

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojírenství
Studijní zaměření: Technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh úhlového upínače elektrod pro EDM obrábění

Autor: **Bc. Richard Hejlek**

Vedoucí práce: **Ing. Zdeněk Pospěch, Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Richard HEJLEK**
Osobní číslo: **S16N0044K**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie - technologie obrábění**
Název tématu: **Návrh úhlového upínače elektrod pro EDM obrábění**
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Analýza současného stavu
3. Konstrukční návrh upínače
4. Technologický postup výroby upínače
5. Metodika kontroly přesnosti sestavy upínače
6. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah kvalifikační práce: **50 - 70 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- Tichá, Šárka. Strojírenská metrologie- část 1. Ostrava 2004. VŠB-TU Ostrava.112s. ISBN 80-248-0672-x
- Mlčoch, Lubomír; Slimák, Ivan: Řízení kvality a Strojírenská metrologie. Praha: SNTL/ALFA Praha 1987. 330s.
- Brychta, Josef; Čep, Robert; Sadílek, Marek;Petřkovská, Lenka; Nováková, Jana: Nové směry v progresivním obrábění. Ediční středisko VŠB-TUO. 2007. Vydání první. 251s. ISBN 978-80-248-1505-03

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Pospěch, Ph.D.**

Katedra technologie obrábění

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Kuril**

WITTE Paint Application s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 18. října 2017

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: 16. 5. 2018

.....
Bc. Richard Hejlek

AUTORSKÁ PRÁVA

Podle Zákona o právu autorském č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně - technických poznatků nebo jakékoli nakládání s nimi, možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Velmi rád bych poděkoval všem, kteří přispěli k vypracování této diplomové práce. Především děkuji vedoucímu své diplomové práce Ing. Zdeňku Pospěchovi, Ph.D. a Ing. Jiřímu Kurilovi za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady a konzultace.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Hejlek	Jméno Richard	
STUDIJNÍ OBOR	N 2301 Technologie obrábění		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. POSPĚCH, Ph.D.	Jméno Zdeněk	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh úhlového upínače elektrod pro EDM obrábění		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	87	TEXTOVÁ ČÁST	69	GRAFICKÁ ČÁST	18
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce si klade za cíl vyřešení požadavku firmy WITTE ACCESS TECHNOLOGY, s.r.o. závod Ostrov na zvýšení přesnosti úhlového obrábění vtokových částí vstřikovacích forem při elektroerozivním obrábění EDM pomocí elektrod a zvětšení rozsahu nastavených úhlů na upínači pro elektroerozivní EDM obrábění.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Elektroerozivní obrábění, konstrukce přípravku, upínací přípravek</p>

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Hejlek	Name Richard		
FIELD OF STUDY	N 2301 Technologie obrábění			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. POSPĚCH, Ph.D.	Name Zdeněk		
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Design of angular fixture of electrodes for EDM operation			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2018
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	87	TEXT PART	69	GRAPHICAL PART	18
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis is focused on solving the request of WITTE ACCESS TECHNOLOGY, s.r.o. in Ostrov to improve accuracy of angular tooling of sprue parts of injection molds for electro-erosive tooling EDM with the help of electrodes and extending angular range on fixture for electro-erosive EDM tooling.
KEY WORDS	Electro-erosive tooling, construction of preparation features, tooling fixture.

Obsah

Vysvětlení pojmů:.....	11
1. Úvod.....	12
1.1 Představení společnosti WITTE ACCESS TECHNOLOGY, s.r.o.	12
1.2 Vstříkovací formy pro výrobu automobilových klik	13
2. Analýza současného stavu	15
2.1 Nekonenční metody obrábění	15
2.2 Elektroerozivní obrábění.....	16
2.2.1 Elektroerozivní hloubení.....	17
2.2.2 Elektroerozivní řezání	19
2.3 Dielektrikum	21
2.4 Nástrojové elektrody.....	23
2.5 Upínání elektrod pro EDM obrábění	27
2.6 Strojní vybavení pro EDM obrábění firmy WITTE	28
2.7 Strojní vybavení pro výrobu elektrod	31
2.8 Současný úhlový upínač	34
2.8.1 Postup ověření polohy hrotu elektrody ve stroji	35
2.9 Zadání	38
3. Konstrukční návrh úhlového upínače elektrod	41
3.1 Základní princip navrhovaného úhlového upínače	41
3.2 Návrh konstrukce úhlového upínače.....	42
3.2.1 Vývoj konstrukčního návrhu upínače	43
3.3 Materiál pro výrobu úhlového upínače	49
3.3.1 Tepelná úprava materiálu.....	49
3.4 Výkresová dokumentace	50

4. Technologický postup výroby upínače	52
4.1 Charakteristika horní části upínače	52
4.1.1 Posouzení technologičnosti konstrukce	52
4.1.2 Technologický postup výroby	53
4.2 Charakteristika dolní části upínače	54
4.2.1 Posouzení technologičnosti konstrukce	55
4.2.2 Technologický postup výroby	55
4.3 Charakteristika vzpěr	56
4.3.1 Posouzení technologičnosti konstrukce	56
4.3.2 Technologický postup výroby	57
4.4 Charakteristika čepu	58
4.4.1 Posouzení technologičnosti konstrukce	58
4.4.2 Technologický postup výroby čepu	58
4.5 Sestavení úhlového upínače	59
5. Metodika kontroly přesnosti sestavy upínače	60
5.1 Měřidla pro měření přesnosti upínače	60
5.2 Měřicí postup ověření přesnosti upínače	60
5.3 Měření upínače	63
5.4 Použití úhlového upínače	65
6. Závěr	66
Seznam použité literatury	68
Seznam příloh	70

Vysvětlení pojmů:

3D SMS	3D souřadnicový měřicí stroj
CAD	Computer Aided Design: počítačově podporované projektování
CAM	Computer Aided Manufacturing: počítačová podpora obrábění
SW	Software: program
CNC	Computer numeric control: číslicové řízení počítačem
NMO	Nekonvenční metody obrábění
EDM	Elektroerozivní obrábění
HSC	High speed cutting: vysokorychlostní obrábění
HB	Brinell hardness- stupnice tvrdosti dle Brinella
SolidWorks Professional	Dassault Systèmes Solidworks Corp. ®
SolidCAM	Dassault Systèmes Solidworks Corp. ®
HRC	Zkouška tvrdosti dle Rockwella
mm	milimetr
kg	kilogram
l	litr
Rm	mez pevnosti
Re	mez kluzu
Ra	drsnost
KTO	Katedra technologie obrábění
mbar	milibar

1. Úvod

Cílem diplomové práce bude vyřešení požadavku firmy WITTE ACCESS TECHNOLOGY, s.r.o. závod Ostrov na zvýšení přesnosti úhlového obrábění vtokových částí vstřikovacích forem při elektroerozivním obrábění EDM pomocí elektrod a zvětšení rozsahu nastavených úhlů na upínači pro elektroerozivní EDM obrábění.

V teoretické části bude analyzován současný stav úhlového obrábění. Dále bude popsán princip elektroerozivního EDM obrábění včetně základního strojního vybavení firmy WITTE ACCESS TECHNOLOGY, s.r.o. závod Ostrov, pro výrobu elektrod a EDM obrábění.

V praktické části bude porovnána možnost zakoupení přesnějšího upínače pro EDM obrábění v prodejní síti, nebo případné vytvoření konstrukčního návrhu úhlového upínače elektrod pro elektroerozivní EDM obrábění.

1.1 Představení společnosti WITTE ACCESS TECHNOLOGY, s.r.o.

Společnost WITTE ACCESS Technology, s.r.o. se sídlem v Ostrově, viz obr. č. 1, dále jen WITTE, je jediným integrovaným závodem na výrobu vnějších lakovaných klik ze skupiny a zároveň je závodem nejnovějším.

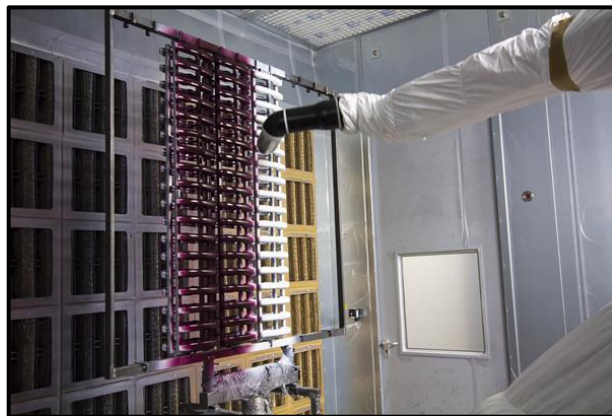


Obr. č. 1, sídlo firmy WITTE ACCESS TECHNOLOGY, s.r.o. závod Ostrov [1]

Katedra technologie obrábění

Bc. Richard Hejlek

Závod je navržen kompletně dle nejmodernější Lean koncepce. Kromě vlastní vstříkovny, nástrojárny a montáže je závod vybaven lakovací linkou o rozměrech 30 x 90 m, kdy veškerá její technologie je umístěna ve třech patrech. Jedná se o plně automatický lakovací proces, který ve čtyřech hlavních krocích provádí celkem 11 robotů, viz obrázek č. 2. Roční brutto kapacita lakovací linky je až 20 milionů vnějších dveřních klik s variabilitou až 400 barevných odstínů. Nanášení barev probíhá roboticky proti vodní stěně prostřednictvím vysokorychlostních rotačních atomizérů (zvonků) a lakovacích pistolí. Barvu lze aplikovat i elektrostaticky. [1]



Obr. č. 2, lakovací linka [1]

Tyto kliky se vyrábějí pomocí vstříkovacích lisů a vstříkovacích forem, do kterých se přivádí suchý granulát. Tento granulát se rozežřeje na požadovanou teplotu tavení a pod požadovaným tlakem je vstříknut do formy. Rozehřátý granulát vyplní všechny části ve formě a po ochlazení je hotový vylišovaný díl pomocí „chapidla“ vyjmut a umístěn na dopravníkový pás pro další proces výroby. [1]

1.2 Vstříkovací formy pro výrobu automobilových klik

V závodě WITTE se pro výrobu automobilových klik používají dle uspořádání vtoku jednoduché formy, které jsou označeny jako dvoudeskové s plným, komůrkovým nebo zúženým ústím. [4]

Vstříkovací forma jako celek je poměrně nákladná a složitá součást vstříkovacího stroje. Skládá se z tvářecí části, obsahuje temperanční nebo topný systém, vtokový systém materiálu, vyhazovací prvky pro výlisky, upínací část a vodící část. Při konstrukčním návr-

Katedra technologie obrábění

Bc. Richard Hejlek

hu formy se vychází ze vstřikovaného materiálu, výrobního stroje, dále z velikosti výrobní dávky a produktivity práce. Vzhledem k plánované hromadné produkci je velmi důležité eliminovat následné dokončovací práce, které velmi prodražují výsledný proces výroby.

Při návrhu formy se také počítá s její životností, která je plánována na určitý počet výlisků. Po dosažení plánovaného počtu vylisovaných kusů je forma ze vstřikovacího lisu vyjmuta a v nástrojárně jsou následně překontrolovány jednotlivé části formy. Velký důraz je kladen na část pro výlisky a vtoky pro vstřikování materiálu. Na obrázku č. 3 je zobrazena ukázka dokončených lakovaných dílů automobilových klik.



Obr. č. 3, lakované automobilové kliky [1]

2. Analýza současného stavu

Kontrola a případná oprava vstříkovací formy je náročná činnost, která klade na pracovníky nástrojárny vysoké nároky, zejména na přesnost, rychlost a kvalitu odvedené práce. Pro úpravu forem, které jsou z nástrojové oceli ČSN 19 552 a kalené až na 52 HRC, se využívá různých technologických postupů, například navařování, zaškrabávání a broušení. Pro korekce některých těžko přístupných míst formy, vtoků nebo pro výrobu dílů se používají různé přípravky a upínače, které se využívají na konvenčních CNC strojích a bruskách a elektroerozivních EDM obráběcích strojích. Formy se po úpravách přeměřují pomocí konvenčních měřidel (posuvné měřítko, výškoměr) a 3D SMS souřadnicovým strojem.

2.1 Nekonvenční metody obrábění

Elektroerozivní obrábění EDM se řadí mezi „nekonvenční metody obrábění materiálů“ [2], dále jen NMO, které se vyznačují tím, že se u nich nepoužívá klasický řezný nástroj a nelze tedy definovat jeho jednotlivé pracovní části. U těchto metod se při obrábění netvoří tříska jako u standardního procesu obrábění, jako je frézování, soustružení, broušení. K úběru materiálu dochází působením chemických, tepelných nebo mechanických vlivů nebo jejich kombinacemi. NMO se používají pro obrábění velmi tvrdých, pevných a houževnatých materiálů, které jsou vysoce odolné proti opotřebení, např. superslitiny, titanové slitiny, keramické materiály, karbidy.

Charakteristika NMO:

- obrábění není závislé na mechanických vlastnostech obráběného materiálu,
- nástrojový materiál nemusí být tvrdší než obrobek,
- možnost provádění složitých operací, jako je např. obrábění nepravidelných tvarů a dutin v materiálech s vysokou pevností,
- některé metody mění povrchové vlastnosti obrobku a zvyšují odolnost proti korozi.

Podle typu účinků na materiál rozdělujeme nekonvenční metody obrábění [2]:1) Oddělování materiálů *tepelným účinkem*:

- obrábění paprskem plazmy (Plasma Beam Machining - PBM),
- obrábění paprskem laseru (Laser Beam Machining - LBM),
- elektroerozivní obrábění (Electro Discharge Machining - EDM),
- obrábění paprskem elektronů (Electron Beam Machining - EBM).

2) Oddělování materiálu *elektrochemickým nebo chemickým účinkem*:

- elektrochemické obrábění (Electro Chemical Machining - ECM),
- chemické obrábění (Chemical Machining - CM, CHM).

3) Oddělování materiálu *mechanickým účinkem*:

- ultrazvukové obrábění (Ultrasonic Machining - USM),
- obrábění paprskem vody (Water Jet Machining - WJM, Abrasive Water Jet Machining – AWJM).

2.2 Elektroerozivní obrábění

V průmyslové výrobě se využívají následující modifikace elektroerozivního obrábění: [5]

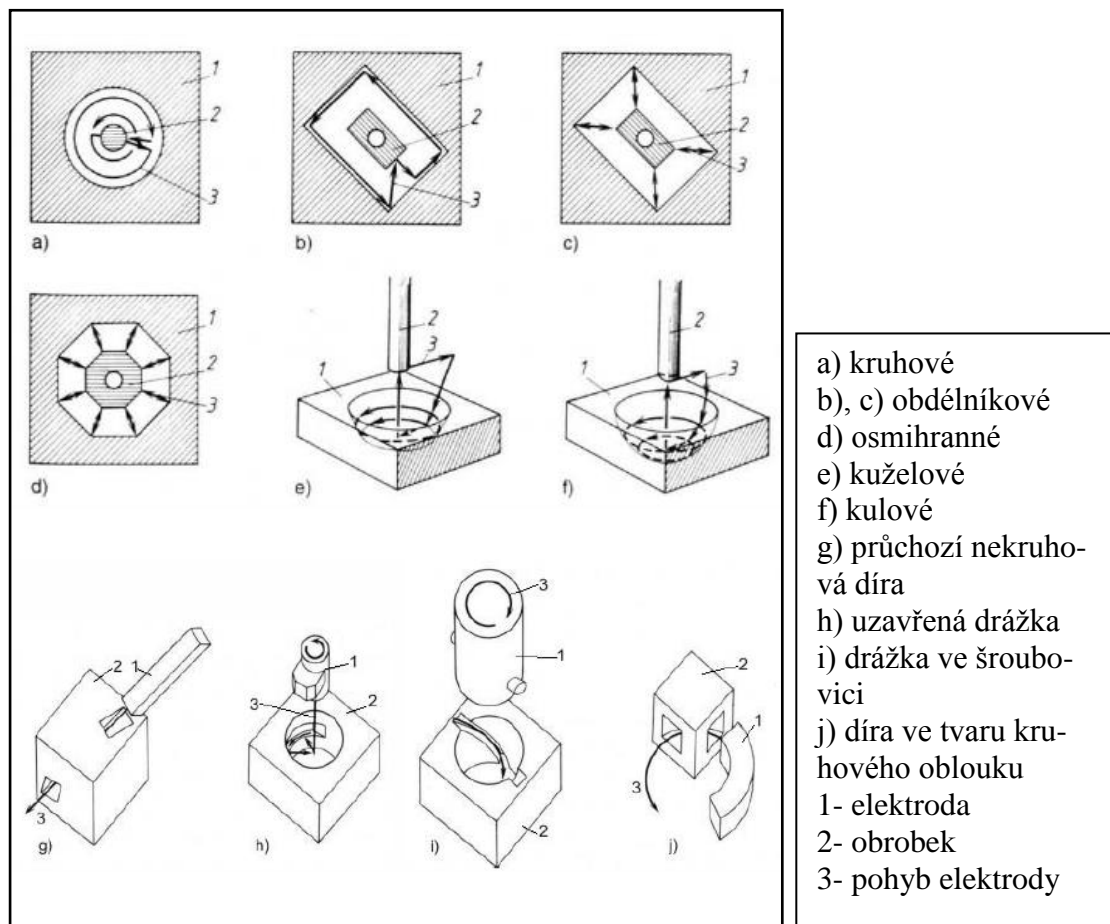
- Elektroerozivní hloubení
- Elektroerozivní drátové řezání
- Elektroerozivní povlakování
- Elektroerozivní mikroděrování
- Elektrokotáční obrábění
- Anodomechanické řezání

První dvě modifikace elektroerozivního obrábění, které jsou firmou WITTE používány pro výrobu např. elektrod a opravy součástí vstřikovacích forem, budou popsány podrobněji.

2.2.1 Elektroerozivní hloubení

Elektroerozivní hloubení patří mezi základní typy EDM obrábění. [2,3] Výboj vzniká v nejužším místě mezi nástrojem a obrobkem pod hladinou dielektrika, které chladí a odplavuje nečistoty z místa vzniku výboje. Pracovní napětí je do 50 V a proud 0,5 až 320 A. Dosahovaná rychlost obrábění je 0,01 až 0,1 mm³/min a velikost úběru je 100 až 25000 mm³/min. Mezi elektrodami je vzdálenost přibližně 0,01 až 0,8 mm. Stroje jsou řízeny CNC systémy a mohou vyrobit i velmi složitý tvar jednou, nebo i více elektrodami. Na obrázku č. 4 jsou zobrazeny základní výrobní kroky.

Pohyby elektrod:



Obr. č. 4, výroba tvarových dutin a povrchů kombinací tvaru a pohybů [3]

Elektroerozivní hloubení nalézá použití u výroby složitých tvarových ploch jak vnějších, tak zejména vnitřních ploch pro zápustky, formy a nástrojů pro lisování. [3]

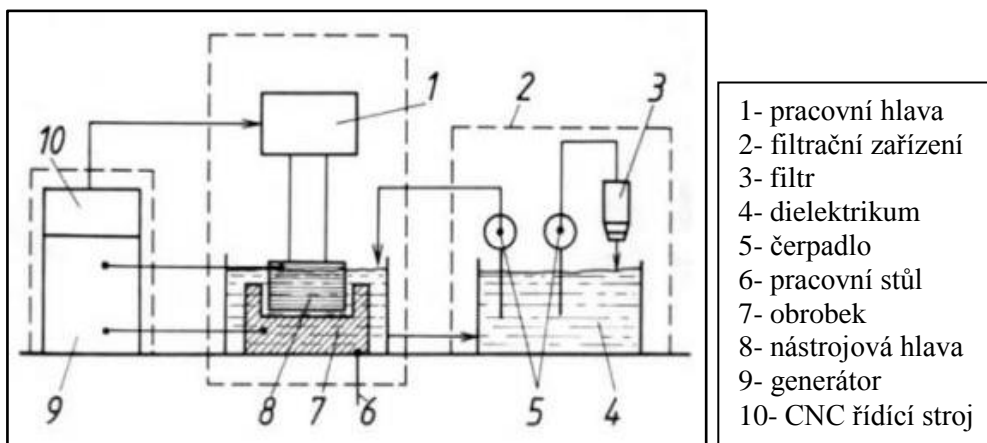
Mezi výhody elektroerozivního hloubení patří zejména:

- obrábění vodivých materiálů bez ohledu na jejich vlastnosti,
- široký rozsah parametrů představuje možnost vyrábět povrch obrobku v různé kvalitě,
- snadná výroba složitých tvarů,
- bez silového zatížení na obrobek,
- menší odpad než u konvenčního obrábění,
- snadná výroba nástrojů,
- bez otřepů na obrobku,
- možnost automatizace procesu obrábění.

Mezi nevýhody patří:

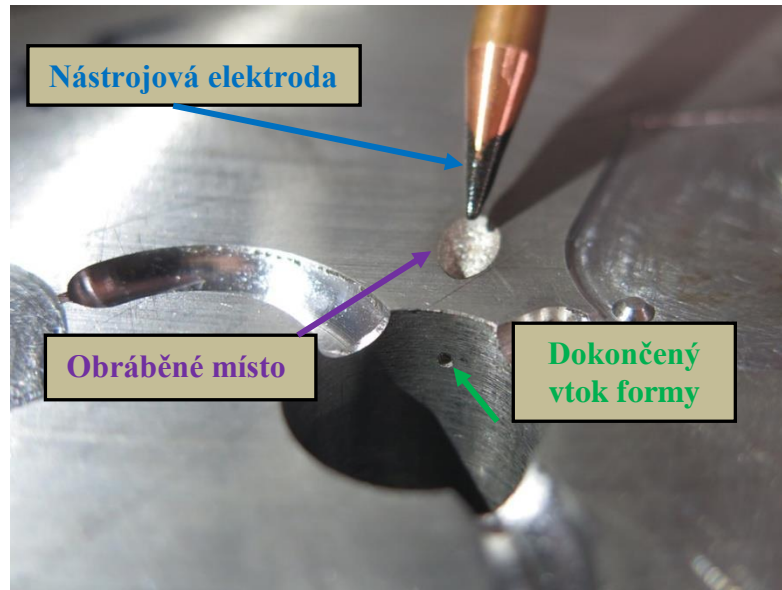
- nutná přítomnost obrobku v dielektriku,
- nižší produktivita obrábění,
- nelze spolehlivě určit kvalitu obrobku.

Na obrázku č. 5 je zobrazeno základní schéma elektroerozivního stroje. [2]



Obr. č. 5, princip elektroerozivního stroje [2]

Na obrázku č. 6 je zachycena elektroda při obrábění vtokové části vstříkovací formy.

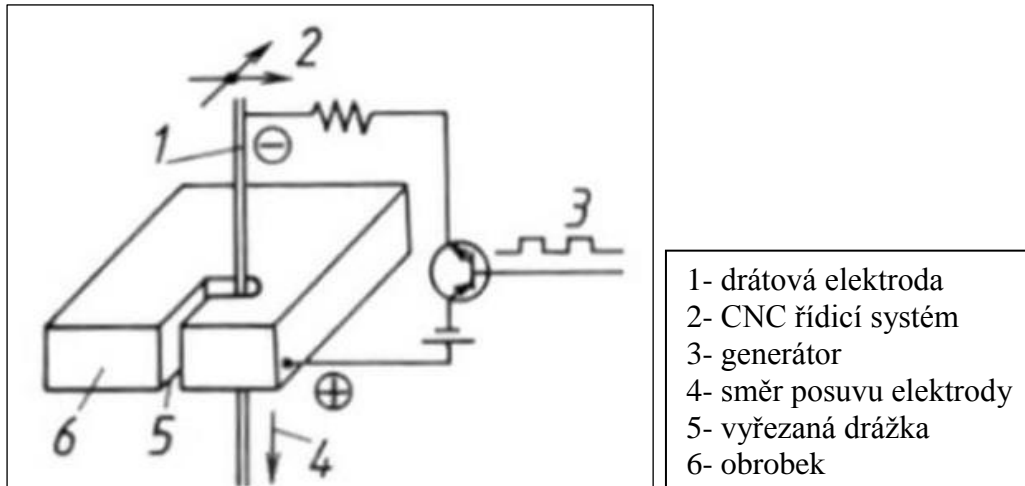


Obr. č. 6, ukázka z elektroerozivního hloubení vstříkovací formy

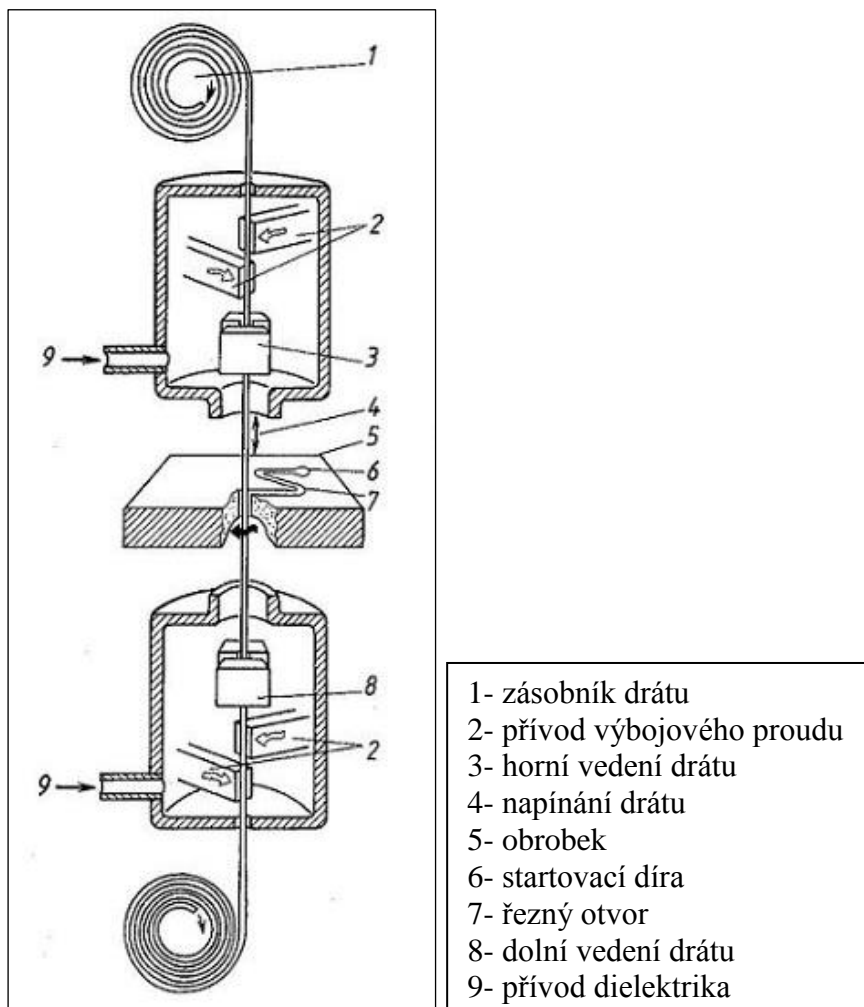
2.2.2 Elektroerozivní řezání

Elektroerozivní řezání používá jako nástrojovou elektrodu napnutý tenký drát, který se do místa řezu v obrobku pomalu odvíjí z cívky přes systém jednotlivých napívacích kladek. [3] Obrodek je umístěn v dielektriku. Výsledkem obrábění je velmi tenký řez. Drát je nejčastěji vyroben z mědi, mosazi a jejich sloučenin. Drát může být i povlakován, např. Cu-Cr, Cu-Ag. Průměr drátu je 0,03-0,35 mm. Drát je veden mezi přesnými vodítky a napínání drátu je řízeno elektronickým systémem. Celý mechanismus se může pootočit až o 30° a řezat pod úhlem. Drátové řezačky jsou řízeny CNC systémem. Před zahájením výroby je do stroje přes CAD/CAM systém nahrán program výrobku. Obrodek musí být před zahájením výroby předvrtán, pokud již není stroj vybaven automatickým předvrtáním otvoru, a drát je následně navlečen ručně nebo automaticky.

Elektroerozivní řezání se nejčastěji používá pro řezání velmi tvrdých vodivých materiálů, např. slinutých karbidů nebo vodivé keramiky SiC a kalených ocelí. Princip řezání a podávání drátu je vyobrazen na obrázku č. 7,8 a 9. [3], [5], [8]



Obr. č. 7, princip řezání drátovou metodou [3]



Obr. č. 8, princip podávání drátu a vedení drátové elektrody [5]



Obr. č. 9, FANUC ROBOCUT α600 IA [8], ukázka protažení drátu drátovou řezačkou

2.3 Dielektrikum

Dielektrikum se v EDM obrábění používá jako pracovní prostředí, je elektricky nevodivé a probíhá v něm elektrický výboj mezi elektrodami. Správnou volbou dielektrika se může ovlivnit výsledná kvalita obrobku

Požadavky na dielektrikum jsou zejména:

- chemická neutralita,
- vysoký bod vzplanutí,
- smáčivost a nízká viskozita kapaliny pro rychlou obnovu izolace po výboji,
- schopnost dobrého odvádění nečistot a zplodin po úběru materiálu,
- musí dobře chladit nástroj i obrobek,
- musí být levně a lehce vyrobitelná,
- při obrábění nesmí vznikat jedovaté výpary.

Dielektrikem v procesu obrábění je nejčastěji:

- petrolej,
- vodní sklo,
- transformátorové oleje,

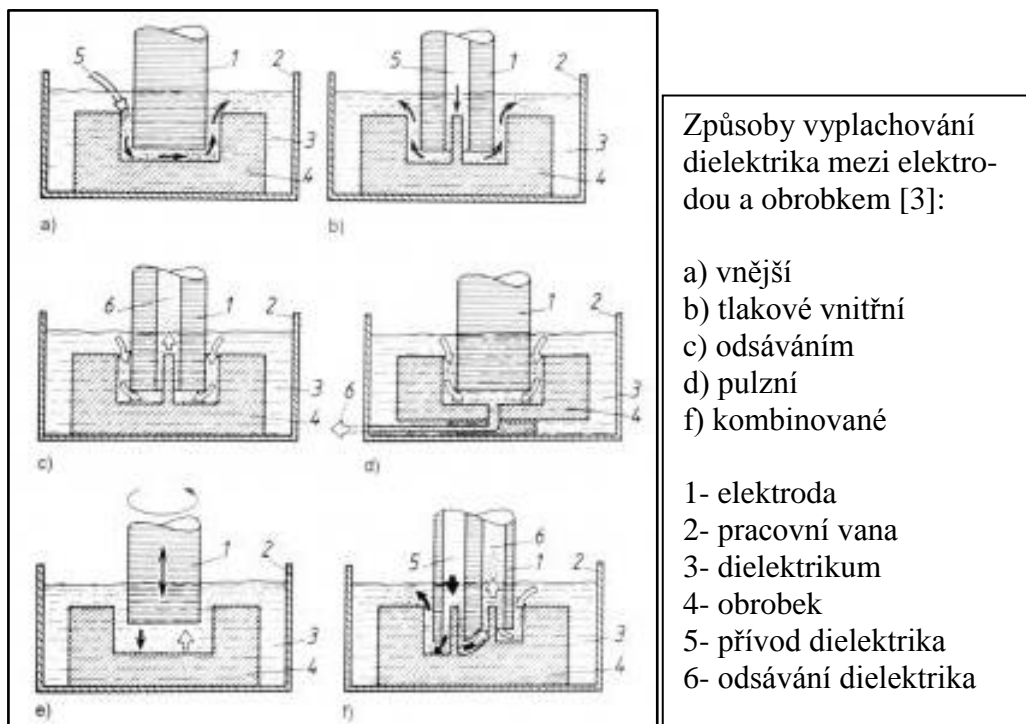
- strojní oleje,
- neionizovaná destilovaná voda.

Způsoby vyplachování dielektrika:

Při elektrojiskrovém obrábění vznikají v mezeře částice, které je nutné odplavit z místa vzniku jiskry, aby byla zachována co nejlepší kvalita povrchu. Způsobů vyplachování je několik:

- přívod dielektrika pod tlakem vnitřkem elektrody,
- vyplachování odsáváním,
- vyplachování vnější,
- vyplachování pulzní.

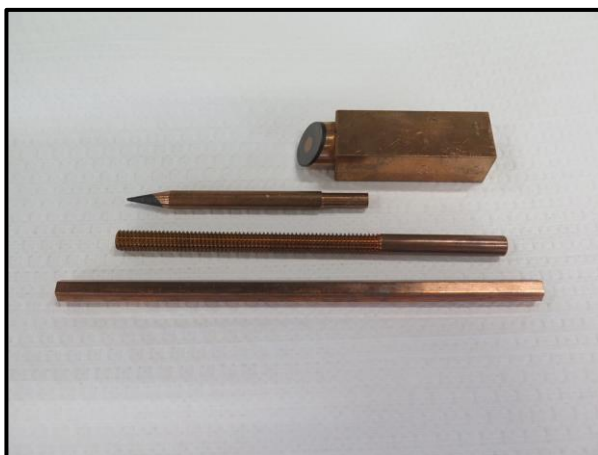
Nejčastějším způsobem při hloubení načisto se používá vyplachování pulzní, kdy se elektroda při procesu obrábění zvedne od obrobku a dojde ke zvětšení jiskrové mezery. Tímto způsobem se docílí dokonalého proplachu. Po proplachu se elektroda opět vrátí na danou hodnotu pracovní mezery. V případě obrábění složitých tvarů se použije odsávání s tlakovým vnitřním vyplachováním, viz obrázek č. 10. [3]



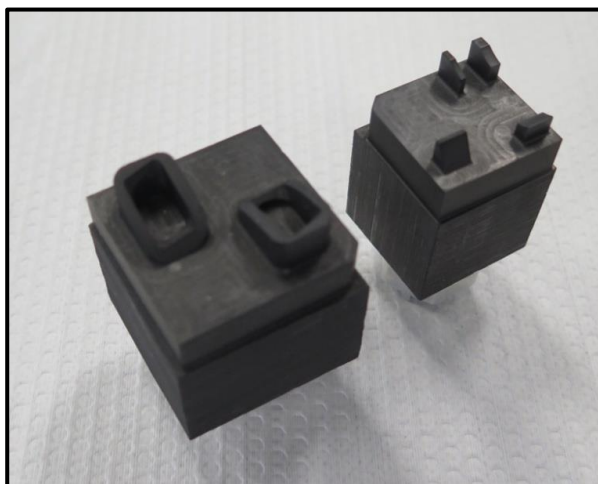
Obr. č. 10, způsoby vyplachování dielektrika mezi elektrodou a obrobkem [3]

2.4 Nástrojové elektrody

Elektrody pro elektroerozivní obrábění jsou velmi důležité pro přesnost rozměrů, kvality obrobeneho povrchu a z hlediska výkonu při obrábění. Náklady na výrobu elektrody mohou činit až 50% výrobních nákladů z ceny výrobku. Z těchto důvodů je nutno zvolit správný materiál, vhodnou výrobu nástroje a jeho správné upnutí do stroje. Před výrobou nástrojové elektrody, například pro opravu formy, se nejdříve provede import dat z CAD systému. Při návrhu výkresové dokumentace elektrody je nutné počítat s přívodem dielektrické kapaliny a je nutné zabránit kontaktu elektrody s povrchem modelu- obrobku. Na modelu formy se vyberou plochy, které budou tvořit následný negativní tvar elektrody. [6] Na obrázku č. 11 jsou zobrazeny ukázky měděných a na obrázku č. 12 grafitových elektrod pro EDM obrábění.



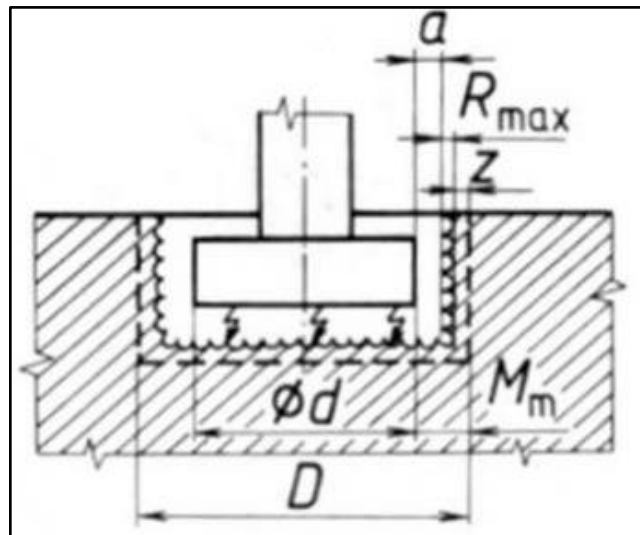
Obr. č. 11, ukázka měděných nástrojových elektrod



Obr. č. 12, ukázka grafitových elektrod

Určení velikosti rozměru elektrody:

Při hrubování se snažíme odebrat co nejvíce materiálu za co nejkratší čas. Z těchto důvodů se nechává pouze malý přídavek pro dokončovací práce na čisto. Výpočet rozměru hrubovací a dokončovací elektrody k hloubení válcové dutiny lze provést pomocí vztahů dle (1) a (2). Na obrázku č. 13 je zobrazen princip výpočtu úběru elektrody [3]:



Obr. č. 13, stanovení rozměru hrubovací nástrojové elektrody [3]

Průměr hrubovací elektrody:

$$d = D - 2(a + R_{max} + z) = d - 2M_m \quad [mm] \quad (1)$$

Dokončovací elektrody:

$$d = D - 2a \quad [mm] \quad (2)$$

D.....je požadovaný rozměr dutiny [mm]

a.....velikost jiskrové mezery [mm]

Ra_{max}.....požadovaná jakost obrobeného povrchu [mm] (tvarové chyby)

z.....tloušťka narušeného povrchu [mm]

M_m.....minimální hodnota, o kterou musí být nástroj menší pro dosažení požadovaného průměru dutiny [mm]

Materiály pro nástrojové elektrody musí splňovat následující požadavky: [5]

- dobrou elektrickou a tepelnou vodivost,

- odolnost proti erozi,
- vysoký bod tání a malou tepelnou roztažnost,
- stálost tvaru, dostatečná pevnost,
- dobrou obrobiteľnosť.

Na výrobu nástrojů se nejčastěji používají materiály uvedené v tabulce č. 1 [2]:

Materiál	Vlastnosti
Měď	Dostupný a odolný materiál vůči erozivnímu opotřebení. Použití pro obrábění karbidů, převážně karbidů wolframu. Drsnost povrchu je lepší než $R_a=0,5$.
Slitina mědi a grafitu	Lze použít na obrábění karbidů wolframu, je ovšem 1,5-2x dražší než měď.
Wolfram	Použití při obrábění slinutých karbidů a výrobě mikrootvorů o velikosti menší než 0,2 mm a to až do hloubky 100 mm.
Slitina wolframu a stříbra Slitina wolframu a mědi	18 až 100 krát dražší materiál oproti mědi. Po slisování již není možné materiál nijak upravovat z důvodu křehkosti materiálu. Použití nalézá při výrobě elektrod pro hluboké drážky.
Grafit	Nejvíce používaný materiál zejména pro obrábění ocelí s vysokým bodem tavení okolo 3000 °C. Hlavní nevýhodou materiálu je znečištění stroje a horší kvalita obrobeneho povrchu obrobku než u měděné elektrody.
Mosaz	Materiál s dobrou obrobiteľnosťí, rychlejší opotřebení proti mědi, nebo grafitu. Použití pro střížné nástroje.

Tabulka č. 1, materiály na výrobu elektrod [2]

Opotřebení elektrod:

Vysoké teploty tavení materiálu, materiál elektrody a elektrické impulsy, které působí na materiál, jsou hlavními vlivy, které způsobují opotřebení elektrody. Z hlediska opotřebení se vyhodnocují boky, konce elektrod a zejména rohy, od jejichž opotřebení se určuje trvanlivost elektrody a doba pracovního úseku mezi úpravami.

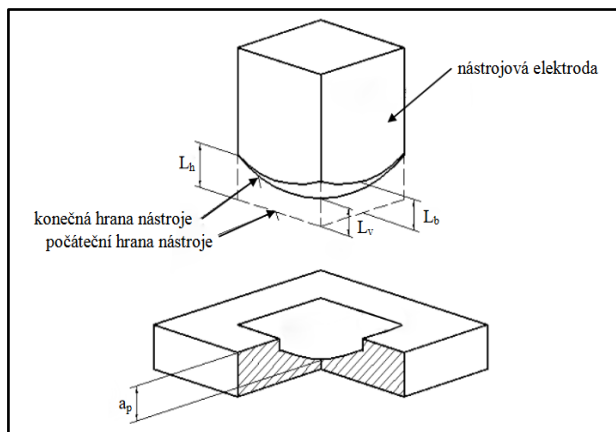
Relativní opotřebení elektrody se dá vypočítat ze vztahu (3-6) [17]:

$$O_{rel} = \frac{V_n}{V_m} * 100\% \quad (3)$$

O_{rel} [-].....relativní opotřebení elektrody

V_n [mm³]....úbytek objemu elektrody

V_m [mm³]...úbytek obráběného materiálu



Obr. č. 14, charakteristika opotřebení nástrojové elektrody [17]

Stupeň opotřebení elektrody:

$$\phi_v = \frac{a_p}{L_v} \quad (4)$$

Stupeň opotřebení rohů:

$$\phi_h = \frac{a_p}{L_h} \quad (5)$$

Stupeň opotřebení rohů:

$$\phi_b = \frac{a_p}{L_b} \quad (6)$$

K opotřebení elektrod dochází vlivem elektroeroze a vlastnostmi materiálu z těchto nejčastějších důvodů [17]:

- vysokou hustotou elektronů na povrchu výboje dojde k oddělení iontů, popř. celých drobných kousků kovu,
- kolísáním proudu výboje, nebo vlivem polaritoy dojde k narušení povrchu elektrody,

- vlivem vysoké teploty při výboji,
- nepravidelným ohřevem elektrody během výboje,
- mechanickými nárazy způsobenými kavitací- implozí bubliny,
- nárazy částic oddělených od obrobeneho materiálu,
- nevhodnými pracovními podmínkami (vysoká hustota proudu, nevhodné proudění dielektrika),
- materiálové vady v elektrodě- pórovitost, chyby ve struktuře materiálu.

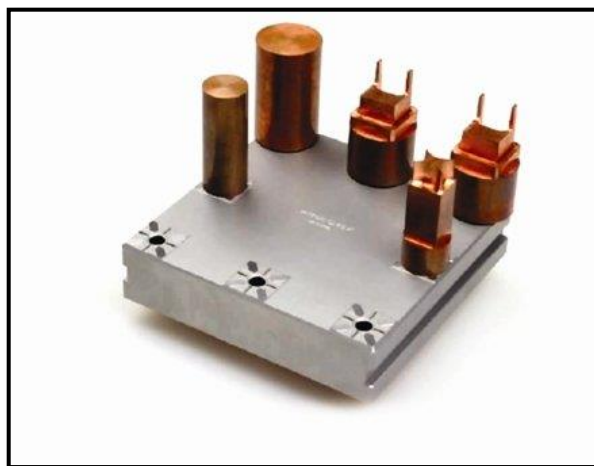
2.5 Upínání elektrod pro EDM obrábění

Výrobci strojů obvykle využívají vlastní systém upínání elektrod. Nejvhodnější upínací systémy umožňují rychlé a opakované upnutí elektrody do stroje za podmínky stejné polohy nástroje.

Možnosti uchycení elektrody:

- za přírubu,
- za stopku,
- pomocí nástrojových držáků.

Příklady provedení držáků je zobrazen na obrázku č. 16 [6]:



Obr. č. 15, držáky pro elektrody: paletizační systém [6]

2.6 Strojní vybavení pro EDM obrábění firmy WITTE

Po potřeby výroby nástrojových elektrod a oprav vstříkovacích forem je firma WITTE s.r.o. vybavena nekonvenčními obráběcími centry a také konvenčními obráběcími centry, soustruhy a bruskou.

Pro opravy forem nekonvenčním způsobem používá firmy WITTE stroje společnosti PENTA [7] a FANUC [8]:

Hloubička PENTA P433G:



Obr. č. 16, hloubička PENTA P433G [7]

Hloubička PENTA P433G, viz obrázek č. 16, se používá pro opravu nástrojů, forem a pro výrobu dílů, které se nedají vyrobit na konvenčních strojích. Hloubička umožňuje dosahovat lepší přesnosti obrábění nebo kvality povrchu než na konvenčních strojích. Používá se například pro opravy forem nebo vtokových ústí do formy, které často bývají pod úhlem. Hloubička PENTA P433G je vyrobena z polymerbetonu, který jí dává dobrou tuhost a zvyšuje přesnost výroby. Stroj je možné z hlediska tvaru stolu integrovat do automatizačního procesu buňky. Hloubička je řízena CNC systémem firmy BECKHOFF. Mezi její přednosti patří několika stupňová ochrana proti zkratu a zápalu, která chrání opotřebením elektrody, vysoký úběr materiálu a nízké provozní náklady. [7]

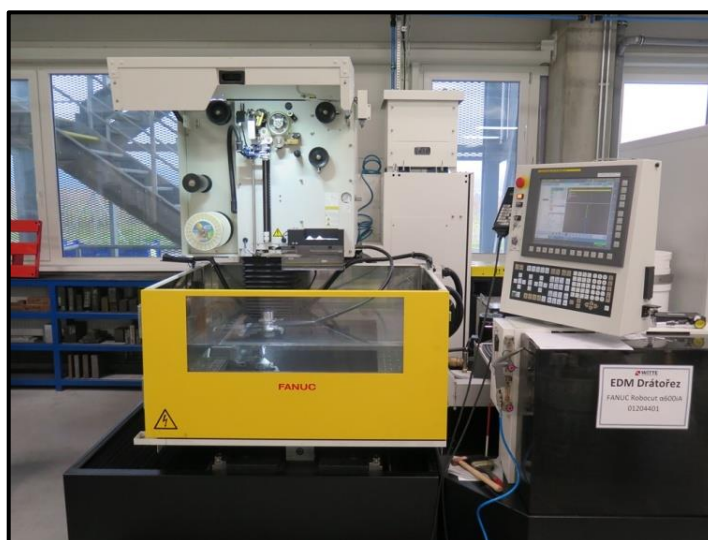
Hloubička je osazena automatickým výměníkem elektrod/palet a sinusovým vyklápcím magnetickým stolkem. Hloubička umožňuje plynulý pohyb nástroje i v diagonálním směru pro zajištění přesného obrábění.

Technická data:

Stroj	Hloubička PENTA P433G
Pojezdy X x Y x Z [mm]	400 × 300 × 300
Pracovní vana X x Y x Z [mm]	1000 × 550 × 350
Upínací stůl [mm]	700 × 350
Odstup stůl – pinola (min. – max.) [mm]	130 – 430
Max. hmotnost obrobku [kg]	1200
Max. hmotnost elektrody na pinole [kg]	100
Rozměry stroje (X x Y x Z) [mm]	2900 × 1750 × 2350
Hmotnost stroje [kg]	2650
Náplň dielektrika (l)	380

Tabulka č. 2, PENTA P433G [7]

Drátová řezačka FANUC ROBOCUT α600 IA [8]:



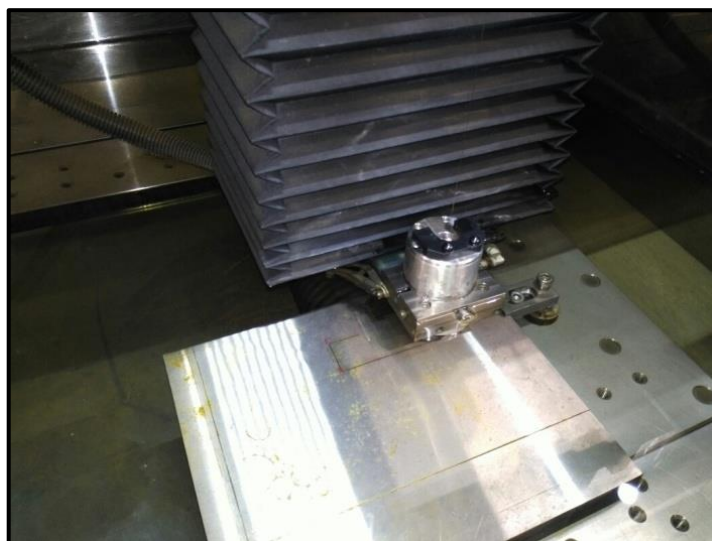
Obr. č. 17, drátová řezačka FANUC ROBOCUT α600 IA [8]

Drátová řezačka FANUC ROBOCUT α 600 IA, viz obrázek č. 17, je vysoce moderní stroj, který se používá pro přesné a výkonné EDM řezání. Stroj je řízen pomocí CNC technologie a umožňuje řezání dílů s velkou, proměnlivou tloušťkou, nebo kónických tvarů. Dále je také možné řezání několika obrobků najednou. Pro velmi malé části je možné použít drát o průměru 0,05 mm. Drát na řezání je připraven do deseti sekund a v případě jeho přetržení je automaticky navlečen. Stroj může bezobslužně pracovat až po dobu 140 hodin. Ukázka řezání drátem je vyobrazena na obrázku č. 18. [8]

Technická data FANUC ROBOCUT α 600 IA:

Stroj	FANUC ROBOCUT α 600 IA
Maximální rozměry obrobku [mm]	1050 × 820 × 300
Maximální hmotnost obrobku [kg]	1000
Pojezdy v ose X a Y [mm]	600 × 400
Pojezd v ose Z	310
Maximální úhel zkosení [° / mm]	± 30°/150
Průměr drátu [mm]	Ø 0.10 ~ Ø 0.30
Maximální hmotnost drátu [kg]	16
Hmotnost stroje [kg]	3000

Tabulka č. 3 FANUC ROBOCUT α 600 IA [8]



Obr. č. 18, FANUC ROBOCUT α 600 IA, ukázka řezání drátovou řezačkou

2.7 Strojní vybavení pro výrobu elektrod

Z konvenčních strojů pro výrobu elektrod používá firma WITTE obráběcí centrum MCV 1000 Sprint firmy KOVOSVIT MAS [9] a EXERON HSC line 300 [20]

Konvenční obráběcí centrum MCV 1000 Sprint:



Obr. č. 19, obráběcí centrum MCV 1000 Sprint [9]

Obráběcí centrum MCV 1000 Sptint, viz obrázek č 19, umožňuje vysoce efektivní tříosé obrábění pomocí vysokorychlostních vřeten, které může dosahovat rychlosti až 18000 ot/mim, a vysokými rychloposuvy až 40 000 mm/min. Vyznačuje se vysokou tuhostí rámu, která dovoluje jak silové obrábění, tak i obrábění složitých dílců. Dynamika lineárních os umožňuje vysokorychlostní obrábění forem. Na stroji lze provádět frézování, vrtání, řezání závitů, hrubování, vystružování i zahlubování. Na obrázku č. 20 je zachycena výroba nástrojové elektrody pro EDM obrábění.[9]

Technická data:

Stroj	MCV 1000 Sprint
Maximální rozměry obrobku [mm]	1016 × 610 × 720
Maximální hmotnost obrobku [kg]	1200
Upínací plocha X a Y [mm]	1300 × 670
Pojezd v ose Z	310

Výkon motoru [kW]	25
Rychloposuv [mm/min]	40 000
Otáčky vřetena [ot/min]	18 000
Hmotnost stroje [kg]	11 500
Rozměry stroje (X x Y x Z)	4600 × 3600 × 3300

Tabulka č. 4, MCV 1000 Sprint



Obr. č. 20, MCV 100 Sprint, ukázka výroby elektrody

Obráběcí centrum EXERON HSC line 300



Obr. č. 21 EXERON HSC line 300 [20]

Katedra technologie obrábění

Bc. Richard Hejlek

Moderní tříosé vysokorychlostní obráběcí centrum EXERON HSC line 300, viz obr. č. 21, je primárně určené pro obrábění grafitových dílů a ve společnosti WITTE se s jeho pomocí vyrábí zejména grafitové elektrody pro EDM obrábění. Obráběcí centrum má portálové a strojové lůžko vyrobené z minerální litiny pro maximální tlumení vibrací a dynamiku stroje. Při obrábění dosahuje vysokých přesností až 0,1 μ . Vektorově řízené vysokofrekvenční vřeteno umožňuje použití nástrojů o \varnothing 0,2 mm - 16 mm. Na obrázku č. 22 je ukázka vyrobené grafitové elektrody na stroji EXERON HSC line 300. [20]

Technická data:

Stroj	EXERON HSC line 300
Maximální rozměry obrobku [mm]	480 × 340 × 355
Maximální hmotnost obrobku [kg]	500
Upínací plocha X a Y [mm]	470 × 400
Výkon motoru [kW]	13
Rychloposuv [m/min]	30
Otáčky vřetena [ot/min]	42 000
Rozměry stroje (X x Y x Z)	2000 × 2350 × 2450

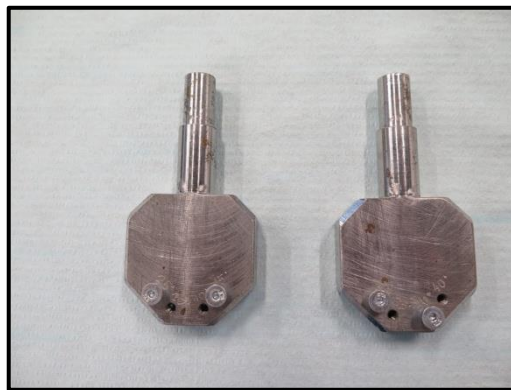
Tabulka č. 5, EXERON HSC Line 300



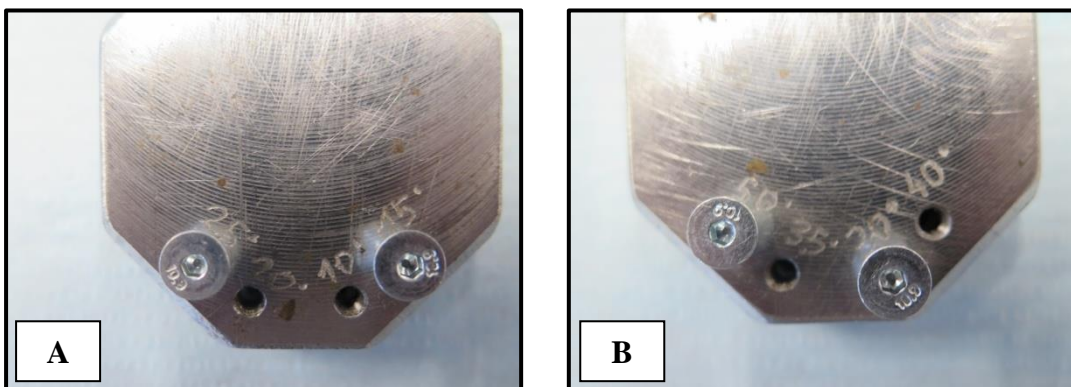
Obr. č 22, EXERON HSC Line, ukázka vyrobené grafitové elektrody

2.8 Současný úhlový upínač

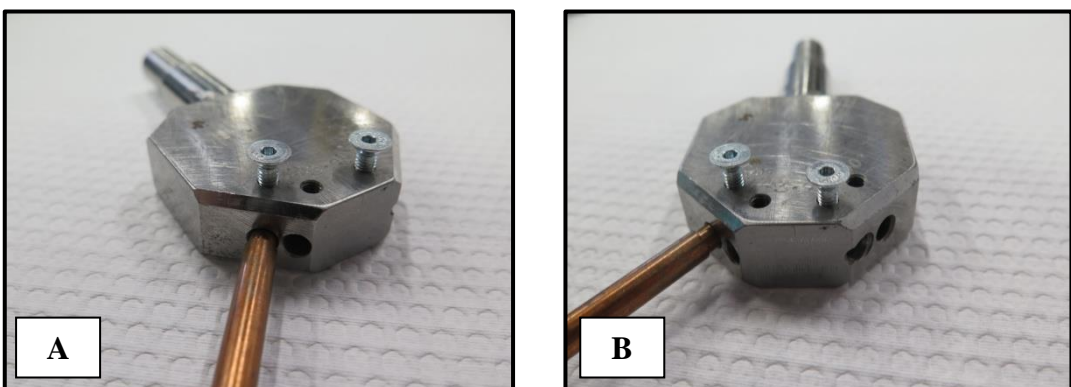
V současné době se při opravách forem používají dva jednoduché upínače pro úhlové EDM obrábění, na kterých jsou vyvrtány otvory v předem daných úhlech. Na obr. č 23 jsou vyobrazeny používané upínače. Na obrázku č. 24 **A**: je možné na upínači obrábět v úhlech 10, 15, 20 a 25 °, na upínači **B**: v úhlech 20, 35, 40 a 50 °. Nástroj- elektroda je po zasunutí do upínače zajištěna proti posunutí pomocí šroubku, viz obr. č. 25.



Obr. č. 23, současné úhlové upínače



Obr. č. 24 A, B, detail úhlových upínačů



Obr. č. 25 A, B, detail upnutí elektrody v upínači

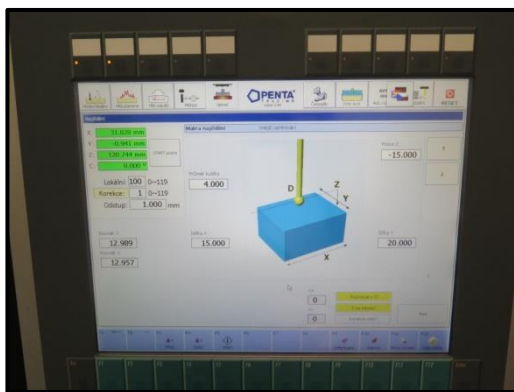
Pro současné potřeby obrábění ovšem tyto upínače již svými parametry nevyhovují zejména v těchto parametrech:

- pouze pevně daný rozsah úhlů,
- možnost použití pouze kruhových elektrod,
- časté poškození elektrody dotaženým šroubem,
- k upínačům není vytvořený měřicí protokol, ověření nastaveného úhlu probíhá pouze pomocí ověření polohy hrotu elektrody ve stroji, viz kapitola 2.8.1.

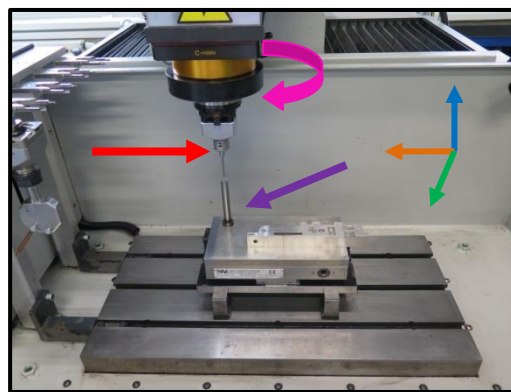
2.8.1 Postup ověření polohy hrotu elektrody ve stroji

Pro ověření hrotu elektrody se využívá přesný válec upnutý na magnetickém svěráku, obrobková sonda, elektroda a program pro ověření polohy elektrody, viz obr. č. 26, který je součástí obráběcího stroje PENTA P433G. V průběhu ověření hrotu elektrody nedochází k transformaci souřadnic, ale dochází k ověření polohy hrotu nástroje k obráběné ploše. Ověření polohy hrotu elektrody probíhá v několika krocích:

1. Na upínací desku svěráku se upne přesný válec, do stroje se upne obrobková měřicí sonda, viz obrázek č. 27.

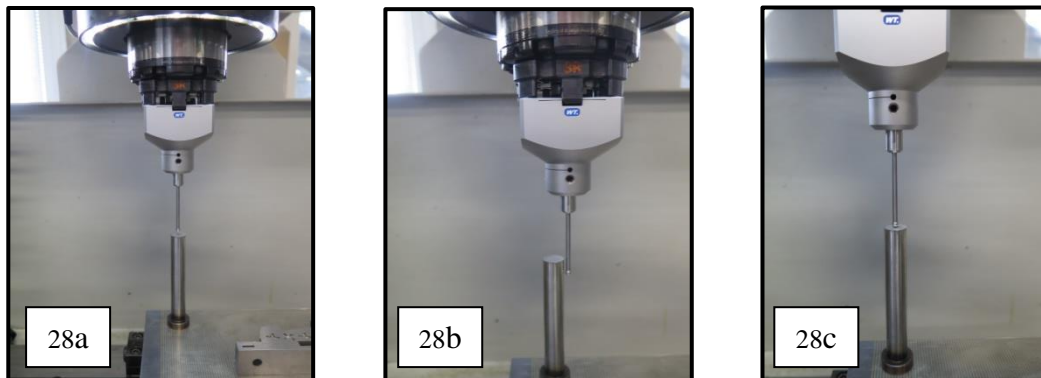


Obr. č. 26, ukázka programu



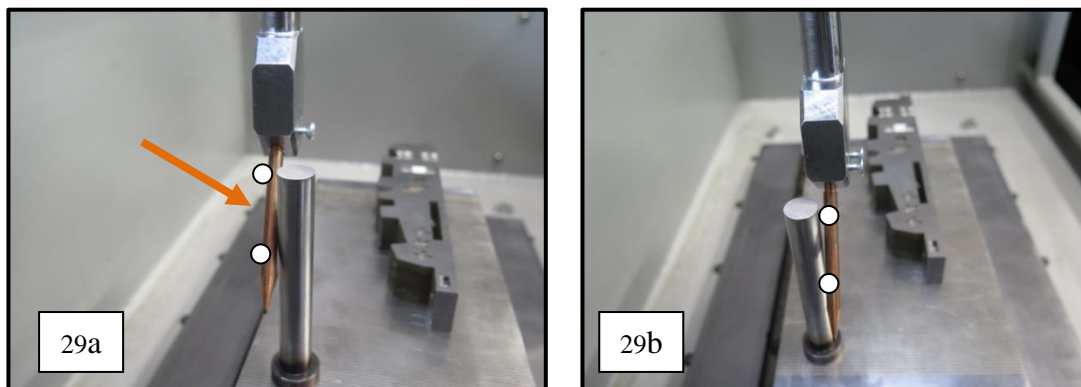
Obr. č. 27, měřicí sonda a kalibrační válec

2. V dalších krocích se sondou najde střed válce v ose: „**X, Y, Z, C**“. Měřicí sonda se ručně navede nad myšlený střed válce, viz obrázek č. 28a. Měřicí sonda se pomocí zadaného programu dotkne několikrát boku válce křížovým pohybem, viz obrázek 28b. Ze souřadnic se vypočte střed válce, nad který se sonda automaticky umístí, viz obr. č. 28c.



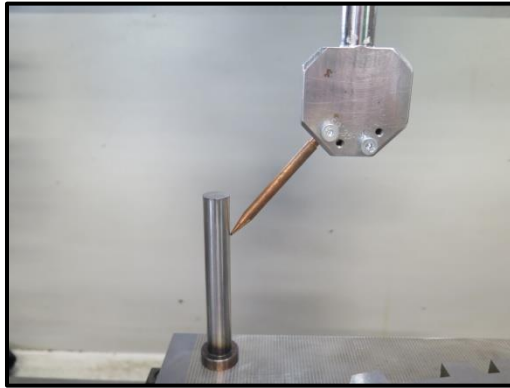
Obr. č. 26c, 26d a 26e, měření v ose „Y“

3. Ve stroji se vymění měřicí sonda za upínač s **elektrodou**. Pomocí programu se pro ověření osy rotace „C“ dotkne elektroda ve dvou bodech válce z jedné strany, viz obrázek č. 29a.
4. V ose „Y“ se ověří pozice osy **elektrody**. Opět pomocí programu se pro určení osy dotkne elektroda ve dvou bodech válce z jedné strany, viz obrázek č. 29a a poté z druhé strany, viz obrázek č. 29b.



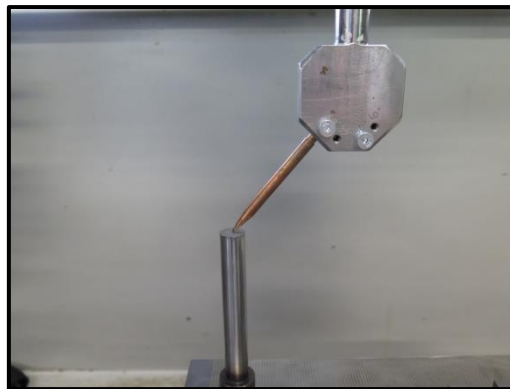
Obr. č. 29a, 29b, měření v ose „Y“

5. Pro ověření pozice osy elektrody v ose „X“ se pomocí programu špička elektrody po zadání souřadnic dotkne boku válce. Díky přesnému odstupu elektrody od válce lze v ručním režimu najet přímo do středu válce, viz obr. č. 30. Pozice elektrody se uloží.



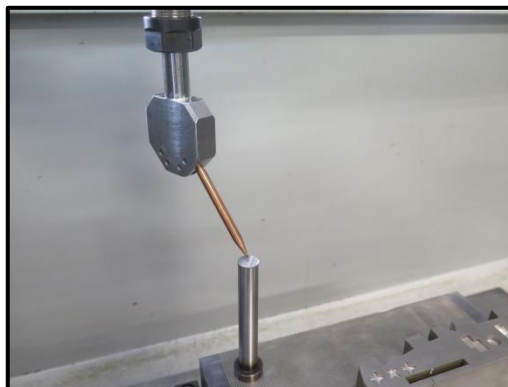
Obr. č. 30, měření v ose „X“

6. Správná pozice elektrody v ose „Z“ se ověří opět pomocí programu. V tomto kroku se špička dotkne kteréhokoliv bodu na vrcholové ploše válce, viz obr. 31.



Obr. č. 31, měření v ose „X“

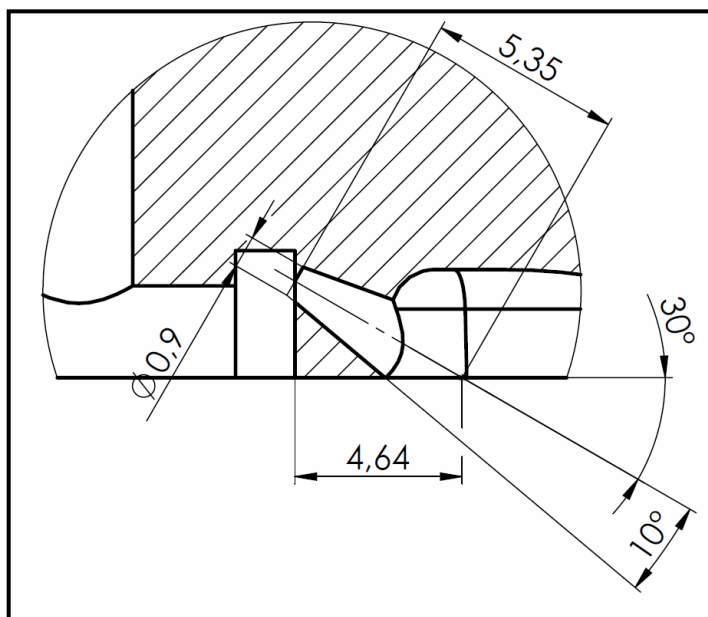
7. Na závěr se provede korekce pozice elektrody pootočením např. o 120° . Při správně provedeném ověření pozice by se měla špička elektrody otáčet kolem bodu ve vrcholu středu válce, ale ne kolem své osy viz obrázek č. 32.



Obr. č. 32, ověření pozice elektrody

2.9 Zadání

Z výše uvedených důvodů v kapitole 2.8 vznesla nástrojařská dílna žádost na pořízení nového úhlového upínače pro EDM obrábění, dále jen upínač. Výchozím požadavkem pro volbu upínače byla stanovena kritéria, která vycházela z výkresové dokumentace:

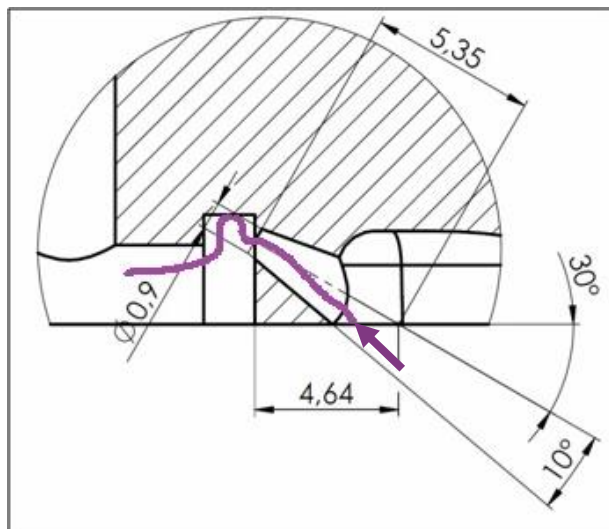


Obr. č. 33, detail vstříkovacího vtoku formy

- při obrábění dodržet tvar vtoku a požadovanou přesnost výroby danou normou ČSN ISO 2768-1 a ČSN ISO 2768-2 v přesnosti fH dle výkresové dokumentace, viz obr. č. 33,
- osa elektrody musí být v ose díry vtoku vstříkovací formy,
- možnost obrábění přesných tvarů vstříkovacích otvorů ve formách v celém rozsahu úhlů: $0 - 45^\circ$ s přesností upínače dané výkresovou dokumentací $\pm 0,5^\circ$,
- upínač malých rozměrů a dostatečné tuhosti při upnutí elektrody,
- nastavení úhlů nebude prováděno pomocí analogové nebo digitální stupnice na upínači.

Přesnost při obrábění vstříkovacího vtoku formy je důležitá pro správný průběh vstříku materiálu. Průběh vstříku materiálu ve formě je naznačen na obr. 34. Materiál se při vstříkování do formy pro správné vyplnění vstříkovací formy nesmí šířit laminárním

prouděním, ale vířivým. V příloze diplomové práce je přiložen výkres vstříkovací formy.



Obr. č. 34, náčrt průběhu vstříkovaného materiálu ve vtoku formy

Prvním úkolem bylo ověření, zda se na volném trhu neprodává upínač, který by vyhovoval potřebám nástrojařské dílny. Při průzkumu trhu bylo zjištěno, že pro potřeby nástrojařské dílny nabízené upínače nevyhovují z těchto hledisek:

- velikost úhlového upínače,
- použití stupnice pro nastavení úhlů na upínači,
- cena upínače.

Z výše uvedených důvodů bylo rozhodnuto provést návrh vlastní konstrukce a vyrobit si upínač dle požadavků a potřeb nástrojařské dílny.

Navržený úhlový upínač elektrod bude používán pro zakázky, které budou prováděny na hloubicím stroji PENTA P433G, který je vyobrazen na obrázku č. 16. Hloubicí stroj je osazen rychloupínačem firmy 3R Macro, obrázek č. 35 [12]. Rychloupínač se používá pro upevnění malých nástrojových elektrod a umožňuje rychlé, opakované a dostatečně tuhé uchycení do hloubicího stroje.

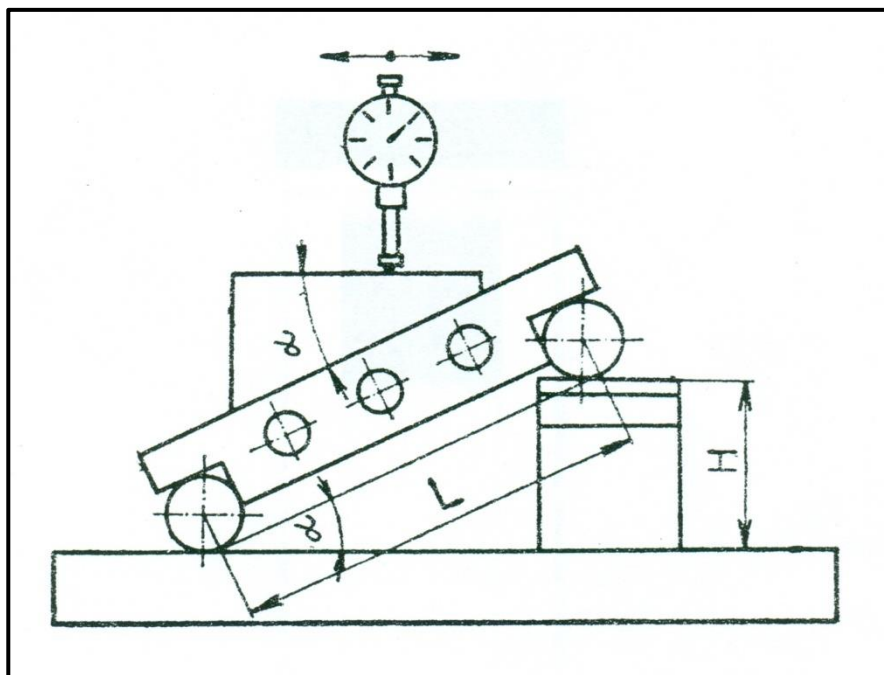


Obr. č. 35, upínací systém 3R Macro [12]

3. Konstrukční návrh úhlového upínače elektrod

3.1 Základní princip navrhovaného úhlového upínače

Úhlový upínač bude vycházet ze sinusového stolku, který pracuje na principu sinusového pravítka. Sinusové pravítko nevyužívá pro měření stupnici, ale hodnotu úhlu je nutné vypočítat. Měření vyžaduje více měřidel a pomůcek. Pro měření je kromě sinusového pravítka nutná měřicí deska a číselníkový úchylkoměr s držákem. Pro zvýšení přesnosti měření se používá číselníkový úchylkoměr s tisícinovou přesností. [15]



Obr. č. 36, Sinusové pravítko [16]

Sinusové pravítko vychází z goniometrické funkce „sinus“, viz obrázek č. 36 a 37. V pravoúhlém trojúhelníku je tato funkce definována jako poměr délky strany protilehlé vůči posuzovanému úhlu k délce přepony. Vyráběná sinusová pravítka s podpěrnými válečky mají rozteč v přesné délce (s přesností na tisícinu milimetru) celého rozměru, např. 100 milimetrů, 150 mm atd. Na začátku měření není znám úhel, pouze délka přepony. Odvěsnu získáme postupným podkládáním protilehlé strany k hledanému úhlu, dokud není spodní deska rovnoběžná s plochou kužele.

Výpočet se provede dle vzorce:

$$\sin \alpha = \frac{H}{L} \quad (7)$$

H- údaj získaný z koncových měrek

L- vzdálenost rozteče válečků



Obr. č. 37, sinusové pravítko [11]

3.2 Návrh konstrukce úhlového upínače

V současné době se ve firmě WITTE pro návrhy konstrukcí výrobků používá moderní CAD program, který značně ulehčuje práci konstruktéra při návrhu technického řešení. Pro návrh úhlového upínače bude použit CAD program SOLIDWORKS Professional 2016 ®, ve kterém se vytvoří model upínače a konstrukční výkresy. V dalším kroku se pomocí CAM programu SOLIDCAM ® vytvoří program pro výrobu upínače pomocí konvenčních i nekonvenčních obráběcích strojů. [14]

Základním krokem pro vytvoření modelu upínače bylo rozhodnutí, jaké vlastnosti se od upínače očekávají:

- dostatečná tuhost konstrukce,
- přesnost jednotlivých dílů,
- přesnost nastaveného úhlu elektrody vůči obrobku,
- korozivzdornost materiálu upínače,
- cena upínače.

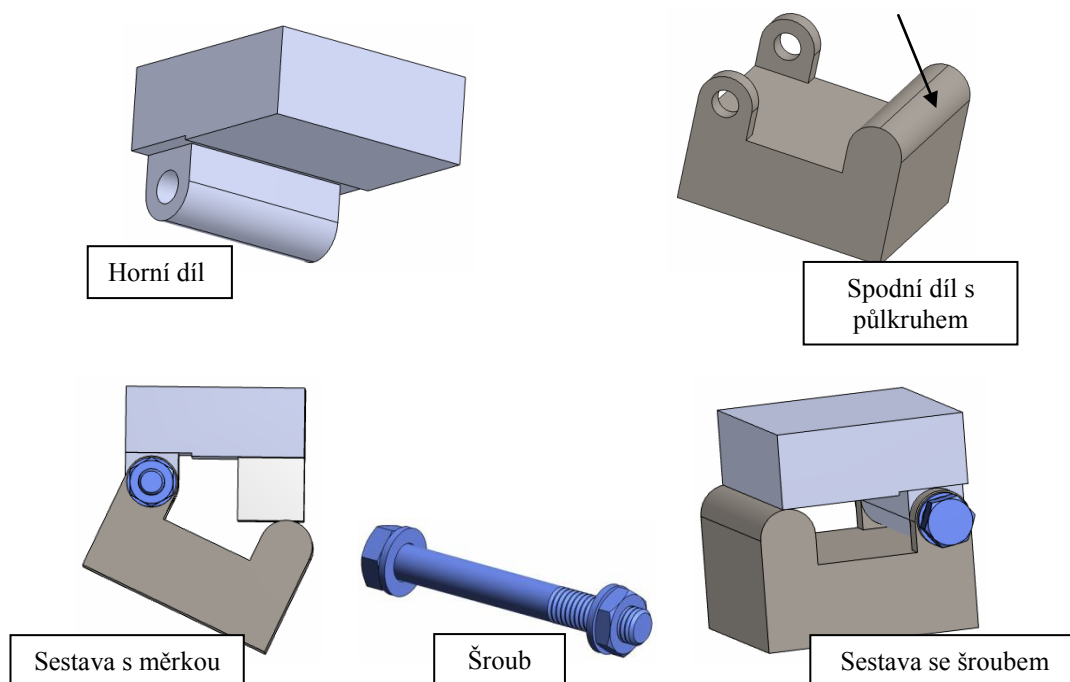
3.2.1 Vývoj konstrukčního návrhu upínače

Prvním krokem před výrobou upínače bude vytvoření jednoduchého konstrukčního návrhu, který bude konzultován a připomínkován společně s nástrojárnou. Konstrukce upínače bude, jak již bylo uvedeno, vycházet z principu sinusového pravítka. Obě části upínače budou spojeny pomocí jednoho šroubu. Mezi obě volné části se bude vkládat koncová měrka pro potřebný úhel a utažením šroubu bude provedeno zajištění obou částí upínače proti rozevření při obrábění.

První konstrukční návrh se skládal z hrubých tvarů:

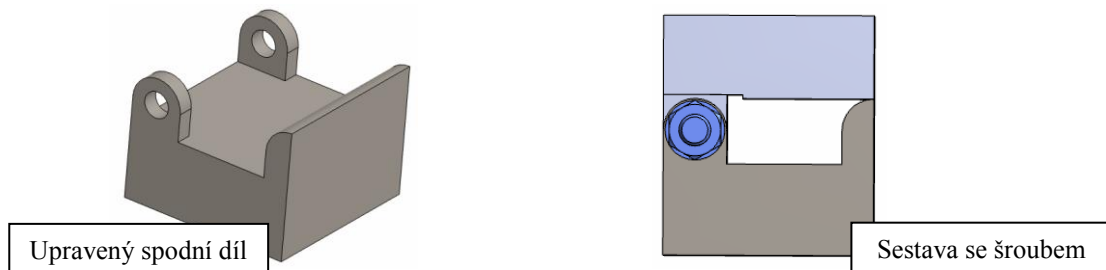
- horního dílu jako pevné základny, která bude upnuta do stroje. Velikost horního dílu je dána rozměry upínací hlavy stroje.
- spodního pohyblivého dílu s dírou pro čep a půlkruhem, který bude nahrazovat pohyblivý podpěrný váleček. Mezi tyto části bude vkládána koncová měrka, jejíž velikost bude pro daný úhel vypočítána.
- jednoho šroubu spojujícího oba díly, který bude vytvářet svěrný spoj mezi oběma částmi upínače.

Na obrázku č. 38 jsou znázorněny jednotlivé díly návrhu upínače včetně sestavy.



Obr. č 38, počáteční konstrukční návrh se šroubem a půlkruhem

Po konzultaci s nástrojárnou byl v dalším kroku výsledný konstrukční návrh po připomínkách přepracován. Nejdříve byla provedena úprava rozměrů dolní části zkrácením o nepotřebnou část s podpěrným válečkem změnou z půlkruhu na čtvrtkruh. Tímto zkrácením se velikost horní i dolní části bude shodovat. Čtvrtkruh bude pro potřeby podepření měřky dostatečně velký a tuhý, obrázek č. 39. Osová vzdálenost mezi „válečky“ bude 45 mm. Tato vzdálenost nebude mít vliv na výsledný úhel, protože přepona bude stále delší než vypočítaná odvěsna.



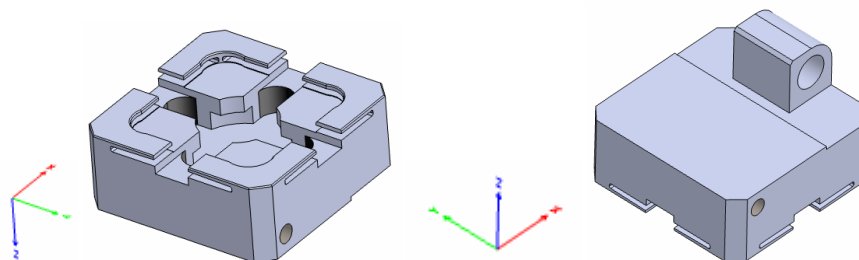
Obr. č 39, upravený spodní díl a sestava s čtvrtkruhem

Kromě této úpravy bylo rozhodnuto, že šroub spojující obě části upínače bude nahrazen čepem, který je přesnější než šroub. Čep bude mezi obě části vlisován s tolerancí 10H7f6. Volný konec, jenž by po odstranění šroubu již nebyl zajištěn proti otevření, bude aretován proti otevření pomocí dvou vzpěr, které budou připevněny ke stranám upínače a zajištěny pomocí šroubů. K tomuto rozhodnutí bylo přikročeno z důvodu zvýšení tuhosti upínače na volném konci a pro lepší manipulaci s upínačem.

Dále bude v horní části vyrobena tvarová plocha pro upevnění do stroje pomocí upínače 3R Makro [12]. Do spodní části bude vyřezáno prismatické vedení pro upevnění elektrody, která bude zajištěna pomocí šroubů. Po dokončení modelu bude vytvořena výkresová dokumentace pro výrobu upínače. Po vyrobení upínače budou provedena měření upínače pro ověření přesnosti nastavení úhlů.

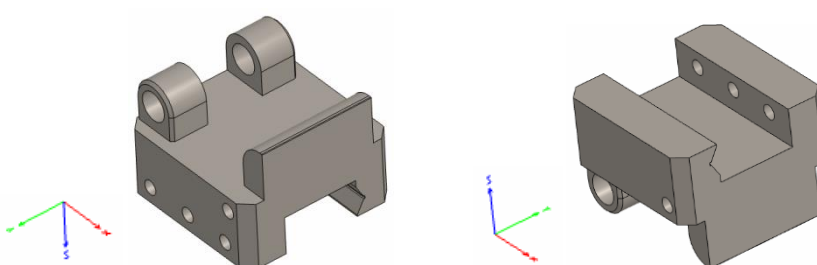
Z konstrukčního návrhu byl vytvořen následující model, který procházel další fází vývoje.

- Horní díl s tvarovou plochou kompatibilní s upínačem 3R Macro [12], s částí pro čep a díry se závity pro vzpěry, viz obrázek č. 40.



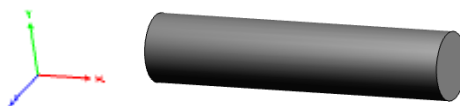
Obr. č. 40, horní díl

- Spodní díl s upínací a tvarovou prizmatickou částí pro dostatečně tuhé a přesné upnutí elektrody, dále s válcovým čtvrtkruhem, díry se závity pro vzpěry a částí pro čep, viz obrázek č. 41.



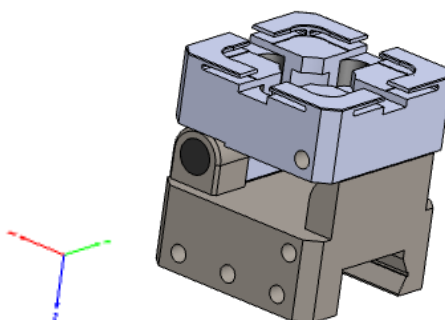
Obr. č. 41, spodní díl

- Čep pro spojení horní a dolní části, viz obrázek č. 42.



Obr. č 42, čep

- Sestava horního a spodního dílu s čepem, obrázek č. 43.



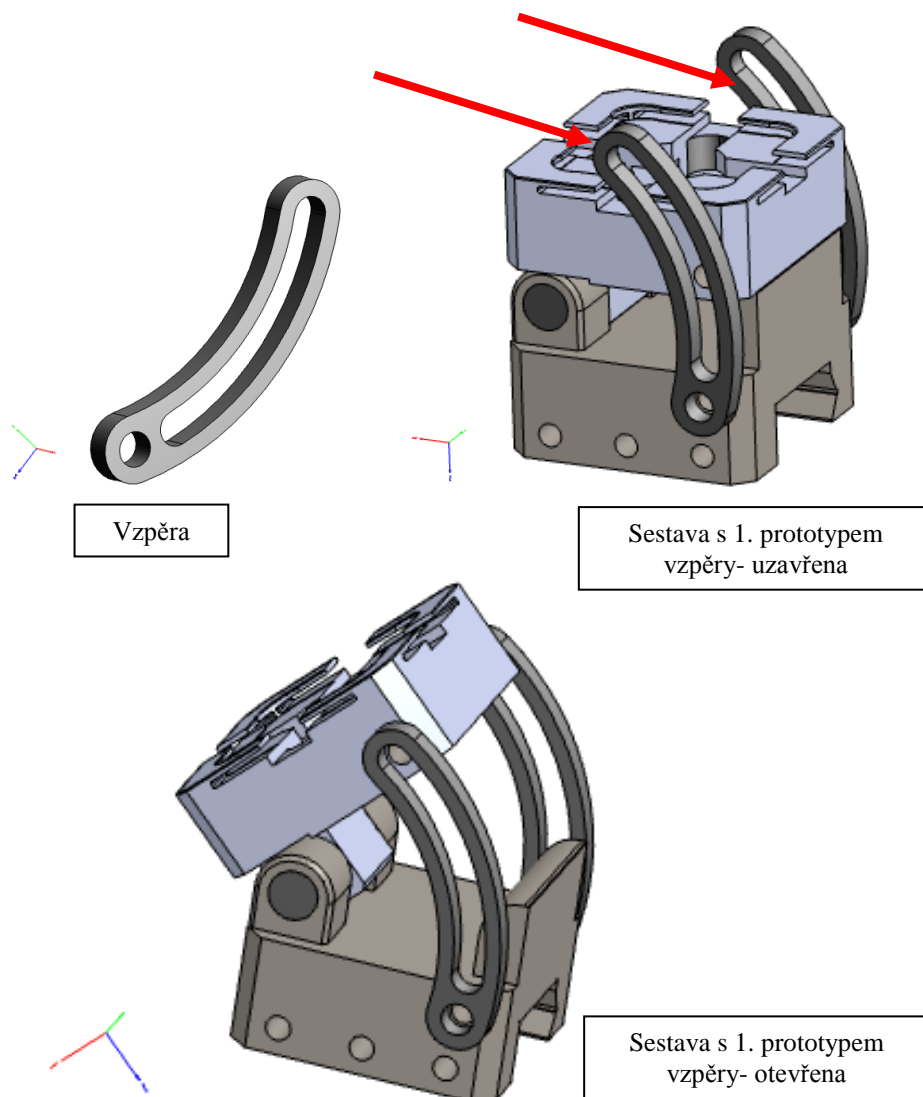
Obr. č. 43, sestava upínače s čepem

V dalším kroku bylo nutné vytvořit konstrukční návrh vzpěr, které by zajistily dostatečně tuhé spojení obou částí při současném správném nastavení úhlu s vloženou měrkou mezi obě části upínače.

V tomto kroku vyvstal konstrukční problém, kdy nejjednodušší typy vzpěr zasahovaly při nastavení malých úhlů do upínací části stroje a byly nepoužitelné.

Varianta vzpěry č. 1:

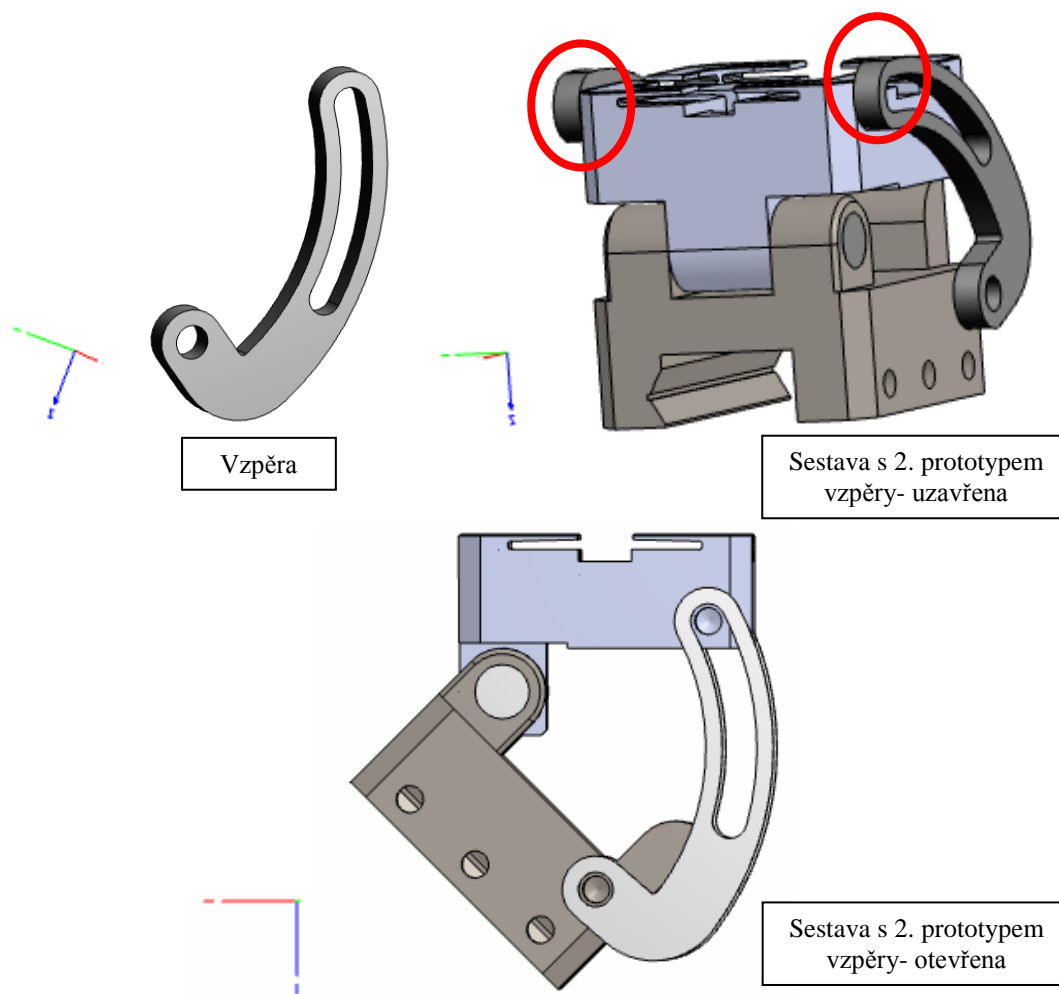
V případě první varianty, kdy jedna část vzpěry byla otočná a druhá část kluzná, přesahovaly vzpěry výrazně hranu horní části a výrazně zasahovaly do upínání stroje, viz obrázek č. 44:



Obr. č. 44, vývoj s 1. prototypem vzpěry

Varianta vzpěry č. 2:

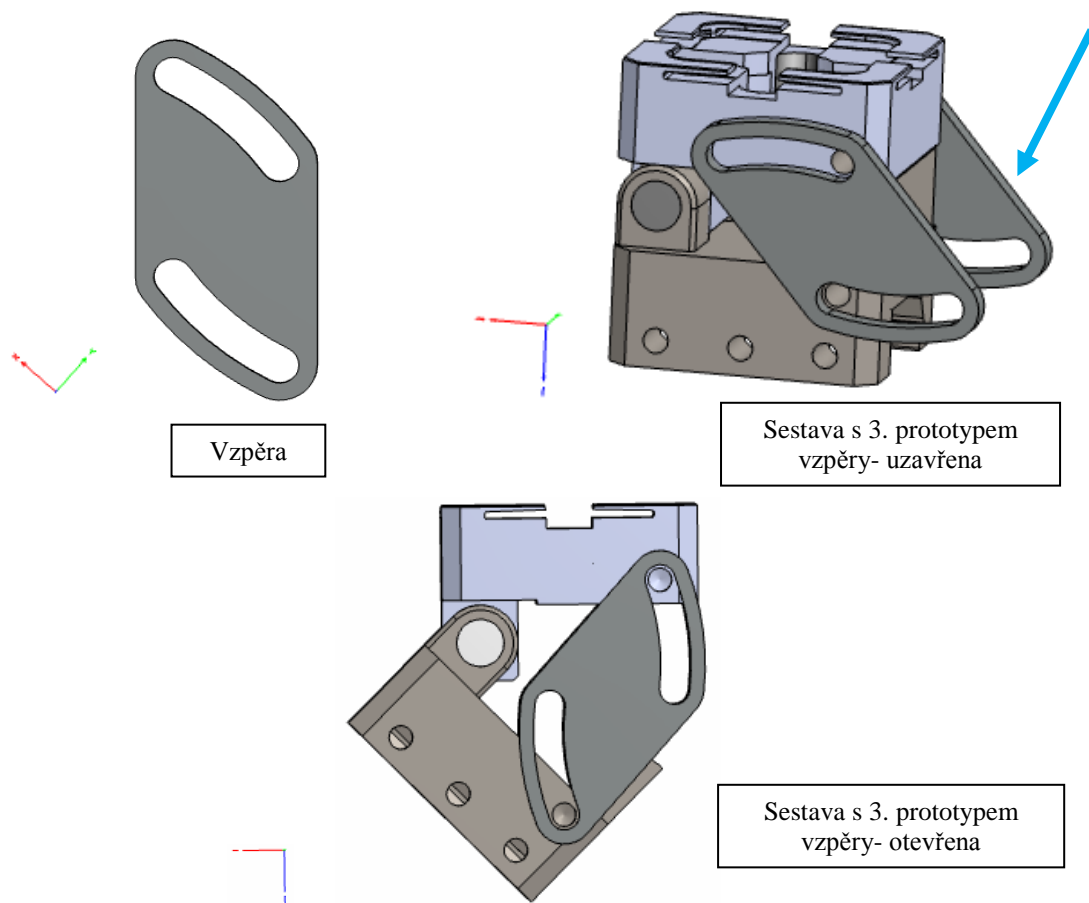
V případě druhé varianty, zobrazené na obrázku č. 45, kdy došlo k úpravě geometrie, a vzpěra byla zalomena, již vzpěry nepřesahovaly při malých úhlech takovou měrou přes hranu horní části jako v první variantě. Stále však bylo nutné najít optimálnější řešení daného problému.



Obr. č. 45, vývoj s 2. prototypem vzpěry

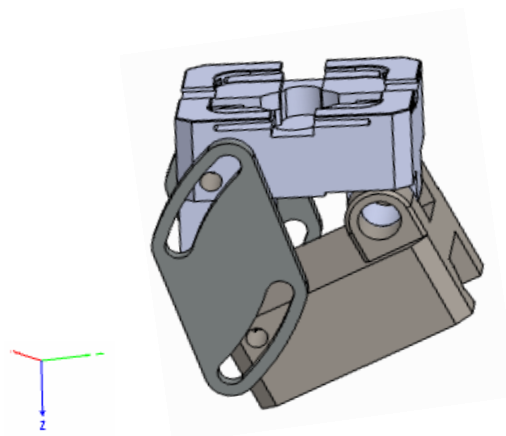
Varianta vzpěry č. 3:

Při návrhu třetí varianty se již podařilo eliminovat přesah vzpěry přes hranu horní části. Problém pomohla vyřešit nejen jedna kluzná část vzpěry, ale odstraněním otočného bodu a jeho nahrazením kluznou částí se výrazně zlepšila geometrie vzpěry, která již přes horní hranu dílu nezasahovala do stroje. Přesah vzpěry přes přední obrys nebude mít na funkci upínače již žádný vliv, viz obrázek č. 46 a 47.



Obr. č. 46, vývoj s 3. prototypem vzpěry

Na závěr byl vytvořen celkový model včetně vložené měřky:



Obr. č. 47, model úhlového upínače s vloženou měrkou

Po dokončení modelu upínače se mohlo přejít k výběru materiálu, který bude použit na výrobu upínače.

3.3 Materiál pro výrobu úhlového upínače

Při výběru materiálu pro výrobu upínače bylo nutné vybrat materiál, který musí splňovat tyto vlastnosti:

- korozivzdornost,
- dobrou prokalitelnost,
- dostatečnou tvrdost a houževnatost po kalení,
- dobrou obrobiteľnosť.

Výchozím materiálem byla zvolena zušlechťená nástrojová ocel dle ČSN 19 520 z válcovaného polotovaru o rozměrech 60 x 60 mm pro výrobu horní a dolní části upínače a ocel dle ČSN 19312 z polotovaru kruhové tyče Ø 12 mm pro výrobu čepu. Uvedené materiály mají vhodné vlastnosti pro výrobu upínače a není problém je získat od zavedeného dodavatele firmy WITTE.

Ocel ČSN 19 520 se vyznačuje dobrou prokalitelností, odolností proti popouštění, dobrou houževnatostí a vysokou pevností za tepla. Vykazuje malou citlivost na prudké změny teplot a vznik trhlin při tepelné únavě. Ocel je dobře tvárná za tepla a také ve stavu žhání na měkko. Materiál lze dobře použít na výrobu forem, zápustek, pro matrice, trny, razníky, průtlačníky nebo i pro lože nůžek. [21]

Ocel ČSN 19312 Při správném zakalení v oleji drží svůj tvar a rozměry, ocel je houževnatá, dobře se obrábí. Při větších rozměrech je ocel špatně prokalitelná. Problémy také nastávají při kalení nástrojů složitějších tvarů a ostrých přechodů hran. Materiál lze použít na vodící lišty, vyhazovače, nástroje – řezné, děrovací, lisovací, závitořezné, měřidla, razníky. [26]

3.3.1 Tepelná úprava materiálu

Oceli ČSN 19 520 a ČSN 19312 jsou před zakoupením žhánány a připraveny pro obrábění. Pro zlepšení vlastností ocele je nutné provést po hrubování zakalení oceli, které má za úkol zvýšit tvrdost povrchu. Ocel ČSN 19 520 má obsah uhlíku 0,35-0,45% a je tedy dobře zakalitelná až do tvrdosti 51 HRC. Ocel ČSN 19 312 má obsah uhlíku 0,85-

0,95% a je dobře zakalitelná až na 64 HRC. Kalení ocelí se provede ve vakuové peci bez povrchové úpravy.

Při vakuovém kalení probíhá ohřev zpracovávaných dílů v plynotěsném zařízení, kde se odsátím vzduchu dosáhneme vakua řádově 5-2 mbar. Následně je vsázka postupně v několika krocích ohřívána až na kalící teplotu. Ohřev zajišťují grafitové tyče. Chlazení dílů probíhá vháněním plynného dusíku až o tlaku 6 bar. [22]

Kalení ve vakuu má několik výhod. Při každém ohřevu reaguje kyslík s povrchem součásti (oxidace). Tato reakce je tím silnější, čím je teplota vyšší. Při přiměřeně dlouhé prodlevě na vyšší teplotě dochází k tvorbě okují (od cca. 600°C) a k částečnému nebo úplnému oduhličení povrchu (od cca. 780°C). Takto vzniklá vrstva se dá odstranit pouze mechanicky. Z tohoto důvodu je při každém ohřevu od cca 400 °C nutná ochranná atmosféra. Ve většině případů stačí jako ochranný plyn dusík.

Při vyšších teplotách, které se většinou ve vakuových pecích vyskytují (běžná kalící teplota 850 °C – 1200 °C), poskytuje vakuum podstatně lepší ochranu před oduhličením. I při kalících teplotách okolo 1300 °C jsou součásti po kalení kovově lesklé. [22]

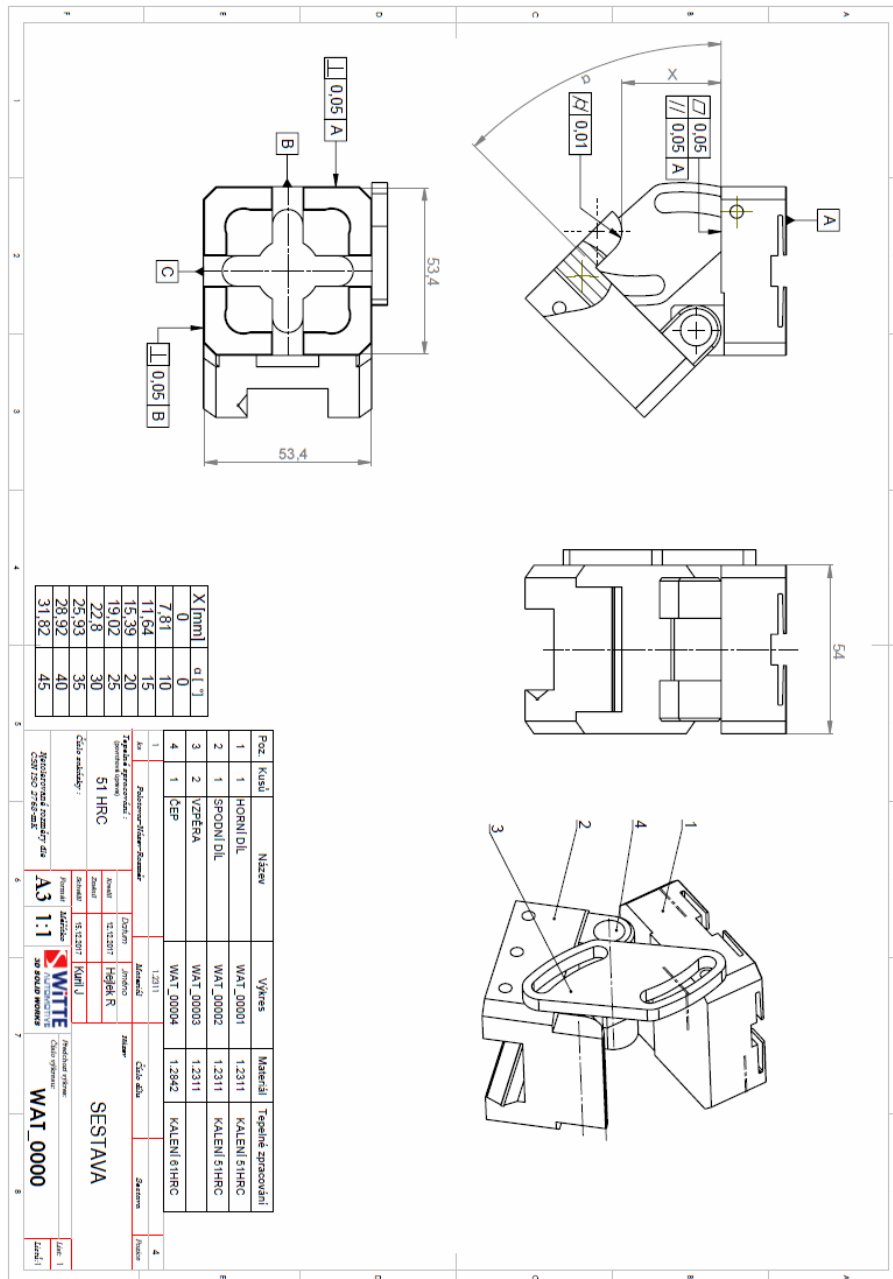
3.4 Výkresová dokumentace

Posledním krokem bylo zhotovení konstrukčních výkresů, které budou použity pro následnou výrobu upínače. Při výrobě výkresové dokumentace bylo nutné přihlédnout k rozměrům upínací části na stroji, které bylo nutné dodržet. Dále bylo třeba zohlednit dostatečnou tuhost celé sestavy upínače tak, aby případné otvory pro díry nezpůsobily nárůst vnitřního pnutí při dotahování šroubových spojů u vzpěr a při upínání elektrody nezpůsobily prasknutí upínače.

Z těchto důvodů byla zvolena konstrukce jednotlivých částí upínače tak, aby splňovala dané rozměry, měla dostatečnou tuhost při utahování šroubů vzpěr a nezpůsobovala vibrace při obrábění. Funkční pracovní plochy, které jsou důležité pro nastavení správného úhlu, byly stanoveny s odpovídající drsností a geometrickou přesností. Volba základů odpovídá požadavku na přesnost výroby upínače a pro požadované parametry nastavených úhlů. Část s čepem, která spojuje obě části, byla navržena s mírným přesahem pro dostatečně pevné a přitom pohyblivé spojení obou částí. Výkresová dokumen-

tace je v příloze diplomové práce. Pro ukázkou je na obrázku č. 48 zobrazen výkres celé sestavy.

Výkres sestavy:



Obr. č. 48, výkres sestavy úhlového upínače

4. Technologický postup výroby upínače

Úhlový upínač elektrod bude vyroben v počtu jeden kus. Na jeho výrobu budou využity režijní časy strojů pro snížení výsledné ceny upínače. Strojní vybavení bude využito z vlastních zdrojů a nebude, kromě zakalení vyrobených dílů upínače a čepu, nutné využívat kooperaci s jiným závodem. Pro výrobu upínače jsou stanoveny konstrukční, technologické a kontrolní základny jako totožné. Výrobu upínače zajistí nástrojárna. Výroba upínače bude provedena zkušeným pracovníkem v obsluze strojů.

Strojní vybavení pro výrobu upínače:

- pásová pila Pilous ARG 200 plus [24],
- MCV 1000 Sprint,
- FANUC ROBOCUT α 600 IA,
- nástrojová bruska BERNARDO USM 500 [25],
- soustruh WEILER Primus [18].

4.1 Charakteristika horní části upínače

Dle vyhotovené výkresové dokumentace WAT_00001 se jedná o nerotační součást. Pro výrobu upínače bude použita čtvercová válcovaná ocel ČSN 19 520 o rozměrech 60 x 60 x 50 mm.

V součásti se nachází dva závity M5. Dále jsou na součásti frézované a drátovou řezačkou řezané drážky a profily pro nasazení úhlového upínače na upínač 3R Macro. Na součásti je také čtvrtkruhový profil s průchozí dírou $\varnothing 10$. Výkres obsahuje běžné tolerance tvaru, polohy a drsnosti dosažitelné strojním vybavením.

4.1.1 Posouzení technologičnosti konstrukce

Veškerá předepsaná přesnost rozměrů, drsnost povrchu a polohy ploch vychází z funkce součásti. Součást má předepsanou drsnost povrchu Ra 0,8 na funkční části. Ostatní plochy mají předepsanou drsnost 1,6 Ra. Tolerance jsou zvoleny tak, aby sestava byla funkční.

Výroba upínače bude vyžadovat více upnutí ve svěráku. Není třeba zdůrazňovat důležitost tuhosti upnutí u konvenčního obrábění. Čím tužší je upnutí, tím se zvyšuje přesnost a produktivita výroby (větší řezná rychlost, tloušťka třísky, trvanlivost nástrojů, bezpečnost). Pro frézování a vrtání použijeme univerzální svěrák. Na strojích pro EDM obrábění se ovšem součást napevno neupíná. Pro řezání na drátové řezače bude součást upnuta pomocí svěráku s vyrovnávací hlavou firmy Hirschmann [23]

4.1.2 Technologický postup výroby

Technologický postup se sestavuje dle předepsaných postupů podle technologické náročnosti jednotlivých postupů. Zejména záleží na materiálu polotovaru, rozměrech, tvaru, drsnosti, tolerance a počtu vyrobených kusů. Výrobní postup obsahuje název součásti, materiál, polotovar, č. výkresu, hmotnost před opracováním a po opracování, počet kusů. Hlavní část postupu se skládá z čísla pracoviště, operace, stroje, nástroje, měřidel a přípravků. Daná součást bude vyrobena v počtu jednoho kusu a bude prováděna na těchto strojích.

- pásová pila Pilous ARG 200 plus,
- MCV 1000 Sprint,
- FANUC ROBOCUT α 600 IA,
- nástrojová bruska BERNARDO USM 500.

První operace bude prováděna na pásové pile Pilous ARG 200 plus, kde bude z polotovaru odříznut rozměr 60 x 60 x 50 mm. Frézování bude provedeno načisto s přídavkem 0,2 mm. Na plochu se provede kóta 21. Zámek dle detailu B se nehrubuje. Dále se provede vrtání děr $\varnothing 4,2$ a $\varnothing 8$. Závit M5 bude vyřezán závitníkem. Po frézování se provede kalení součásti ve vakuu s následným popouštěním. Povrchová úprava nebude provedena.

Po zakalení se provede oboustranné broušení součásti na požadovaný rozměr na brusce. Díra $\varnothing 10$ bude dokončena na drátové řezače Fanuc ROBOCUT α 600 IA pro dosažení přesného rozměru dle výkresové dokumentace. Profil pro upínání bude dokončen na drátové řezače Fanuc ROBOCUT α 600 IA.

Technologický postup:

Postup č.		1			
Název	Horní část		Vypracoval		Hejlek
Číslo výkresu	WAT_0001		List		1/1
Materiál	19520	Polotovar	Hranol	Kusů	1
Číslo operace	Pracoviště				Poznámky
010	<u>Pila</u> Řezat rozměr 60x60x50				
020	Frézovat načisto rozměr 54x54x37 včetně sraž.hr.4x45°, Rozměr 21 na 21,4x34x54. Výstupek na rozměr 20 dle tol.x20x20 dle výkresu včetně R8 a sr.hr. odlehčení na rozměr 20 dle výkresu Vrtat Ø4,2, řezat 2x závit M5 Vrtat Ø10 na Ø8 Zámek dle det. B neobrábět				Upnutí do univerzálního svěráku
030	<u>Kalit na 51 HRC</u>				
040	<u>Drátová řezačka</u> Dokončit díru Ø10 H7,Zhotovit 4x zámek dle det. B				Upnutí do svěráku s vyrovnávací hlavou
050	Brousit oboustranně výšku 21 s ohledem na kolmost k otvoru Ø10				

Tab. č. 6, technologický postup výroby horní části

4.2 Charakteristika dolní části upínače

Dle vyhotovené výkresové dokumentace WAT_00002 se jedná o nerotační součást. Pro výrobu upínače bude použita čtvercová válcovaná ocel ČSN 19 520 o rozměrech 60 x 60 x 50 mm. V součásti se nachází pět závitů M5. Dále se na součásti nachází frézovaná a drátovou řezačkou řezaná prizmatická drážka pro nasazení elektrod. Na součásti se také nachází dva půlkruhové profily s průchozí dírou Ø10H7 pro čep a jeden plný čtvrtkruhový profil.

4.2.1 Posouzení technologičnosti konstrukce

Veškerá předepsaná přesnost rozměrů, drsnost povrchu a polohy ploch vychází z funkce součásti. Součást má předepsanou drsnost povrchu Ra 3,2 celkové, na čtvrtkruhovém profilu je předepsáno 0,8 Ra. Tolerance jsou zvoleny na základě funkčnosti obrobku.

Výroba upínače bude vyžadovat více upnutí. Pro frézování a vrtání použijeme univerzální svěrák. Pro řezání na drátové řezačce bude součást upnuta pomocí svěráku s vyrovnávací hlavou firmy Hirschmann [23].

4.2.2 Technologický postup výroby

Daná součást bude vyrobena v počtu jednoho kusu a bude prováděna na strojích:

- pásová pila Pilous ARG 200 plus
- MCV 1000 Sprint,
- PENTA P433G,
- FANUC ROBOCUT α 600 IA,

První operace bude prováděna na pásové pile Pilous ARG 200 plus, kde bude z polotovaru odříznut rozměr 60 x 60 x 45 mm. Po frézování se provede kalení součásti ve vakuu s následným popouštěním. Povrchová úprava nebude provedena.

Po zakalení se provede dokončení rozměru, který bude dokončen na jedno upnutí na drátové řezačce Fanuc ROBOCUT α 600 IA pro dosažení přesného rozměru dle výkresové dokumentace. Na tomto stroji bude dokončen zámek ve spodní části dílce včetně prisma 120°.

Technologický postup:

Postup č.		2			
Název	Dolní část		Vypracoval		Hejlek
Číslo výkresu	WAT_0002		List		1/1
Materiál	19520	Polotovar	Hranol	Kusů	1
Číslo operace	Pracoviště				Poznámky
010	<u>Pila</u> Řezat rozměr 60x60x45				
020	Frézovat načisto rozměr 54x54x40 včetně sražení hran 4x45°; rozměr 20x23x54 ; 26x23x54 ; R8 včetně sražení hran a R8 u kóty 9mm. Odlehčení na rozměr 46 dle výkresu. V dolní části hrubovat prizma rozměr 26 x13 na rozměr 25,6 x 12,8 v délce 54. Vrtat a řezat závity 5 x M5				Upnutí do univerzálního svěráku
030	<u>Kalit na 51 HRC</u>				
040	Dokončit průměr 10H7 , zhotovit zámek dle výkresu 26x16 včetně prisma 120°				Upnutí do univerzálního svěráku, měkké čelisti

Tab. č. 7, technologický postup výroby spodní části

4.3 Charakteristika vzpěr

Dle vyhotovené výkresové dokumentace WAT_00003/1 a WAT_0003/2 se jedná o nerotační součást. Pro výrobu vzpěr bude použita čtvercová válcovaná ocel ČSN 19 520 o rozměrech 65 x 35 x 7 mm. V součásti se nachází dvě drážky s rádiusem R50. Výkres obsahuje běžné tolerance tvaru, polohy a drsnosti dosažitelné strojním vybavením.

4.3.1 Posouzení technologičnosti konstrukce

Obrobíme plochy s drsností a přesností povrchu dle výkresové dokumentace. Veškerá předepsaná přesnost rozměrů, drsnost povrchu vychází z funkce součásti. Součást má předepsanou drsnost povrchu Ra 3,2. Tolerance tvaru a polohy jsou zvoleny na základě správného usazení do celku.

Výroba vzpěr bude vyžadovat více upnutí. Pro frézování a vrtání použijeme univerzální svěrák. Pro řezání na drátové řezačce bude součást upnuta pomocí svěráku s vyrovnávací hlavou firmy Hirschmann.

4.3.2 Technologický postup výroby

Daná součást bude vyrobena v počtu dvou kusů a bude prováděna na strojích:

- pásová pila Pilous ARG 200 plus,
- MCV 1000 Sprint,
- FANUC ROBOCUT α600 IA.

První operace bude prováděna na pásové pile Pilous ARG 200 Plus, kde bude z polotovaru odříznut rozměr 65x35x7. Součást se oboustranně ofrézuje na sílu 5mm. Dále bude vrtán 2x Ø3,0 pro zhotovení drážky na drátové řezačce. Vše bude provedeno na stroji MCV 1000 Sprint. Drážky budou vyřezány na drátové řezačce Fanuc ROBOCUT α600.

Technologický postup:

Postup č.		3			
Název	Vzpěry		Vypracoval		Hejlek
Číslo výkresu	WAT_0003		List		1/1
Materiál	19520	Polotovar	Hranol	Kusů	2
Číslo operace	Pracoviště				Poznámky
010	<u>Pila</u> Řezat rozměr 65x35x7				
020	<u>Fréza hrubovat</u> Frézovat na rozměr 63x29,9x5 Vrtat 2x Ø 3,0 na rozteči 6,2x6,2				Upnutí do univerzálního svěráku
030	<u>Drátová řezačka</u> Zhotovit vnitřní drážky R50 a vnější zaoblení R56,5 načisto dle výkresu.				Upnutí do svěráku s vyrovnávací hlavou

Tab. č. 8, technologický postup výroby vzpěry

4.4 Charakteristika čepu

Dle vyhotovené výkresové dokumentace WAT_00004 se jedná o válcovou součást. Pro výrobu čepu bude použita válcovaná tyčová ocel ČSN 19 312 o $\varnothing 12 \times 48$ mm. Výkres obsahuje běžné tolerance tvaru a drsnosti dosažitelné strojním vybavením.

4.4.1 Posouzení technologičnosti konstrukce

Obrobíme plochy s drsností a přesností povrchu s ohledem na výrobní náklady pouze jak je potřeba. Veškerá předepsaná přesnost rozměrů, drsnost povrchu vychází z funkce součásti. Součást má předepsanou drsnost povrchu Ra 0,8 na funkční části. Tolerance jsou zvoleny na základě správného usazení do celku. Výroba čepu bude vyžadovat více upnutí.

4.4.2 Technologický postup výroby čepu

Daná součást bude vyrobena v počtu jednoho kusu a bude prováděna na strojích:

- pásová pila Pilous ARG 200 plus,
- soustruh WEILER PRIMUS,
- nástrojová bruska BERNARDO USM 500.

Technologický postup:

Postup č.		4			
Název	Dolní část		Vypracoval		Hejlek
Číslo výkresu	WAT_0004		List		1/1
Materiál	19312	Polotovar	Hranol	Kusů	1
Číslo operace	Pracoviště				Poznámky
010	Pila Řezat rozměr $\varnothing 12 \times 48$ mm				
020	Soustruh Zarovnat na l=46,oboustranně navrtat, soustružit mezi hroty $\varnothing 10,3$; srazit hrany $1 \times 15^\circ$ s ohledem na přída-				Upnutí do univerzálního sklíčidla

Katedra technologie obrábění

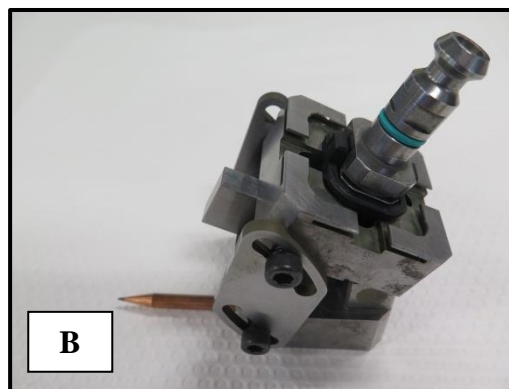
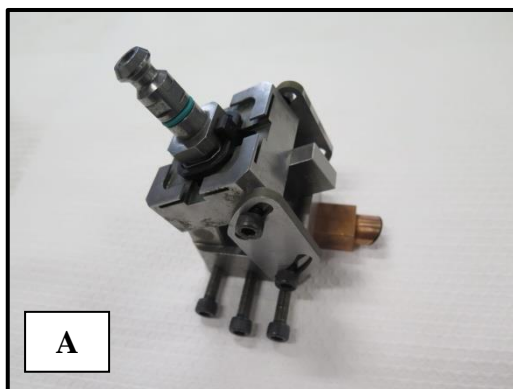
Bc. Richard Hejlek

	vek.	mezi hroty
030	<u>Kalit na 61 HRC</u>	
040	<u>Bruska</u> Brousit rozměr $\text{Ø}10+0,02 / +0,04$ v délce 13mm, přepnout brousit $\text{Ø}10f6$ na zbývající části hřídele.	Upnout mezi hroty

Tab. č. 9, technologický postup výroby čepu

4.5 Sestavení úhlového upínače

Horní a dolní část upínače se spojí pomocí čepu, který bude mezi díly vlisován za studena. Vzpěry budou k upínači přišroubovány pomocí čtyř šroubů M5 x 15 mm s válcovou hlavou. Na spodní část upínače budou pro budoucí uchycení elektrody našroubovány tři šrouby s válcovou hlavou M5 x 40 mm. Na obrázku č. 49A je zobrazena celá sestava upínače s měrkou a tvarovou elektrodou, na obr. č. 49B s měrkou a válcovou elektrodou.



Obr. č. 49A a 49B, sestava upínačů s měrkou a elektrodou

5. Metodika kontroly přesnosti sestavy upínače

5.1 Měřidla pro měření přesnosti upínače

Před prvním použitím úhlového upínače bude provedeno měření za účelem zjištění přesnosti vyrobeného úhlového upínače pomocí 3D SMS souřadnicového stroje Hexagon Global Performace, obrázek č. 52 [19]. Na tomto stroji se provádí měření výrobků, nástrojů a vstřikovacích forem pro celou výrobní činnost firmy WITTE. Po změření na 3D SMS stroji bude vystaven protokol o měření úhlového upínače, upínač bude označen a zaveden ve firmě jako přípravek dle interní směrnice firmy WITTE.



Obr. č. 52, 3D SMS souřadnicový stroj Hexagon Global Performace [19]

Vzhledem k tomu, že upínač bude použit jako přípravek pro výrobu, bude doporučena jeho kontrola v periodě 1x 3 roky. Pro upínač bude vytvořen postup pro kontrolu stavu funkčních ploch a postup pro jeho změření.

5.2 Měřicí postup ověření přesnosti upínače

1. Zařízení a pomůcky potřebné ke kalibraci:

- sada koncových měrek,
- příslušenství k ošetření koncových měrek,
- upínky,
- teploměr,
- lapovací papír,

Katedra technologie obrábění

Bc. Richard Hejlek

- 3D souřadnicový stroj Hexagon Global Performace (přesnost stroje: $MPE_e = 1,8 + L/333 [\mu\text{m}]$),
- bílé rukavice,
- čisticí prostředky (lékařský benzín, lněná utěrka),
- mazací a konzervační prostředky (lékárenská vazelína).

2. Podmínky při měření

Aktuální hodnoty při měření:

Teplota:

Tlak:

Vlhkost:

Před zahájením měření je nutné, aby byl upínač spolu se všemi měřidly umístěn alespoň 20 minut v místnosti, kde se měření bude provádět. Teplota prostředí se zapíše před zahájením měření i po jejím skončení, dále se zapíše vlhkost vzduchu a barometrický tlak.

3. Vnější prohlídka

Provádí se před každým měřením. Kontroluje se především mechanická neporušenost a nepoškozenost jednotlivých prvků přístroje. Funkční plochy musí být hladké, čisté, bez koroze, okraje musí být bez otřepů atd. Snímací plochy, pokud nejsou chráněny, musí být čisté, bez prachu, mastnot a škrábanců.

Předmět měření se vyčistí (případně i benzínem) a vytře do sucha. Lehce poškozené plochy či hrany a otřepy je nutné upravit (brusným kamenem či smirkovým papírem). Místa napadená korozí se očistí jemným lapovacím papírem a ošetří konzervačním prostředkem.

V případě, že by byla při vnější prohlídce zjištěna z metrologického hlediska podstatná závada, kterou není možné vlastními silami odstranit, bude upínač vyřazen z dalšího postupu měření. Dále se kontroluje vlastní popis upínače a jeho evidenční číslo. Neúpl-

nost těchto údajů není důvodem k vyřazení z vlastního měření, důležitými identifikačními znaky se upínač znovu opatří.

4. Funkční zkouška upínače

Provede se kontrola počtu kusů utahovacích šroubů a jejich nepoškozenost pro utažení vzpěr a elektrod, dále se provede funkční zkouška závitů.

Přezkouší se rozevření upínače. Pohyb při rozevření upínače musí být plynulý, bez zadrhnutí. Průsvitem se zkontroluje dosednutí horního a spodního dílu na čtvrtkruh upínače.

5. Zjištění chyby upínače

Chybu upínače zjišťujeme dle výkresové dokumentace v konkrétních bodech a úhlech z měřicího rozsahu v intervalu 0-45°. Měření provádíme upnutím upínače na desku 3D souřadnicového stroje a vkládáním koncových měrek vypočítané velikosti mezi volné konce upínače. Nastavený úhel na upínači se zajistí utažením šroubů vzpěr. Změřený úhel odečteme z výsledného protokolu 3D souřadnicového stroje. Měření provedeme s pětinasobným opakováním. Pro měření byla stanovena chyba upínače $\pm 0,5^\circ$.

6. Zpracování naměřených hodnot – vyhodnocení

Z naměřených hodnot, vždy pro jeden konkrétní měřený bod a úhel, se vypočte střední hodnota, která se uvede do měřicího protokolu. Vyhoví-li upínač při měření předepsaným požadavkům, vystaví se měřicí protokol a upínač se označí se značkou s vyznačenou dobou platnosti. Poté se upínač předá uživateli.

Nevyhoví-li upínač při měření předepsaným požadavkům a již nelze opravit, upínač se výrazně označí a stáhne z provozu. Upozorní se uživatel. Postup je popsán v interní směrnici firmy WITTE.

7. Vystavení měřicího protokolu

K upínači se vždy vystaví měřicí protokol. Tento musí obsahovat následující údaje:

- jméno organizace,

Katedra technologie obrábění

Bc. Richard Hejlek

- číslo měřicího protokolu,
- jméno zadavatele / uživatele, útvar / oddělení,
- předmět měření – název, typ, identifikační číslo,
- použité etalony,
- další nutné pomůcky (které nejsou uvedeny v měřícím postupu),
- podmínky, za nichž bylo měření provedeno,
- výsledky měření a s ním spojená vyhodnocení,
- jméno pracovníka, který měření provedl, datum a podpis.

Měřicí protokol v tištěné formě se přiloží do složky upínače, v elektronické podobě se jako příloha uloží do databáze přípravků.

5.3 Měření upínače

Měření úhlového upínače bylo provedeno podle měřicího postupu uvedeného v kapitole 5.2

Aktuální hodnoty při měření:

teplota: 21 °

tlak: 99,299 KPa

vlhkost: 49%

Vnější prohlídka a funkční zkouška proběhla v souladu s měřícím postupem bez závad. Při měření na 3D souřadnicovém stroji bylo provedeno mimo měřící postup také měření funkčních ploch pro ověření geometrických parametrů upínače. Výsledky měření jsou uvedeny v příloze diplomové práce.

Při měření předepsaných úhlů 3D souřadnicovým strojem byly naměřené hodnoty úhlů zapsány do tabulky č. 11. Po provedeném opakovaném pátém měření byly vypočteny hodnoty aritmetického průměru naměřených úhlů \bar{y} . S ohledem na požadovanou přesnost při práci s upínačem byla tolerance úhlu stanovena v rozsahu $\pm 0,5^\circ$. Měření bylo vždy pětkrát opakováno pro každý zvolený úhel.

Měřený úhel	Počet měření [°]					\bar{y} [°]
	1	2	3	4	5	
0 °	-0,062	-0,092	-0,071	-0,080	-0,072	-0,075
10 °	9,979	9,964	9,972	9,968	9,945	9,966
15 °	14,983	14,821	14,815	14,824	14,819	14,852
20 °	19,988	19,967	19,972	19,969	19,967	19,952
25 °	24,986	24,959	24,971	24,961	24,982	24,972
30 °	29,986	29,889	29,982	29,985	29,977	29,964
35 °	35,179	35,161	35,159	35,167	35,174	35,168
40 °	39,983	39,961	39,975	39,980	39,959	39,977
45 °	45,031	45,005	45,025	45,012	45,022	45,019

Tab. č. 11, výsledky měření úhlového upínače

Vyhodnocení z měření upínače:

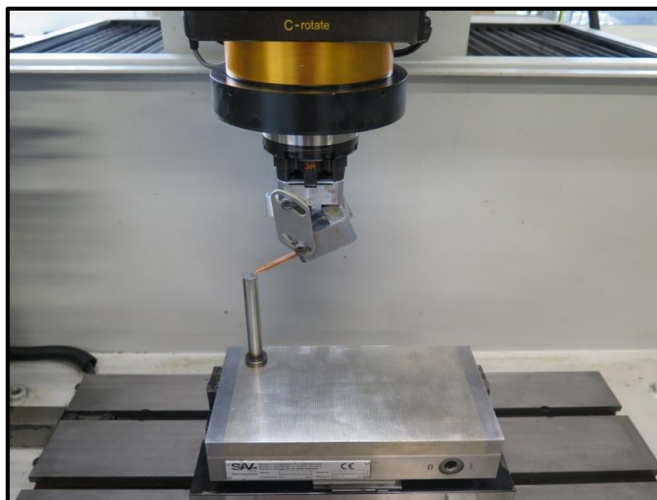
Měření byla provedena bez přerušení a dle měřicího postupu. Při měření nebyly použity prostředky pro dobroušení a dohlazení funkčních ploch. Na upínači nebyly nalezeny vady na funkčních plochách způsobené jejím používáním.

Při měření nebyla zjištěna žádná hodnota, která by překračovala povolenou mez tolerance. Úhlový upínač vyhovuje zadaným parametrům a lze jej používat pro EDM obrábění.

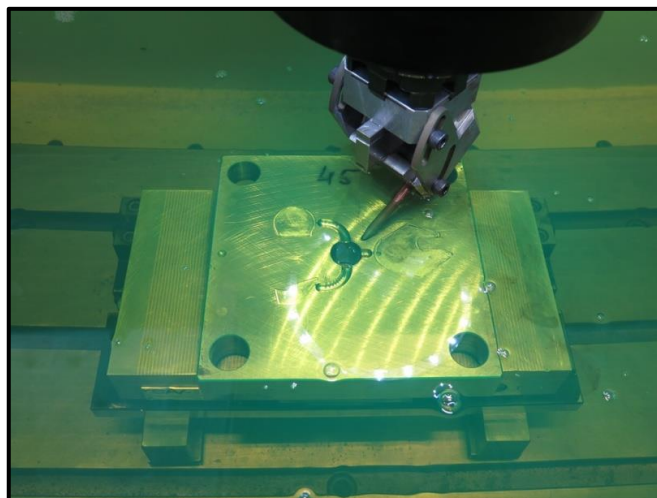
5.4 Použití úhlového upínače

Po změření bude úhlový upínač používán pro EDM obrábění. Nastavení potřebného úhlu se provede vložением měrek mezi pohyblivé části. Obě vzpěry se přišroubují pomocí šroubů k tělu upínače a tím bude zajištěno tuhé sevření měrek mezi pohyblivými částmi upínače. Dále se na upínač nasadí držák 3R Macro a pomocí šroubů se upne elektroda.

Před zahájením obrábění se ověří hrot elektrody pomocí obrobkové sondy ve stroji, viz obr. č. 50. Postup ověření je popsán v kapitole 2.8.1. Obrobek se po obrábění přeměří na 3D SMS souřadnicovém stroji. Na obrázku č. 51 je ukázka z EDM obrábění pomocí upínače a elektrody při opravě vtoku formy.



Obr. č. 50, ověření hrotu elektrody



Obr. č. 51, úhlový upínač při EDM obrábění vtoku formy

6. Závěr

V úvodní části diplomové práce byla provedena analýza současného způsobu obrábění vtokových částí vstřikovacích forem a seznámení s požadavky na přesnost výroby. Z hlediska nedostatečné možnosti nastavení úhlů v celém požadovaném rozsahu 0-45° při obrábění pomocí současných upínačů a nevyhovujícím upínačům na trhu, bylo rozhodnuto o vyrobení upínače dle vlastního konstrukčního návrhu. Upínač prošel několika variantami vývoje, které se ukázaly jako nevhodné, zejména bylo nutné vyřešit správný tvar vzpěr. Po nalezení vhodného konstrukčního řešení upínače byla vytvořena výkresová dokumentace a technologické postupy výroby jeho jednotlivých částí.

K výrobě upínače byly použity volné kapacity strojů v nástrojárně, čímž se dosáhlo nižších nákladů na výrobu upínače. Výrobu upínače zajistila vysoce kvalifikovaná obsluha strojů. Výsledná cena upínače je uvedena v tabulce č. 14.

Pracovní činnost	Spotřeba času [hod.]	Cena [Kč]
Vývoj, konstrukční model a výkresová dokumentace	11	3200
Materiál		400
Řezání a třískové obrábění	5	2 500
Kalení	---	2 500
EDM obrábění	27	13 500
Celkem	43	22 100

Tab. č. 14, výsledná cena upínače

Náklady na návrh a výrobu upínače, byly po zhotovení upínače vyčísleny na celkovou částku **22 100** Kč a dosahují přibližně poloviny ceny upínače dostupného na trhu. Vyrobený upínač byl zařazen do dlouhodobého drobného hmotného majetku s plánovanou životností 10 let. Náklady na pořízení upínače nese firma WITTE. Jeho hlavní přínos spočívá v přesnější výrobě vtokových částí na vstřikovací formě s lepšími vlastnostmi proudění materiálu při vstřikování do formy. Díky lepšímu proudění materiálu odpadají

případné vícepráce při odstraňování možných nálitků a jiných nepřesností při vstřikování materiálu.

Pro lepší manipulaci s upínačem a koncovými měrkami, které vkládají mezi volné konce upínače při obrábění, byly vyrobeny přesné měrky pro nastavení nejčastěji používaných úhlů. Pro výrobu měrek byla vytvořena výkresová dokumentace, která je uložena v příloze diplomové práce. Použití měrek omezí možné mechanické poškození koncových měrek při jejich vkládání mezi obě části upínače. Měrky dále pomůžou odstranit případnou lidskou chybu při skládání koncových měrek a dále také eventuelní poškození měrek vlivem výparů dielektrika při obrábění. Výchozím materiálem pro výrobu měrek byla stanovena ocel ČSN 19 312 kalená na 61 HRC. Výroba proběhla na drátové řezače Fanuc ROBOCUT α600 IA. Po vyrobení se nefunkční plochy na měrkách viditelně označily barvou a měrky se přeměřily na 3D SMS souřadnicovém stroji.

K nejčastěji používaným úhlům při obrábění byla vytvořena přehledná tabulka pro určení velikosti měrky, která je umístěna na stroji. V tabulce je také uveden přehledný postup pro výpočet velikosti měrek jiných, než nejčastěji používaných úhlů. Tabulka je uvedena v příloze diplomové práce.

Navržený úhlový upínač byl po vyrobení přeměřen na 3D souřadnicovém stroji dle vytvořeného měřicího postupu, vyzkoušen při opravách a výrobě vtoků vstřikovacích forem, kde se úspěšně osvědčil a v současné době plně nahradil původní řešení upínačů.

Seznam použité literatury

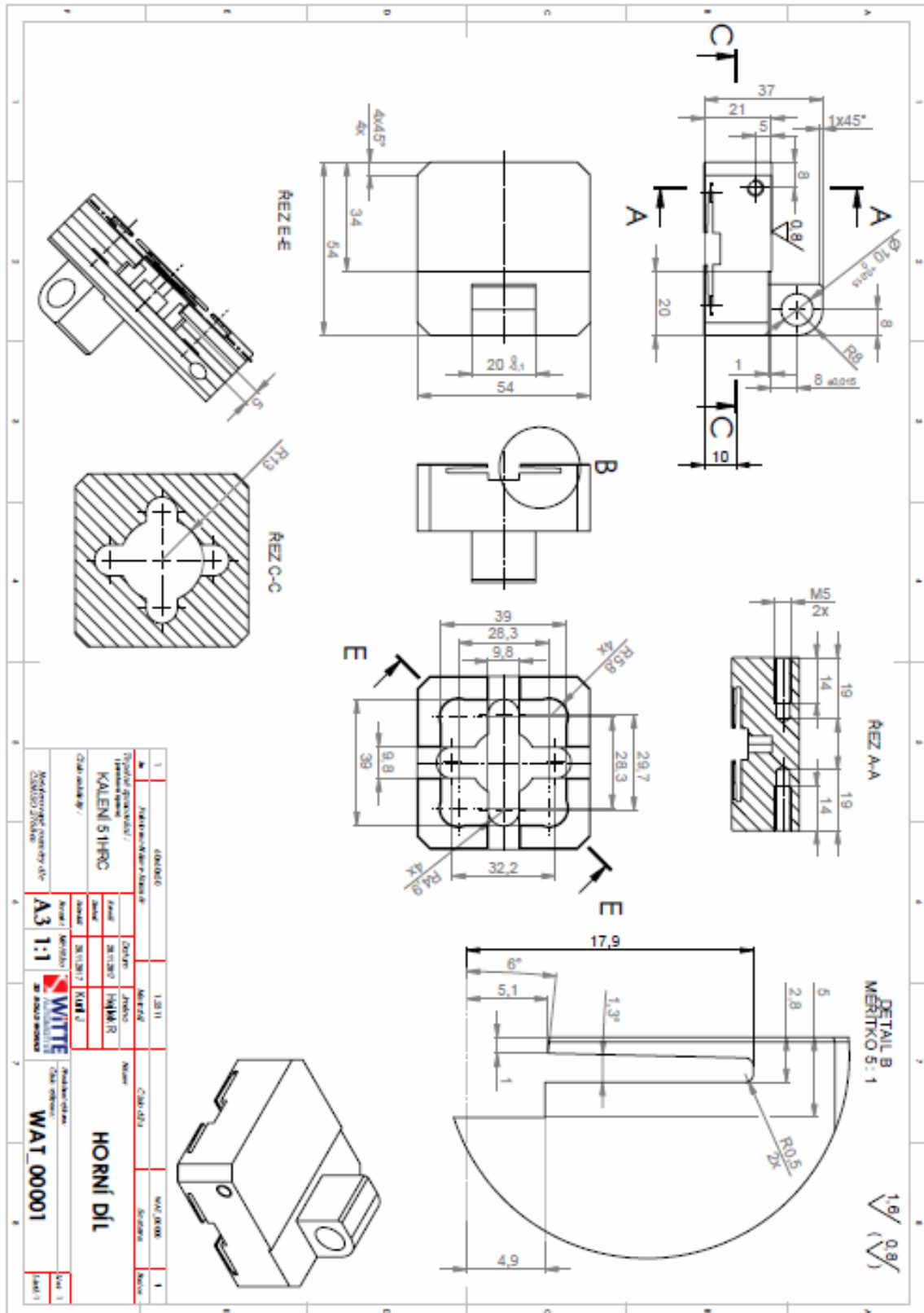
- [1] <https://www.witte-automotive.cz/live/Firma/firma.aspx> [cit. 2017-12-6]
- [2] HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění 3. část.*: Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program [online]. VUT FSI v Brně: Ústav strojírenské technologie: Odbor technologie obrábění, 2005
Dostupné z:
http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf [cit. 2017-12-11].
- [3] <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html> [cit. 2017-12-13]
- [4] http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/htn_tvareci_nastroje_vstrikovaci_formy_zak.pdf [cit. 2017-12-2]
- [5] http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2573 [cit. 2017-12-26]
- [6] <https://www.mmspektrum.com/clanek/konstrukce-a-vyroba-elektrod.html> [cit. 2017-12-27]
- [7] <http://www.penta-edm.cz/> [cit. 2017-12-27]
- [8] <http://www.fanuc.eu/cz/cs/robocut-ib> [cit. 2017-12-27]
- [9] <https://www.kovosvit.cz/mcv-1000-p8.html> [cit. 2017-12-27]
- [10] <http://www.chevalierusa.com/products/grinding/automatic/fsg1224-1632-1640adl11-detail> [cit. 2017-12-27]
- [11] <http://shop.strojnisveraky.cz/images/VS-100.jpg> [cit. 2018-12-27]
- [12] <http://www.gfms.com/content/gfac/s3r/en.html> [cit. 2017-12-28]
- [13] <https://www.lentus-ocel.cz/12311> [cit. 2017-12-28]
- [14] <http://www.solidworks.cz/> [cit. 2017-12-28]
- [15] <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1897> [cit. 2017-12-28]
- [16] <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1088> [cit. 2017-12-28]
- [17] MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technologie: Advanced methods of material removal*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 275 s. ISBN 80-7099-430-4

- [18] <http://www.weiler.de/en/start/precision-lathes/engine-lathes/primus-vcd.html> [cit. 2018-1-24]
- [19] <http://www.hexagonmi.com/cs-CZ/products/coordinate-measuring-machines/bridge-cmms/global-s> [2018-1-25]
- [20] <https://www.exeron.de/de/HSC-Fr%C3%A4smaschinen/HSC-Fr%C3%A4stechnik/HSC-300%2B3> [cit. 2017-12-30]
- [21] <http://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/na-vyrobu-forem/w-nr-12311/> [cit. 2018-1-4]
- [22] <http://www.kalirna-vyskov.cz/technologie/vakuove-kaleni> [cit. 2018-1-5]
- [23] <http://www.penta-edm.cz/dokumenty/upinani/sys4000sk.pdf> [cit. 2018-1-8]
- [24] <http://www.pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/gravitacni/arg-200-plus> [cit. 2018-1-20]
- [25] <http://www.bernardo.at/shop/cz/kov/kovoobrabeni/brusky/univerzalni-brusky/usm-500-mit-absaugung.html> [cit. 2018-1-20]
- [26] <http://toolsteel.cz/1-2842-90mncrv8-19-312-19-313/> [cit. 2018-1-20]
- [27] <https://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=119&r=2000> [cit. 2018-1-22]
- [28] Chladil Josef. *Přípravky a nástroje: část-obrábění*. 3. vyd. Brno: VUT, 1992. skripta 157 s. ISBN 80-214-0408-6
- [29] Upínače: http://www.w-technology.cz/PDF/its_cz.pdf
- [30] Leiveber Jiří, Vávra Pavel. *Strojnické tabulky*. Albra, 2017, 943 str., ISBN: 978-80-7361-111-8

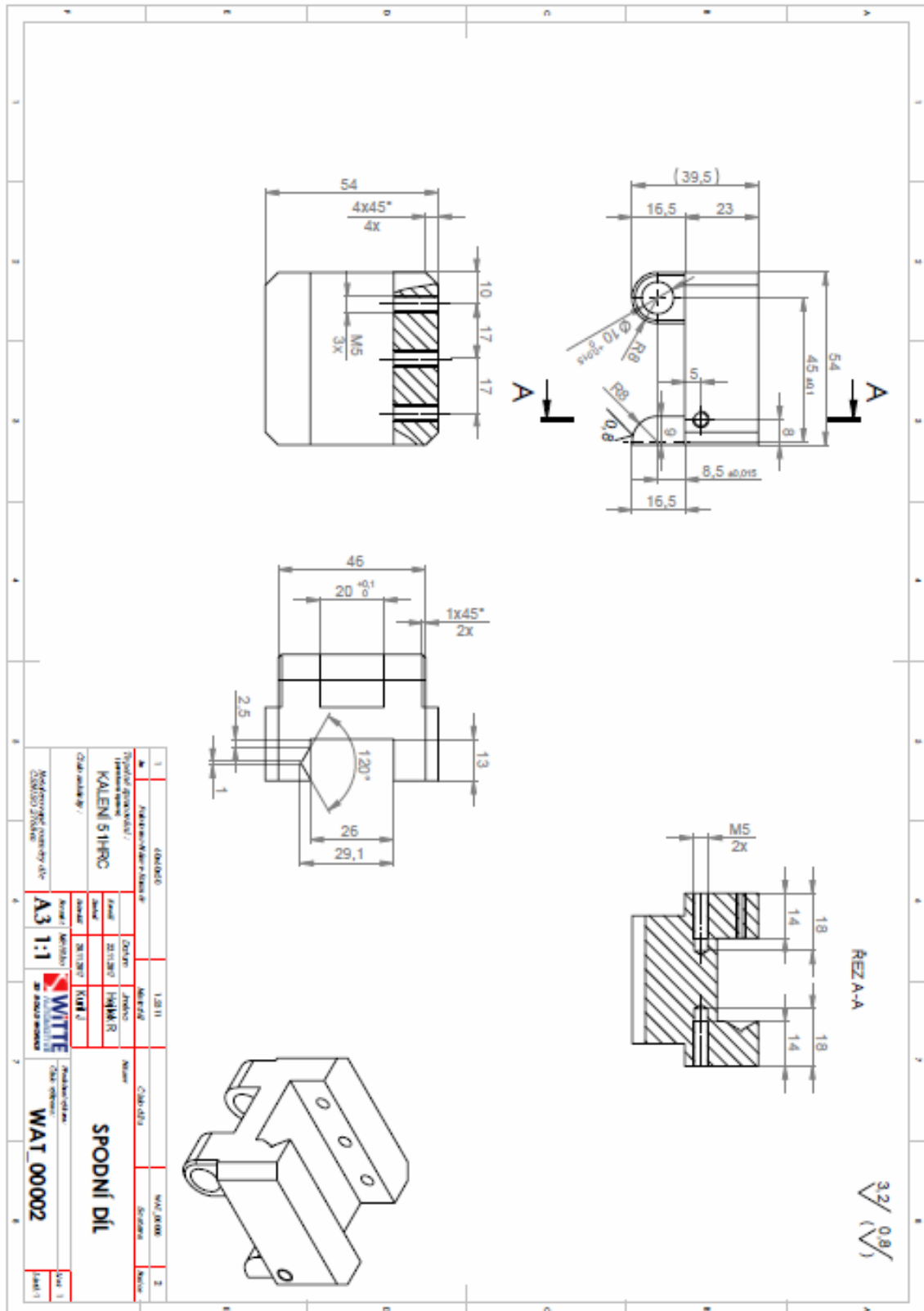
Seznam příloh

- Příloha č. 1 Výkres horního dílu upínače
- Příloha č. 2 Výkres horního dílu upínače
- Příloha č. 3 Výkres čepu upínače
- Příloha č. 4 Výkres vzpěry upínače
- Příloha č. 5 Výkres sestavy upínače
- Příloha č. 6 Tabulka pro výpočet úhlů
- Příloha č. 7 Měřicí protokol
- Příloha č. 8 Tabulka ocelí ČSN 19 520, ČSN 19 312
- Příloha č. 9 Výkres přípravku (měrky) pro 10°
- Příloha č. 10 Výkres přípravku (měrky) pro 20°
- Příloha č. 11 Výkres přípravku (měrky) pro 25°
- Příloha č. 12 Výkres přípravku (měrky) pro 30°
- Příloha č. 13 Ukázka výkresu formy

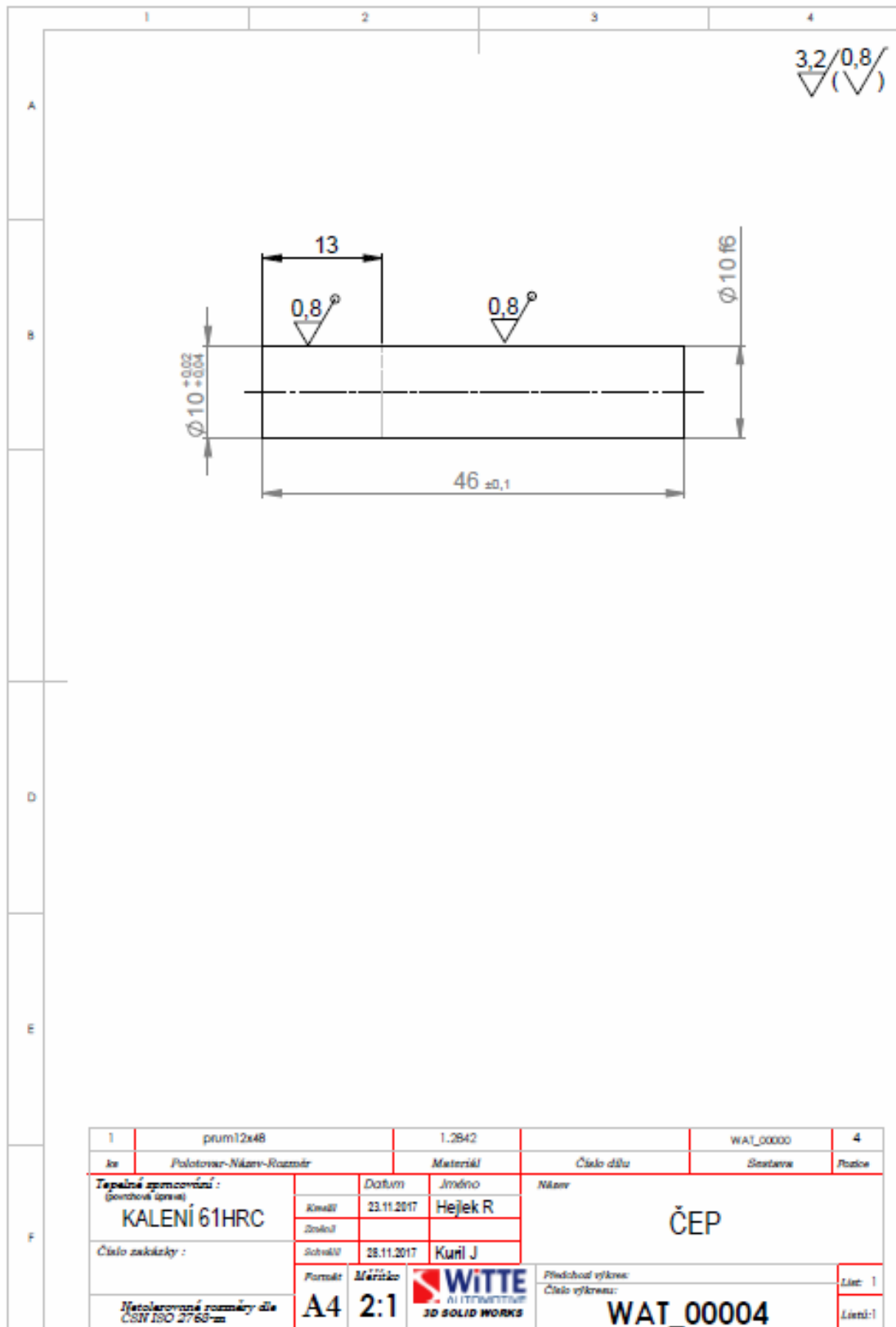
Příloha č. 1: výkres horní díl



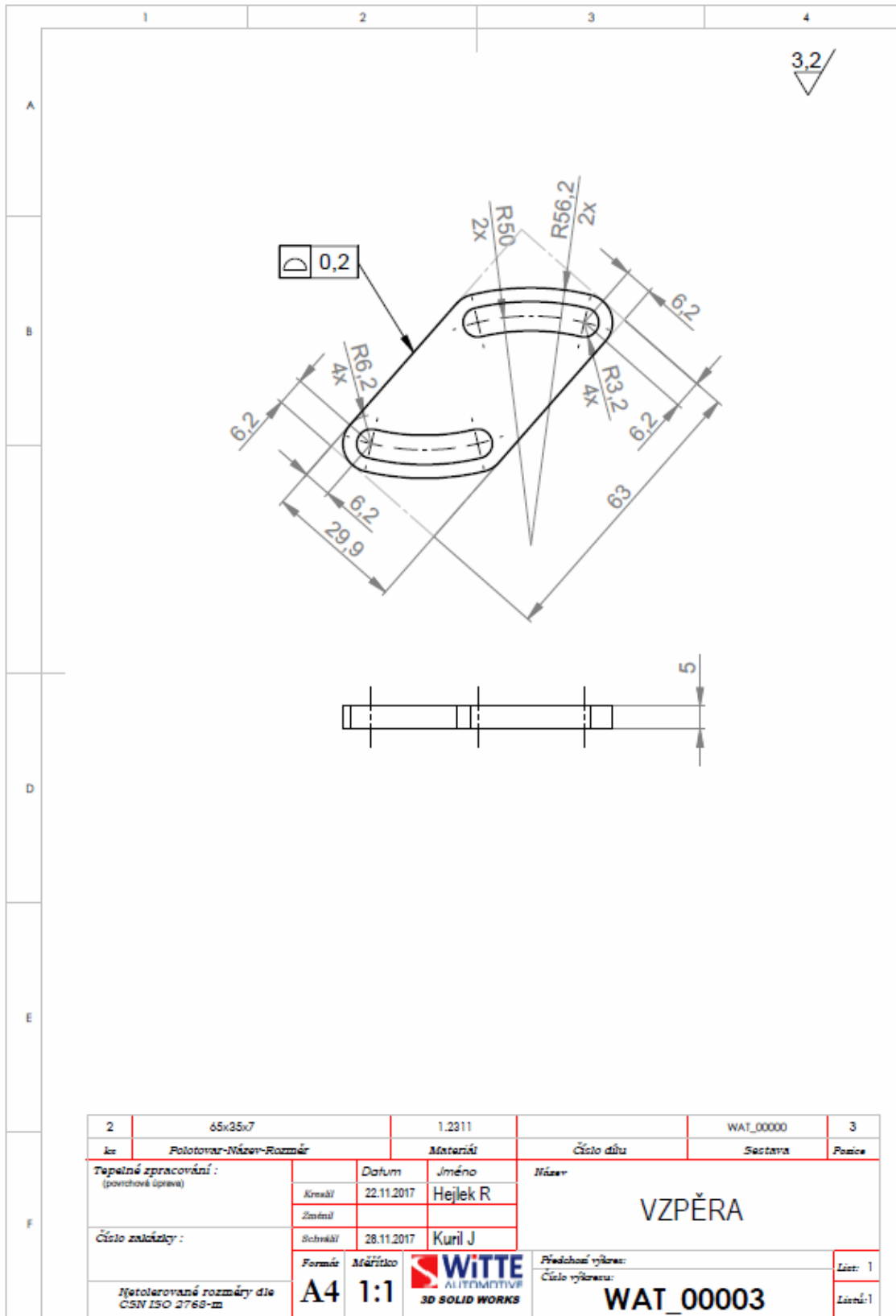
Příloha č. 2: výkres spodní díl



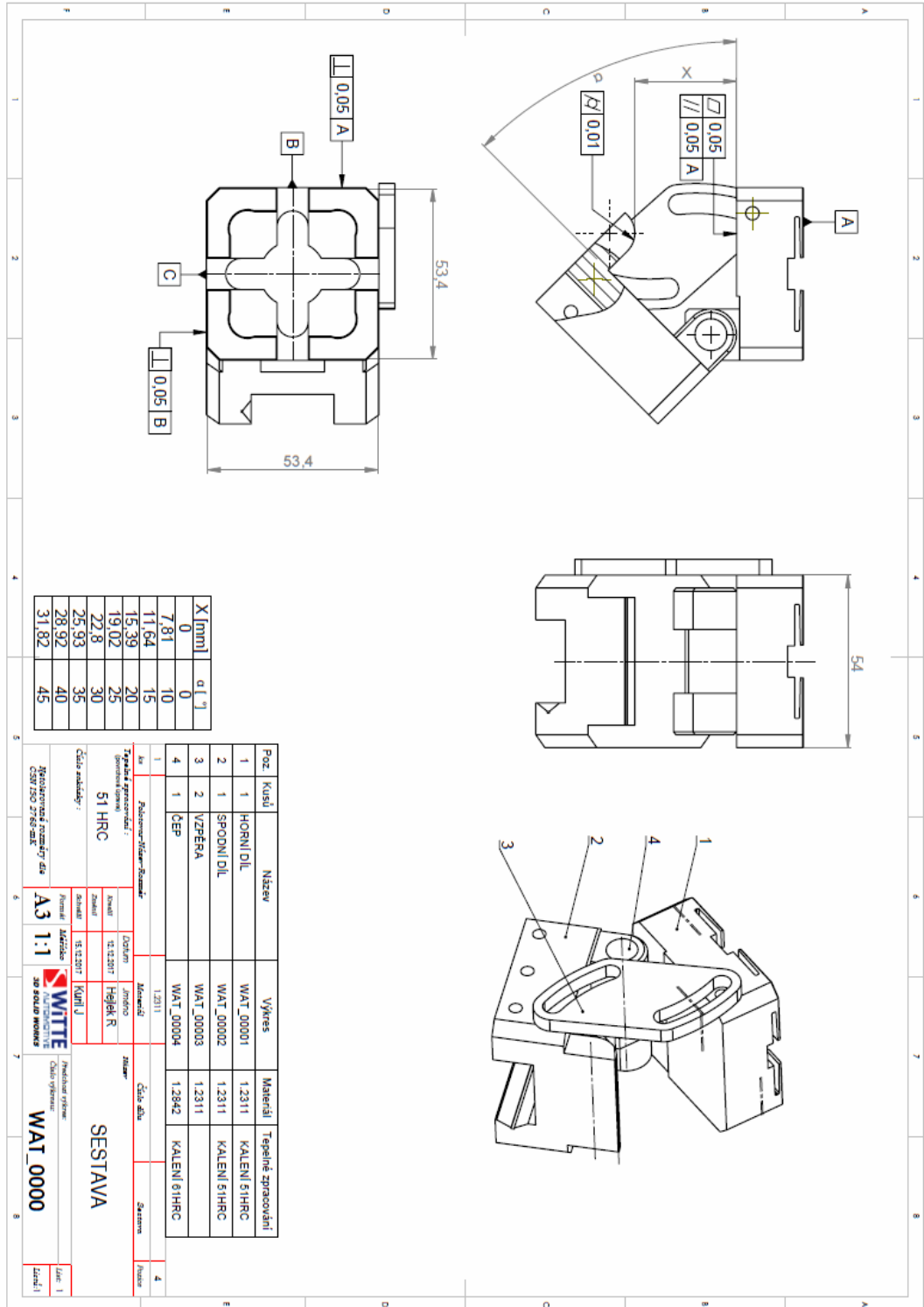
Příloha č. 3: výkres čep



Příloha č. 4: výkres vzpěry

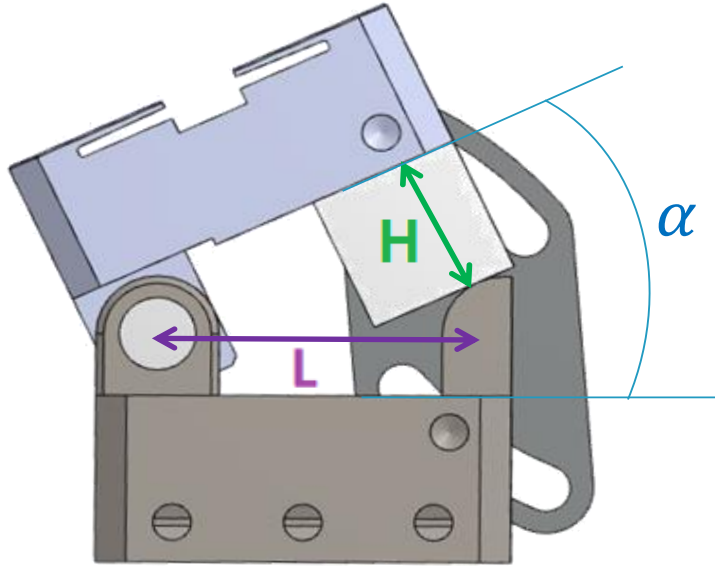


Příloha č. 5: výkres sestavy



Příloha č. 6: tabulka pro výpočet úhlů:

Tabulka pro určení velikosti koncové měrky pro zadaný úhel α (rozevření upínače)		
Délka L [mm]	Úhel α [°]	Velikost měrky H [mm]
45,00	5,00	3,92
45,00	10,00	7,81
45,00	15,00	11,64
45,00	20,00	15,39
45,00	25,00	19,02
45,00	30,00	22,50
45,00	35,00	25,81
45,00	40,00	28,92
45,00	45,00	31,82



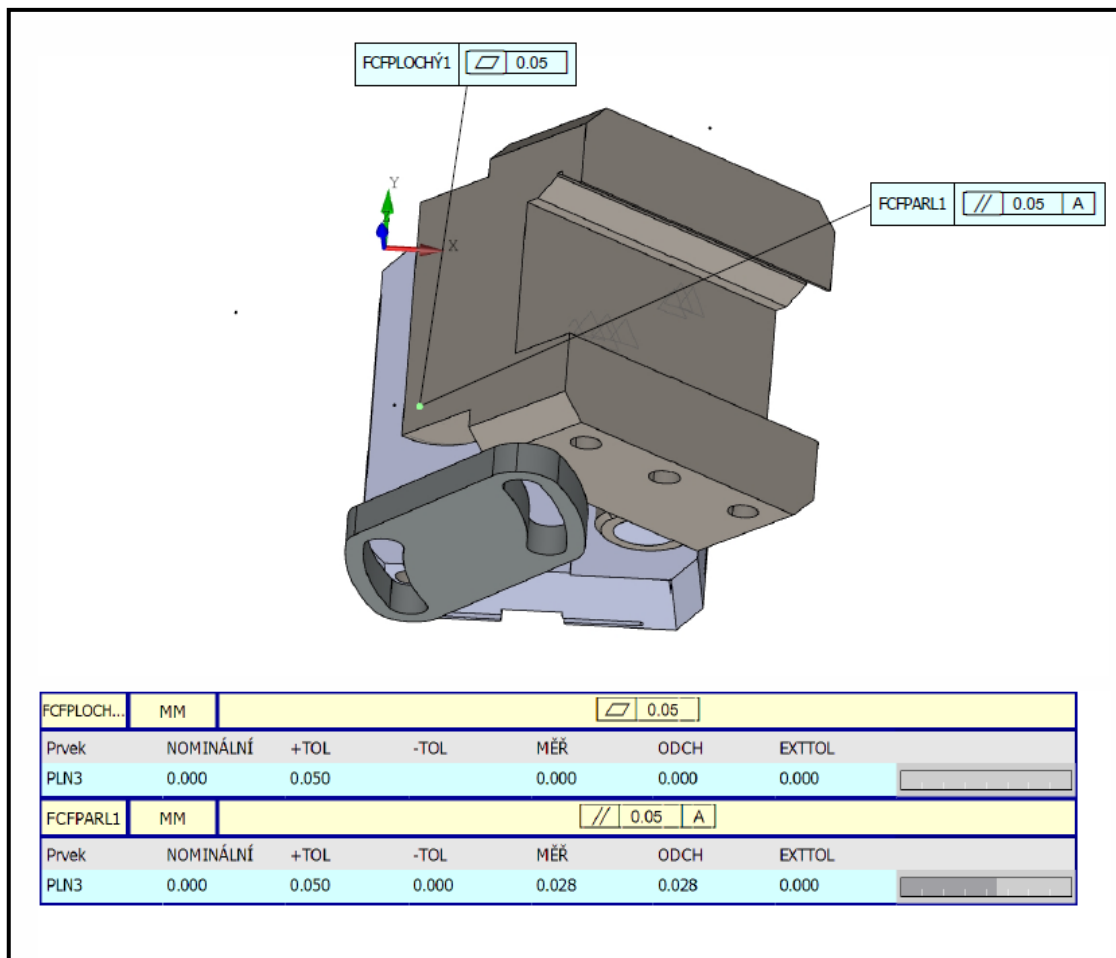
Výpočet velikosti koncové měrky se provede dle vzorce:

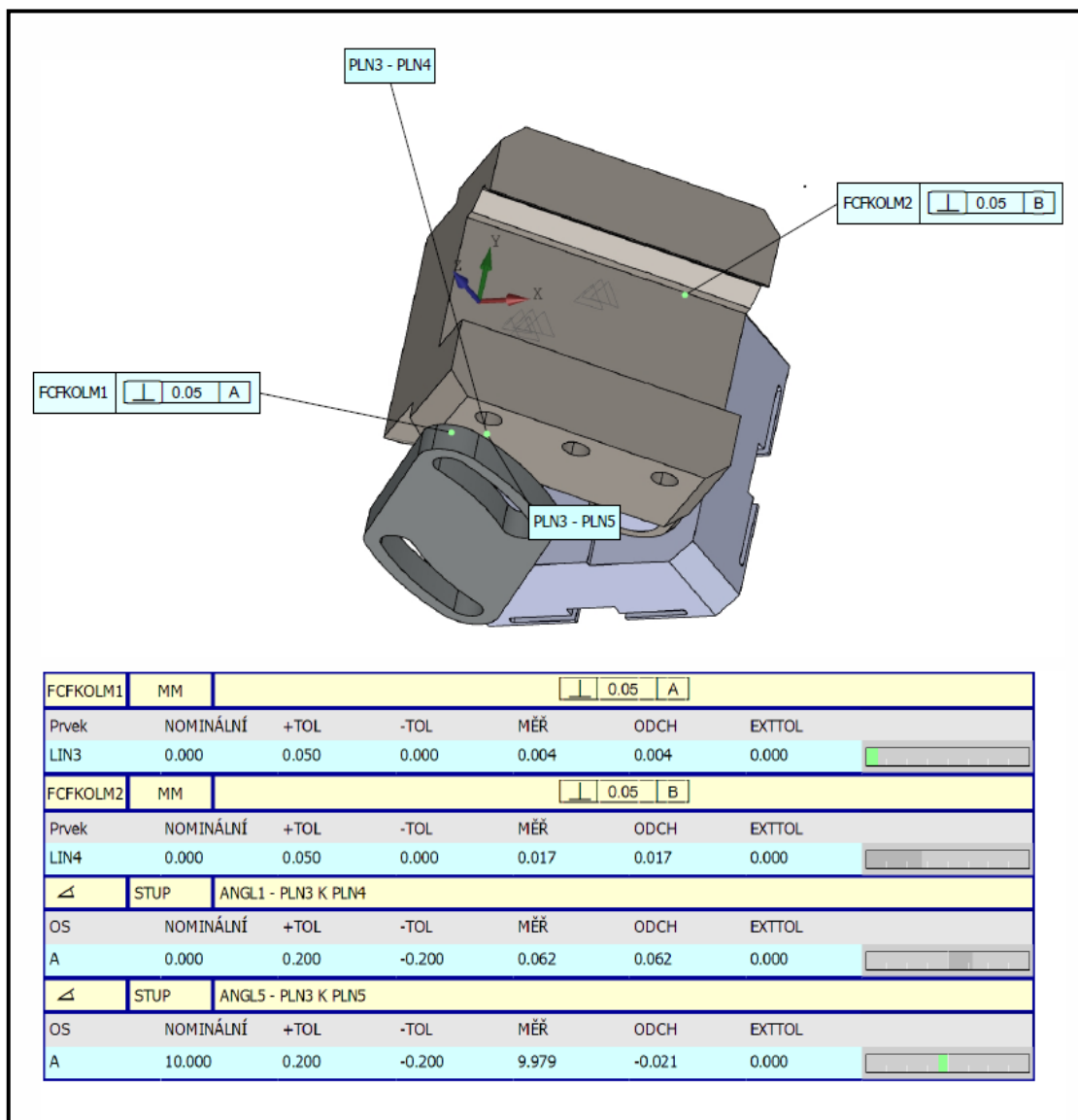
$$\sin \alpha = \frac{H}{L}$$

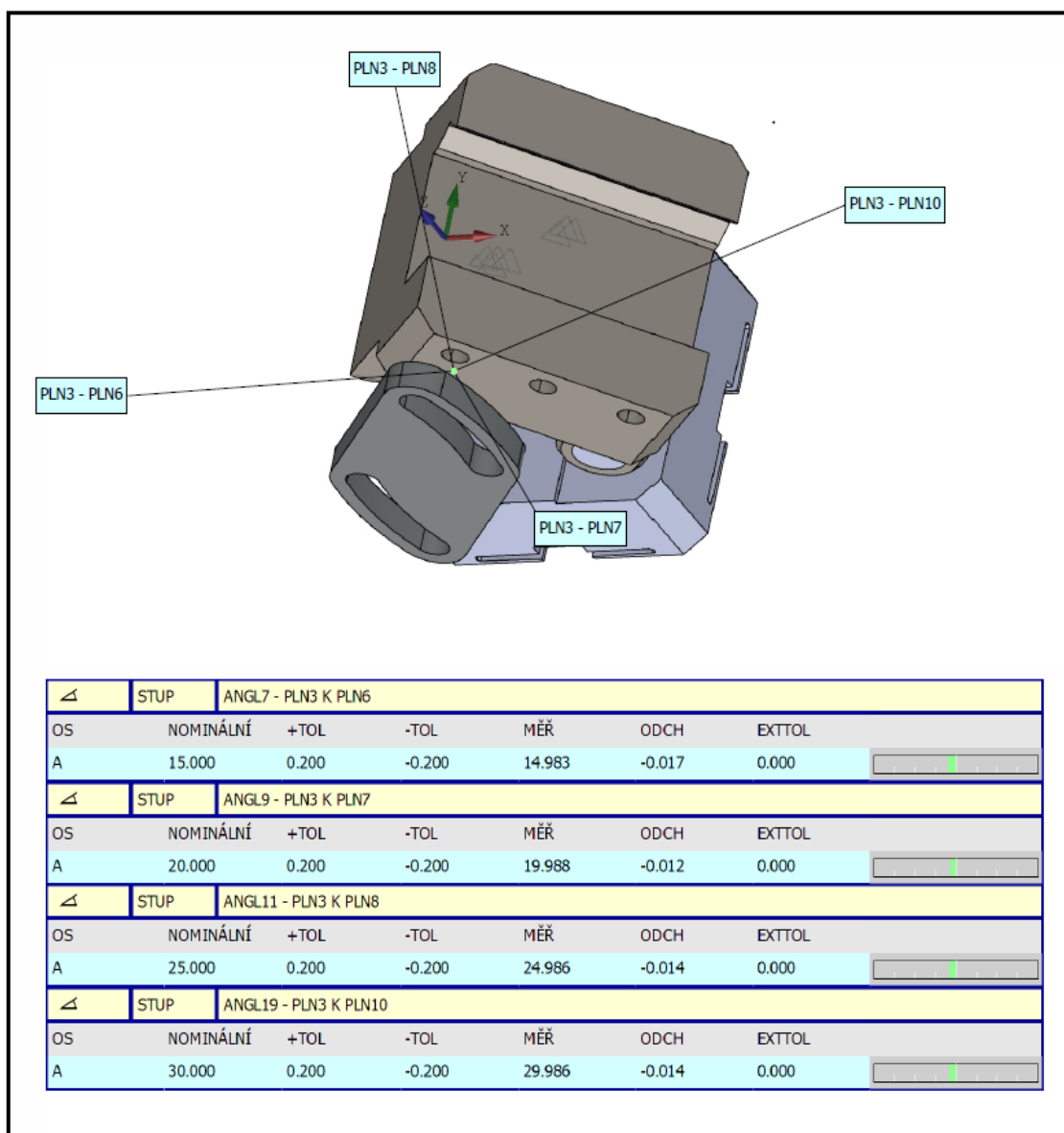
L- Vzdálenost rozteče válečků je 45 mm
H- Hledaná velikost koncové měrky

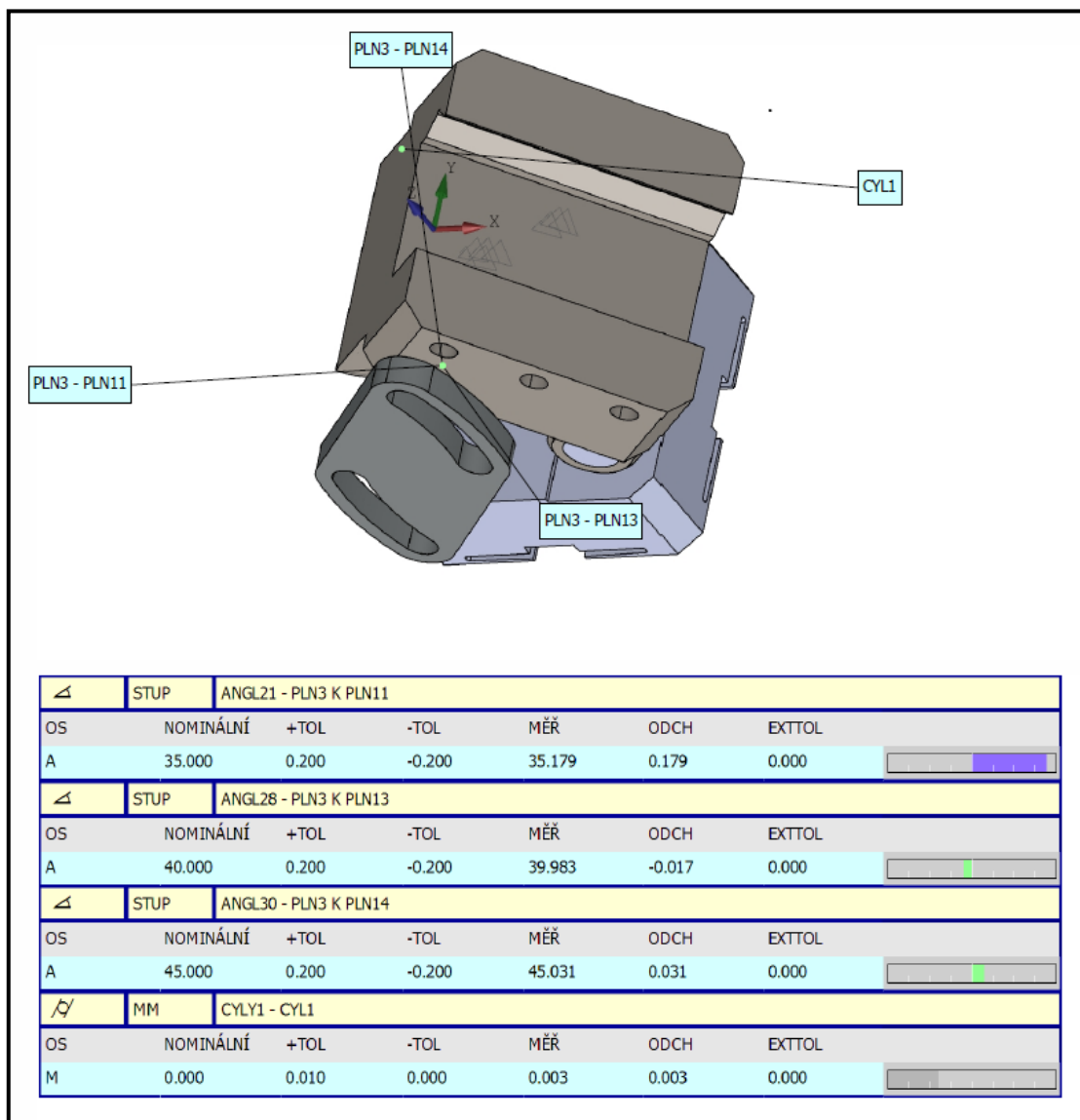
$$H = \sin \alpha \times L$$

Příloha č. 7: měřicí protokol:









Příloha č. 8: tabulky ocelí ČSN 19 520, ČSN 19 312**Značení oceli ČSN 19 520/ ČSN 19312: [13]**

Norma	Označení	Označení
ČSN	19520	19312
W. -Nr.	1.2311	1.2842
ISO	35CrMo7	90MnCrV8

Chemické složení oceli ČSN 19 520/ ČSN 19312:

ČSN	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mat.
19 520	0,35-0,45	0,20-0,40	1,3-1,6	max. 0,035	max. 0,035	1,8-2,1	Mo 0,15-0,25
19312	0,85-0,95	0,10-0,40	1,90-2,10	max. 0,030	max. 0,030	0,20-0,50	V 0,05-0,15

Mechanické vlastnosti oceli ČSN 19 520:

Mechanické vlastnosti				
Určené pro práci za:			tepla	studená
Stav	žíhaný na měkko	kalený	kalený a popouštěný	
Mez pevnosti Rm [MPa]	max. 775	~ 1770	1030-1470	1030-1470
Tvrдост HB max.	230			
Tvrдост HRC		~ 51	32-42	32-42

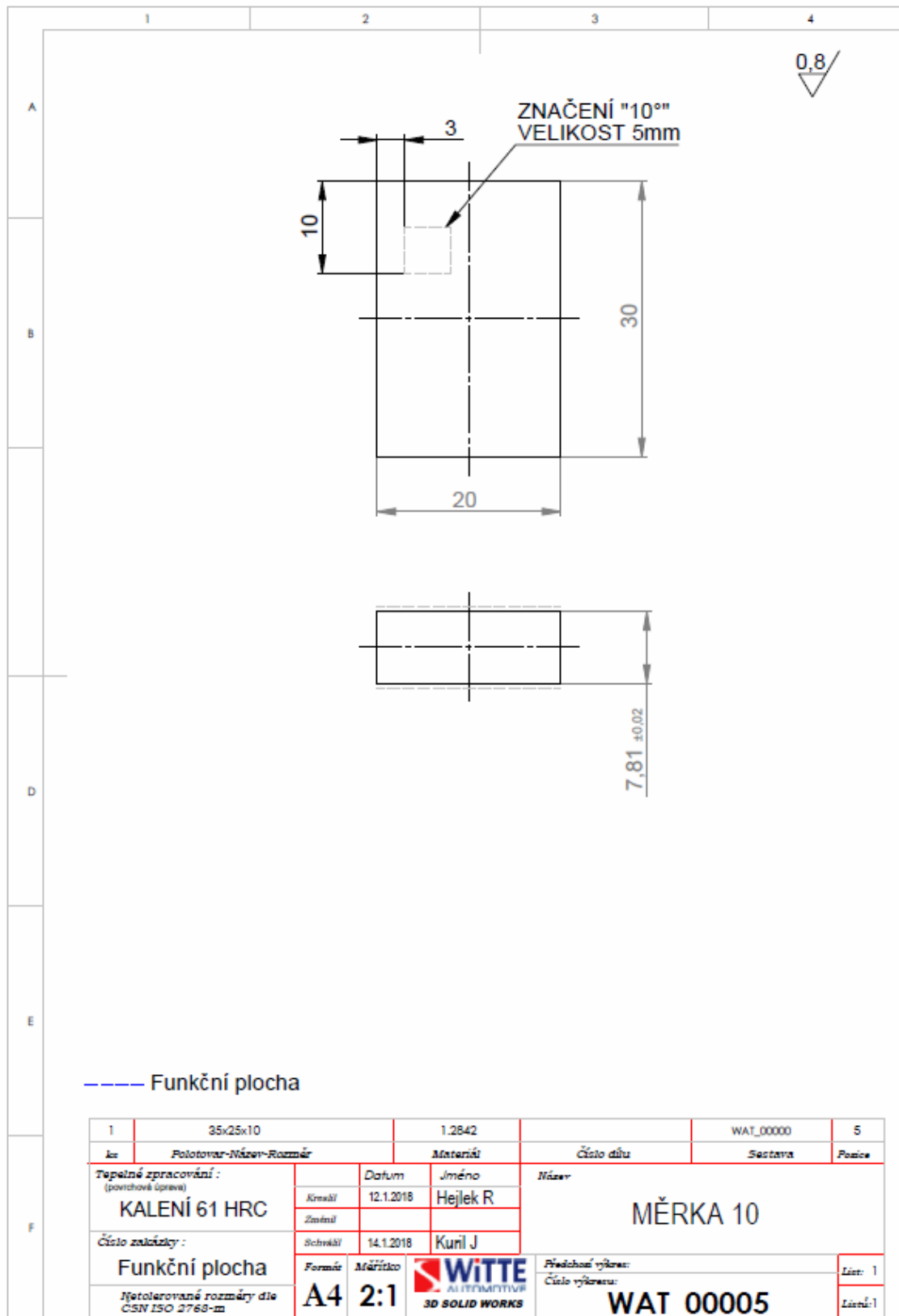
Mechanické vlastnosti oceli ČSN 19 312:

Mechanické vlastnosti				
Určené pro práci za:			tepla	studená
Stav	žíhaný na měkko	kalený	kalený a popouštěný	
Mez pevnosti Rm [MPa]	max. 775			
Tvrдост HB max.	220			
Tvrдост HRC		64		

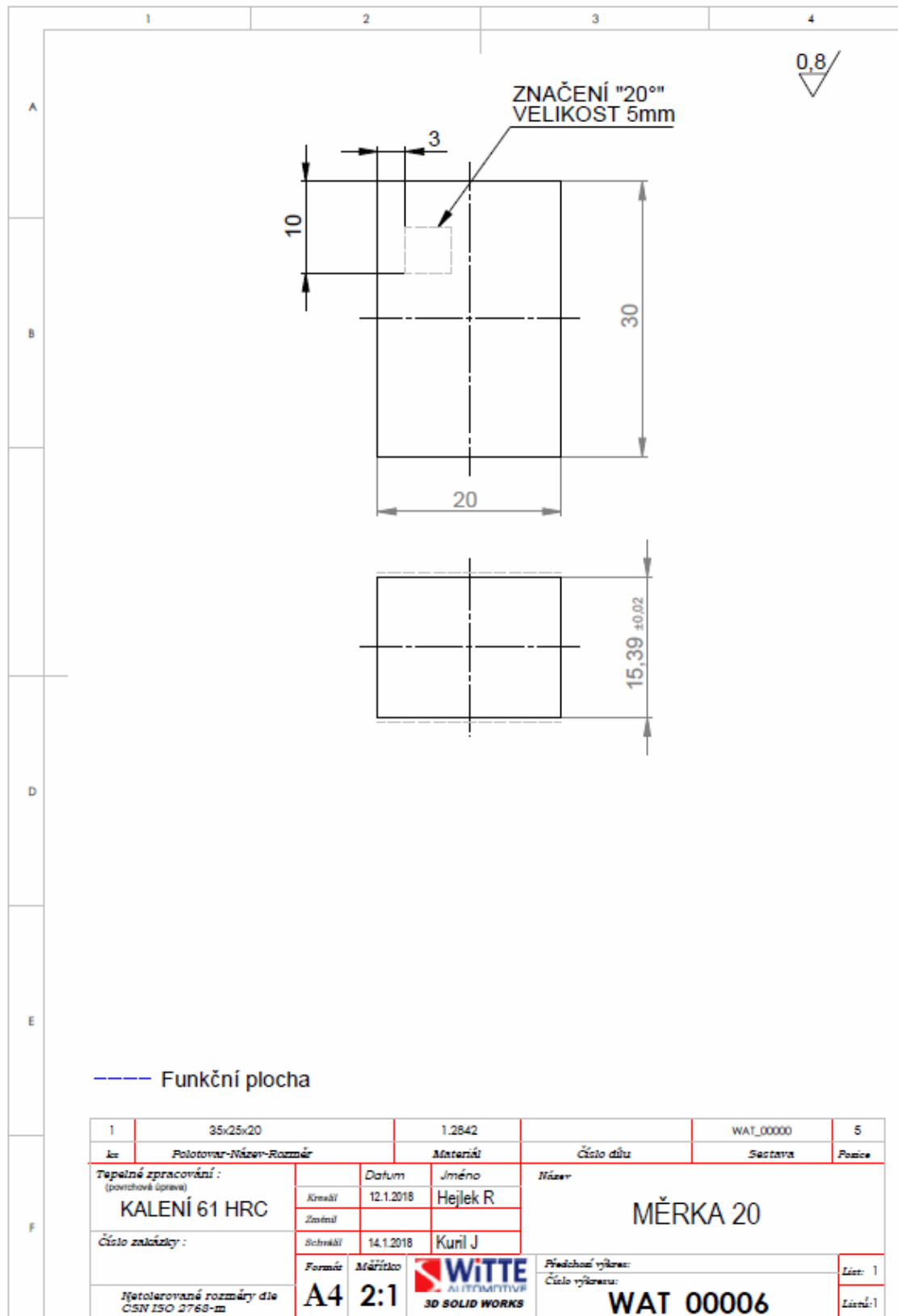
Tepelné zpracování oceli ČSN 19 520 a ČSN 19312:

Tepelné zpracování	ČSN 19520	ČSN 19312
Kalící teplota	830-870 °C	790-820 °C
Dosažená tvrdost po kalení	51 HRC	58-62 HRC
Rozmezí popouštěcích teplot	100-700 °C	100-650 °C
Žíhání na měkko	580-600 °C	580-600 °C
Tvrдост po žíhání	230 HB	

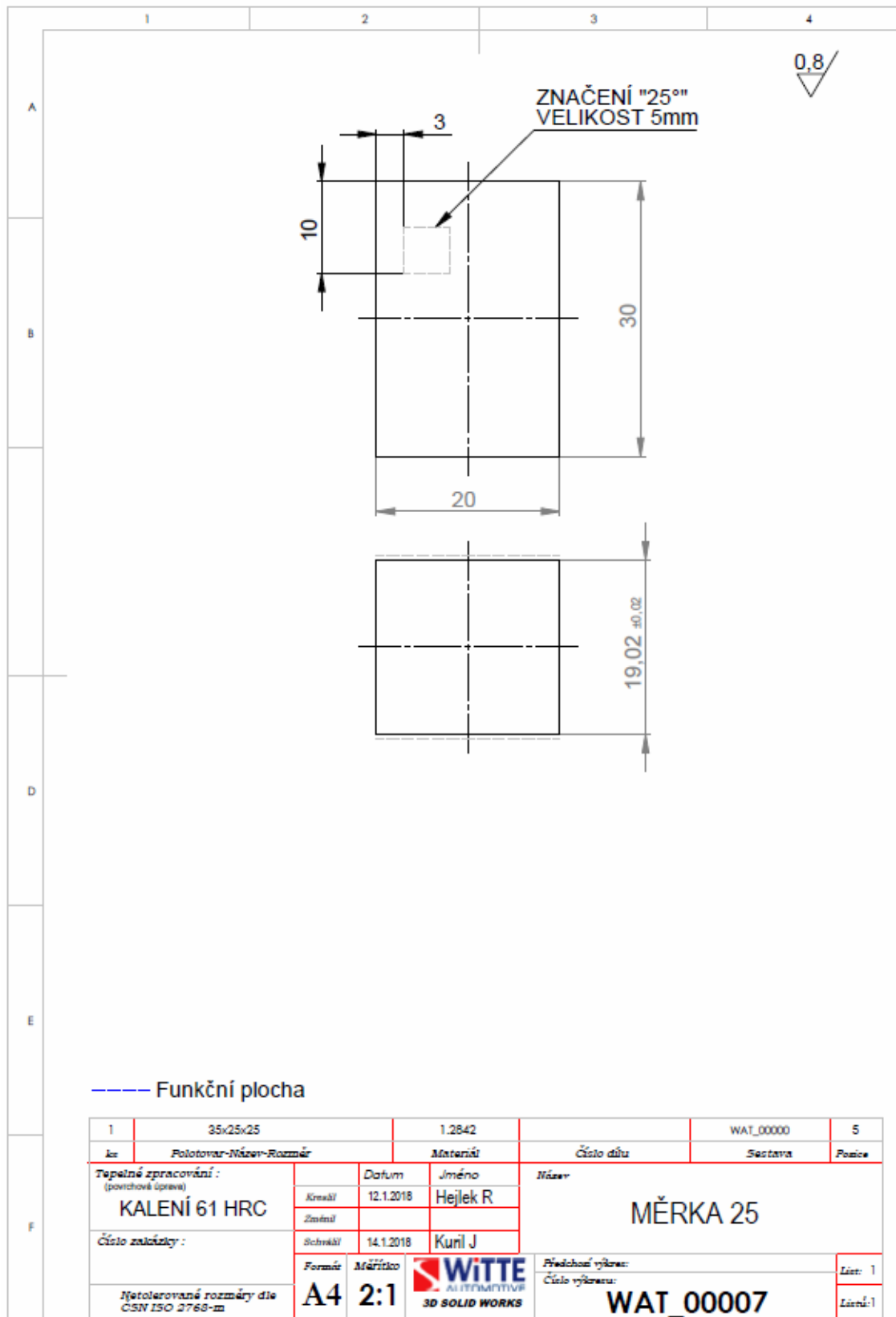
Příloha č. 9: výkres měrky pro 10°



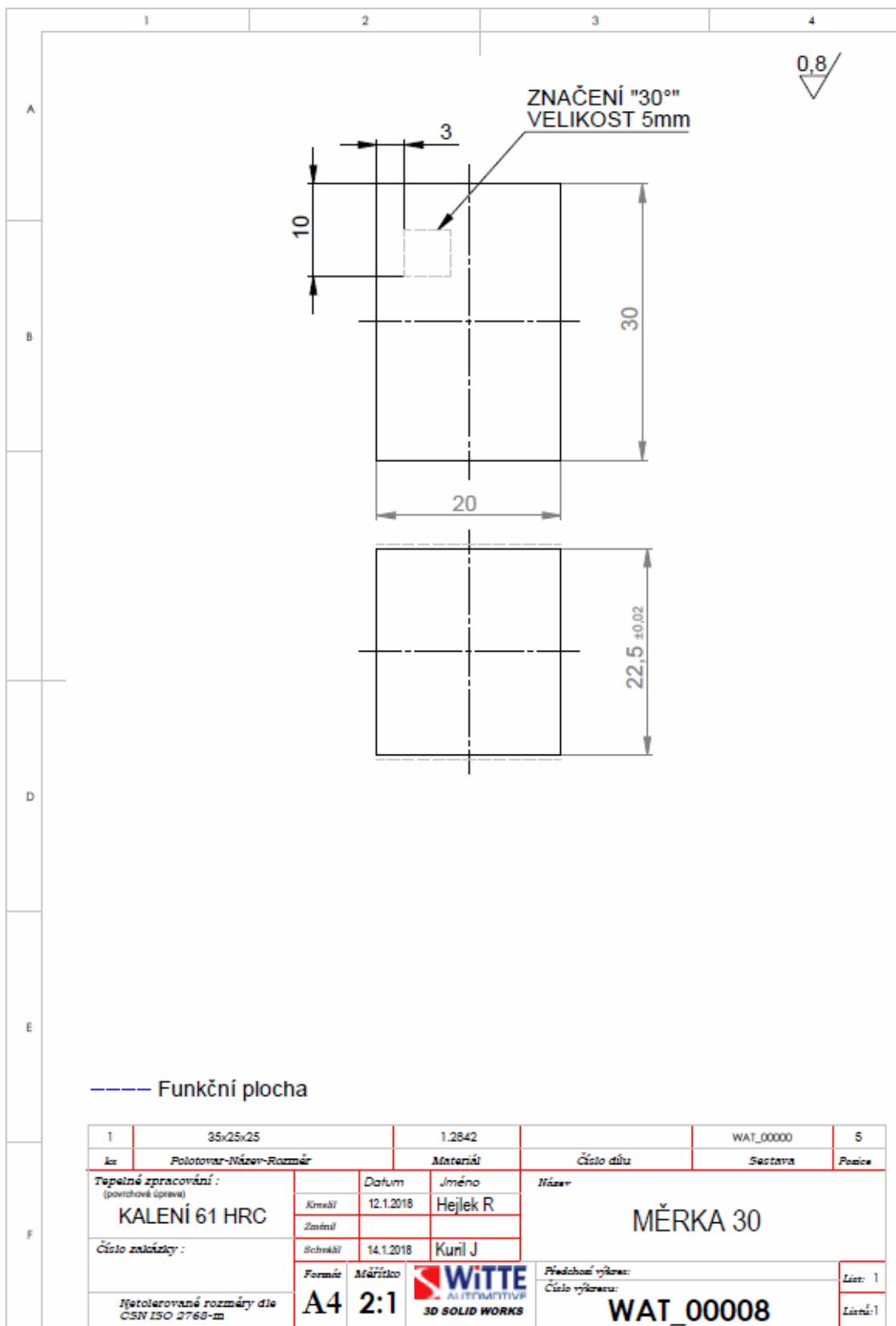
Příloha č. 10: výkres měrky pro 20°



Příloha č. 11: výkres měrky pro 25°



Příloha č. 12: výkres měrky pro 30°



Příloha č. 13: ukázka výkresu formy

