-8,5	Z_{\min}	-7	Elektroda: A04
		X_{\max}	40	Y_{\max}	8,5	Z_{\max}	14,504	
Úsek – název dráhy nástroje	CNC frézka: CT-600		v_f	$\min Z$	t_{AS}	Výrobní nástroj		
	Přídavek XY [mm]	Přídavek Z [mm]	[mm/min]	[mm]	[min]			
Hrubování kontury	0,2	0,2	6000	0	1,217	T18		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	14,163	0,600	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	5000	-6,999	5,333	T6		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	6,731	1,217	T6		
Plošný offset	0	-0,2	5000	-0,2	0,217	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	-0,138	8,100	T9		
Rastr	-0,2	-0,2	2000	6,991	2,500	T9		
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	-0,162	4,667	T11		
Rastr	-0,2	-0,2	2000	6,653	0,800	T11		
Hladina Z	-0,2	-0,2	1000	4,052	21,967	T17		
Rastr	-0,2	-0,2	1000	6,866	2,067	T17		
Hladina Z	-0,2	-0,2	800	4,487	17,517	T13		
Rastr	-0,2	-0,2	800	6,327	1,467	T13		
Σ 66,679								

$$t_{AV04} = 0,980 \text{ min}$$

$$t_{AX04} = 1,800 \text{ min}$$

Tab. 14 Výrobní návodka pro výrobu elektrody A05.



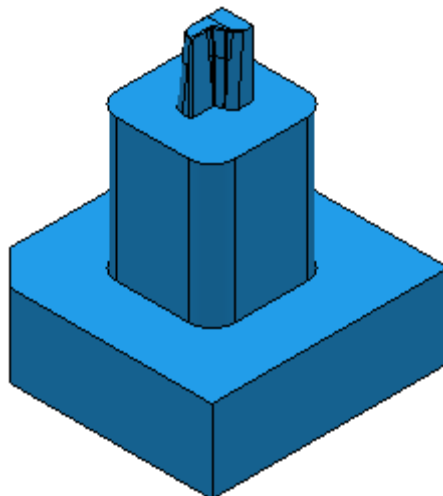
Výrobní návodka – pro elektrodu

Diplomová práce	Polotovar	X_{\min}	-21,5	Y_{\min}	-12,5	Z_{\min}	-7	Elektroda: A05
		X_{\max}	21,5	Y_{\max}	12,5	Z_{\max}	18,819	
Úsek – název dráhy nástroje	CNC frézka: CT-600			v_f	$\min Z$	t_{AS}	Výrobní nástroj	
	Přídavek XY [mm]	Přídavek Z [mm]	[mm/min]	[mm]	[min]			
Hrubování kontury	0,2	0,2	6000	0	0,667	T18		
Hladina Z	-0,2	-0,18	5000	-6,999	4,683	T6		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	12,504	1,500	T6		
Plošný offset	0	-0,2	5000	-0,2	0,183	T6		
						Σ 7,033		

$$t_{AV05} = 0,327 \text{ min}$$

$$t_{AX05} = 0,600 \text{ min}$$

Tab. 15 Výrobní návodka pro výrobu elektrody A06.



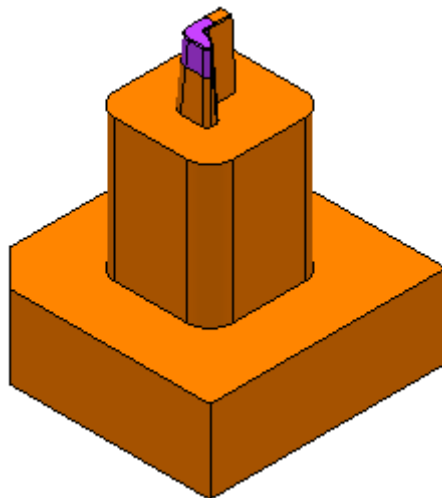
Výrobní návodka – pro elektrodu

Diplomová práce	Polotovar	X _{min}	-10	Y _{min}	-10	Z _{min}	-7	Elektroda: A06
		X _{max}	10	Y _{max}	10	Z _{max}	17,525	
Úsek – název dráhy nástroje	CNC frézka: CT-600		v _f		min Z	t _{AS}	Výrobní nástroj	
	Přídavek XY [mm]	Přídavek Z [mm]	[mm/min]	[mm]	[min]			
Hrubování kontury	0,2	0,2	6000	0	0,383	T18		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	17,047	0,217	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	5000	-6,999	2,617	T6		
Plošný offset	0	-0,2	5000	-0,2	0,117	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	3000	11,882	0,083	T7		
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	11,847	0,217	T9		
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	11,826	0,183	T11		
Hladina Z	-0,2	-0,2	1000	12,569	0,866	T17		
Hladina Z	-0,2	-0,2	800	12,166	1,583	T13		
Rastr	-0,2	-0,2	800	17,272	0,816	T13		
						Σ 7,082		

$$t_{AV06} = 1,143 \text{ min}$$

$$t_{AX06} = 2,100 \text{ min}$$

Tab. 16 Výrobní návodka pro výrobu elektrody A07.



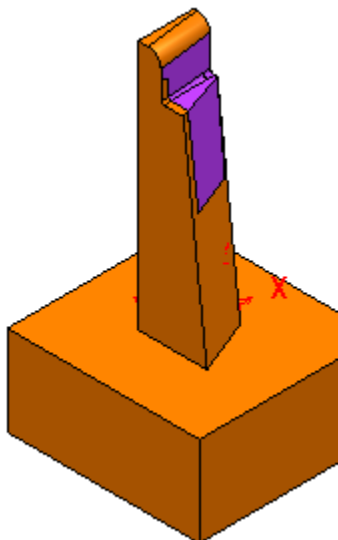
Výrobní návodka – pro elektrodu

Diplomová práce	Polotovar	X _{min}	-10	Y _{min}	-10	Z _{min}	-7	Elektroda: A07
		X _{max}	10	Y _{max}	10	Z _{max}	17,523	
Úsek – název dráhy nástroje	CNC frézka: CT-600		v _f	min Z	t _{AS}	Výrobní nástroj		
	Přídavek XY [mm]	Přídavek Z [mm]	[mm/min]	[mm]	[min]			
Hrubování kontury	0,2	0,2	6000	0	0,383	T18		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	17,03	0,217	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	5000	-6,999	2,617	T6		
Plošný offset	0	-0,2	5000	-0,2	0,117	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	3000	11,882	0,083	T7		
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	11,842	0,217	T9		
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	11,826	0,183	T11		
Hladina Z	-0,2	-0,2	1000	12,569	0,866	T17		
Hladina Z	-0,2	-0,2	800	12,166	1,583	T13		
Rastr	-0,2	-0,2	800	17,271	0,700	T13		
					Σ 6,966			

$$t_{AV07} = 1,143 \text{ min}$$

$$t_{AX07} = 2,100 \text{ min}$$

Tab. 17 Výrobní návodka pro výrobu elektrody A08.



Výrobní návodka – pro elektrodu

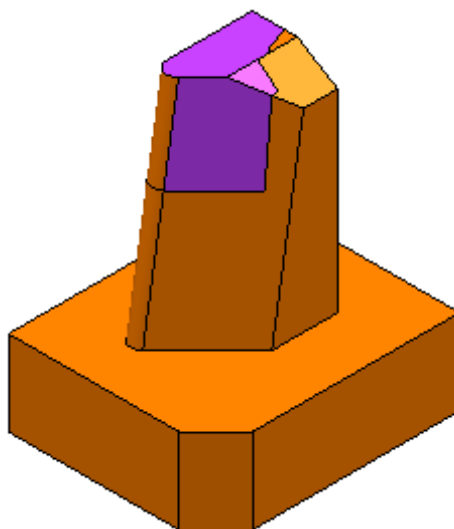
Diplomová práce	Polotovar	X_{\min}	-7	Y_{\min}	-7,5	Z_{\min}	-7	Elektroda: A08
		X_{\max}	7	Y_{\max}	7,5	Z_{\max}	19,5	
Úsek – název dráhy nástroje	CNC frézka: CT-600		v_f		min Z	t_{AS}	Výrobní nástroj	
	Přídavek XY [mm]	Přídavek Z [mm]	[mm/min]	[mm]	[min]			
Hrubování kontury	4	0	6000	0,02	0,417	T18		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	18,76	0,217	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	5000	15,001	0,283	T6		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	15,384	0,017	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	14,781	0,150	T11		
Hladina Z	-0,2	-0,2	1000	15,16	0,750	T17		
Rastr	-0,2	-0,2	1000	15,489	0,267	T17		
Hladina Z	-0,2	-0,2	800	15,531	0,867	T13		
Rastr	-0,2	-0,2	800	15,574	0,350	T13		
Hladina Z	-0,2	-0,2	5000	-6,999	1,933	T6		
Plošný offset	0	-0,2	5000	-0,2	0,100	T6		
						Σ 5,351		

Jelikož se jedná o tenkostěnnou elektrodu, je nejprve dodělána kontura frézami s malým průměrem (1 a 0,6) a až následně je vyfrézován rámeček.

$$t_{AV08} = 0,980 \text{ min}$$

$$t_{AX08} = 1,800 \text{ min}$$

Tab. 18 Výrobní návodka pro výrobu elektrody A09.



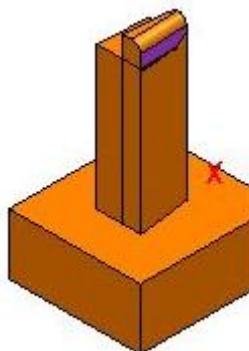
Výrobní návodka – pro elektrodu

Diplomová práce	Polotovar	X_{\min}	-10	Y_{\min}	-8,5	Z_{\min}	-7	Elektroda: A09
		X_{\max}	10	Y_{\max}	8,5	Z_{\max}	18,022	
Úsek – název dráhy nástroje	CNC frézka: CT-600		v_f	min Z		t_{AS}	Výrobní nástroj	
	Přídavek XY [mm]	Přídavek Z [mm]	[mm/min]	[mm]	[min]			
Hrubování kontury	0,2	0,2	6000	0	0,400	T18		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	15,532	0,383	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	5000	-6,999	2,600	T6		
Plošný offset	0	-0,2	5000	-0,2	0,117	T6		
						Σ 3,500		

$$t_{AV09} = 0,327 \text{ min}$$

$$t_{AX09} = 0,600 \text{ min}$$

Tab. 19 Výrobní návodka pro výrobu elektrody A10.



Výrobní návodka – pro elektrodu

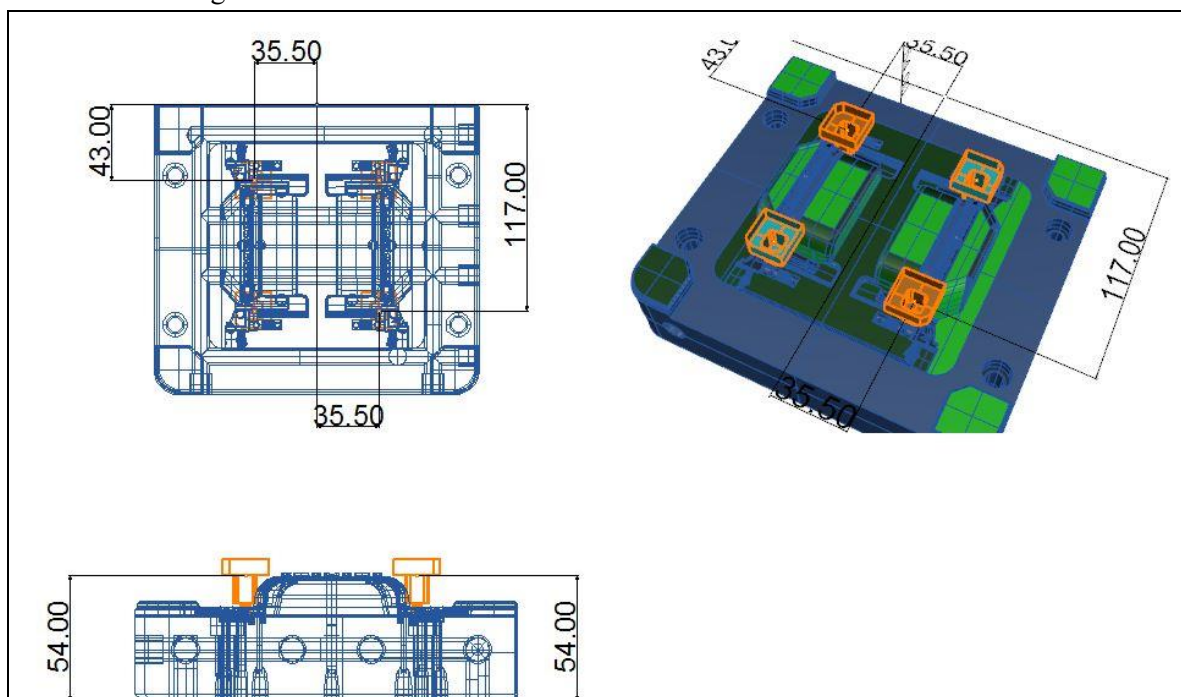
Diplomová práce	Polotovar	X_{\min}	-8	Y_{\min}	-7,5	Z_{\min}	-7	Elektroda: A10
		X_{\max}	8	Y_{\max}	7,5	Z_{\max}	18,931	
Úsek – název dráhy nástroje	CNC frézka: CT-600		v_f	min Z	t_{AS}	Výrobní nástroj		
	Přídavek XY [mm]	Přídavek Z [mm]	[mm/min]	[mm]	[min]			
Hrubování kontury	4	0	6000	0,02	0,400	T18		
Rastr	-0,2	-0,2	5000	17,739	0,25	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	5000	-6,999	2,367	T6		
Plošný offset	0	-0,2	5000	-0,2	0,100	T6		
Hladina Z	-0,2	-0,2	2000	15,893	0,050	T9		
Rastr	-0,2	-0,2	2000	15,855	0,017	T9		
						Σ 3,184		

$$t_{AV10} = 0,490 \text{ min}$$

$$t_{AX10} = 0,900 \text{ min}$$

Po vyhotovení elektrod dochází podle sledu v technologickém postupu k hloubení. Je vytvořena technologie hloubení (popis vytvoření technologie je vyobrazen v příloze 7). Po vytvoření technologií již nastává hloubení. Jednotlivé parametry hloubení v daných technologiích jsou vypsány v tabulkách 20-23. Obrázky z tabulek 20-23 týkající se nájezdu elektrody byly vytvořeny v programu Rhinoceros 5.0.

Tab. 20 Technologie hloubení 5420 a 5435.



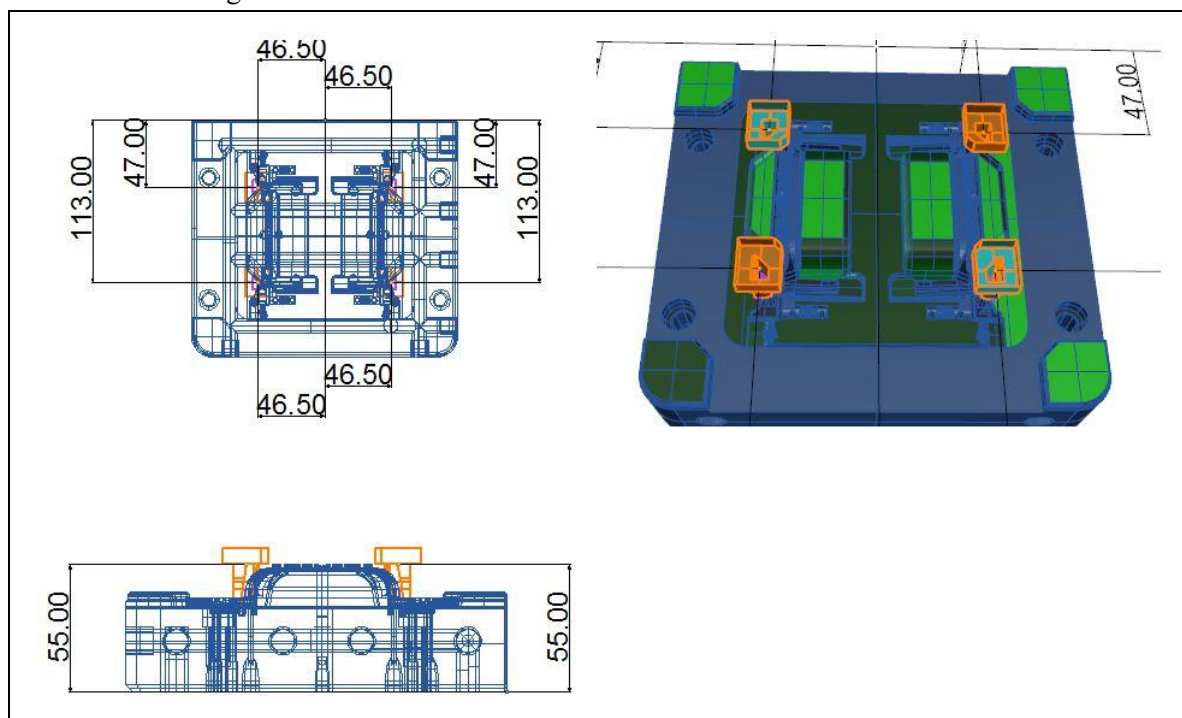
Nastavení hloubení elektrodou A06, zbylé elektrody používající tuto technologii jsou v příloze 8.

Výrobní návodka – hloubení

Diplomová práce	Elektrody používající tuto technologii		5420		A03	A06	A07	A08	A10
			5435		A03	A06	A07	-	
Hloubka [mm]	Oscarmax S500		X, Y		Z		T ON	T OFF	LV
	VDI	Ra [μm]	DZ [μm]	SR [μm]	DZ [μm]	SR [μm]	[μs]	[μs]	[A]
54,368	40	9,6	63	151	48	136	90	200	16
54,218	38	8,3	51	111	36	96	60	120	12
54,114	35	5,7	39	83	24	68	45	60	8
54,056	30	3,1	27	47	12	32	30	45	4
54,031	25	1,8	21	31	6	16	15	20	2

Parametry DZ a SR použité v tabulce jsou přídavky v jednotlivých osách. Tyto přídavky tvoří pak jiskrový výboj. Parametr LV je špičkový proud, kterým je obráběno.

Tab. 21 Technologie hloubení 5520.

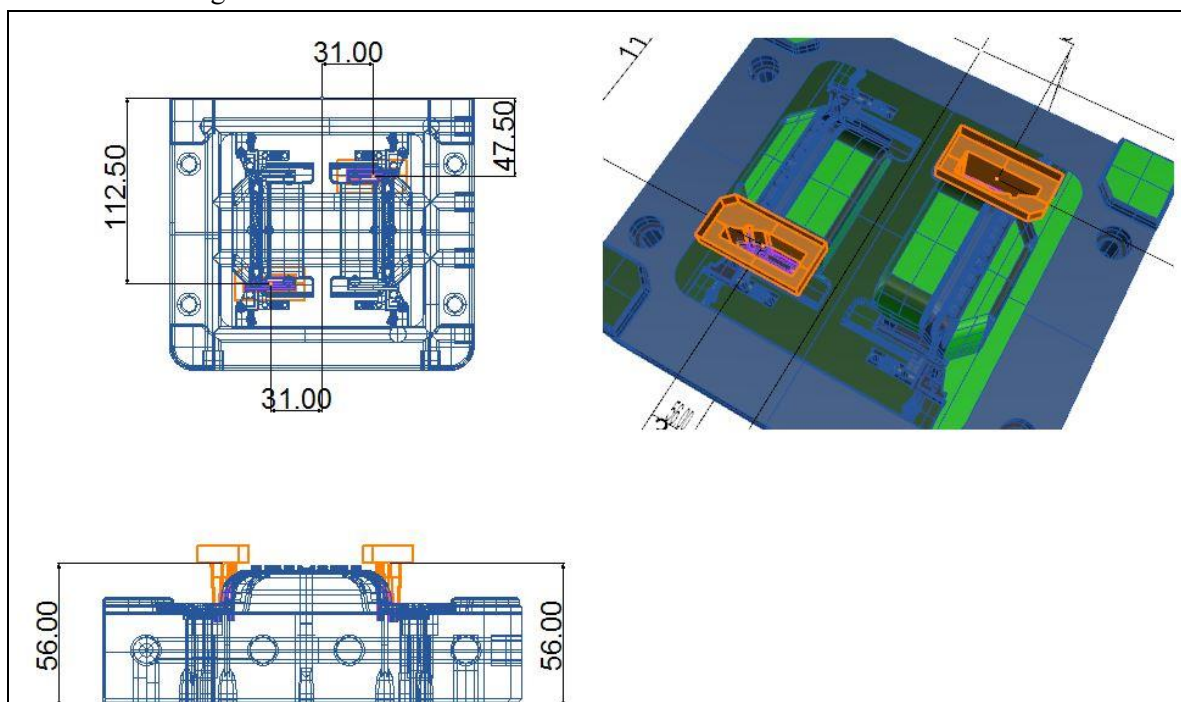


Nastavení hloubení elektrodou A09.

Výrobní návodka – hloubení

Diplomová práce	Elektrody používající tuto technologii						5520	A09	
	Oscarmax S500		X, Y		Z		T ON	T OFF	LV
Hloubka [mm]	VDI	Ra [μm]	DZ [μm]	SR [μm]	DZ [μm]	SR [μm]	[μs]	[μs]	[A]
55,343	40	9,6	63	151	48	136	90	500	16
55,193	38	8,3	51	111	36	96	60	300	12
55,089	35	5,7	39	83	24	68	45	60	8
55,056	30	3,1	27	47	12	32	30	45	4
55,031	25	1,8	21	31	6	16	15	20	2

Tab. 22 Technologie hloubení 5620 a 5635.

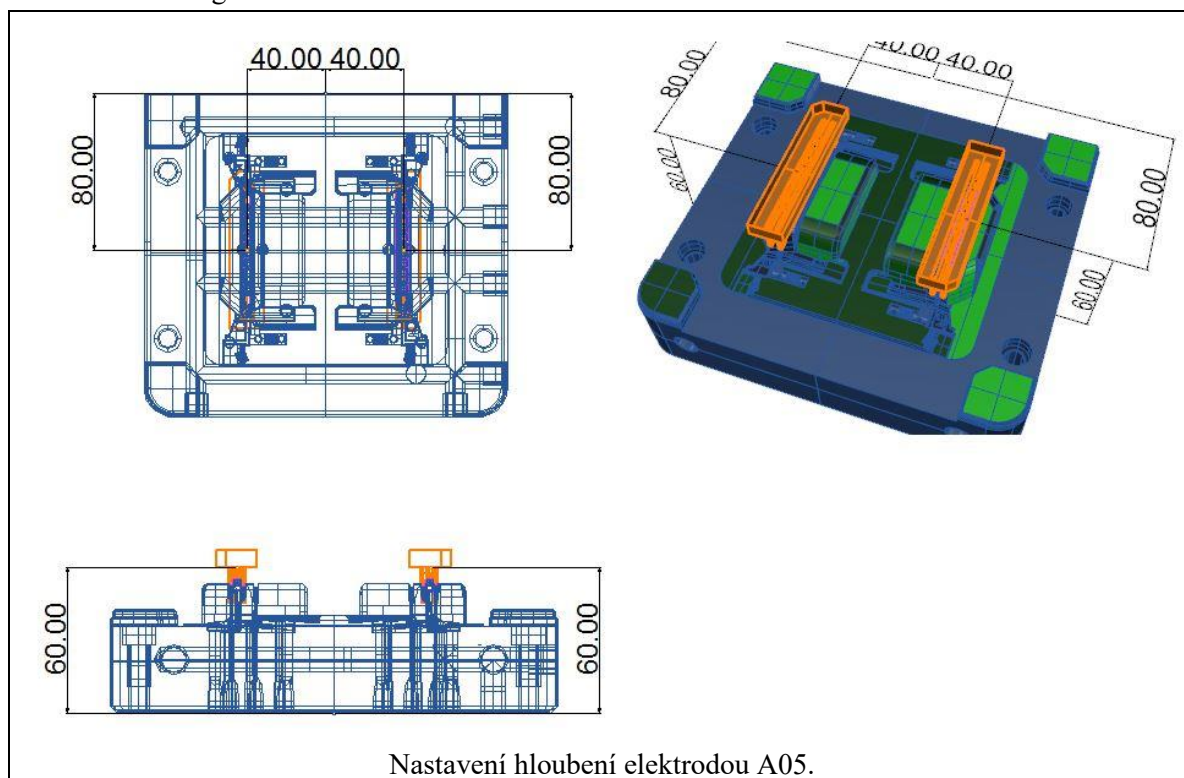


Nastavení hloubení elektrodou A01, zbylé elektrody používající tuto technologii jsou v příloze 9.

Výrobní návodka – hloubení

Diplomová práce	Elektrody používající tuto technologii						5620	A01	A02	A05
							5635	A01	A02	A05
Hloubka [mm]	Oscarmax S500		X, Y		Z		T ON	T OFF	LV	
	VDI	Ra [μm]	DZ [μm]	SR [μm]	DZ [μm]	SR [μm]	[μs]	[μs]	[A]	
56,223	35	5,7	39	83	24	68	45	60	8	
56,223	38	8,3	51	111	36	96	60	90	12	
56,119	35	5,7	39	83	24	68	45	60	8	
56,061	30	3,1	27	47	12	32	30	45	4	
56,036	25	1,8	21	31	6	16	15	20	2	

Tab. 23 Technologie hloubení 6020.



Výrobní návodka – hloubení

Diplomová práce	Elektrody používající tuto technologii						6020	A04	
	Oscarmax S500		X, Y		Z		T ON	T OFF	LV
Hloubka [mm]	VDI	Ra [μm]	DZ [μm]	SR [μm]	DZ [μm]	SR [μm]	[μs]	[μs]	[A]
60,368	40	9,6	63	151	48	136	90	200	16
60,218	38	8,3	51	111	36	96	60	90	12
60,114	35	5,7	39	83	24	68	45	60	8
60,056	30	3,1	27	47	12	32	30	45	4
60,031	25	1,8	21	31	6	16	15	20	2

Kontrola elektrod byla provedena na 3D souřadnicovém měřícím centru Aberlink Axiom too HS 900 CNC. Výkresová dokumentace k této kontrole rozměrů elektrod je vyobrazena v příloze 10. Kontrola rozměrů tvárníku, provedená na stejném měřícím centru jako kontrola elektrod, je vyobrazena v příloze 11.

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Následující kapitola je věnována technickému a ekonomickému zhodnocení výroby tvárníku do vstříkovací formy. Zhodnoceny jsou výhradně operace frézování tvárníku, frézování elektrod a hloubení tvárníku.

5.1 Technické zhodnocení

Pro výrobu tvárníku byl zvolen technologický postup takový, aby byly minimalizovány náklady (upřednostněno před časovým hlediskem). Byly navrženy technologie výroby pro firmu Gamartis Trade s.r.o. a její strojový park.

5.2 Ekonomické zhodnocení

V části ekonomického zhodnocení je kladen důraz na náklady spjaté s operacemi frézování tvárníku, frézování elektrod a hloubení tvárníku. Je zde rovněž zahrnut čas a náklady spjaté s navržením technologie.

5.2.1 Časové a nákladové zhodnocení

Jednotkové strojní časy jednotlivých nástrojů pro frézování jsou uvedeny v tabulce 10, kde je rovněž uvedena trvanlivost těchto nástrojů. Trvanlivosti jsou stanoveny s ohledem na již nabrané zkušenosti z minulých zakázek. Hrubovací hlava obsahuje šest kusů VBD, přičemž každá destička má dva břity, trvanlivost je dále počítána na celou hlavu. Obdobně je tomu i u hlavy pro plátky s označením „12R1“, které jsou ve frézovací hlavě tři. Trvanlivost hrubovací hlavy je pak brána jako celkový počet všech břitů na všech destičkách. Potřebný počet nástrojů v tabulce 24 a 26 je ponechán v desetinném čísle, jelikož se nástroje použijí pro další zakázky. Monolitní frézy je samozřejmě výhodnější dále brousit a použít je znovu přebroušené, tato kooperace přebroušení dále nebude zohledňována ve vybrané zakázce. Celkový čas potřebný k výrobě elektrod je v tabulce 25.

Tab. 24 Jednotkový strojní čas jednotlivých nástrojů – frézování na stroji Mikron.

Nástroj	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Jednotkový strojní čas [min]	9,800	4,483	3,117	5,100	0,683	24,984	16,683
Trvanlivost nástroje [min]	1260	450	360	300	360	360	270
Potřebný počet nástrojů	0,0078	0,0100	0,0087	0,0170	0,0019	0,0694	0,0618
Cena nástroje [Kč]	1860	531	533	533	656	695	1495
Náklady na daný nástroj úměrný k času [Kč]	14,51	5,31	4,64	9,06	1,25	48,23	92,391

Nástroj	T8	T9	T10	T11	T12	T13	
Jednotkový strojní čas [min]	67,432	34,383	306,083	715,505	143,800	15,168	
Trvanlivost nástroje [min]	360	330	270	210	420	30	
Potřebný počet nástrojů	0,1873	0,1042	1,1336	3,4072	0,3424	0,5056	
Cena nástroje [Kč]	695	695	675	675	675	311	
Náklady na daný nástroj úměrný k času [Kč]	130,17	72,42	765,18	2299,86	231,12	157,24	Σ 3831,38

Tab. 25 Výrobní časy jednotlivých elektrod.

Elektroda	Výrobní čas jedné elektrody t_A [min]	Množství elektrod	Výrobní čas elektrod [min]
A01	43,086	3	129,258
A02	43,668	3	131,004
A03	40,871	4	163,484
A04	83,351	2	166,702
A05	9,552	4	38,208
A06	12,390	4	49,560
A07	12,251	3	36,753
A08	9,757	1	9,757
A09	5,312	2	10,624
A10	5,489	1	5,489
			Σ 740,839

V tabulce 26 jsou sumarizovány časy jednotlivých nástrojů, je zde také spočten potřebný počet nástrojů pro danou zakázku. Trvanlivost jednotlivých nástrojů je stanovena dle již nasbíraných zkušeností z praxe. Za pomoci vypočtených jednotkových strojních časů jednotlivých nástrojů a stanovených trvanlivostí nástroje je spočteno množství nástrojů potřebné pro nákup (vztah 11). Množství nástrojů je ponecháno v desetinném čísle, jelikož jsou tyto nástroje používány pro výrobu elektrod znovu a neslouží tedy jen výhradně pro tuto zakázku.

Výpočet potřebného počtu nástrojů (nebo VBD) [28]:

$$P_{VBD} = \frac{t_{AS}}{x \cdot T} \quad (11)$$

kde: P_{VBD} [ks] - počet kusů VBD/monolitní frézy,
 x [-] - počet ostří VBD,
 T [min] - trvanlivost jednoho ostří.

$$P_{VBD} = \frac{132,218}{1 \cdot 1500} = 0,0881 \text{ ks}$$

Tab. 26 Jednotkový strojní čas jednotlivých nástrojů pro výrobu elektrod.

Nástroj	T6	T7	T8	T9	T11	T12	T13
Jednotkový strojní čas [min]	132,218	13,028	10	39,337	46,049	65,748	124,531
Trvanlivost nástroje [min]	1500	1080	600	300	240	180	150
Potřebný počet nástrojů	0,0881	0,0121	0,0167	0,1311	0,1919	0,3653	0,8302
Cena nástroje [Kč]	1574	1152	645	840	651	651	743
Náklady na daný nástroj úměrný k času [Kč]	138,67	13,94	10,77	110,12	124,93	237,81	616,84
Nástroj	T15	T17	T18				
Jednotkový strojní čas [min]	1,599	96,811	16,817				
Trvanlivost nástroje [min]	60	240	4800				
Potřebný počet nástrojů	0,0267	0,4034	0,0035				
Cena nástroje [Kč]	-	595	3335				
Náklady na daný nástroj úměrný k času [Kč]	-	240,02	11,68	Σ 1504,86			

Výpočet ukazatele využití materiálu [12, 29]:

$$U_m = \frac{m_o}{m_p} \cdot 100 \quad (12)$$

kde: U_m [%] - ukazatel využití materiálu,

m_o [kg] - váha obrobku,

m_p [kg] - váha polotovaru.

$$U_m = \frac{8,843}{13,33} \cdot 100 = 66,34 \%$$

Výpočet ztráty materiálu na jednici [12, 29]:

$$z_{mj} = m_p - m_o \quad (13)$$

kde: z_{mj} [kg] - ztráta materiálu.

$$z_{mj} = 13,33 - 8,843 = 4,487 \text{ kg}$$

Výpočet spotřeby procesní kapaliny u frézování:

$$s_{pk} = V_{pk} \cdot \frac{\check{c}_{pk}}{s \cdot h \cdot d + aut_{provoz}} \quad (14)$$

- kde: s_{pk} [l] - spotřeba procesní kapaliny Ekolube,
 V_{pk} [l] - množství procesní kapaliny Ekolube (2,4 l týdně),
 s [-] - směnnost,
 h [h] - počet hodin na směně,
 d [-] - počet pracovních dní v týdnu,
 aut_{provoz} [h] - automatický provoz stroje týdně (bez obsluhy) – ze statistik,
 \check{c}_{pk} [h] - čas provozu procesní kapaliny.

$$s_{pk} = 2,4 \cdot \frac{21,964}{2 \cdot 8 \cdot 5 + 20} = 0,527 \text{ l}$$

Nástroje s geometrií HF-„Turbo“ a nástroj Hitachi se chladí vzduchem.

$$N_{pk} = s_{pk} \cdot c_{lpk} \quad (15)$$

- kde: N_{pk} [Kč] - náklady na procesní kapalinu,
 c_{lpk} [Kč] - cena za litr procesní kapaliny.

$$N_{pk} = 0,527 \cdot 85 = 44,795 \text{ Kč}$$

Pro výpočet potřebného objemu grafitu je k polotovaru přidáno 10 mm v osách X, Y z důvodu vhodného umístění rámečku a v ose Z pak 15 mm z důvodu upínání. V tabulce 27 jsou vypsány potřebné objemy grafitu pro vyhotovení elektrod. Vybrané elektrody pro výrobu tvárníku je možno vidět na obrázku 21.

Tab. 27 Potřebné množství grafitu pro jednotlivé elektrody.

Elektroda	Polotovar XY+10, Z+15 [mm]	Množství elektrod	Objem polotovaru [mm ³]
A01	52 x 30 x 45	1 +2	210600
A02	52 x 30 x 45	1 +2	210600
A03	53 x 43 x 42	2 +2	382872
A04	90 x 27 x 37	1 +1	179820
A05	53 x 35 x 41	2 +2	304220
A06	30 x 30 x 40	2 +2	144000
A07	30 x 30 x 40	1 +2	108000
A08	24 x 25 x 42	1	25200
A09	30 x 27 x 40	1 +1	64800
A10	26 x 25 x 41	1	26650
			Σ 1 656 762



Obr. 21 Vybrané elektrody pro výrobu tvárníku.

Cena grafitu pro výrobu elektrod je 1250 Kč/dm³. Celková cena za grafit pak byla stanovena dle vztahu (16).

$$N_{gra} = V_{elektrod} \cdot c_{gra} \quad (16)$$

- kde: N_{gra} [Kč] - náklady na grafit,
 $V_{elektrod}$ [dm³] - objem všech polotovarů elektrod,
 c_{gra} [Kč] - cena za dm³ grafitu.

$$N_{gra} = 1,657 \cdot 1250 = 2071,25 \text{ Kč}$$

Jednotkové strojní časy potřebné pro hloubení jsou uvedeny v tabulce 28.

Tab. 28 Strojní časy elektrod potřebné pro hloubení.

Elektroda	Jednotkový strojní čas jednotlivých elektrod [min]	Jednotkový vedlejší čas [min]
A01	264,545	-
A02	264,545	
A03	264,545	
A04	357,136	
A05	92,591	
A06	39,682	
A07	39,682	
A08	52,909	
A09	52,909	
A10	26,456	
	Σ 1455	Σ 150

Z celkového jednotkového strojního času bylo 930 minut automatického provozu a 525 minut za dohledu obsluhy. Nastavení stroje, včetně naměření korekcí rámečků jednotlivých elektrod, bylo provedeno za 3h.

Veškeré níže použité sazby jsou uvedeny v přibližných hodnotách a slouží pouze jako ilustrace pro teoretické výpočty nákladů. Tyto ceny jsou však velmi pravděpodobné v ohledu ke strojírenským výrobám.

Hodinová sazba jednotlivých pracovišť včetně jejich času je shrnuta v tabulce 29.

Tab. 29 Cena účtovaná zákazníkovi - pracoviště včetně jejich času.

Tech. operace	Hodinová sazba [Kč]	Potřebný čas [h]	Cena [Kč]
CNC Micron	800	12,454+2	11563
CNC Micron aut. provoz	600	10	6000
CNC CT-600	700	12,35	8645
EDM	700	8,75+3	8225
EDM aut. provoz	600	15,5	9300
Měření	700	9	6300
Technolog – programátor	700	25	17500
Nástrojárna	500	4	2000
			Σ 69533

Náklady na pořízení materiálu 41 9552 činily 3809 Kč včetně dopravy pak 3942 Kč. Cena účtovaná za grafit je pak 2500 Kč/dm³. Celkové náklady účtované zákazníkovi jsou tedy vypočteny podle vztahu (17).

Výpočet nákladů účtované zákazníkovi:

$$N_{zák} = c_{zgra} \cdot V_{elektrod} + N_{zvýroba} + N_{pm} + N_{pk} \quad (17)$$

- kde: $N_{zák}$ [Kč] - cena účtovaná zákazníkovi,
 c_{zgra} [Kč] - cena za grafit účtovaná zákazníkovi,
 $N_{zvýroba}$ [Kč] - náklady na výrobu účtované zákazníkovi,
 N_{pm} [Kč] - náklady na pořízení materiálu.

$$N_{zák} = 2500 \cdot 1,657 + 69533 + 3942 + 45 = 77663 \text{ Kč}$$

V ceně (v nákladech na výrobu) jsou zahrnuty fixní náklady spojené s výrobou včetně odpisů stroje a držáků a rovněž i pořízení softwarů pro technologii. V tabulce 30 jsou uvedeny pravděpodobné náklady vznikající firmě spojené s výrobními pozicemi.

Tab. 30 Náklady vzniklé firmě Gamartis Trade s.r.o.

Tech. operace	Hodinová sazba [Kč]	Potřebný čas [h]	Cena [Kč]
CNC Micron	600	12,454+2	8672
CNC Micron aut. provoz	350	10	3500
CNC CT-600	500	12,35	6175
EDM	500	8,75+3	5875
EDM aut. provoz	270	15,5	4185
Měření	400	9	3600
Technolog – programátor	450	25	11250
Nástrojárna	250	4	1000
			Σ 44257

Celkové náklady (vznikající firmě) vzniklé zakázkou tvárníku pro držák clony jsou spočteny obdobně podle vztahu (18). Celkový zisk je spočítán podle vztahu (19).

Výpočet nákladů vznikající firmě se zakázkou „tvárník“:

$$N_{firmy} = N_{gra} + N_{výroba} + N_{pm} + N_{pk} + N_{nástroje} \quad (18)$$

- kde: N_{firmy} [Kč] - náklady vznikající firmě,
 $N_{výroba}$ [Kč] - náklady na výrobu,
 $N_{nástroje}$ [Kč] - náklady na nástroje.

$$N_{firmy} = 1250 \cdot 1,657 + 44663 + 3942 + 45 + 5336 = 56057 \text{ Kč}$$

Výpočet zisku:

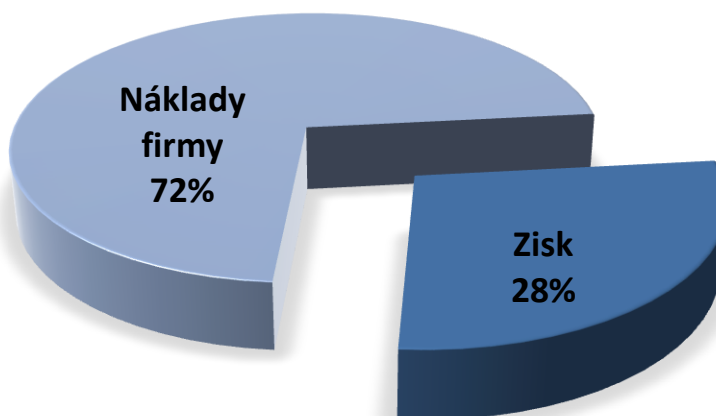
$$Z = N_{zák} - N_{firmy} \quad (19)$$

kde: Z [Kč] - čistý zisk.

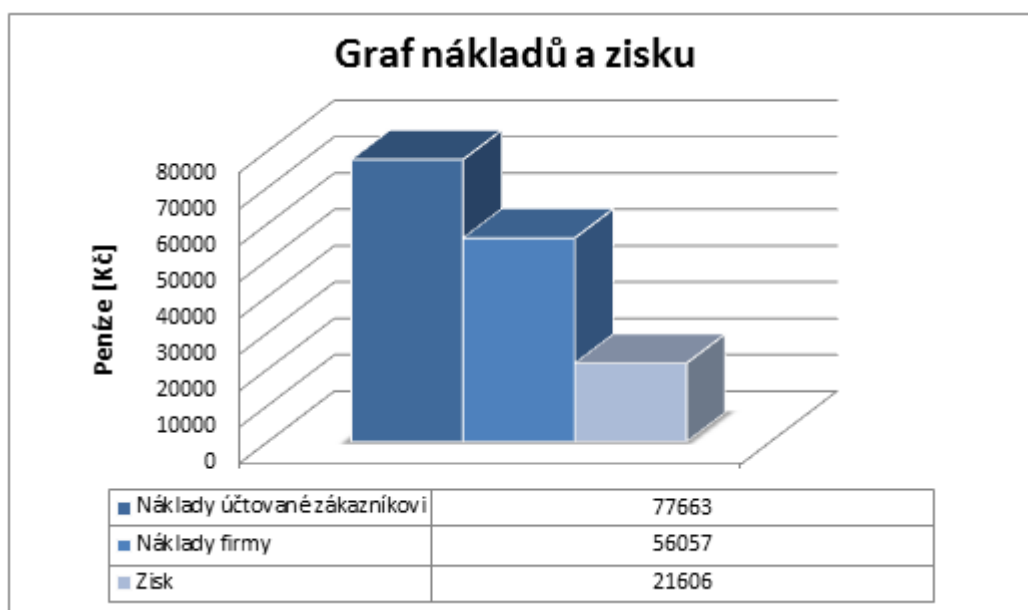
$$Z = 77663 - 56057 = 21606 \text{ Kč}$$

Čistý zisk je ve skutečnosti ještě o něco vyšší, jelikož monolitní nástroje se dají přebrousit a prodloužit tím svou trvanlivost. Rovněž se prodávají kovové třísky vzniklé po obrobení frézováním, jejich množství je ale u zakázky „tvárník“ tak malé, že bylo zanedbáno. Rovněž byla zanedbána ztráta dielektrika v elektroerozivním stroji. Pro lepší orientaci v dosažených výsledcích byl vytvořen koláčový graf zisku a nákladů (viz obr. 22) a graf nákladů pro zákazníka, nákladů pro firmu a zisku (viz obr. 23).

Graf zisku a nákladů



Obr. 22 Koláčový graf zisku a nákladů.



Obr. 23 Znázornění zisku a nákladů pomocí sloupcového grafu.

6 APLIKACE TECHNOLOGIÍ

Na výběru technologie frézování nebo hloubení závisí mnoho faktorů, které budou v této kapitole stručně popsány.

6.1 Časové hledisko

Z časového hlediska je výhodnější technologie frézování, jelikož postup je výrazně kratší než u technologie hloubení (viz tabulka 28). Proces frézování oproti hloubení nevyžaduje výrobu nástroje pro danou technologii. Nevýhodou z časového hlediska pro frézování je frézování malými nástroji, které díky své nutnosti snížení posuvové rychlosti vyžadují delší strojní čas na výrobu.

Tab. 28 Postup jednotlivých technologií – časové hledisko.

Hloubení	Frézování
Technolog – výrobní návodka pro elektrody	Technolog – výrobní návodka
Frézování elektrod	Frézování
Kontrola elektrod	Kontrola
Obsluha EDM stroje – vytvoření technologie	
Hloubení	
Kontrola	

6.2 Tvarové části

U hloubení se nejprve frézují elektrody, které mají negativní tvar hloubení. Z tohoto důvodu je možné snadněji vyfrézovat ostré hrany na elektrodě a ta poté (v obrobku) vyhloubí rovněž ostrou hranu. Oproti tomu frézování vytvoří v rozích vždy rádius. Při použití menších nástrojů rádius klesá, ale naopak se výrazně prodlužuje čas výroby a tím i související náklady, jak na provoz stroje, tak i na samotný nástroj. Je možné vyrábět i vtokové elektrody za pomoci natočení upínače pro držáky elektrod, jak je možno vidět na obrázku 18 (natočený upínač je označen šipkou). Vtokové elektrody jsou vyráběny na dvě upnutí. Nejprve je obrobena elektroda, viz levá strana obrázku 19 a poté je za pomoci nakloněného upínače doobroben “hrot“ vtoku (viz pravá strana obrázku 19). Výroba vtoků na frézce by byla možná jen za použití CNC víceosého stroje, což by velmi zvyšovalo pořizovací náklady.

Výroba elektrod a tedy použití technologie hloubení je rovněž výhodnější u obrábění hlubších tvarů, kdy vyložení frézovacího nástroje je více než 12krát větší než průměr nástroje. Zde by muselo u frézování dojít k výraznému snížení řezných podmínek, což by

mělo za následek zvýšení nákladů a tedy i snížení zisku, nehledně na to, že v mnoha případech by to ani nebylo možné [30].



Obr. 18 CNC frézka CT – 600 rozmístění upínačů pro držáky elektrod.



Obr. 19 Postup výroby vtokové elektrody.

6.3 Obrobená plocha

U některých forem se vyžaduje tzv. pohledových (dezénových) ploch, které lze snáze vyrobit pomocí hloubení. Pomocí hloubení je výroba pohledové plochy rovněž vyrobena s menším rizikem. Toto riziko obsahuje právě frézování, jelikož se obrobená plocha musí nadále ručně leštit a může tak dojít k “podbroušení“. U dezénových ploch u hloubení se rovněž nechávají elektrody leštit. Pokud dojde u elektrody k “podbroušení“, pak stačí

vyhotovit novou elektrodu. Celkově však není potřeba elektrody leštit v takovém rozsahu jako leštění u frézování, z čehož vyplývá, že náklady na leštění u frézování jsou vyšší. Zvýšené náklady jsou dalším velkým důvodem, proč se více využívá u dezénových ploch hloubení.

6.4 Cena

Cena je pravděpodobně nejdůležitější hledisko pro výběr technologie. Toto hledisko je spjaté s již vyjmenovanými požadavky od zákazníka (požadovaná plocha, tvarové věci ve formě – schopnosti užití technologie, časové hledisko). Pokud je ale srovnána čistě technologie (lze-li použít frézování strojem se třemi osami), pak lze říci, že frézování je v porovnání s hloubením levnější, z důvodu ušetření času a materiálu (nemusí se vyrábět elektrody).

6.5 Tenkostěnné díly

U tenkostěnných dílů se ještě více prohlubují hlediska tvaru a času. Při frézování/hloubení vznikají dvě podstatná rizika, mezi kterými je technolog povinen si vybrat.

- První riziko vzniká při výběru technologie frézování a to takové, že pokud je ponechána stejná posuvová rychlost v blízkosti tenké stěny, pak může dojít k většímu vzniku třísek než je prostor schopen pojmout. Třísky odletující do velmi tenké stěny mohou způsobit její narušení nebo dokonce vylomení. Další nepříjemností plynoucí z vyšší posuvové rychlosti je problematika „brzdných drah“, kdy může dojít k miniaturnímu přejezdu a tudíž k nevhodnému napojení dráhy v rozích. Toto riziko opět způsobuje narušení tenké stěny.
- Riziko spjaté s hloubením elektrodou tak, aby na obrobku vznikla tenká stěna, je rovněž důležité řešit při samotném nastavení pracovních podmínek. Nejdůležitější je správně nastavený proud při samotném počátku hloubení (viz příloha 7), kde je vhodné volit podprogram pro nižší velikost proudu u začátku hloubení z důvodu pomalejšího nájezdu. Pokud je volen nájezd rychlejší, může dojít ke vzniku bublinky, kterou si elektroda suně před sebou. Bublina je tlakována až do určitého bodu, kde dochází k explozi. Tato malá exploze bubliny způsobuje vznik výpalů v tenké stěně.

V příloze 12 je uveden obrázkový popis aplikací daných technologií u výroby tenkostěnného dílu.

ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na obráběcí operace pro výrobu tvárníku do vstřikovací formy, jejímž výliskem je poté držák clony. Tento držák se clonami tvoří tvar a barvu tlumeného světla u aut. V práci je rozebrána problematika hloubení oproti frézování na strojích ve firmě Gamartis Trade s.r.o. sídlící v Žatčanech u Brna. Spolu s vytvořením technologického postupu jsou vytvořeny rovněž výrobní návodky, z kterých je poté spočteno potřebné množství nástrojů a potřebný čas k výrobě. Dodržením těchto výpočtů bylo dosaženo těchto výsledků:

- strojní čas potřebný pro výrobu frézovacích operací na stroji Mikron byl spočten na 24,454 h, přičemž z toho 10 h je automatický provoz stroje,
- strojní čas pro frézování elektrod na stroji CNC CT-600 byl spočten na 12,35 h,
- strojní čas pro hloubení na stroji Oscarmax S500 byl spočten na 27,25 h, přičemž z toho 15,5 h je automatický provoz stroje.

Z hlediska ekonomického bylo dosaženo těchto výsledků:

- náklady firmy Gamartis Trade s.r.o. byly stanoveny na 56 057 Kč,
- cena účtovaná zákazníkovi byla stanovena na 77 663 Kč,
- čistý zisk poté činí 21 606 Kč.

Doporučením pro firmu je nákup víceosého stroje nebo alespoň stroje, který bude moci dosahovat vyšších otáček. Při nákupu víceosého stroje se jedná o velkou pořizovací částku a je tedy vhodné stroj co možná nejvíce obsadit. Z tohoto důvodu doporučuji spíše nákup CNC stroje se třemi osami, s možností větších otáček tak, aby mohla být nastavena větší řezná rychlost. Nákup HSC stroje by se stal velkým progresem firmy.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie: Advanced methods of material removal*. Košice: Vienala, 2000. ISBN 8070994304.
2. WANG, W.M., K.P. RAJUKAR a K. AKAMATSU. *Digital Gap Monitor and Adaptive Integral Control for Auto-jumping in EDM: ASME J. of Engineering for Industry*. Vol 117. 1995.
3. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění 3. část.: Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program* [online]. VUT FSI v Brně: Ústav strojírenské technologie: Odbor technologie obrábění, 2005 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf
4. Ing. Jaroslav Řasa, CSc., Ing. Zuzana Kerečaninová: *Nekonvenční technologie*. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2007 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html>
5. OSCARMAX E.D.M. COMPANY LTD. *Electrical discharge machine CMAX OPERATION MANUAL: český překlad Bc. Radim Drmela*. Taichung city, Taiwan: Oscarmax, 2011.
6. JAKEŠ, Jan. *TRENDY POUŽITÍ ELEKTROEROZIVNÍCH TECHNOLOGIÍ: TREND OF EXERCISE ELECTRODISCHARGE MACHINING*. Brno, 2008. Diplomová práce. FSI VUT. Vedoucí práce Ing. KAREL OSIČKA Ph.D.
7. BARCAL, J. *Nekonvenční metody obrábění*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1989. 122 s.
8. MIČIETOVÁ, Anna. *Nekonvenčné metódy obrábania*. vyd. Žilina: EDIS, 2001. ISBN 80-7100-853-2.
9. STORR, Manfred. Important facts about spark erosion. In: *Oeheld GmbH* [online]. Stuttgart, 2007 [vid. 2016-04-04]. Dostupné z: http://www.oeheld.com/fileadmin/content/pages/Prospekte_pdf/Prospekte_en/oh_Important_facts_about_spark_erosion_en.pdf
10. BARABÁŠ, Martin. *APLIKACE TECHNOLOGIE DRÁTOVÉ ELEKTROEROZE: APPLICATION TECHNOLOGY WIRE ELECTRODISCHARGE*. Brno, 2014. Diplomová práce. FSI VUT. Vedoucí práce Ing. Karel OSIČKA, Ph.D.
11. ASM – Metals Handbook – Machining, Vol. 6, ASM International, March, (1997), 9.ed.
12. LLOYD, H.K. a R.H. WARREN. *Metalurgy of Spark Machined Surfaces: Journal of the iron and steel Institute*. 1965.

13. *Columbia Marking Tools*. [online]. 2010 [vid. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.marking-machines.info/?p=297>
14. Delta mold: VDI 3400 [online]. Chang'an Town, Dongguan City, Guangdong, China, 2008 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.delta-mold.com/FTP/VDI%203400.pdf>
15. Purchase a Metal EDM Surface Finish Gage: High Performance Machinery, LLC. *Highperformancemachinery: VDI 3400* [online]. Orange, MA [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://highperformancemachinery.com/yahoo_site_admin/assets/docs/EDM_Surface_Finish_Charts_12-09.36214442.pdf
16. Převody materiálů DIN - ČSN - W.Nr. *Octopus Tools* [online]. Webdesign MPresent s.r.o., 2008 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.octopustools.com/normy_materialu.php
17. Technické normy. *ČSN 41 9552: Ocel 19 552 Cr-Mo-Si-V* [online]. 1971 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://shop.normy.biz/detail/3520>
18. *JKZ Bučovice: Ocel nástrojová pro práci za tepla W. Nr. 1.2343* [online]. 2010 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://jkz.cz/produkty/nastrojova-ocel-12343>
19. ARNO Katalog. *Arno: Milling Products* [online]. Indexable inserts, 2016 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.arnousa.com/products/milling.html>
20. LMT. *LMT Kieninger: VBD* [online]. Brno: LMT Czech Republic [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.lmt-fette.cz/Files/Akce/FETTE%20AKCE%20-%20VBD%20Kieninger.pdf>
21. HAM Prazision. *Catalogue and price list: Precision milling tools in solid carbide and diamond* [online]. 2014 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.hamprecision.com/pdfs/HAM%20Endmill%20Catalog.pdf>
22. Hitachi. *MMC Hitachi Tool: Indexable Milling tools* [online]. Advanced Engineering, 2015 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.hitachitool-eu.com/download/brochures/view/asm.pdf>
23. *LMT Tools Milling: Tools and Knowledge* [online]. BELIN FETTE KIENINGER ONSRUD, 2012 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.lmt-tools.de/katalog-fraesen/index.html#/>
24. PM-TECH. *Frézy pro obrábění grafitu, kompozitů a ZrO2: verze v05_only*. 2014.

25. *Technický týdeník: Akademie CNC obrábění (22)* [online]. Spolupráce Vysokého učení technického v Brně, FSI, ÚST, Odboru technologie obrábění s redakcí Technického týdeníku a firmou Siemens. Ing. Aleš Polzer, Ph.D., 2010 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-22_8557.html
26. DRMELA, Radim. *Návrh technologie výroby tělesa válečku: Suggestion of technology for roller body*. Brno, 2014. Bakalářská práce. FSI VUT. Vedoucí práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.
27. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Výpočtová cvičení.: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. VUT FSI v Brně: Ústav strojírenské technologie: Odbor technologie obrábění, 2003 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_vypoctova_cv.pdf
28. BAKLÍK, Lukáš. *SESTAVENÍ TECHNOLOGICKÉHO PROCESU OBSAHUJÍCÍHO CNC STROJ: Technology solutions with a CNC machine*. Brno, 2013. Bakalářská práce. FSI VUT. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
29. Prof. Ing. KOČMAN, Karel, DrSc a doc. Ing. Jartoslav PROKOP, CSc. *Technologie obrábění*. AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s. r. o. Brno, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
30. Penta-EDM. *Penta Trading: Efektivní hloubení a výroba elektrod* [online]. 2013 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.penta-edm.cz/text-efektivni-hloubeni-a-vyroba-elektrod/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
C	[-]	uhlík
CNC	[-]	computer numeric control počítačem řízený
Cr	[-]	chrom
ČSN	[-]	česká státní norma
DZ	[mm]	šířka pracovní mezery
EDM	[-]	electrical discharge machine/machining vyjiskřovací stroj /hloubení
HRC	[-]	tvrdost podle Rockwella
LV	[A]	špičkový proud
Mn	[-]	mangan
Mo	[-]	molybden
P	[-]	fosfor
S	[-]	síra
Si	[-]	křemík
SR	[mm]	šířka pracovní mezery (planetového pohybu)
V	[-]	vanad
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
VDI	[-]	drsnost povrchu používaná u elektroerozivního obrábění
WEDM	[-]	wire electrical discharge machining řezání drátem

Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	požadovaný průměr dutiny
I	[A]	proud
L_{RX}	[mm]	délka rychloposuvu v ose X
L_{RY}	[mm]	délka rychloposuvu v ose Y
L_{RZ}	[mm]	délka rychloposuvu v ose Z
M_m	[mm]	minimální hodnota, o kterou musí být nástroj menší
N_{firmy}	[Kč]	náklady vznikající firmě

Symbol	Jednotka	Popis
N_{gra}	[Kč]	náklady na grafit
$N_{nástroje}$	[Kč]	náklady na nástroje
N_{pk}	[Kč]	náklady na procesní kapalinu
N_{pm}	[Kč]	náklady na pořízení materiálu
$N_{výroba}$	[Kč]	náklady na výrobu
$N_{zák}$	[Kč]	cena účtovaná zákazníkovi
$N_{zvýroba}$	[Kč]	náklady na výrobu účtované zákazníkovi
P_{VBD}	[ks]	počet kusů VBD/monolitní frézy
R_a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
R_{max}	[μm]	Požadovaná drsnost obrobeného povrchu
T	[min]	trvanlivost bříty
T_v	[μs]	perioda výboje
U	[V]	napětí
U_m	[%]	Ukazatel využití materiálu
V_E	[mm^3]	úbytek objemu elektrody
$V_{elektrod}$	[mm^3]	objem všech polotovarů elektrod
V_M	[mm^3]	úbytek objemu materiálu
V_{pk}	[l]	množství procesní kapaliny Ekolube
W_i	[J]	Energie výboje
X_{min}, X_{max}	[mm]	vzdálenost rámečku/polotovaru v ose X od 0
Y_{min}, Y_{max}	[mm]	vzdálenost rámečku/polotovaru v ose Y od 0
Z_{min}, Z_{max}	[mm]	vzdálenost rámečku/polotovaru v ose Z od 0
Z	[Kč]	Zisk
a	[mm]	velikost pracovní mezery (GAP)
aut_{provoz}	[h]	automatický provoz stroje
d_{dok}	[mm]	průměr dokončovacího nástroje elektrody
d_{hrub}	[mm]	průměr hrubovací nástrojové elektrody
c_{gra}	[Kč]	cena za dm^3 grafitu
c_{zgra}	[Kč]	cena za grafit účtovaná zákazníkovi

Symbol	Jednotka	Popis
c_{lpk}	[Kč]	cena za litr procesní kapaliny
\check{c}_{pk}	[h]	čas provozu procesní kapaliny
d	[-]	počet pracovních dnů v týdnu
f_z	[mm]	posuv na zub
h	[h]	počet hodin na směně
k_{nas}	[-]	koeficient zohledňující nastavení stroje včetně výměny VBD a monolitních fréz v tepelném upínači
m_o	[kg]	váha obrobku
m_p	[kg]	váha polotovaru
m_v	[-]	relativní opotřebení nástrojové elektrody
n	[min ⁻¹]	Otáčky vřetene
$p_{vým}$	[-]	počet měření sondou (odpovídá počtu nástroje)
s	[-]	směnnost
s_{pk}	[l]	spotřeba procesní kapaliny Ekolube
t_{Ai}	[min]	celkový jednotkový čas práce jedné elektrody
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
t_{AXi}	[min]	čas na výměnu nástroje pro jednu operaci
t_{AVi}	[min]	vedlejší strojní čas jednotlivých výrobních operací
t_{KS}	[min]	čas pro změření korekce Z jednotlivého nástroje
$t_{vým}$	[min]	čas potřebný pro jednu výměnu nástroje
v_f	[mm/min]	posuvová rychlost
v_{fRXYZ}	[mm/min]	rychloposuv v osách X, Y a Z
x	[-]	počet ostří VBD
z	[-]	počet zubů nástroje
z_{mj}	[kg]	ztráta materiálu na jednici
z_p	[μm]	tloušťka narušeného povrchu

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Strojový park firmy Gamartis.
- Příloha 2 Technické parametry elektroerozivního vyjiskřovacího stroje Oscarmax Cmax S500.
- Příloha 3 Technické parametry CNC frézky CT – 600.
- Příloha 4 Výkres součásti tvárník (přiloženo na konci DP).
- Příloha 5 Obrazová dokumentace pro jednotlivé úseky frézování (operace 03/03) vytvořená v programu Delcam PowerMill 2015.
- Příloha 6 Obrazová dokumentace pro jednotlivé úseky frézování (operace 08/08) vytvořená v programu Delcam PowerMill 2015.
- Příloha 7 Obrazová dokumentace vytvoření technologie pro elektroerozivní hloubení.
- Příloha 8 Nastavení hloubení elektrod technologií 5420 a 5435.
- Příloha 9 Nastavení hloubení elektrod technologií 5620 a 5635.
- Příloha 10 Kontrola elektrod provedená na 3D souřadnicovém měřicím centru Aberlink Axiom too HS 900 CNC.
- Příloha 11 Kontrola tvárníku provedená na 3D souřadnicovém měřicím centru Aberlink Axiom too HS 900 CNC.
- Příloha 12 Aplikace hloubení/frézování u tenkostěnného výrobku.

PŘÍLOHA 1

Strojový park firmy Gamartis.

Frézovací CNC stroje na ocel	Rozměr stolu [mm]	Pojezdy X-Y-Z [mm]	Max. otáčky [min ⁻¹]	Řídicí systém	
MIKRON VCE 1200 Pro	1200 x 650	1200 x 600 x 675	12000	Heidenhain iTNC 530	
XH700	820 x 600	700 x 500 x 400	24000	Heidenhain iTNC 530	
Frézovací CNC stroje na elektrody					
CT-600	650 x 500	600 x 500 x 500	30000	FAGOR 8055 Power	
Hloubicí stroje EDM	Rozměr stolu [mm]	Pojezdy X-Y-Z [mm]		Řídicí systém	
Oscarmax S500 C-osa EROWA	750 x 450	500 x 400 x 450		ITRI	
Brusky	Oběžný průměr [mm]		Pojezdy X-Y-Z [mm]		
BPH (na plocho)					
ELB SWB 6 VA-I			600 x 400 x 450		
BPH 20 (na plocho)			800 x 250		
Soustruhy	Oběžný průměr nad ložem [mm]	Vzdálenost mezi hroty [mm]	Oběžný průměr nad suportem [mm]	Výkon hlavního elektromotoru [kW]	
SV18 – 1000	380	1000	215	6	
Další stroje a vybavení	Rozměr stolu [mm]	Pojezdy X-Y-Z [mm]		Řídicí systém	
Frézka F 1	500 x 300	400 x 250 x 250			
Pila pásová	280 x 170	280 x 170			
3D souřadnicové měřicí centrum Aberlink Axiom too HS 900 CNC	1200 x 640	900 x 640 x 500		MARK 4 2-osá CNC hlava PH10M	
Drátořez	Maximální rozměr obrobku [mm]	Zdvih v ose Z [mm]	Zdvih hlav U/V [mm]	Materiál a rozměr drátu [mm]	Řídicí systém
Accutex AL 500SA	990 x 560 x 295	300	100/100	Ø 0,25 Mosaz	Windows CE
Vrtačka	Upínací plocha stolu	Rozsah otáček [min ⁻¹]	Kužel ve vřetenu	Výkon elektromotoru [kW]	Vyložení vřetene [mm]
Radiální vrtačka VR4	900 x 1475	25-2500	Morse 4	4	320-1250

PŘÍLOHA 2

Technické parametry elektroerozivního vyjiskřovacího stroje Oscarmax Cmax S500.

Rozměry pracovní vany [mm]	1260 x 800 x 520		
Rozměry pracovního stolu [mm]	850 x 450		
Posuv v ose X [mm]	500		
Posuv v ose Y [mm]	400		
Vzdálenost mezi vřetenem a pracovním stolem [mm]	420-770		
Maximální váha obrobku [kg]	2300		
Rozměry stroje [mm]	2800 x 2250 x 2400		
Váha stroje [kg]	3000		
Minimální opotřebení elektrody [%]	0,1		
Max. dosahovaná drsnost povrchu - Ra	0,2		
Generátor			
Zdroj proudu [A]	60	90	120
Max. úběr obrábění [mm ³ /min]	430	700	900
Venkovní rozměry	820 x 620 x 1700		
Váha	320	350	380
Dielektrikum			
Kapacita [l]	850		

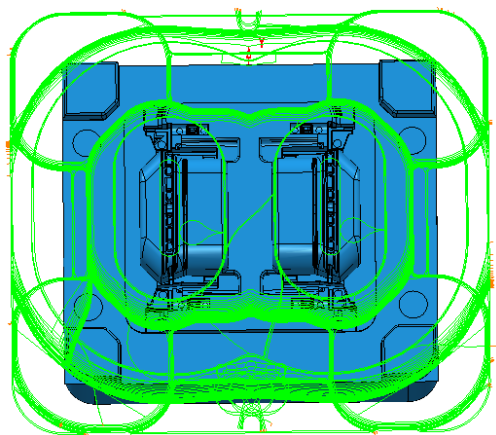
PŘÍLOHA 3

Technické parametry CNC frézky CT – 600.

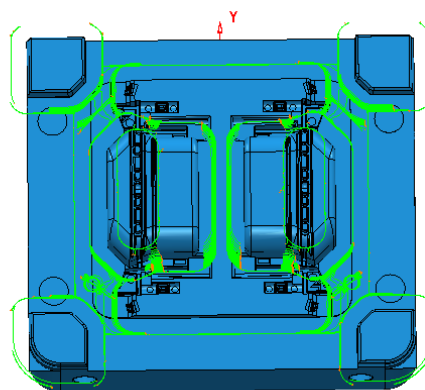
Řídicí systém	Fagor 80551		
Pracovní rozlišení [mm]	0,001		
Výkon vřetene [kW]	13		
Rozsah otáček vřetene [min-1]	300-30000		
Typ držáku nástrojů	HSK E40		
Maximální počet nástrojů	18		
Posuv v ose X [mm]	600		
Posuv v ose Y [mm]	500		
Posuv v ose Z [mm]	300		
Rychloposuv v osách X, Y, Z [m/min]	15		
Maximální pracovní posuv [m/min]	10		
Rozměry pracovního stolu [mm]	600 x 500		
Rozměr stroje [mm]	1500 x 1900 x 2500		
Váha [kg]	4000		

PŘÍLOHA 5

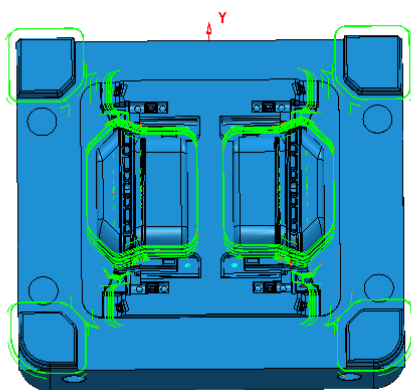
Obrazová dokumentace pro jednotlivé úseky frézování (operace 03/03) vytvořená v programu Delcam PowerMill 2015.



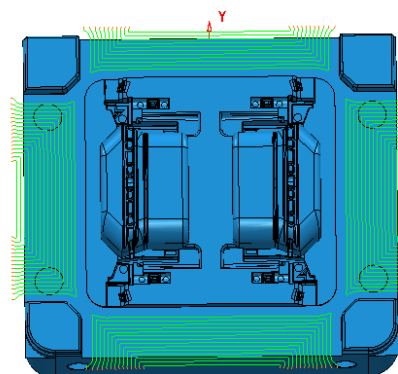
Úsek – a1



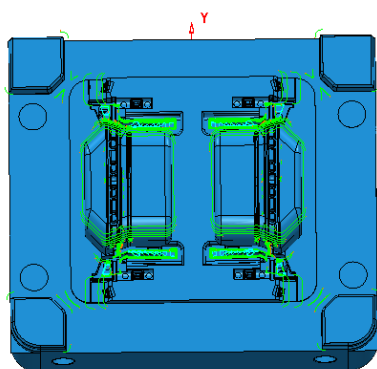
Úsek – b1



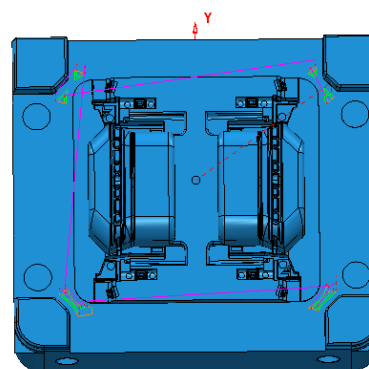
Úsek – c1



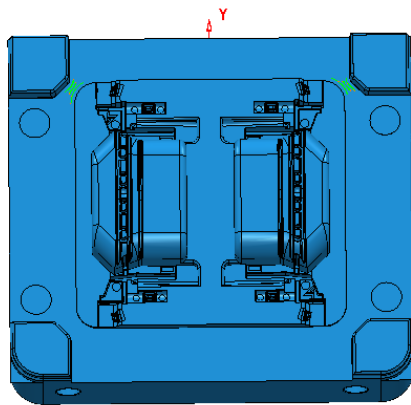
Úsek – c2



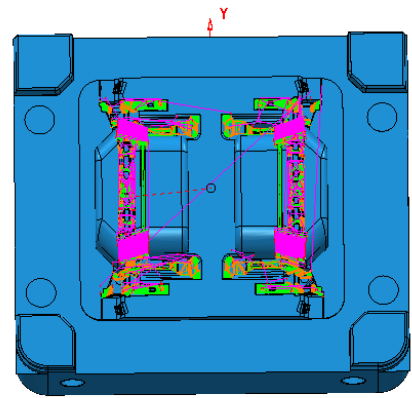
Úsek – d1



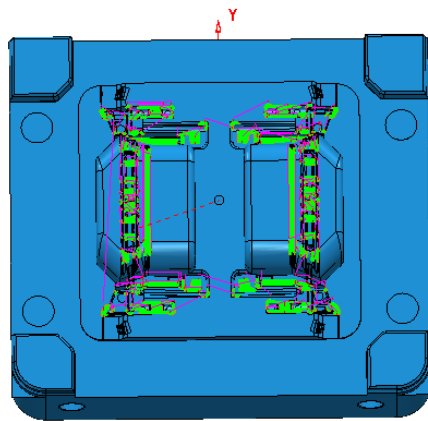
Úsek – d2



Úsek – e1



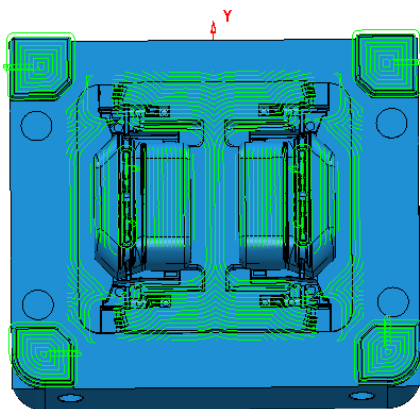
Úsek – f1



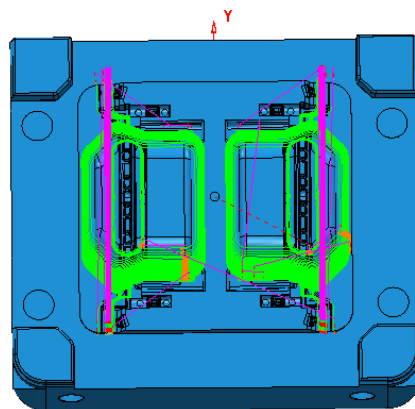
Úsek – f2

PŘÍLOHA 6

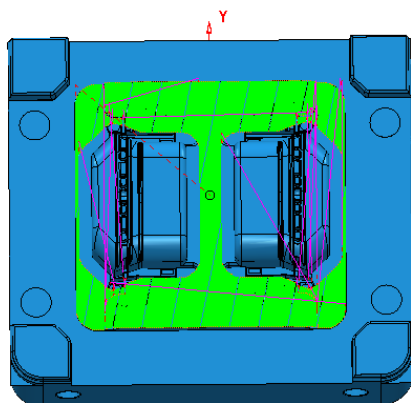
Obrazová dokumentace pro jednotlivé úseky frézování (operace 08/08) vytvořená v programu Delcam PowerMill 2015.



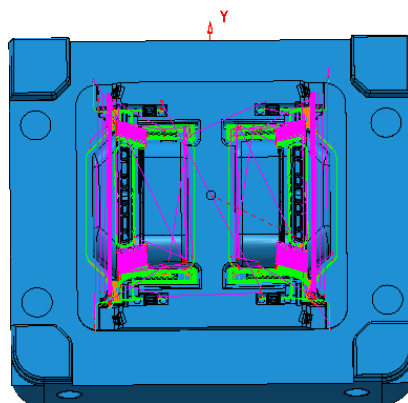
Úsek – g1



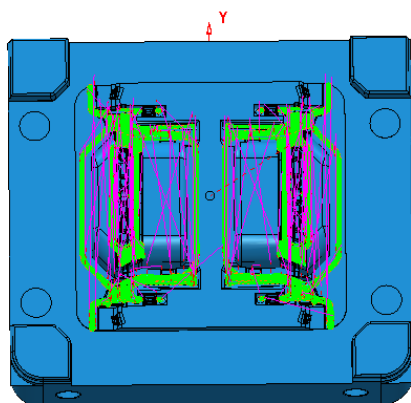
Úsek – g2



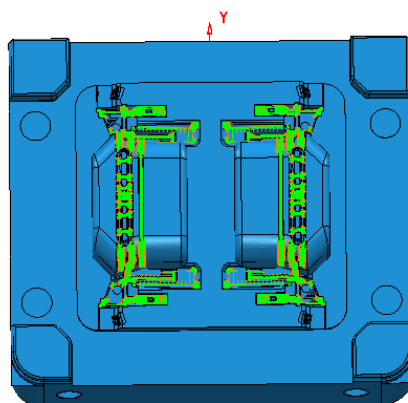
Úsek – g3



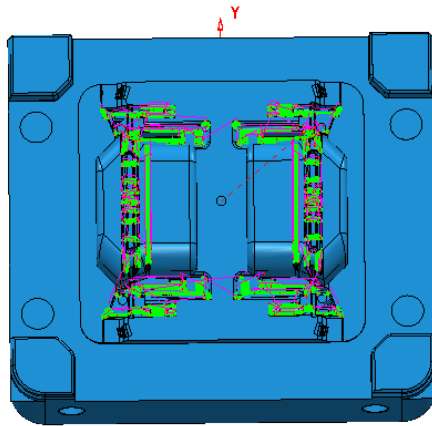
Úsek – h1



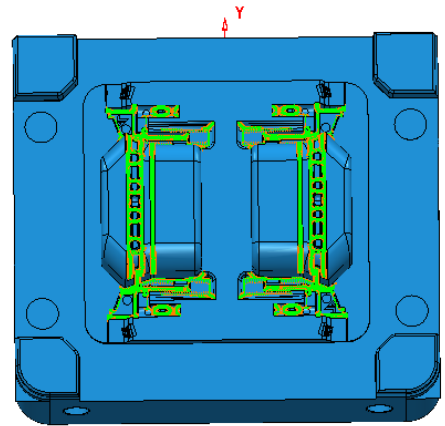
Úsek – h2



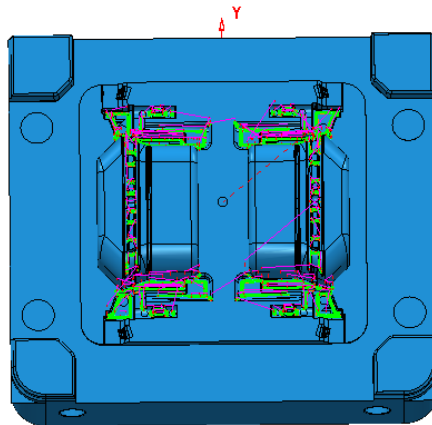
Úsek – i1



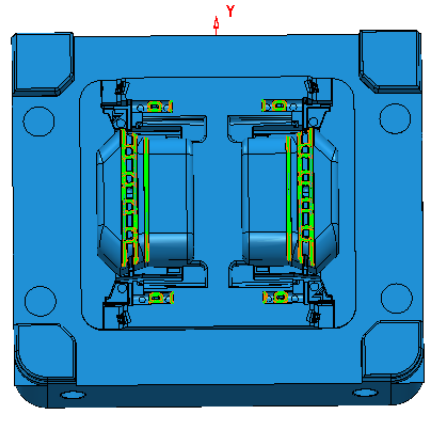
Úsek – i2



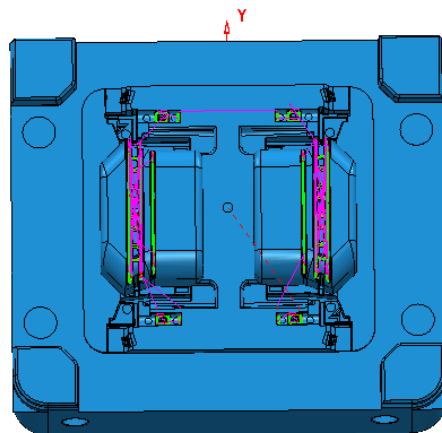
Úsek – j1



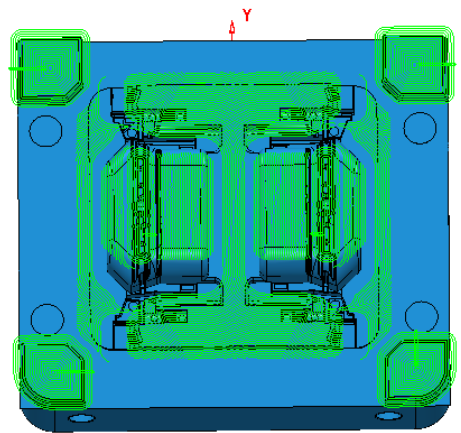
Úsek – j2



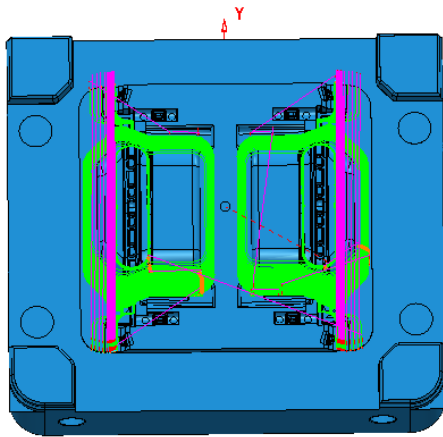
Úsek – k1



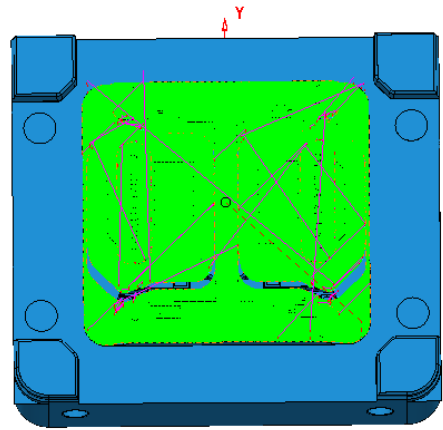
Úsek – k2



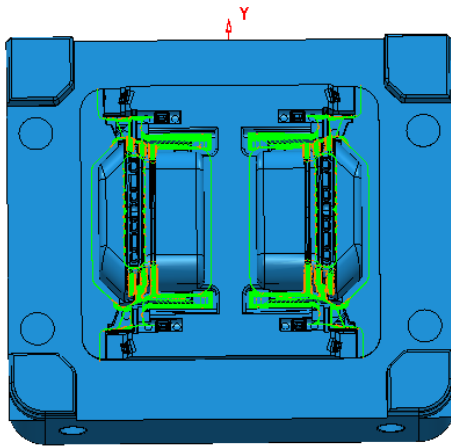
Úsek – l1



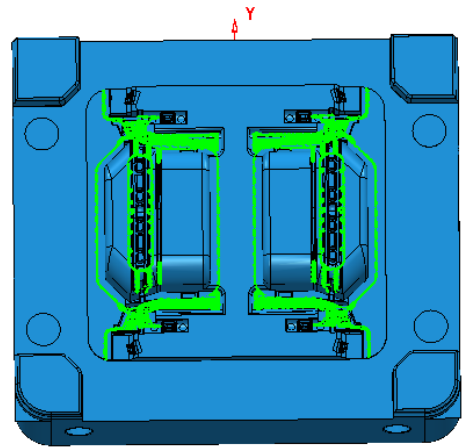
Úsek – 12



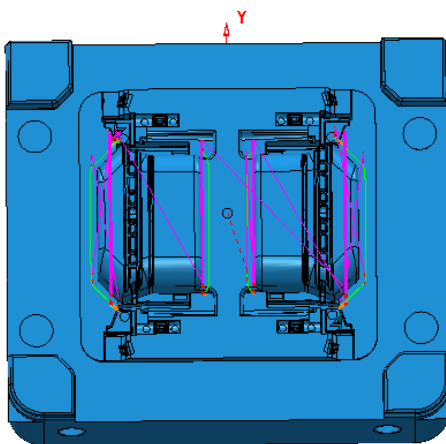
Úsek – 13



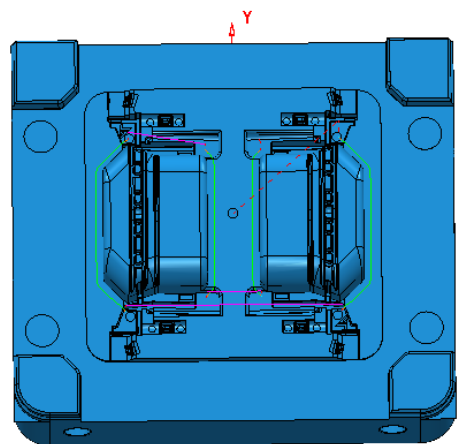
Úsek – m1



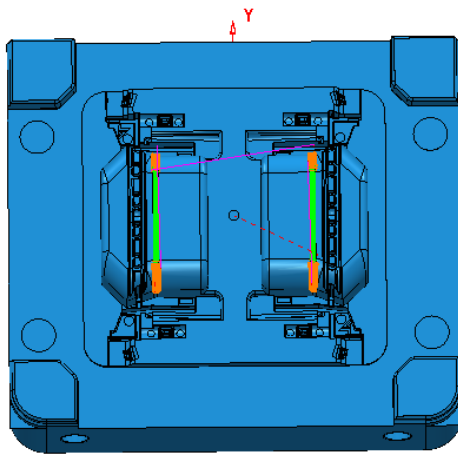
Úsek – m2



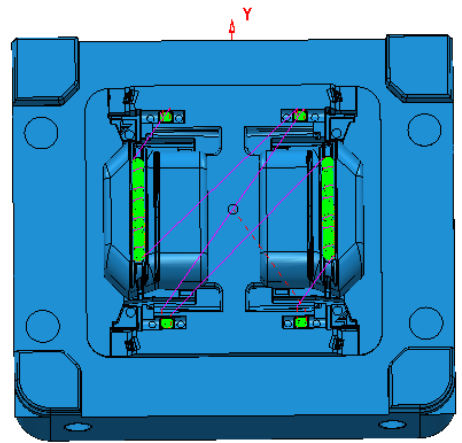
Úsek – n1



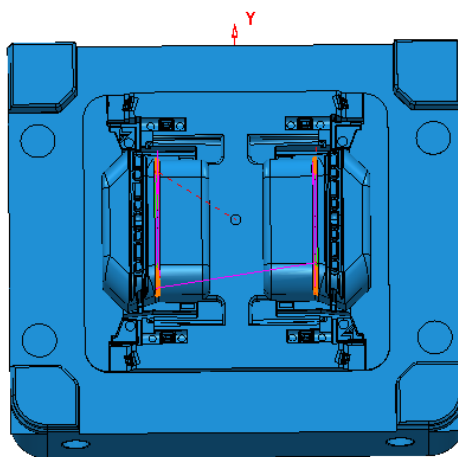
Úsek – n2



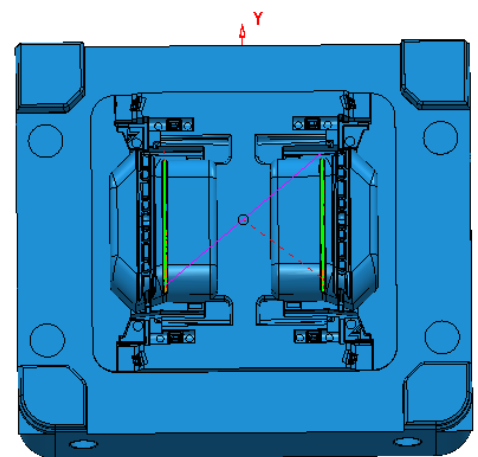
Úsek – o1



Úsek – o2



Úsek – p1



Úsek – p2

PŘÍLOHA 7

Obrazová dokumentace vytvoření technologie pro elektro-erozivní hloubení.

```

REAL DEEP (DL)  +56.000
INPUT E_NO:     E20 CIR.EXPAN
ELECTRODE      P2 Gr->St (+)
SIZE(mm*mm)    5 [25~100 ]
TAPER/BALL     1 CYLINDER
INTO SMALL IL  1 SMALL IL
TAPER THETA    -
INPUT DIR      -
                ENTER:DATA SET
                +,-,key can adj

0.USER
1.Cu->St (+)
2.Gr->St (+)
3.Gr->St (-)
4.Gr->Al (+)
5.CuH->Tung(-)
6.Cu->Tung (+)
7.Gr->TITAN(+)
8.Cu->Al (+)
9.St->St (+)
            
```

```

REAL DEEP (DL)  +56.000
INPUT E_NO:     E20 CIR.EXPAN
ELECTRODE      P2 Gr->St (+)
SIZE(mm*mm)    5 [25~100 ]
TAPER/BALL     1 CYLINDER
INTO SMALL IL  1 SMALL IL
TAPER THETA    -
INPUT DIR      -
                ENTER:DATA SET
                +,-,key can adj

1.>6400 125A
2.1600~6400 60A~120A
3.400~1600 46A~60A
4.100~400 22A~46A
5.25~100 12A~22A
6.10~25 6A~12A
7.0~10 2A~6A
8. <2A
            
```

Výběr materiálu elektrody a obrobku.

Dle rozměru elektrody je zvolen rozsah proudu.

```

REAL DEEP (DL)  +56.000
INPUT E_NO:     E20 CIR.EXPAN
ELECTRODE      P2 Gr->St (+)
SIZE(mm*mm)    5 [25~100 ]
TAPER/BALL     1 CYLINDER
INTO SMALL IL  1 SMALL IL
TAPER THETA    -
INPUT DIR      -
                ENTER:DATA SET
                +,-,key can adj
            
```

1 2

Zvolení podprogramu pro velikost proudu pro počátek elektroeroze.

P2074	N01	N02	N03	N04	N05	N06	N07	N08	N09	N10	N11	N12
S. C.	275	255	246	236	226	216	209					
DEEP	805	533	337	187	83	25	0					
RADIUS	5	56	90	130	158	194	210					
UDI	43	41	40	38	35	30	25					
5mm DZ	84	60	48	36	24	12	6					
5mm SR	224	170	136	96	68	32	16					
10mm DZ	99	75	63	51	39	27	21					
10mm SR	239	185	151	111	83	47	31					
umRa	13.5	10.9	9.6	8.3	5.7	3.1	1.8					
WEAR%	0.0	0.0	0.0	4.8	4.5	13.0	15.0					
PACE	61.1	29.4	19.2	13.8	6.8	1.7	0.4					

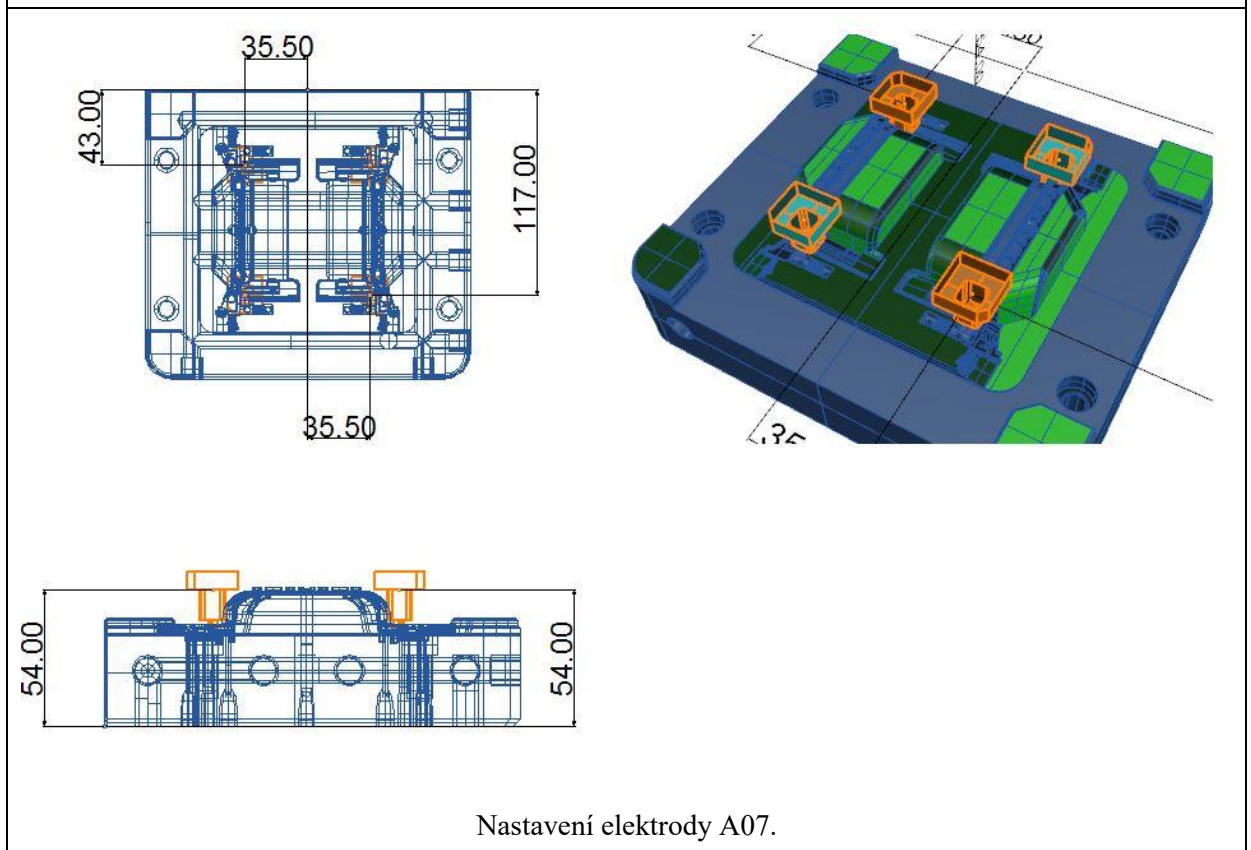
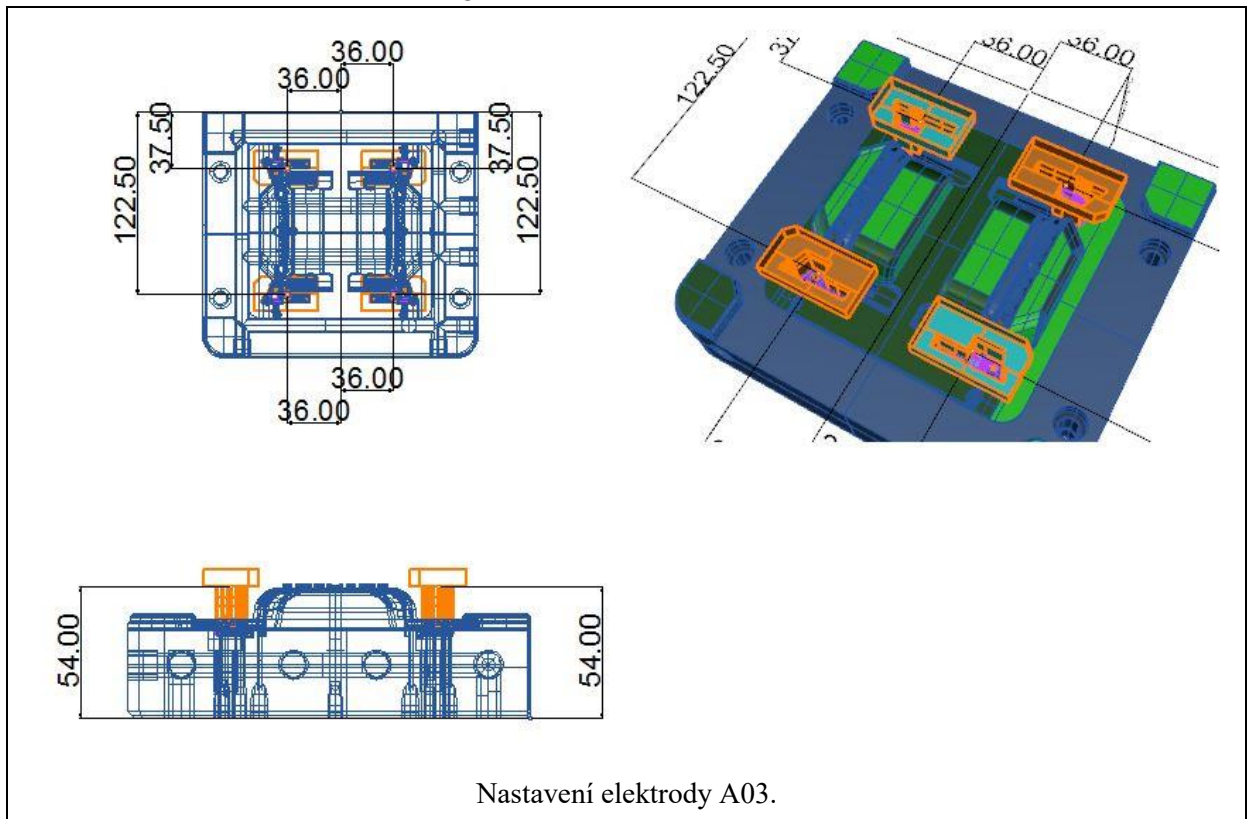
↑↓=PT4

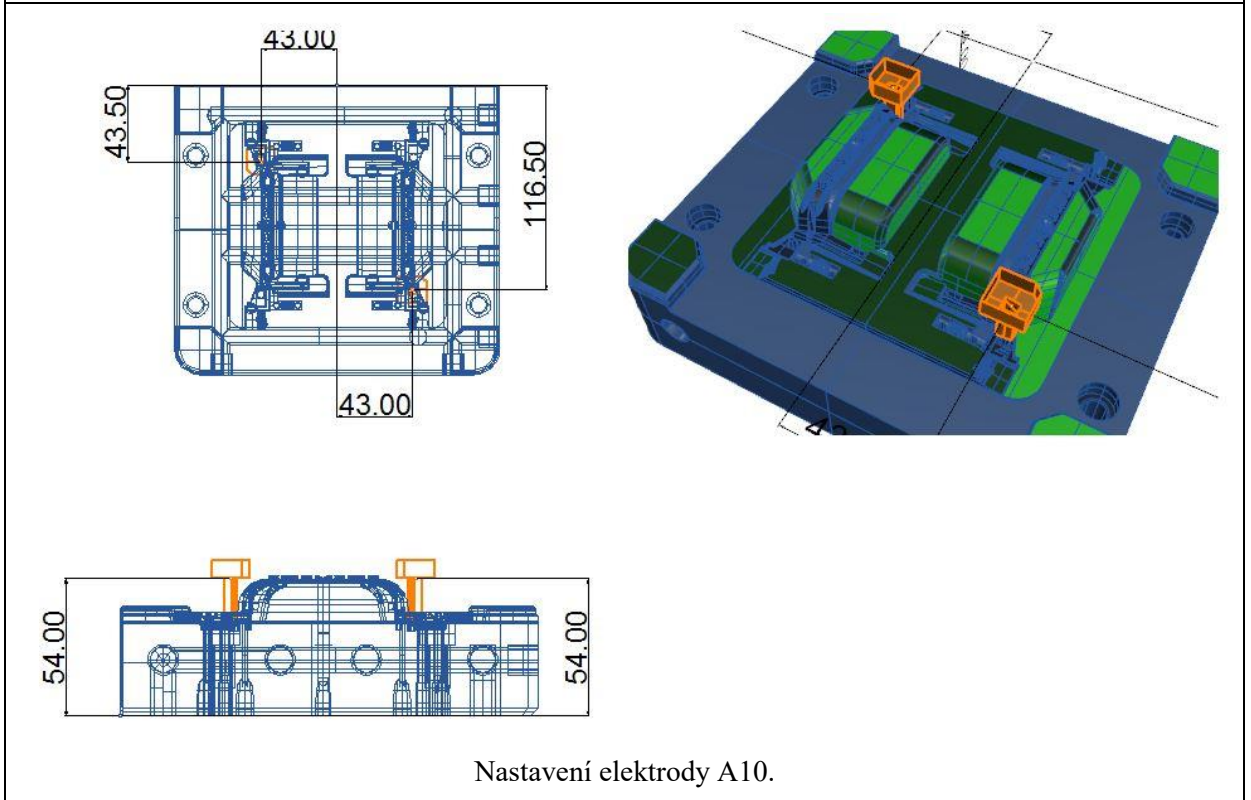
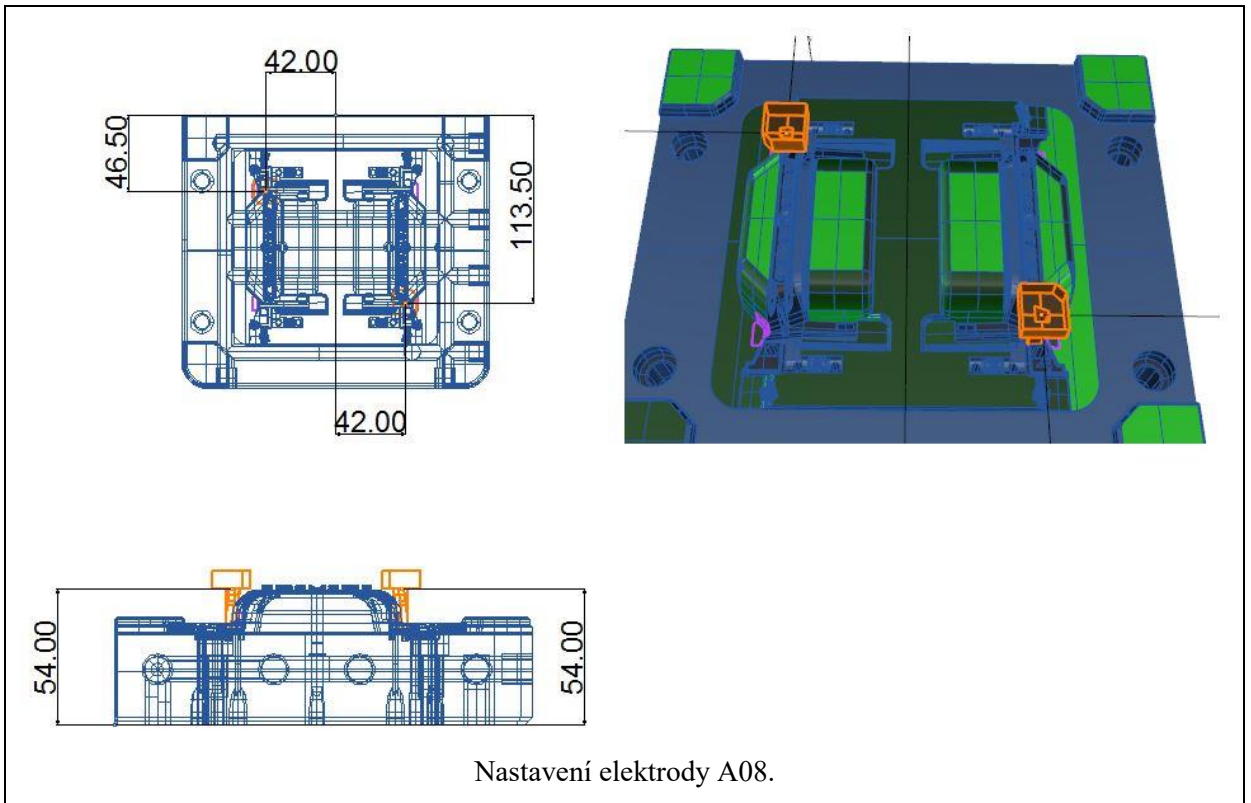
AREA=125	↓	5mmDZ=811	SR=226	10mmDZ=826	SR=241
START:	END:	REAL RADIUS (RL)	PGM RADIUS (PR)	SIDE GAP INC(RI)	10mm SR
3	7	+0.185	+0.154	+0.000	+0.031

Výběr navržené technologie tak aby byla dodržena podmíra elektrody.

PŘÍLOHA 8

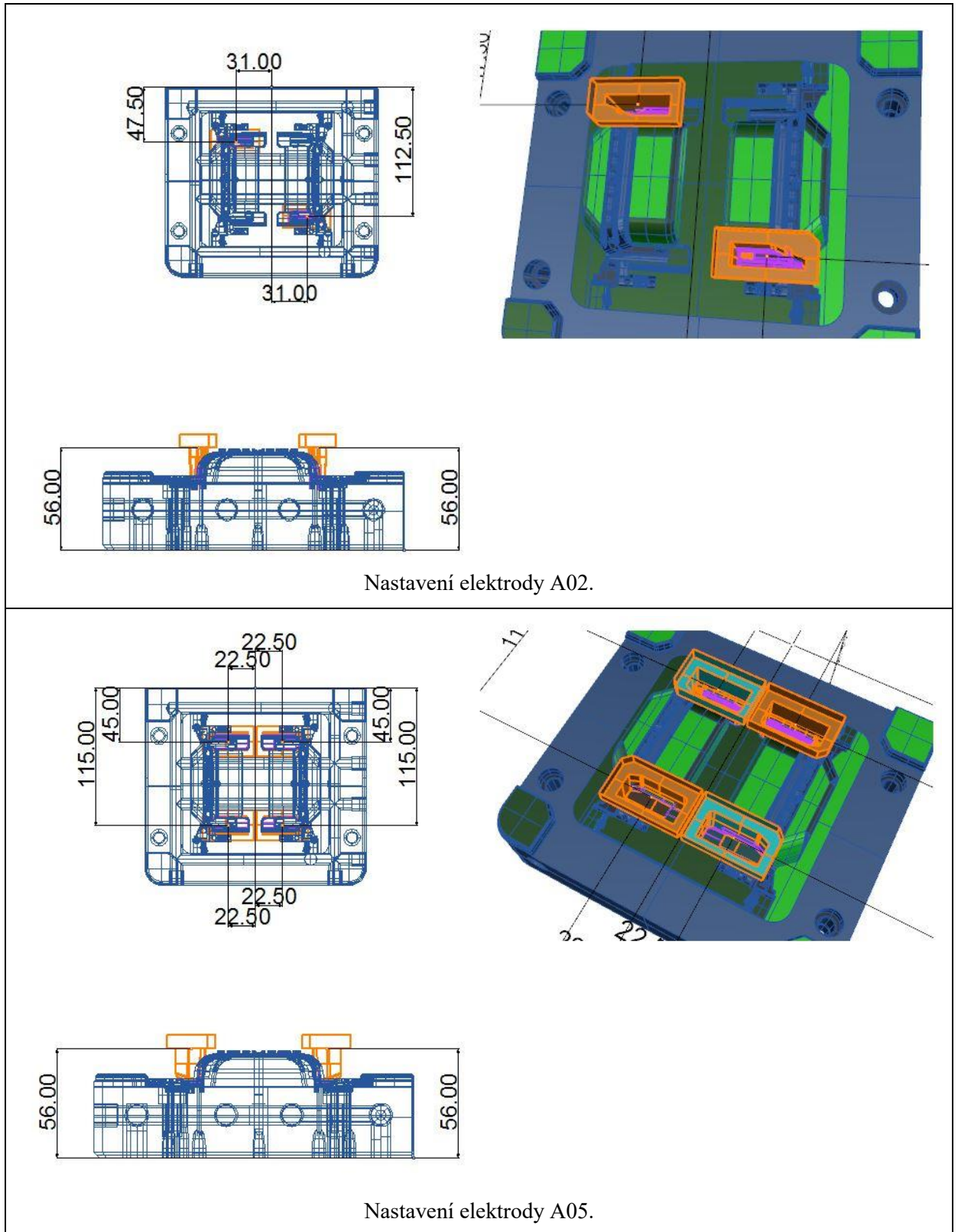
Nastavení hloubení elektrod technologií 5420 a 5435.





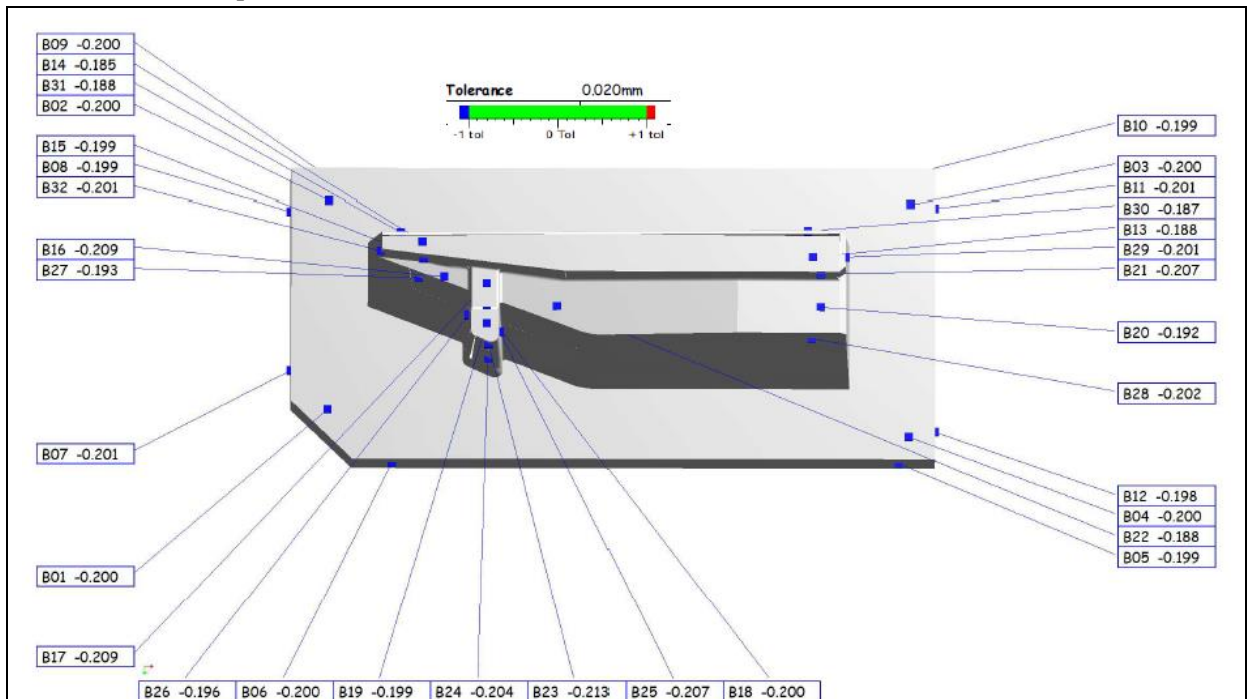
PŘÍLOHA 9

Nastavení hloubení elektrod technologií 5620 a 5635.

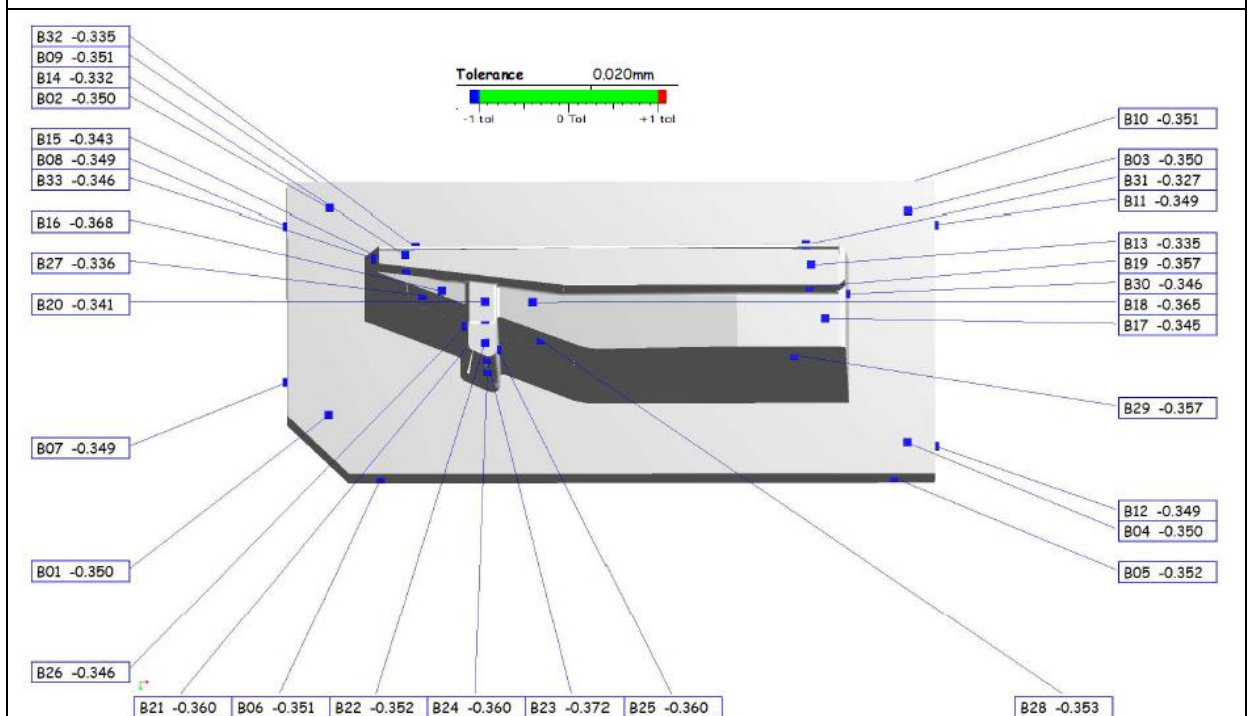


PŘÍLOHA 10

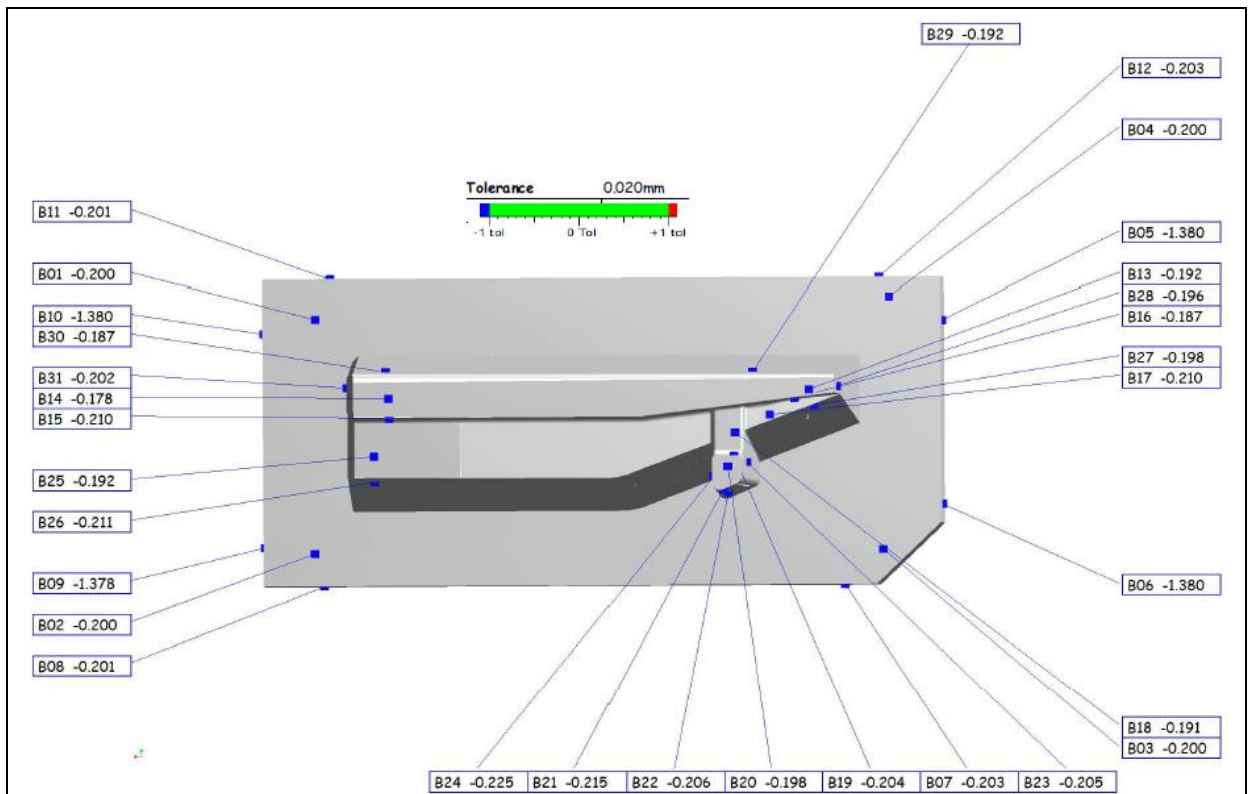
Kontrola elektrod provedená na 3D souřadnicovém měřícím centru Aberlink Axiom too HS 900 CNC.



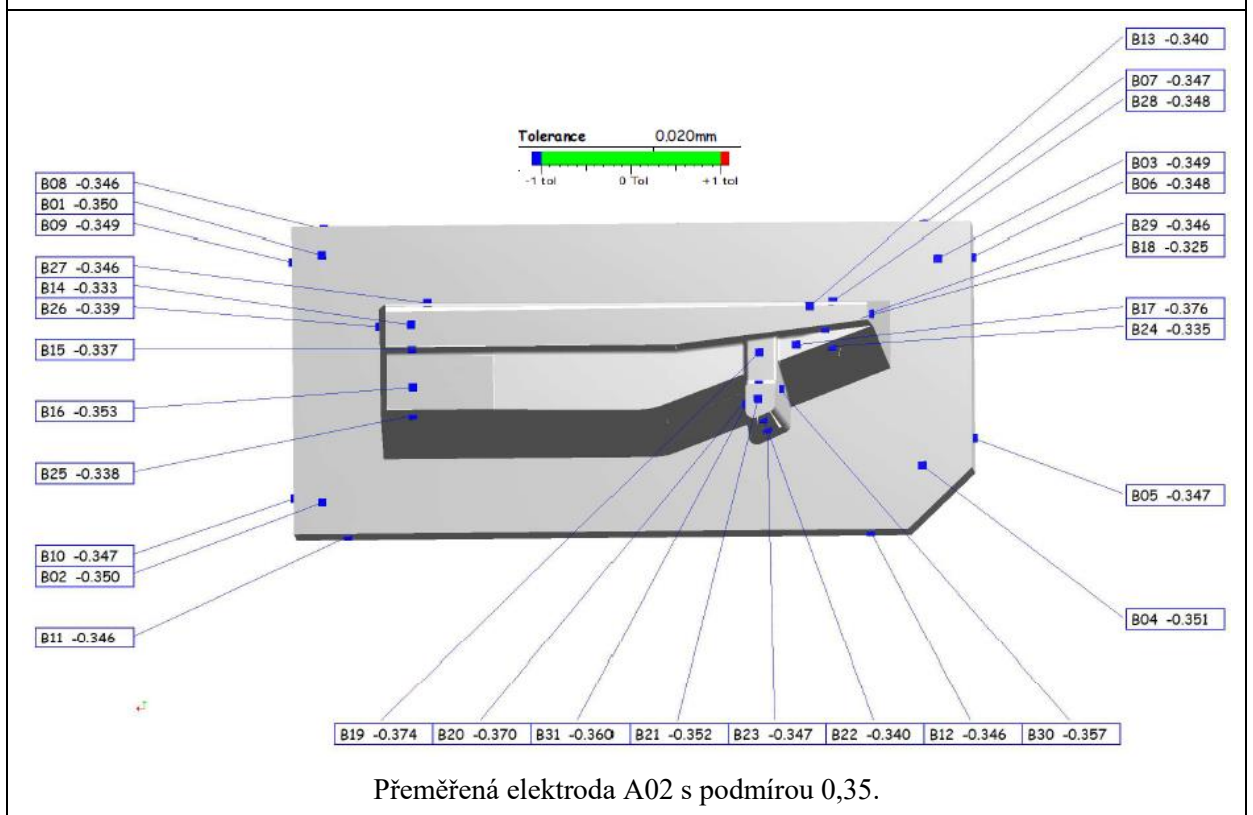
Přeměřená elektroda A01 s podmírou 0,2.



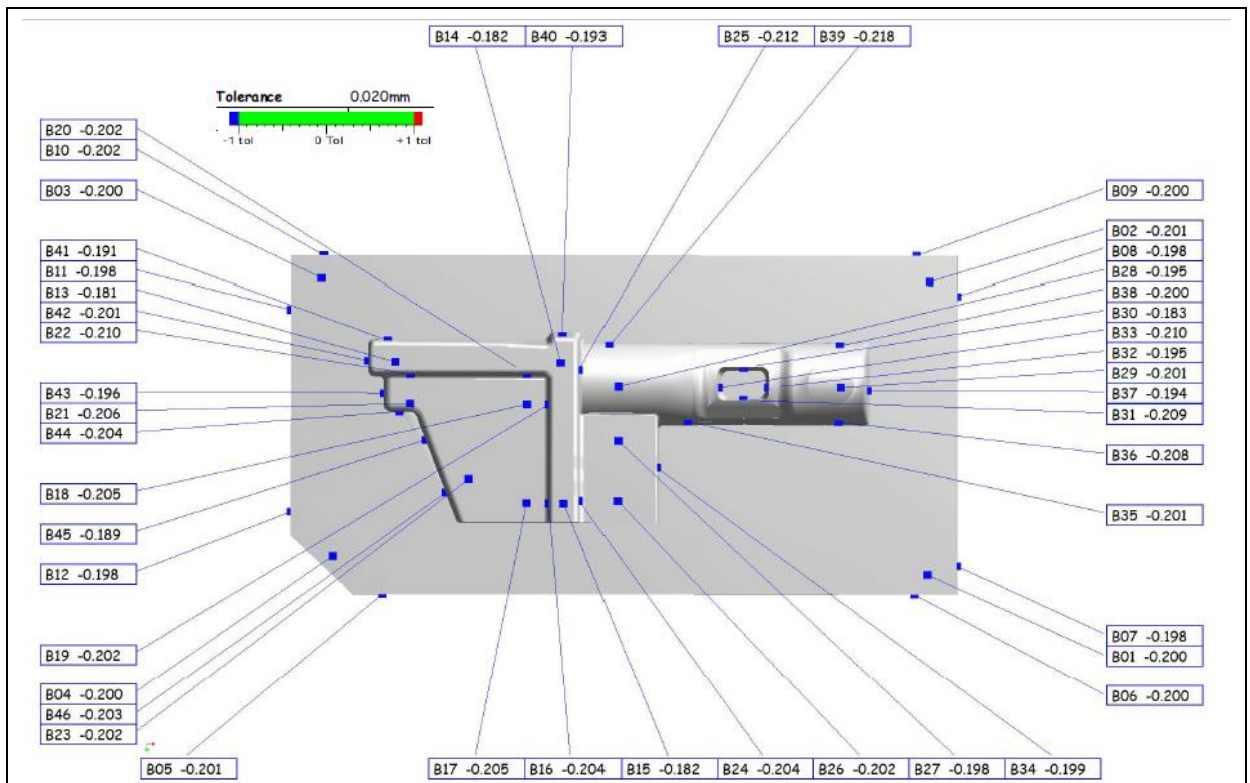
Přeměřená elektroda A02 s podmírou 0,35.



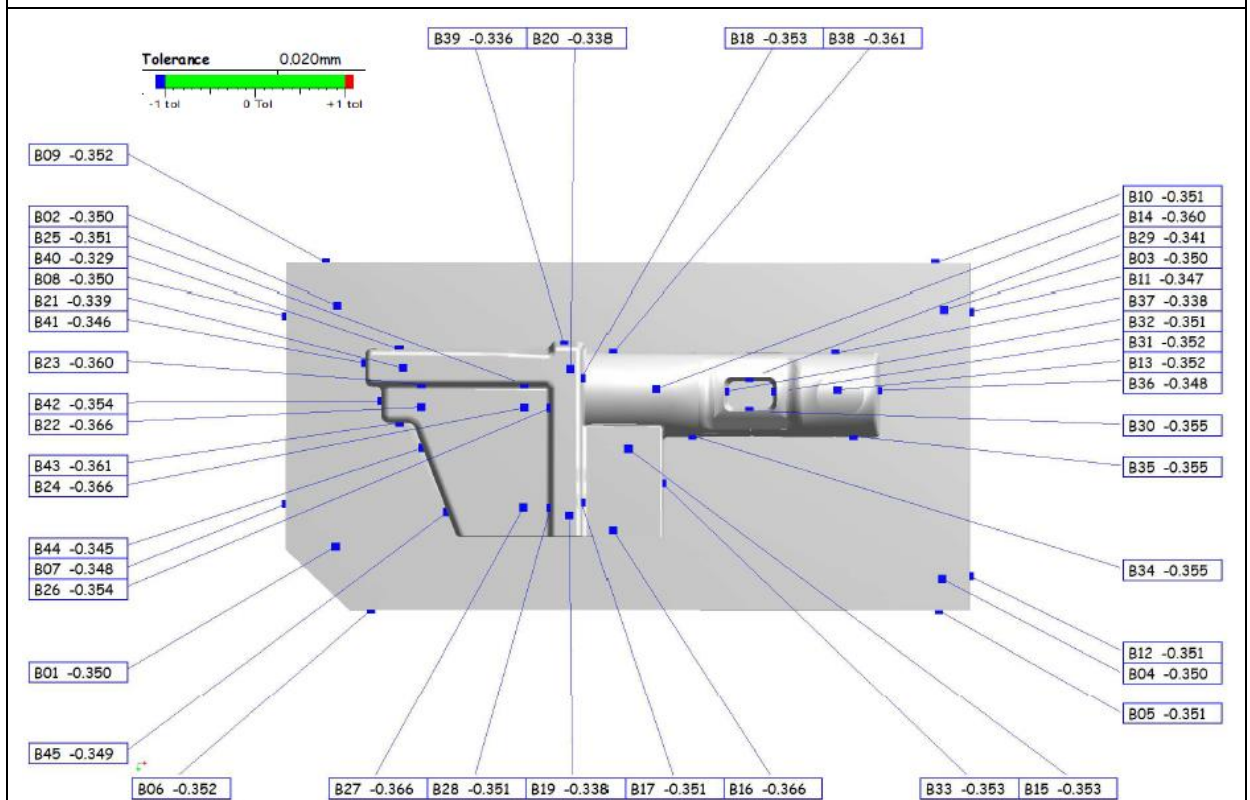
Přeměřená elektroda A02 s podměrou 0,2.



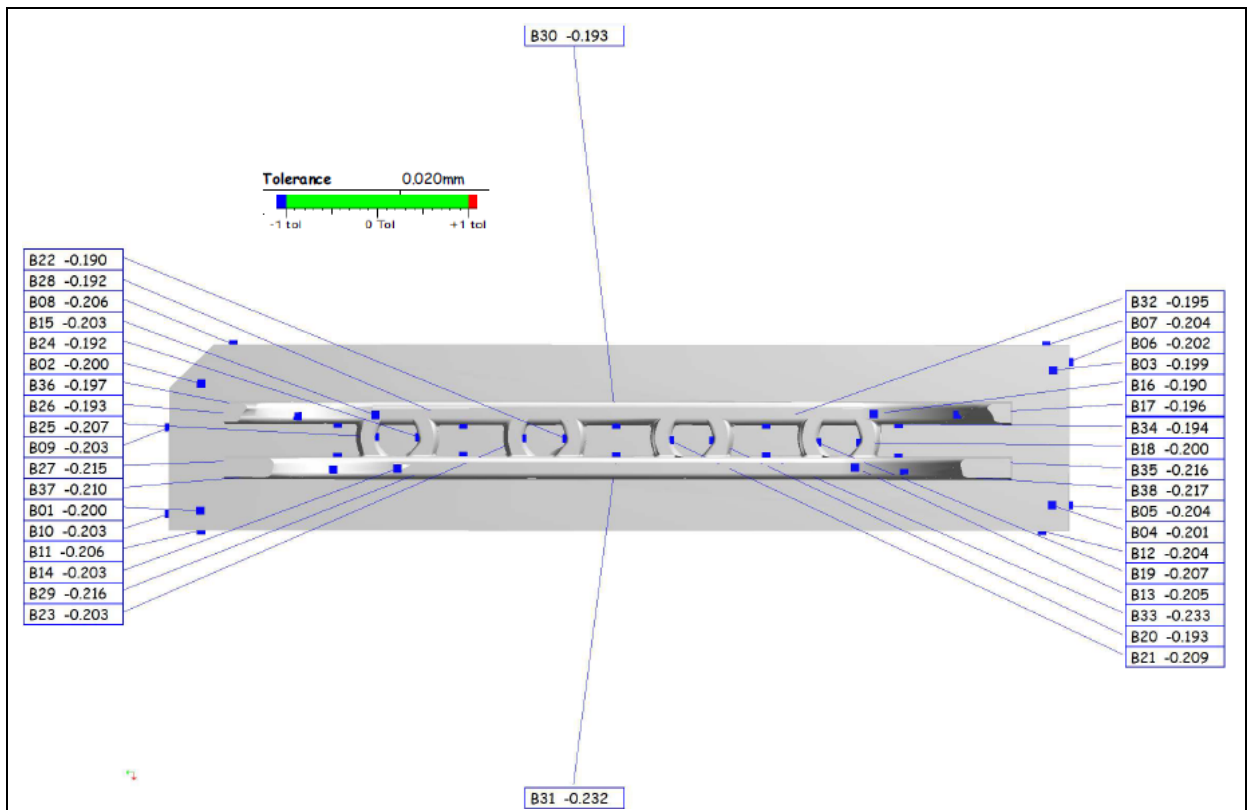
Přeměřená elektroda A02 s podměrou 0,35.



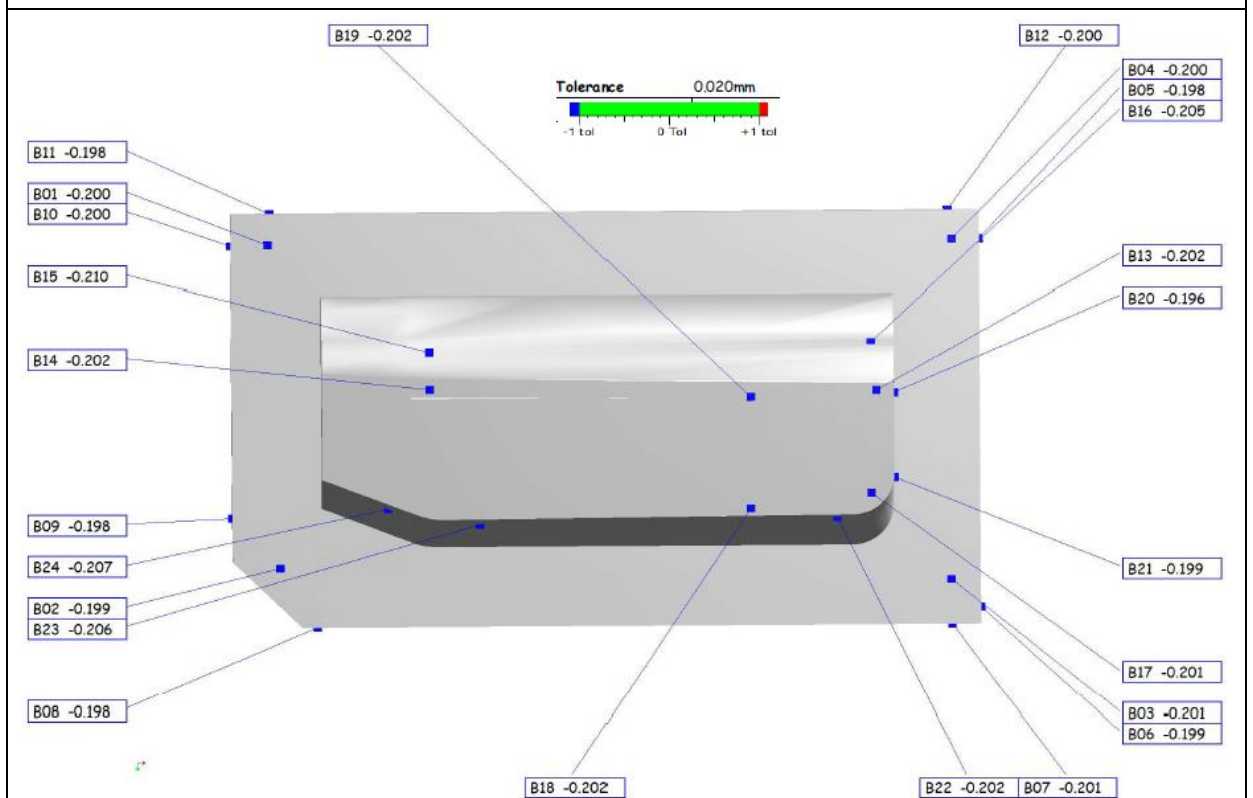
Přeměřená elektroda A03 s podměrou 0,2.



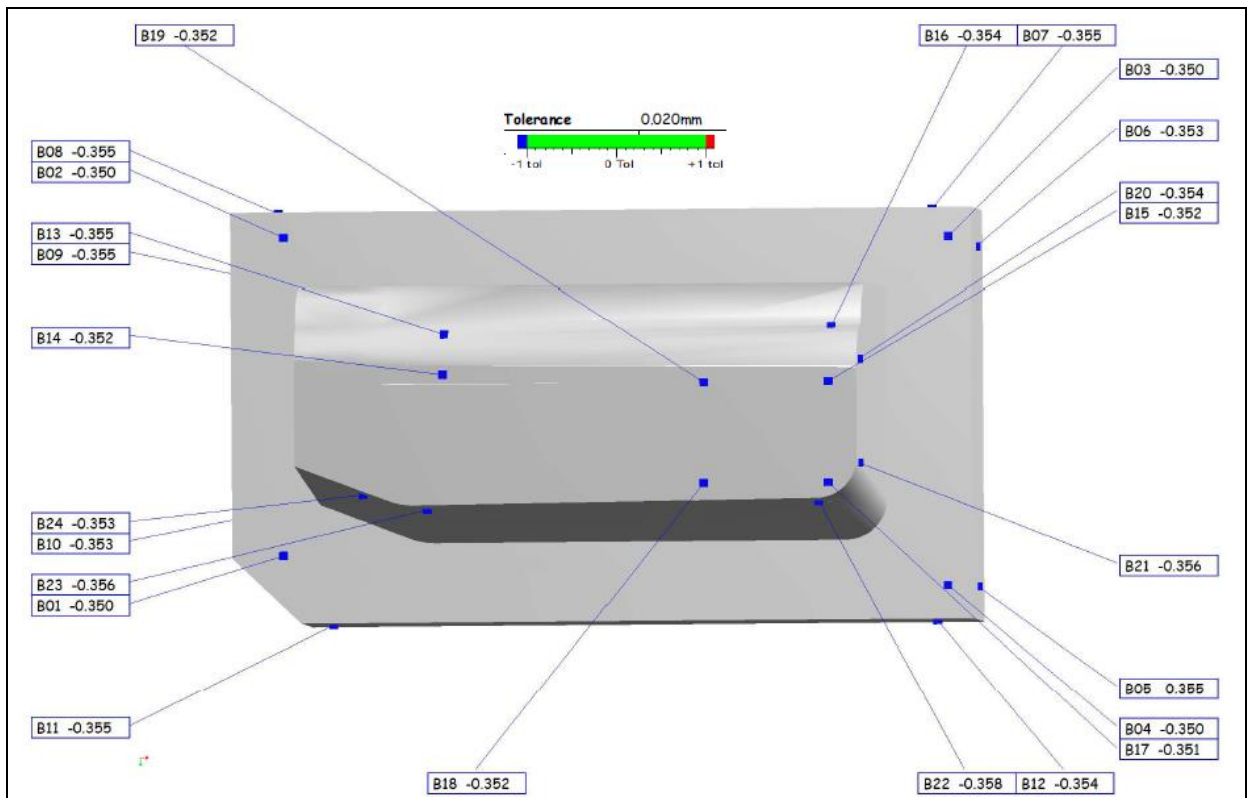
Přeměřená elektroda A03 s podměrou 0,35.



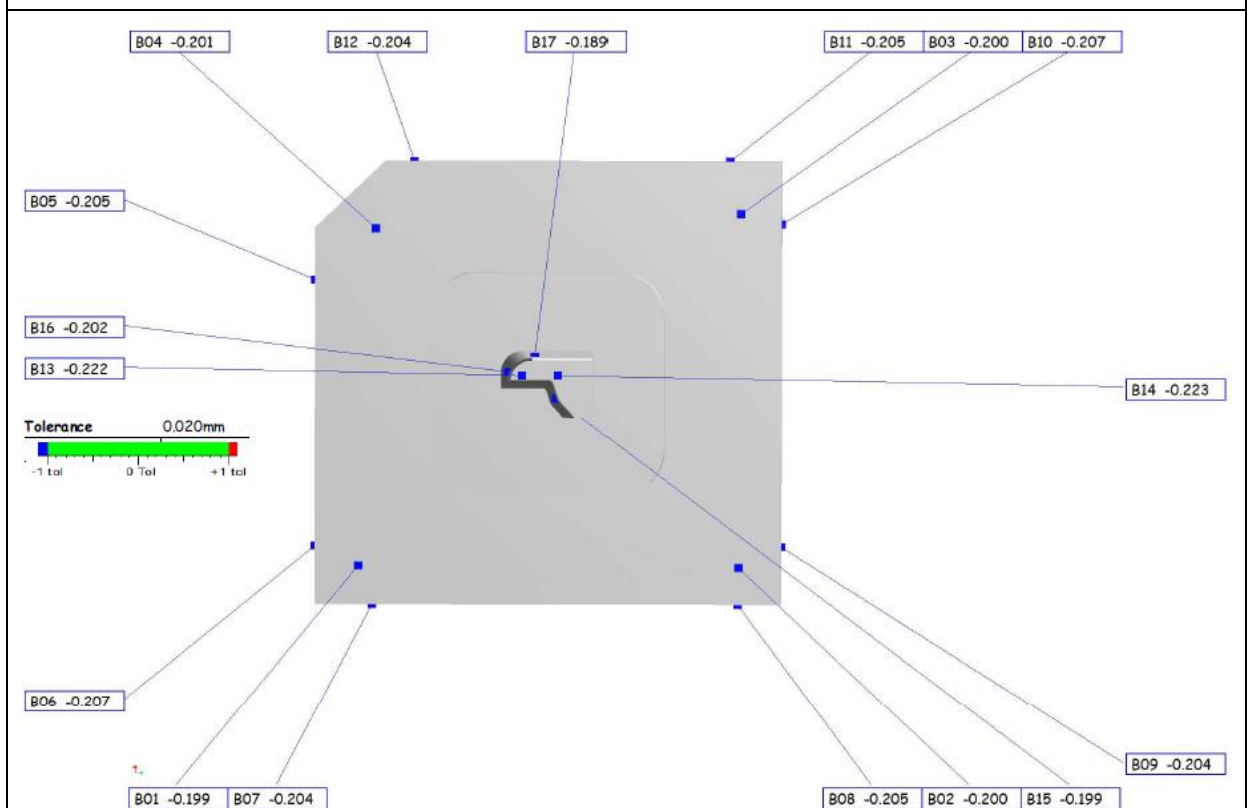
Přeměřená elektroda A04 s podměrou 0,2.



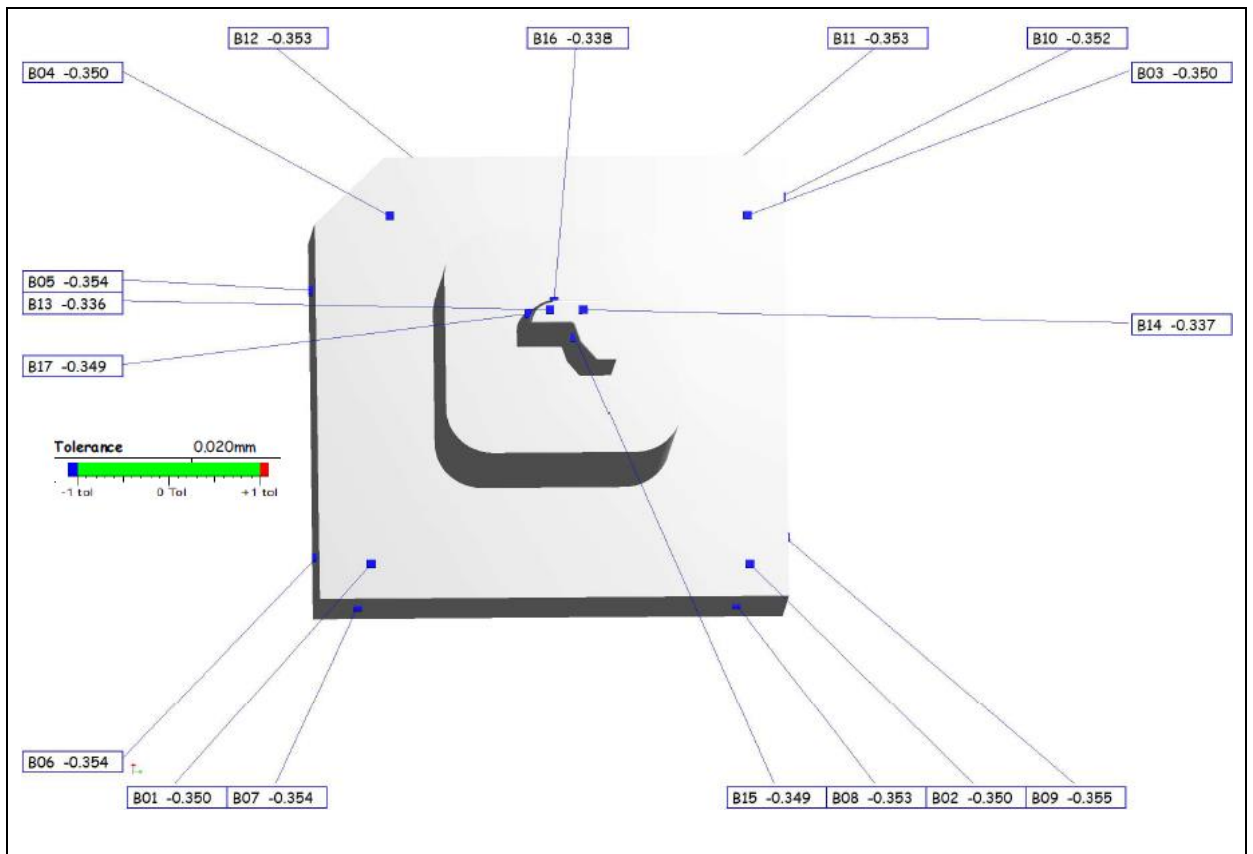
Přeměřená elektroda A05 s podměrou 0,2.



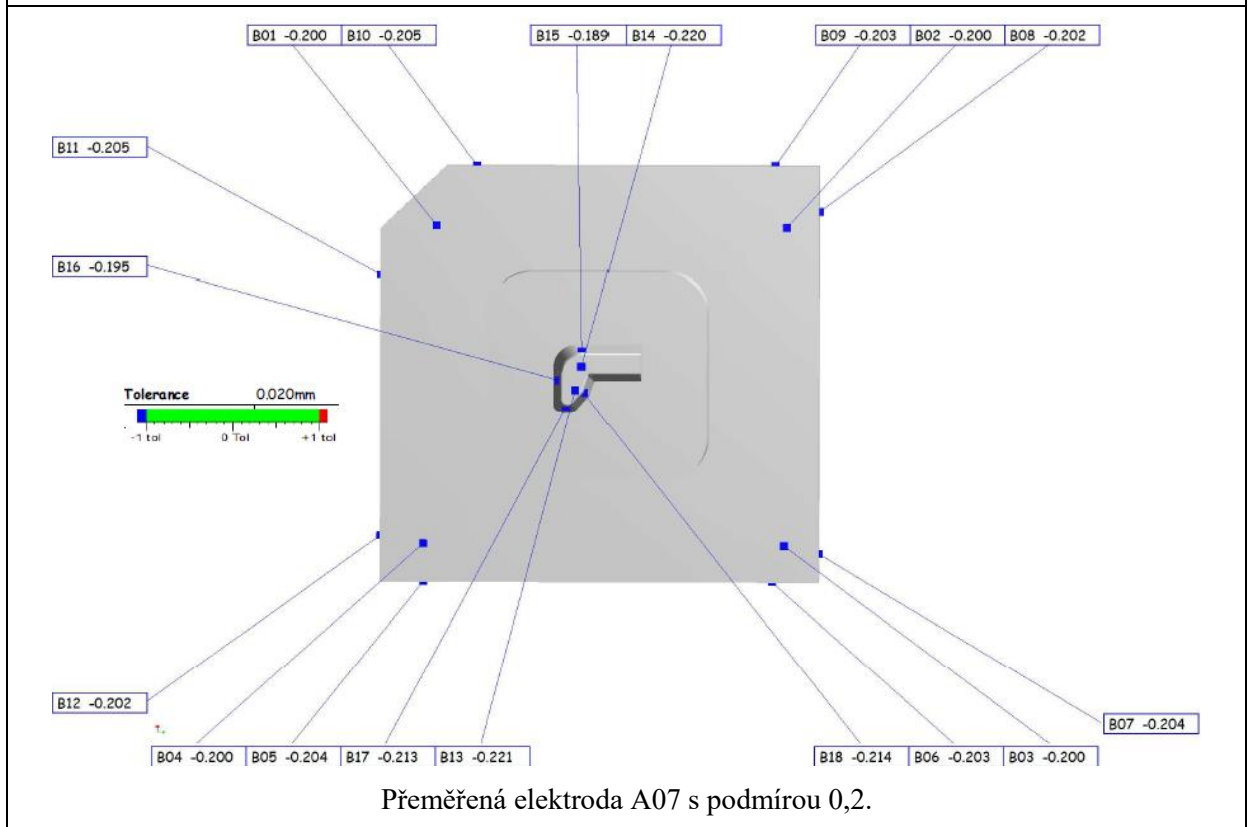
Přeměřená elektroda A05 s podměrou 0,35.



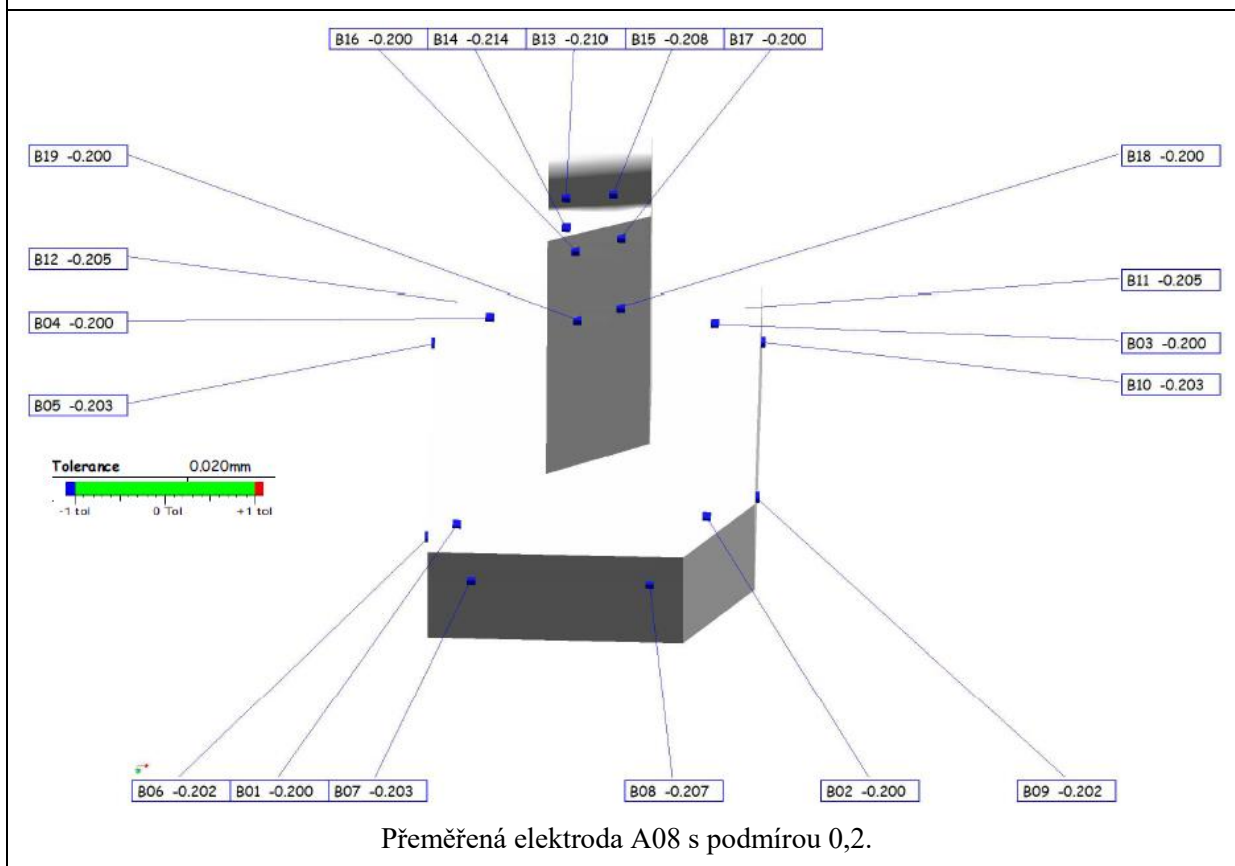
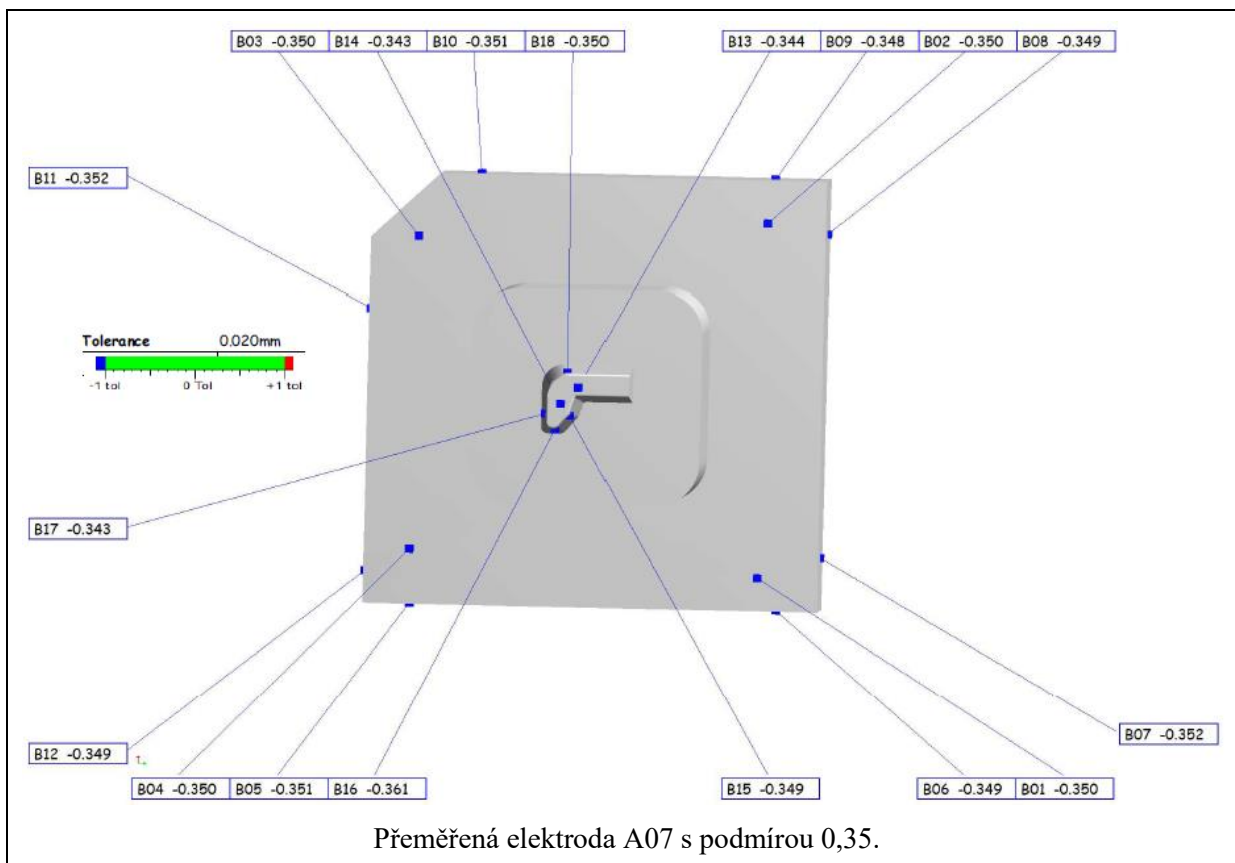
Přeměřená elektroda A06 s podměrou 0,2.

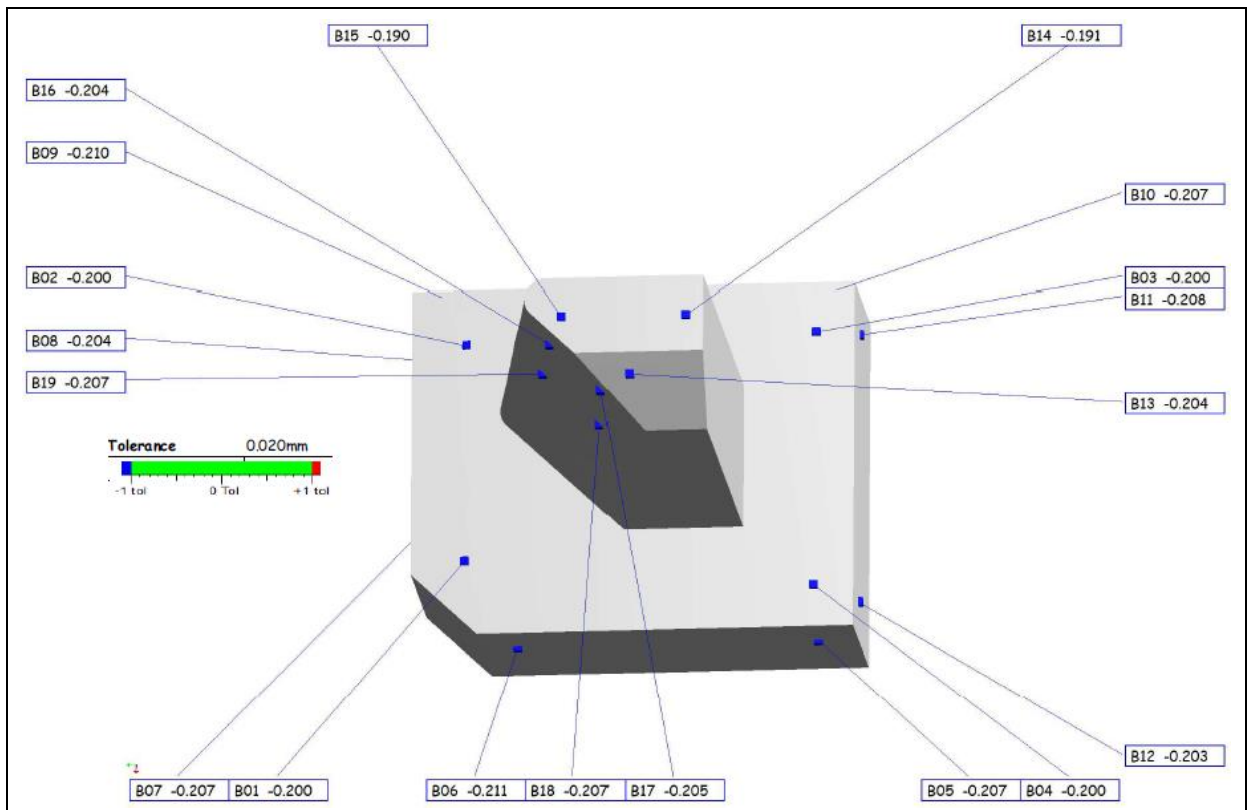


Přeměřená elektroda A06 s podměrou 0,35.

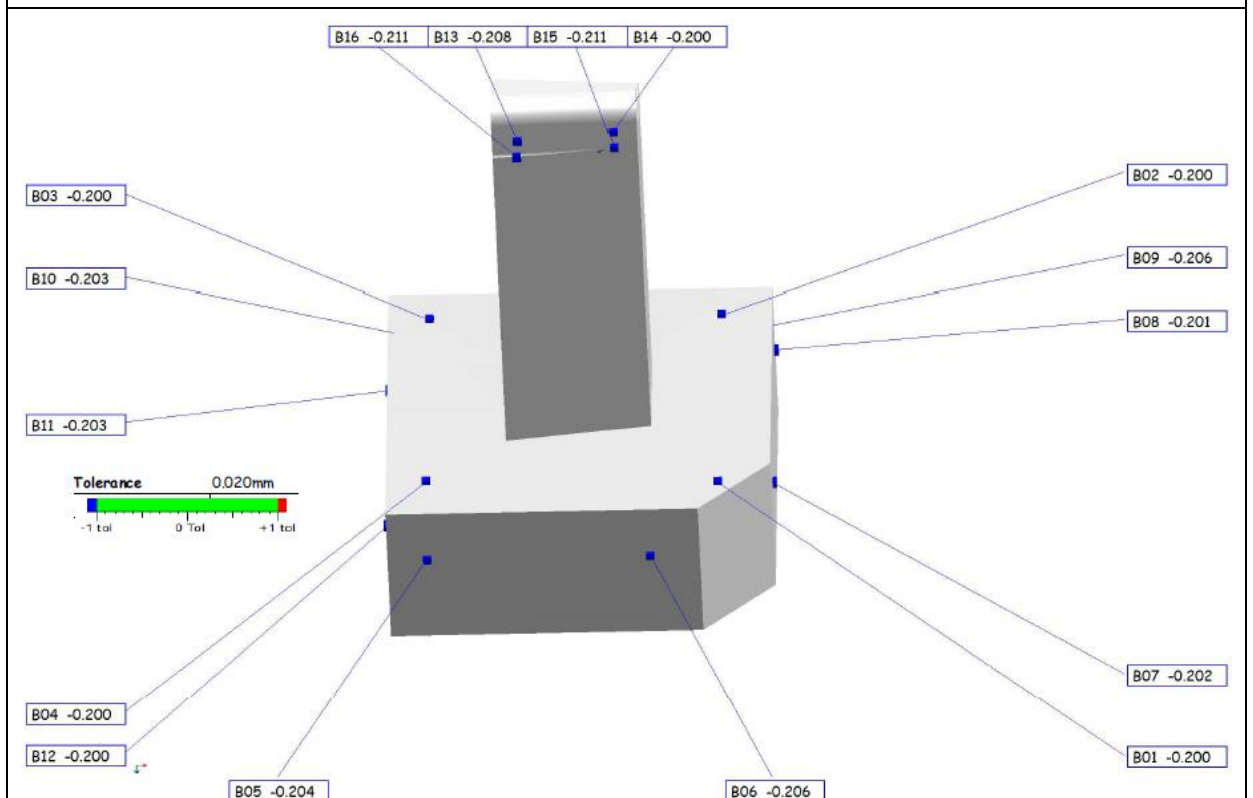


Přeměřená elektroda A07 s podměrou 0,2.





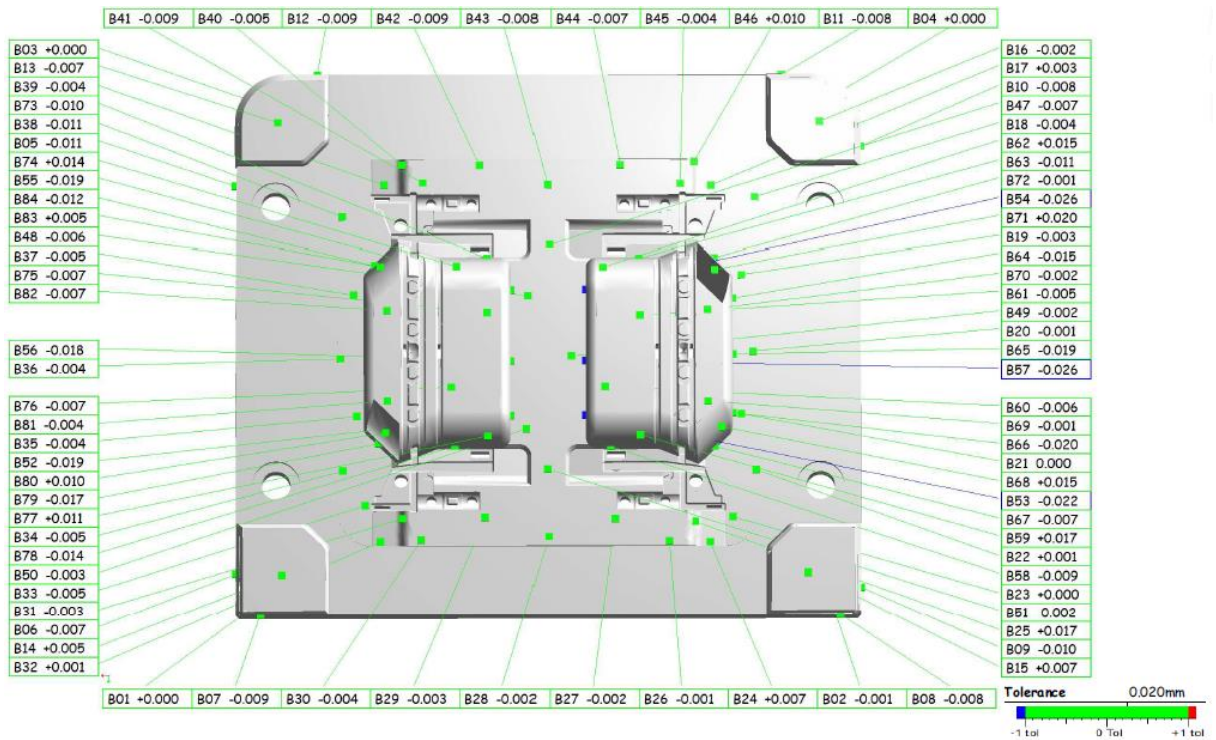
Přeměřená elektroda A09 s podmínkou 0,2.



Přeměřená elektroda A10 s podmínkou 0,2.

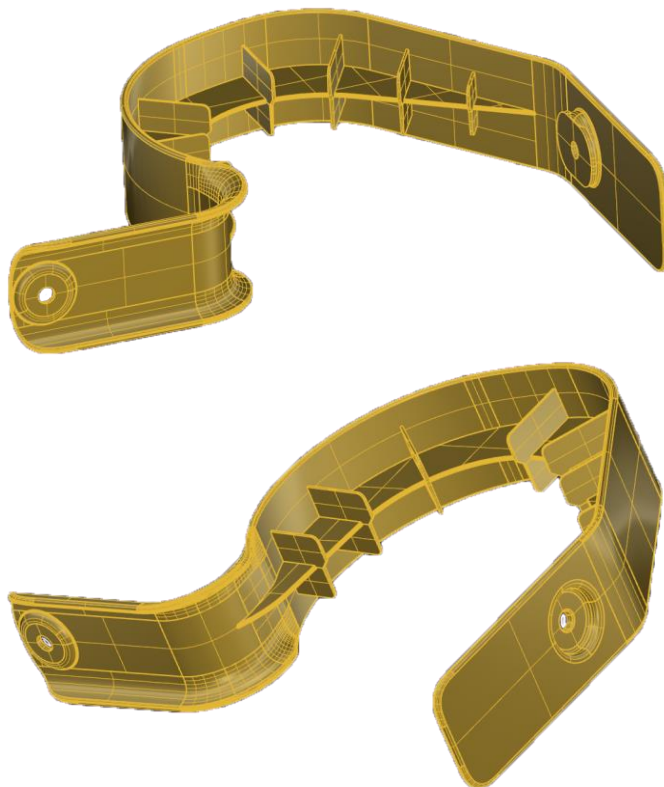
PŘÍLOHA 11

Kontrola tvárníku provedená na 3D souřadnicovém měřícím centru Aberlink Axiom too HS 900 CNC.

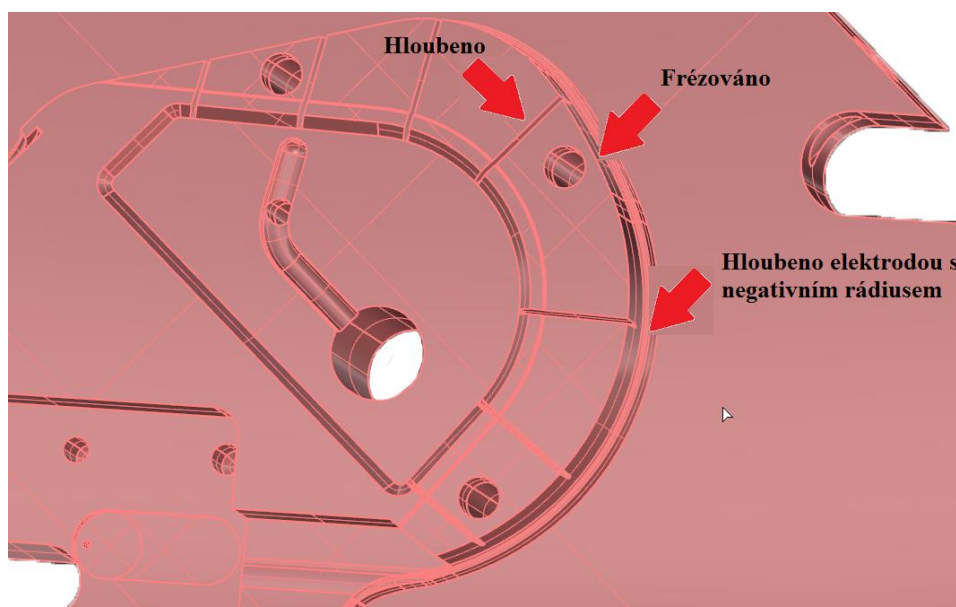


PŘÍLOHA 12

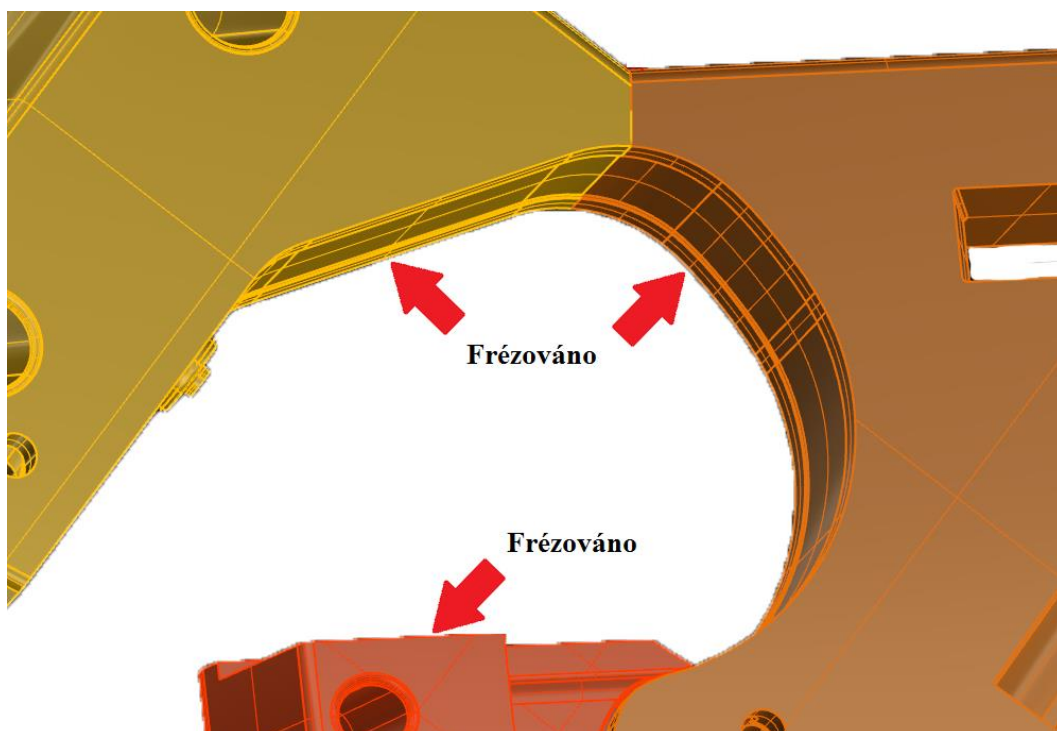
Aplikace hloubení/frézování u tenkostěnného výrobku. Obrázky byly pořízeny v programu Rhinoceros 5.0.



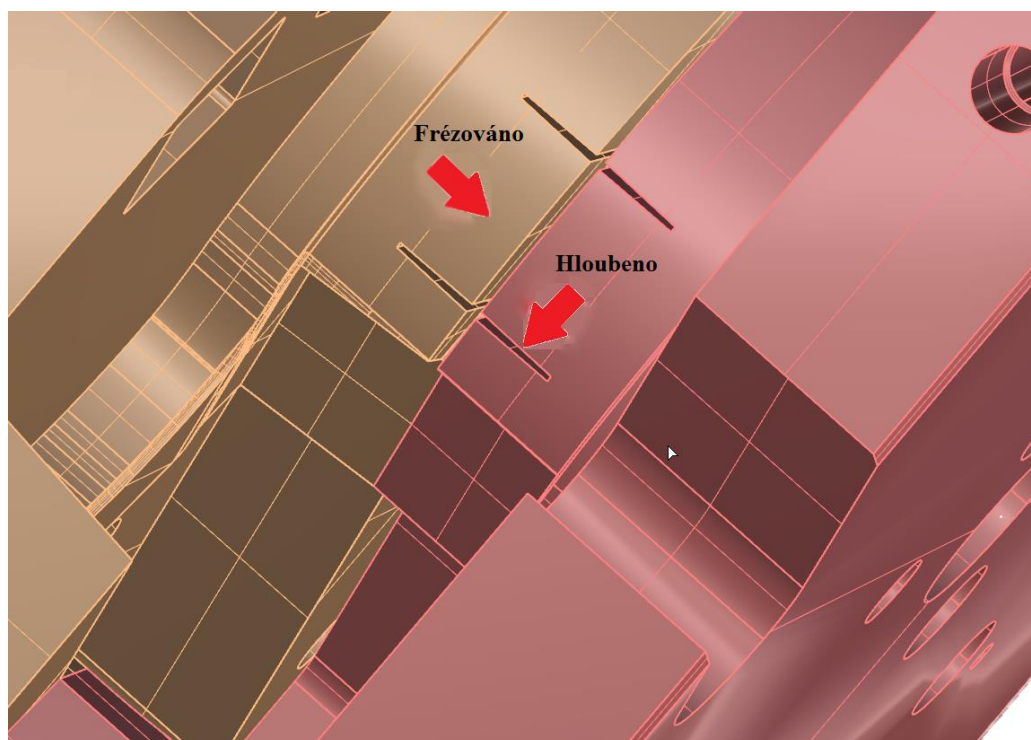
Tenkostěnný výlisek.



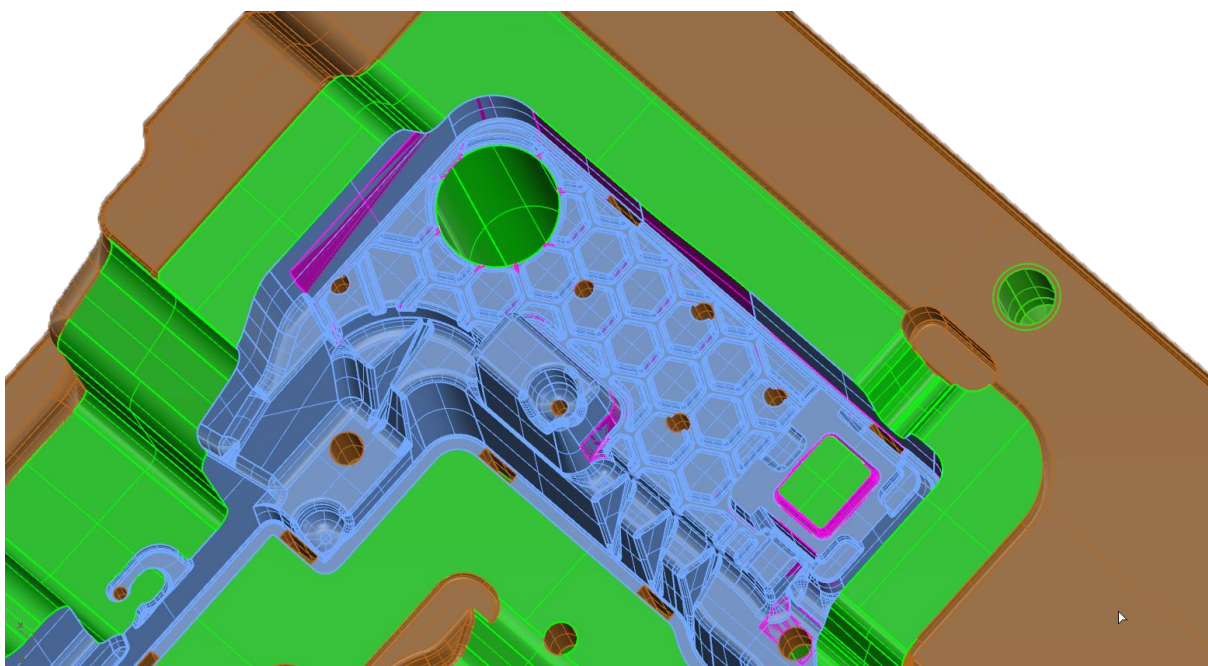
Vložka „A“.



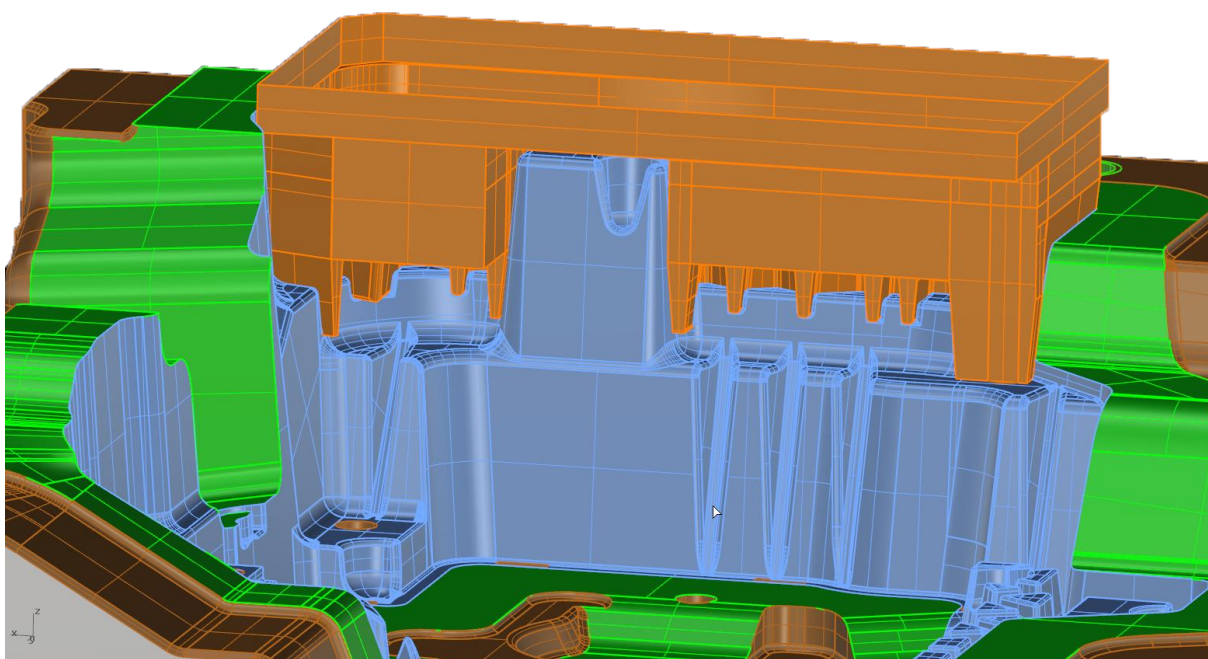
Posuvné šíbry.



Vložka „A“ a Vložka „B“.



Příklad aplikace před-frézování součásti „úľ“, která nemůže být jen frézována právě z důvodu rádiusu.



Příklad aplikace technologie hloubení po původním před-frézování.