

# Modernizace hydraulického upínacího systému

Bc. Michael Gavala

---

Diplomová práce  
2021

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	<b>Bc. Michael Gavala</b>
Osobní číslo:	<b>T19530</b>
Studijní program:	<b>N3909 Procesní inženýrství</b>
Studijní obor:	<b>Konstrukce technologických zařízení</b>
Forma studia:	<b>Prezenční</b>
Téma práce:	<b>Modernizace hydraulického upínacího systému</b>

### Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proveďte analýzu současného stavu.
3. Navrhněte nové konstrukční a technické řešení.
4. Vytvořte výrobní dokumentaci.

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. Kocman, K. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERN, 2011, 330 s. ISBN 9788072047222
2. Jurko, J. a Lukovics, I. Vrtanie: technologická metoda výroby dier. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2007, 191 s. ISBN 9788073184889
3. Walker, John R. Machining fundamentals. Vyd. 10. Tinley Park, IL: The Goodheart-Willcox Company, Inc. 2019, 650 s. ISBN 9781635632088

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Řezníček, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **5. ledna 2021**  
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.**  
děkan

L.S.

**prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta: Michael Gavala

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout technologické a konstrukční vylepšení upínacího přípravku. Celá tato práce je rozdělená do dvou částí.

Teoretická část diplomové práce je zaměřená na jednotlivé metody obrábění a dále na problematiku upínacích přípravků. V této části je taktéž popsáno samotné upínání obrobků.

Praktická část diplomové práce se zabývá samotnou modernizací upínacího přípravku. V případě konstrukčního návrhu se jedná o celkový konstrukční návrh hydraulického upínacího přípravku. V této části byl vytvořen jak model upínacího přípravku, tak i výkresová dokumentace v softwaru CATIA V5R19 za použití katalogů Hasco a Roemheld. V rámci technologické modernizace se zejména řeší problematika vrtaných kanálů a ořepů vznikajících v nich.

Klíčová slova: Upínání, upínací přípravky, obrábění, modernizace

## **ABSTRACT**

The aim of this diploma thesis was to design technological and constructional improvements of the clamping jig. This whole work is divided into two parts.

The theoretical part of the diploma thesis is focused on individual machining methods and also on the issue of clamping jigs. This section also describes the workpiece clamping itself.

The practical part of the diploma thesis deals with the modernization of the clamping jig. In the case of a constructional design, this is the overall design of the hydraulic fixture. In this part, model of clamping jig and drawing documentation were created in the CATIA V5R19 software using the Hasco and Roemheld catalogs. Within the technological modernization, the problem of drilled channels and burrs arising in them is mainly addressed.

Keywords: Clamping, clamping jig, machining, modernization

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Martinovi Řezníčkovi, Ph.D. za odborné rady, čas a pomoc, které mi pomohli při vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat vedení firmy Flowtech, s.r.o. za poskytnutí prostorů a prostředků pro uskutečnění měření. Také bych chtěl poděkovat své rodině a přátelům, kteří mě podporovali po celou dobu studia.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 METODY OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 SOUSTRUŽENÍ.....	12
1.2 FRÉZOVÁNÍ .....	13
1.3 VRTÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ, VYSTRUŽOVÁNÍ A ZAHLUBOVÁNÍ .....	14
1.4 HOBLOVÁNÍ A OBRÁŽENÍ.....	15
1.5 PROTAHOVÁNÍ A PROTLAČOVÁNÍ .....	15
1.6 METODY OBRÁBĚNÍ NÁSTROJI S NEDEFINOVANOU GEOMETRIÍ.....	16
1.6.1 Broušení .....	16
1.6.2 Superfínišování .....	16
1.6.3 Honování .....	17
1.6.4 Lapování.....	17
1.6.5 Leštění .....	18
1.6.6 Omílání.....	18
1.7 EKONOMIČNOST JEDNOTLIVÝCH METOD OBRÁBĚNÍ .....	18
<b>2 UPÍNACÍ PŘÍPRAVKY</b> .....	<b>19</b>
2.1 ROZDĚLENÍ UPÍNACÍCH PŘÍPRAVKŮ .....	20
2.1.1 Mechanické upínací přípravky .....	21
2.1.2 Pneumatické upínací přípravky .....	21
2.1.3 Hydraulické upínací přípravky .....	22
2.1.4 Elektromagnetické upínací přípravky .....	22
2.2 ZÁSADY PŘI NÁVRHU UPÍNACÍHO PŘÍPRAVKU.....	22
2.3 MATERIÁL PŘÍPRAVKŮ .....	23
2.4 ULOŽENÍ PŘÍPRAVKU .....	24
2.5 VLIV PŘÍPRAVKU NA PŘESNOST VÝROBY .....	24
2.6 HOSPODÁRNOST PŘÍPRAVKŮ .....	24
2.7 MODULARITA PŘÍPRAVKŮ .....	25
<b>3 PRVKY UPÍNACÍCH PŘÍPRAVKŮ</b> .....	<b>26</b>
3.1 PRVKY PRO USTAVENÍ SOUČÁSTI.....	26
3.2 UPÍNACÍ PRVKY .....	26
3.3 PRVKY PNEUMATICKÝCH SYSTÉMŮ .....	29
3.4 PRVKY HYDRAULICKÝCH SYSTÉMŮ.....	31
<b>4 UPÍNÁNÍ OBROBKŮ</b> .....	<b>34</b>
4.1 TŘÍBODOVÉ UPNUTÍ.....	34
4.2 URČENÍ POLOHY TĚLES V PŘÍPRAVKU.....	35

4.3	STANOVENÍ UPÍNACÍ SÍLY .....	36
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>STANOVENÍ CÍLU DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>KONSTRUKČNÍ ČÁST .....</b>	<b>41</b>
6.1	OBRÁBĚNÝ DÍL .....	41
6.2	KONSTRUKČNÍ NÁVRH.....	42
6.3	UPÍNACÍ PRVKY .....	44
6.4	POLOHOVACÍ PRVKY .....	47
6.5	ROZVOD UPÍNACÍHO MÉDIA.....	50
6.6	ULOŽENÍ UPÍNACÍHO PŘÍPRAVKU.....	52
<b>7</b>	<b>TECHNOLOGICKÁ ČÁST.....</b>	<b>54</b>
7.1	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU.....	54
7.2	PRŮBĚH MĚŘENÍ .....	54
7.3	POUŽITÉ NÁSTROJE.....	57
<b>8</b>	<b>VÝSLEDKY MĚŘENÍ .....</b>	<b>58</b>
8.1	MATERIÁL ČSN 11 523 .....	58
8.1.1	Materiál ČSN 11 523 – postup 1 .....	58
8.1.2	Materiál ČSN 11 523 – postup 2.....	59
8.2	MATERIÁL ČSN 11 523 – SNÍŽENÉ ŘEZNÉ PARAMETRY .....	60
8.2.1	Materiál ČSN 11 523 – snížené řezné parametry – postup 1 .....	60
8.2.2	Materiál ČSN 11 523 – snížené řezné parametry – postup 2.....	61
8.3	MATERIÁL ČSN 12 050 .....	62
8.3.1	Materiál ČSN 12 050 – postup 1 .....	62
8.3.2	Materiál ČSN 12 050 – postup 2.....	63
8.4	MATERIÁL ČSN 19 520 .....	63
8.4.1	Materiál ČSN 19 520 – postup 1 .....	63
8.4.2	Materiál ČSN 19 520 – postup 2.....	64
8.5	MATERIÁL ČSN 15 142 .....	65
8.5.1	Materiál ČSN 15 142 – postup 1 .....	65
8.5.2	Materiál ČSN 15 142 – postup 2.....	66
8.6	MATERIÁL ČSN 15 142 – SNÍŽENÉ ŘEZNÉ PARAMETRY .....	67
8.6.1	Materiál ČSN 15 142 – snížené řezné parametry – postup 1 .....	67
8.6.2	Materiál ČSN 15 142 – snížené řezné parametry – postup 2.....	68
8.7	MATERIÁL ČSN 12 050 .....	68
8.7.1	Materiál ČSN 12 050 – postup 1 .....	68
8.7.2	Materiál ČSN 12 050 – postup 2.....	70
8.8	MATERIÁL ČSN 19 520 .....	71



8.8.1	Materiál ČSN 19 520 – postup 1 .....	71
8.8.2	Materiál ČSN 19 520 – postup 2 .....	72
8.9	VLIV POSTUPU VRTÁNÍ .....	73
<b>9</b>	<b>DISKUZE VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>75</b>
<b>10</b>	<b>NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO ŘEŠENÍ.....</b>	<b>78</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>84</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>89</b>

## ÚVOD

Strojírenství patří mezi jedny z nejrozšířenějších průmyslů na světě. Přestože v dnešní době existuje celá řada technologií, pomocí kterých lze vyrábět dílce, obrábění stále patří k nejdůležitějším a jedním z nejpoužívanějších procesů výroby. Pomocí obrábění lze totiž docílit výroby značně levné a zároveň přesné. Obrábění navazuje na další technologické procesy, jako je tváření a slévání, při kterých dochází k výrobě polotovarů. Jedním ze základních předpokladů, pro kvalitní a přesné obrábění je především samotné upnutí tohoto polotovaru.

Základní a důležitou součástí, která vede ke kvalitnímu a přesnému procesu obrábění, je upínací přípravek. Jedná se o nedílnou součást procesu výroby, a proto je nutné, aby na upínací přípravky byl kladen důraz. Upínací přípravky totiž nejenže definují polohu obrobku během procesu obrábění, ale také značně ovlivňují přesnost a produktivitu výroby. Základním požadavkem na upínací přípravky je to, aby zachytily řezné síly vznikající během procesu obrábění a zároveň vyvíjely dostatečné upínací síly. Tvar, funkčnost a velikost upínacího přípravku se liší pro každý obrobek, stroj i výrobu. Během kusové výroby je obrobek často upnut přímo na pracovní stůl stroje, popřípadě v univerzálním upínacím přípravku, jako je například svěrák. V případě sériové a hromadné výroby jsou ve velké míře využívány jednoúčelové upínací přípravky. Pomocí těchto přípravků se značně zvýší produktivita výroby. Zároveň částečně, popřípadě úplně odstraňují lidský faktor. Tím dochází ke zkvalitnění výroby. V případě sériové a hromadné výroby je využití upínacích přípravků také vhodné z důvodu rychlé návratnosti financí. Upínací přípravky jsou totiž konstrukčně a výrobně obtížné a z toho vyplývá, že jsou i finančně náročné. Proto se také vyplatí pouze v případě velkých sérií, kde bude návratnost co nejrychlejší. Ovšem i v případě kusové výroby, kdy náklady na výrobu upínacího přípravku budou tvořit podstatnou část výrobních nákladů, může dojít k nasazení upínacího přípravku do výroby.

Dalším důležitým parametrem při návrhu upínacího přípravku je volba materiálu jednotlivých součástí. Zpravidla platí, že dosedací a upínací plochy musejí být odolné proti opotřebení. Z toho vyplývá, že tyto plochy musejí být vyrobeny z kvalitního a tepelně upraveného materiálu.

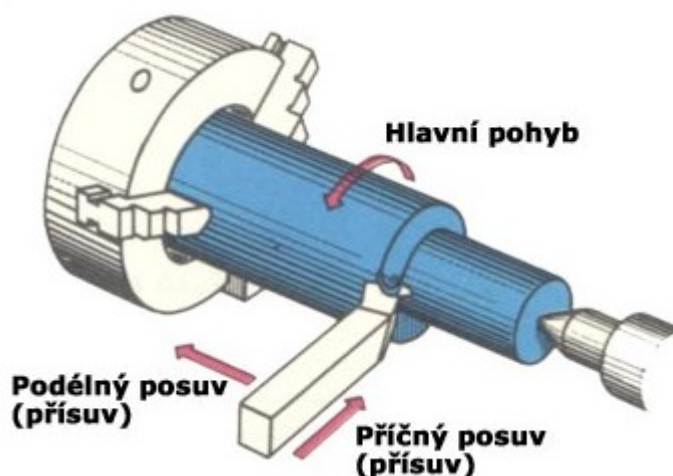
## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 METODY OBRÁBĚNÍ

Obrábění je stále jedním z nejdůležitějších procesů výroby a zdaleka není nahrazeno jinými technologiemi. Stále existuje mnoho dílů, jejichž požadavky lze splnit pouze pomocí obrábění při zachování přiměřených výrobních nákladů. Pokud se vyžaduje, aby součást měla nízkou drsnost povrchu a vysokou přesnost, je obrábění nejlepší volbou pro výrobu. [1]

## 1.1 Soustružení

Jedná se o metodu obrábění, pomocí které lze obrábět vnější, vnitřní a čelní plochy rotačních obrobků. Při soustružení se používá jednobřítý nástroj, který vykonává vedlejší řezný pohyb, nejčastěji přímočarý. Hlavní řezný pohyb vykonává obrobek, a tím je pohyb rotační kolem své osy. Pomocí soustružení lze taktéž soustružit závity, vyrábět zápichy, upichovat, vrtat, smirkovat, pilovat, rýhovat atd. Princip soustružení je vyznačen na obr. 1.



Obr. 1 Princip soustružení [23]

Při soustružení lze dosahovat přesnosti rozměrů až IT 5 a drsnosti povrchu až Ra 0,2, ovšem pouze při jemném soustružení s nástrojem z diamantu. V případě hrubování je dosahovaná přesnost IT mezi 11 až 14 a drsnost povrchu Ra 12,5 až 50. U soustružení načisto lze dosáhnout přesnosti IT 9 až 11 a drsnosti povrchu Ra 1,6 až 12,5. [2]

V případě soustružení se řezná rychlost rovná obvodové rychlosti obrobku a lze vypočítat jako:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ [m/min]} \quad (1)$$

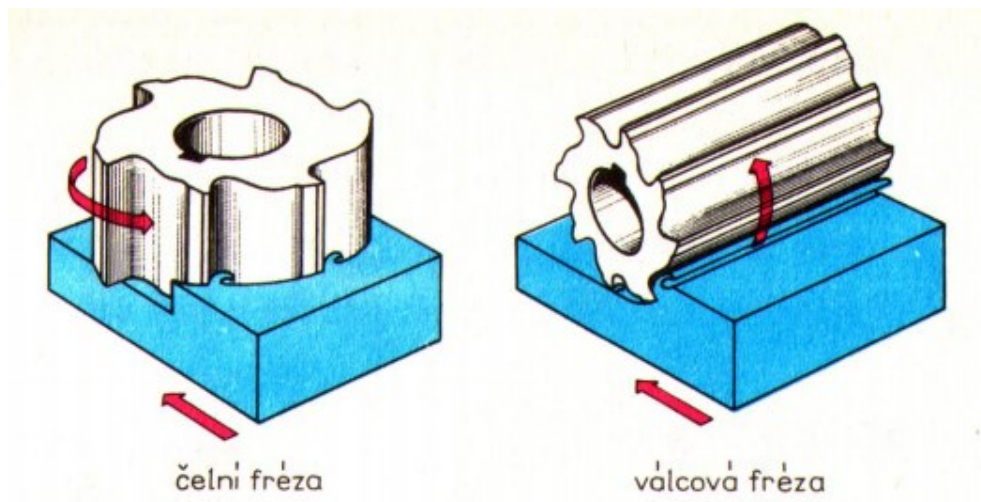
Kde:

$d$  – průměr obrobku [mm]

$n$  – otáčky obrobku [ $ot.min^{-1}$ ]

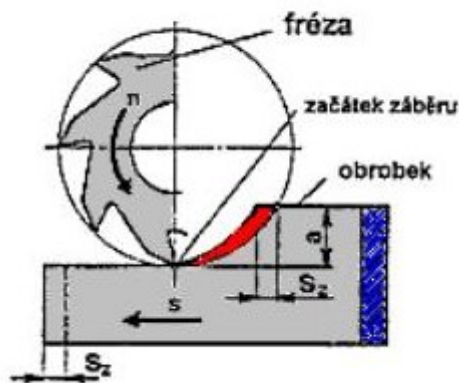
## 1.2 Frézování

Jedná se o metodu obrábění, při které je materiál obrobku odebírán pomocí břitů otáčejícího se nástroje. Při frézování se používá vícebřítý nástroj, který se nazývá fréza. Řezný pohyb hlavní vykonává nástroj. Tento pohyb je rotační a řezný pohyb vedlejší nejčastěji vykonává obrobek. Ten je obvykle přímočarý, popřípadě otáčivý. Pomocí frézování lze obrábět rovinné plochy, osazené plochy jak pravoúhlé, tak i šikmé, nepravidelné tvary a rotační plochy, tvarové plochy, drážky a ozubená kola. Frézovat lze buď pomocí obvodu válkové frézy, nebo čelem čelní frézy. Princip frézování je zobrazen na obr. 2.



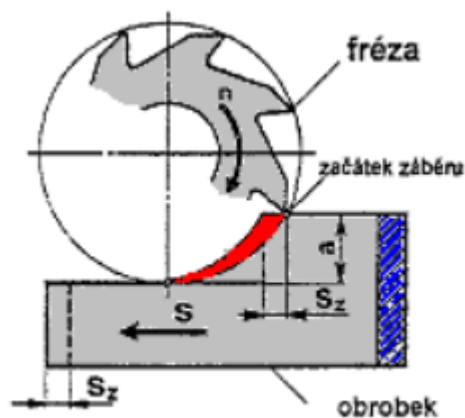
Obr. 2 Princip frézování [24]

Frézování lze dělit podle smyslu otáčení frézy vůči směru posuvu na nesousledné a sousledné. U nesousledného frézování je pohyb obrobku proti smyslu otáčení nástroje. Při tomto způsobu obrábění třísky vzniká od nulové hodnoty po hodnotu maximální, tím je zaručen klidnější pohyb, ovšem jelikož síla působí směrem nahoru, nástroj odtahuje obrobek od stolu. Princip nesousledného frézování je znázorněn na obr. 3.



Obr. 3 Princip nesousledného frézování [3]

V případě sousledného frézování vykonává obrobek pohyb ve směru otáčení nástroje. Tím dochází ke vzniku třísky, jejíž tloušťka se mění postupně z hodnoty maximální na hodnotu nulovou. Výhodou tohoto způsobu frézování je, že vzniká méně tepla, proto lze frézovat větším posuvem a větší reznou rychlostí. Ovšem proces oddělování třísky je nárazovitý a nedochází ke klouzání břitů po materiálu. Princip sousledného frézování je zobrazen na obr. 4. [3]



Obr. 4 Princip sousledného frézování [3]

### 1.3 Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování

Jedná se o nejstarší a zároveň nejpoužívanější technologickou operaci. Kromě vrtání rozlišujeme také vyvrtávání neboli zvětšování předem předvrtané, popřípadě předlité díry. Pomocí vrtání se obrábějí vnitřní rotační plochy nejčastěji pomocí dvoubřitého nástroje. Nástroj vykonává jak hlavní rezný pohyb, který je rotační, tak většinou i vedlejší rezný pohyb. [4]

Vyhrubování slouží ke zlepšení rozměrové a geometrické přesnosti vyvrtané díry. Zpravidla platí, že po vyhrubování následuje vystružování. Při vyhrubování se používají výhrubníky. Jedná se o vícebřité nástroje, které mohou být buď s kuželovou stopkou nebo nástrčné. Velikost přídávku na vyhrubování se pohybuje v rozmezí od 0,5 do 0,3 mm.

Pomocí vystružování se dokončují přesné a lícované díry. Při této technologii je odebírána malá tříska, tím dochází k vyhlazování a zpřesňování díry. Při vystružování se dosahují vysoké geometrické a rozměrové přesnosti a to IT 6-8 a drsnost povrchu až Ra 1,6. Přídavek na vystružování se pohybuje v rozmezí od 0,2 do 0,4 mm. Pro vystružování se používají výstružníky a stejně jako u vyhrubování se jedná o vícebřítý nástroj. Výstružníky mohou být buď s přímými zuby nebo s šroubovitými zuby.

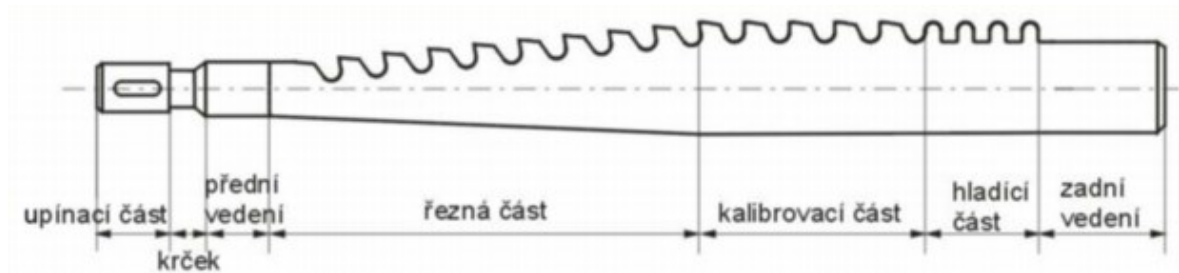
Na rozdíl od vyhrubování a vystružování, neslouží zahlubování ke zlepšení geometrické a rozměrové přesnosti. Pomocí této technologie se obrábějí díry pro zapuštěné hlavy šroubů a nýtů, popřípadě se sráží hrany pro následující technologie, jako je například řezání závitů. Při zahlubování se používají záhlubníky, ty mohou být buď opatřeny vodícím čepem, popřípadě mohou být i bez něho. Vodící čep slouží k zajištění souososti s dírou. [4]

#### **1.4 Hoblování a obrážení**

Jak v případě hoblování, tak i v případě obrážení se jedná o metodu obrábění pomocí jednobřitého nástroje. Hlavní pohyb u obou těchto metod je přímočarý. Ovšem v případě hoblování hlavní pohyb vykonává obrobek a v případě obrážení nástroj. Při obou metodách je posuv přerušovaný a kolmý na pohyb hlavní. Taktéž řezný pohyb je přerušovaný. Nástroj pracuje pouze při pracovním zdvihu. Při zpětném chodu se vrací nástroj naprázdno, tím dochází k jeho ochlazování. Zpětný pohyb je ve většině případů řešen zvýšenou rychlostí. [10]

#### **1.5 Protahování a protlačování**

Protahování a protlačování je jednou z nejvíce produktivních metod obrábění. Slouží převážně k výrobě nekruhových ploch a to ať už vnitřní, tak vnější. Používá se například pro výrobu drážek na pero, vodících ploch, tvarových vložek atd. Nástrojem je trn, ten je konstrukčně odstupňován až do finálního tvaru obráběné plochy (viz obr. 5). V závislosti na druhu technologie je trn namáhán buď na vzpěr, nebo na tah. Rozdíl mezi protahováním a protlačováním je směr působení síly. V případě protahování je trn tažen. Naopak v případě protlačování je trn tlačěn. [10]



Obr. 5 Protahovací trn [11]

## 1.6 Metody obrábění nástroji s nedefinovanou geometrií

Při těchto operacích se používají nástroje, které jsou vyrobeny pomocí slinování a vypalování. Brusná (řezná) zrna jsou malých rozměrů, proto také odebírají malé třísky. Tím dochází ke vzniku povrchů, které se vyznačují malou drsností a velkou rozměrovou přesností. [10]

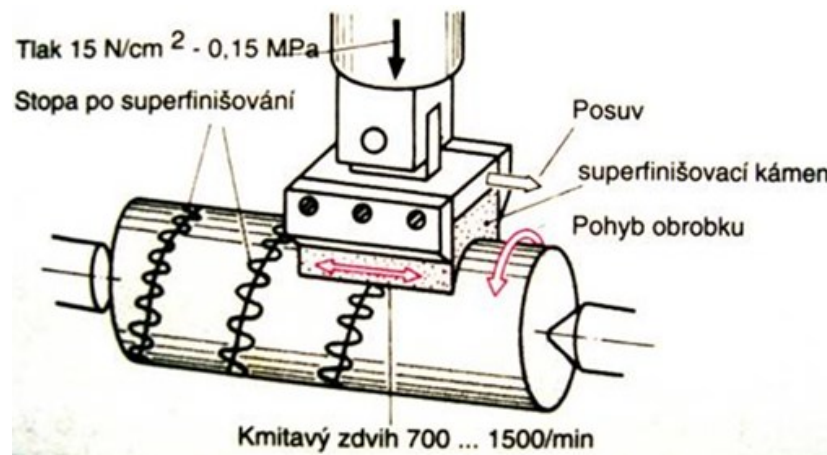
### 1.6.1 Broušení

Jedná se o dokončovací metodu, pomocí které lze dosahovat velkých geometrických a rozměrových přesností. Při této metodě dochází k odebrání třísky mnohobřitým nástrojem, který vykonává hlavní řezný pohyb. Pomocí broušení lze obrábět rovinné, válcové, popřípadě i tvarové plochy, a to ať už vnější nebo vnitřní. Nástroj je tvořen zrný z tvrdého materiálu, která jsou spojena pomocí pojiva. Geometrické a tvarové přesnosti mohou dosahovat pomocí této technologie až IT 3 a drsnosti povrchu až Ra 0,025, ovšem pouze při jemném broušení. [5]

### 1.6.2 Superfinašování

V případě superfinašování je hlavní pohyb vykonáván kmitajícím nástrojem v kombinaci s přímočarým, popřípadě rotačním pohybem, který vykonává obrobek. Nástrojem je superfinašovací kámen, který je velmi malou silou přitlačován k obráběné ploše. Výsledná drsnost při superfinašování je v rozmezí 0,15 až 0,025  $\mu\text{m}$ . Princip superfinašování je znázorněn na obr. 6. [10]





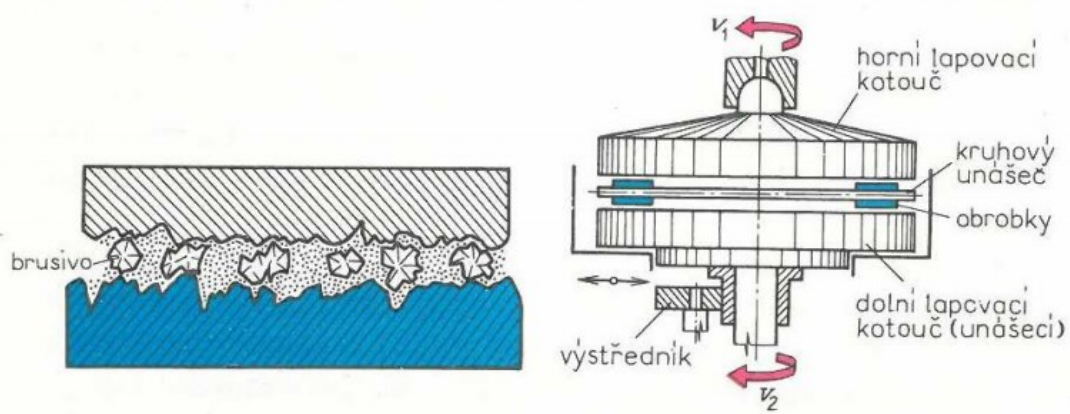
Obr. 6 Princip superfinišování [25]

### 1.6.3 Honování

Při honování dochází k jemnému obrábění vnitřních otvorů. Jako nástroj jsou při této metodě použity honovací kameny. Ty jsou upnuty v honovací hlavě a jsou radiálně rozpínány směrem k obráběné ploše. Hlavní pohyb vykonává honovací hlava. Tento pohyb je přímočarý vratný a zároveň rotační. [10]

### 1.6.4 Lapování

Jedná se o jemné obrábění volnými brusnými zrny. Tato brusná zrna jsou přitlačena k obráběné ploše pomocí lapovacího nástroje. Lapovací nástroj má negativní tvar obrobku. Nástroj a obrobek se vůči sobě pohybují v proměnných drahách při velmi nízkých rychlostech. Princip lapování je znázorněn na obr. 7. [10]



Obr. 7 Princip lapování [26]

### 1.6.5 Leštění

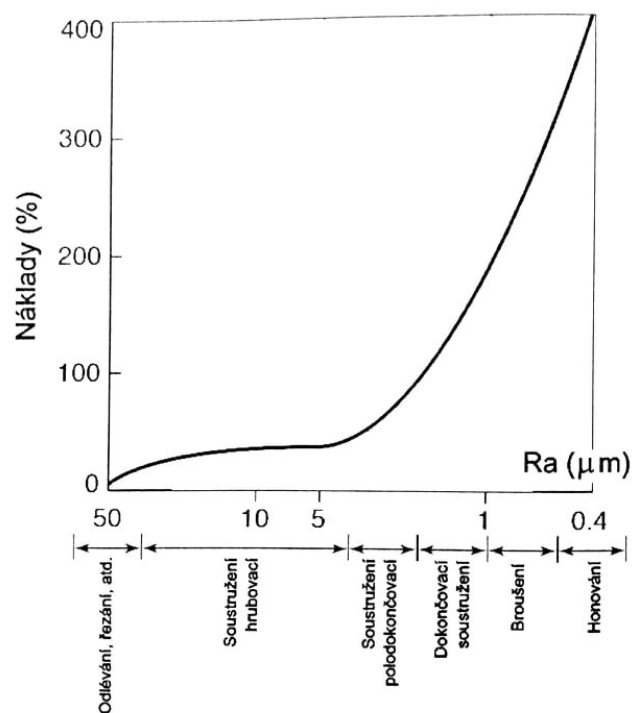
Pomocí leštění lze dosáhnout velmi nízké drsnosti povrchu. Leštění je prováděno pomocí plstěného nebo lamelového leštícího kotouče. Ten koná hlavní pohyb rotační. Leštění může být taktéž prováděno pomocí brousící pásky. Ta je přitlačovaná pomocí měkké podložky k obrobku. [10]

### 1.6.6 Omílání

Omílání slouží k obrábění malých součástí. Ty jsou uloženy ve vhodném pracovním médiu. Pracovní médium je složeno z kapaliny, volného brusiva a balastu. K obrábění dochází v bubnu pomocí vibrací, popřípadě otáčivého pohybu. [10]

## 1.7 Ekonomičnost jednotlivých metod obrábění

Z pravidla platí, že velké požadavky na drsnost povrchu a rozměrovou přesnost zvyšují pracnost zhotovené daného obrobku. Při použití různých metod obrábění lze docílit velkých rozměrových přesností a nízké drsnosti povrchu, ale značně se zvýší cena výroby. Z toho vyplývá, že přesnost rozměrů by měla být volena pouze taková, která je nutná pro funkčnost součástí. Vliv jednotlivých metod obrábění na ekonomičnost výroby je znázorněn na obr. 8. [10]



Obr. 8 Ekonomičnost různých metod obrábění [22]

## 2 UPÍNACÍ PŘÍPRAVKY

V případě samotného obrábění je význam upínacích přípravků často opomíjen. Upínací systém je totiž zodpovědný za definování polohy dílu před i během obrábění, přesto že je součástí vystavena různým zatížením, a to ať už se jedná o zatížení dynamické nebo statické, z tepelným nebo mechanickým původem.

Upínací přípravky jsou nezbytné v procesu výroby. Existuje mnoho druhů upínacích přípravků, ať už jsou to ruční přípravky, pneumatické, hydraulické, elektronické atd.

V dnešní době je důležitou vlastností upínacích přípravků flexibilita. Touto flexibilitou je myšleno rychlé a přesné nastavení upínacího přípravku a rychlá výměna dílů při zachování celkové účinnosti zařízení. Tato flexibilita je požadována z důvodu rozdílných designů výrobků, potřeby trhu a poptávky trhu.

S ohledem na trvalé potřeby, navrhovat spolehlivé upínací systémy schopné vyhovět náročným požadavkům, které zákazníci kladou, by měl upínací systém splňovat následující požadavky:

- Upínací systém musí být schopen polohovat díl před i během obráběcího procesu.
- Upínací systém musí umožnit, aby byl nástroj schopen se dostat ke všem plochám, které mají být obrobeny.
- Upínání musí zabránit vibracím během obrábění.
- Upnutí musí zabránit deformaci výrobku.
- Upínání musí zabránit tvorbě zbytkových napětí během obrábění.
- Upínání musí umožňovat rychlé a snadné nastavení.

V případě upínání, by se mělo vyhnout ručním operacím jako je utahování šroubů, nastavování upínek atd. Tyto činnosti prováděné lidmi jsou totiž náchylnější na chyby a odchylky s přímým vlivem na kvalitu produktu. [1]

Upínací přípravky se používají z důvodu zvýšení produktivity a jakosti výroby. Pomocí upínacích přípravků dojde k přesnějšímu, rychlejšímu a snadnějšímu upnutí a ustavení obráběného dílce. Jejich konstrukce a použití se odvíjí od druhu výroby. V případě kusové výroby se používají přípravky univerzální. Naopak v případě výroby sériové se používají přípravky speciální, pomocí kterých lze zvýšit produktivitu a přesnost výroby. [7]

Konstrukce upínacího přípravku by měla být zhotovena tak, aby přípravek zachytil řezné síly, které vznikají při procesu obrábění, tlumil chvění vznikající při tomto procesu a zároveň nebyl příliš těžký. Dále musí zajistit přesnou polohu obrobku vůči nástroji, a to i během působení řezných sil.

Výhodou použití upínacích přípravků je zvýšení produktivity, snížení vedlejších časů, zvýšení přesnosti výroby a zvýšení bezpečnosti. Na druhou stranu jejich velkou nevýhodou je náročnost na zhotovení a poměrně velké pořizovací náklady. [6]

## 2.1 Rozdělení upínacích přípravků

Upínací přípravky lze dělit podle několika kritérií. Mohou se například dělit podle použití, podle druhu obrábění, podle operace, ke které jsou určeny, podle upínací síly apod.

Podle použití:

- a) Jednoúčelové – slouží pouze k upínání jedné součásti, používají se převážně v sériové výrobě
- b) Víceúčelové – slouží pro upnutí součástí různých tvarů a rozměrů, používají se zejména v kusové výrobě (svěrák, sklíčidlo)

Podle operace:

- a) Obráběcí přípravky – slouží k upnutí obrobku při procesu obrábění (frézování, soustružení, vrtání apod.)
- b) Montážní přípravky – slouží k přidržení součástí při jejich vzájemném spojování
- c) Kontrolní přípravky – slouží ke kontrole rozměrů a tvarů
- d) Rýsovací přípravky – slouží k orýsování tvarů před obráběním

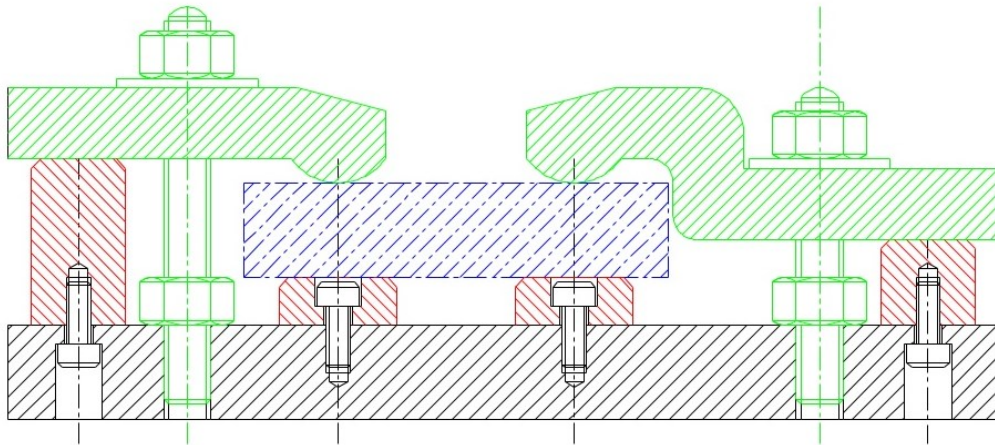
Podle upínací síly:

- a) Mechanické upínání
- b) Pneumatické upínání
- c) Hydraulické upínání
- d) Elektromagnetické upínání [6]

### 2.1.1 Mechanické upínací přípravky

U mechanických upínacích přípravků dochází k upínání obrobků pomocí šroubů, kloubových pák, popřípadě váček nebo excentrů. Mezi jejich přednosti patří velká upínací síla a samosvornost mechanismů. Naopak jejich velkou nevýhodou je časová náročnost na upnutí a nestejně upínací síly. Příklad mechanického upínacího přípravku je znázorněn na obr. 9.

Při mechanickém upínání jsou obrobky často upnuty přímo na stůl stroje pomocí šroubů s T drážkou, matic, podložek a upínek. Upínka funguje na principu jednoramenné páky. Zpravidla platí, že čím blíže je upínací šroub k obrobku, tím větší je vyvozená upínací síla. [9]



Obr. 9 Příklad mechanického upínání [12]

### 2.1.2 Pneumatické upínací přípravky

Tyto upínací přípravky se vyznačují velkou rychlostí upínání, snadnou obsluhou a tím, že vyvíjejí stálou a regulovatelnou sílu. Z důvodu, aby pneumatické upínací přípravky neměly velké rozměry, jsou často kombinovány s mechanickými zesilovacími prvky jako jsou například pákové upínky, upínací klíny atd.

Mezi výhody pneumatických upínacích přípravků patří:

- Velké rychlosti upínání
- Jednoduchá konstrukce
- Rovnoměrné upnutí
- Snadná regulace

Naopak mezi nevýhody těchto systémů patří:

- V případě velké síly je zapotřebí velké zařízení
- Stlačitelnost plynu, z toho vyplývá menší tuhost
- Nerovnoměrný pohyb pístů [7]

### 2.1.3 Hydraulické upínací přípravky

Pomocí těchto upínacích přípravků je dosahováno vysokých upínacích sil. Nejčastěji jsou hydraulické upínací přípravky vřazeny do hydraulického obvodu obráběcího stroje, v případě univerzálních upínacích přípravku se jedná o samostatné upínací jednotky se svým obvodem. Jedná se o poměrně dražší variantu než pneumatické systémy, ovšem jsou rozměrově menší. Mezi největší výhody těchto upínacích systému jsou velké upínací síly a velká tuhost. Upnutí je realizováno pomocí hydraulických válců, ty mohou být jednočinné, popřípadě dvojčinné. [7]

### 2.1.4 Elektromagnetické upínací přípravky

Upínací síla potřebná k upnutí obrobku je vyvolána pomocí elektromagnetu. Tento druh upínání je vhodný převážně pro tenké součásti. Nejčastěji se uplatňuje u rovinných brusek, u kterých dojde k upnutí obrobku na stůl. Velkou výhodou tohoto druhu upínání je jeho jednoduchost, rychlost a taktéž možnost upnutí více obrobků zároveň. [7]

## 2.2 Zásady při návrhu upínacího přípravku

Při navrhování upínacího přípravku existuje celá řada konstrukčních zásad. Mezi základní zásady patří:

- Vzdálenost mezi obráběnou plochou a upínací plochou by měla být co nejmenší, tím se zvýší stabilita a sníží deformace.
- Přípravek by měl zajistit dostatečnou tuhost.
- Řezné síly by měly působit proti pevným dorazovým plochám, tím se znemožní posunutí obrobku během procesu obrábění.
- Upínací přípravek musí zajistit rychlé, snadné a bezpečné upínání obrobků.
- Upínací prvky nesmějí překážet řeznému nástroji.
- Přípravek musí zabránit obrácenému vložení obrobku.

- Hmotnost přípravku by měla být maximálně 15 kg, v případě že je jeho hmotnost větší, musí být opatřen závěsnými oky.
- Části, u nichž dochází k velkému opotřebení (dosedací plochy, upínací prvky), musejí být řešeny jako vyměnitelné.
- Co největší počet použitých částí by mělo být normalizovaných, tím se sníží celková cena přípravku.
- Ostré hrany by měli být zaoblené, popřípadě zkosené. [7]

### 2.3 Materiál přípravků

Materiál použitý pro výrobu přípravku by měl být takový, aby vyhovoval všem kritériím, které bude muset přípravek splňovat. Mezi tato kritéria patří například dostatečná pevnost, pružnost a odolnost proti opotřebení. Volba materiálu při navrhování přípravku je velmi důležitá a musí splňovat všechny požadavky, aby se docílilo rychlé výroby a náklady na výrobu byly co nejmenší. O volbě materiálu taktéž rozhoduje:

- namáhání, kterému bude přípravek vystaven,
- opotřebení, tvar a činnost přípravku,
- počet přípravků, které budou vyráběny,
- prostředí, ve kterém bude přípravek uložen,
- požadovaná přesnost výroby obrobku,
- celková hmotnost přípravku

Celková přesnost výroby závisí převážně na tuhosti a přesnosti vyrobeného přípravku. Největší tuhost je požadována po tělesu přípravku, jelikož se pomocí něj přenáší síly z jednotlivých součástí na něm uložených. Při konstrukci upínacího přípravku se používá kombinace různých materiálů, tak aby se docílilo požadovaných vlastností přípravku, ale zároveň se co nejvíce snížila jeho cena. Proto se na méně namáhané součásti používají horší materiály. [8]

## 2.4 Uložení přípravku

Upínací přípravky jsou nejčastěji upevněny v určité poloze vůči nástroji na stole výrobního stroje. Výjimečně může být upínací přípravek na výrobním stole položen volně a při práci jej ručně přidržuje obsluha. Tento způsob je však nebezpečný, tudíž se může používat pouze v případě, že jsou řezné síly malé. Tento způsob se používá například u vrtání. [8]

## 2.5 Vliv přípravku na přesnost výroby

Hlavními kritérii, které se posuzují při výrobě součástí, je jejich geometrická a tvarová přesnost a drsnost povrchu. Tato kritéria značně ovlivňují životnost a funkčnost těchto součástí. Přesnost a drsnost vyráběné součásti by ovšem měla být pouze taková, jaká je z důvodu funkčnosti a estetiky nutná. Zpravidla totiž platí, že čím je výroba přesnější, tím je i ekonomicky náročnější.

Na přesnost výroby má největší vliv nástroj a přípravek spolu se strojem a obrobkem. Přípravek ovlivňuje rozměrovou, tvarovou a geometrickou přesnost výrobku zejména svou konstrukcí a stavem. Přesnost výroby je taktéž ovlivněna přesností přípravku. [16]

## 2.6 Hospodárnost přípravků

Již od samotného začátku konstrukce musí konstruktér brát v potaz hospodárnost výroby. Konstrukční návrh přípravku by měl být takový, aby při dodržení funkčnosti a designu byl přípravek co nejhospodárnější. Náklady na výrobu nejvíce zvyšují zbytečně přesné rozměry a složitá konstrukce. K výrobě takových přípravků je totiž často nutno speciálních nástrojů či strojů. Vhodnost použití přípravku se určuje na základě rentability. Rentabilní přípravek je takový, u kterého jsou pořizovací náklady a náklady na jeho údržbu nižší, než jsou úspory, které vzniknou jeho zavedením do výroby.



Zda je přípravek rentabilní lze vypočítat pomocí vztahu:

$$n_{mez} = \frac{C \cdot \frac{1}{K} + B}{U \cdot (1 + R)} \quad (2)$$

Kde:

U – úspora v přímých mzdách [Kč/ks]

R – koeficient režie vlastní výroby [%]

C – cena přípravku [Kč]

K – životnost přípravku [roky]

B – rozdíl v nákladech na seřízení stroje s přípravkem a bez něho [Kč/rok]

n – počet výrobků vyrobených v jednom roce [ks/rok]

Pomocí uvedeného vztahu lze vypočítat mezní počet výrobků  $n_{mez}$ , kdy je rentabilní zavést přípravek do výroby. [7]

## 2.7 Modularita přípravků

Důležitou a často využívanou vlastností přípravků je jejich modularita. To znamená použití přípravku na jiný účel, než pro který byl původně navrhnut. K této změně může dojít například přidáním, nebo naopak odebráním některé ze součástí upínacího přípravku. Touto změnou jde docílit například toho, že upínací přípravek bude sloužit pro upnutí jiného dílu, než pro který byl původně navrhnut. Důležitou vlastností, která ovlivňuje modularitu přípravku, je cena dané úpravy. Zpravidla cena úpravy nesmí překročit cenu nového přípravku. V ten moment by se úprava upínací přípravku stala neekonomickou. [7]

### 3 PRVKY UPÍNACÍCH PŘÍPRAVKŮ

Mezi základní části upínacího přípravku patří prvky pro ustavení obrobku, upínací prvky, prvky pro vedení nástroje, těleso přípravku a pomocné prvky jako jsou například spojovací prvky. [8]

#### 3.1 Prvky pro ustavení součásti

Jedná se o prvky, které slouží k ustavení polohy obrobku ve stabilní poloze, tato poloha odpovídá poloze při obrábění. Ustavení obrobku znamená omezení jeho pohybu v ose  $x$ ,  $y$  a  $z$ , a zároveň omezení jeho rotace ve třech osách. Prvky pro ustavení součásti lze rozdělit podle toho, na jakou plochu působí.

a) Na rovinnou plochu:

Zde například patří břity a opěrky. Ty mohou být buď pevné, stavitelné, popřípadě samostavitelné. U stavitelných opěrek je potřeba je vyšroubovat do potřebné výšky, zatímco u samostavitelných dochází k nastavení požadované výšky pomocí pružiny, ta se poté musí zajistit šroubem. Opěrky mohou mít buď rovnou hlavu, ta se používá pro obrobené plochy, nebo kulovou hlavu, ta se naopak používá pro plochy neobrobené.

b) Na vnitřní válcové plochy:

K ustavení obrobku pomocí vnitřní válcové plochy slouží středící čepy.

c) Na kuželovou plochu:

Při potřebě ustavit obrobek s kuželovou plochou se používají hroty. Ty se ustaví pomocí středících důlků.

d) Na vnější válcovou plochu:

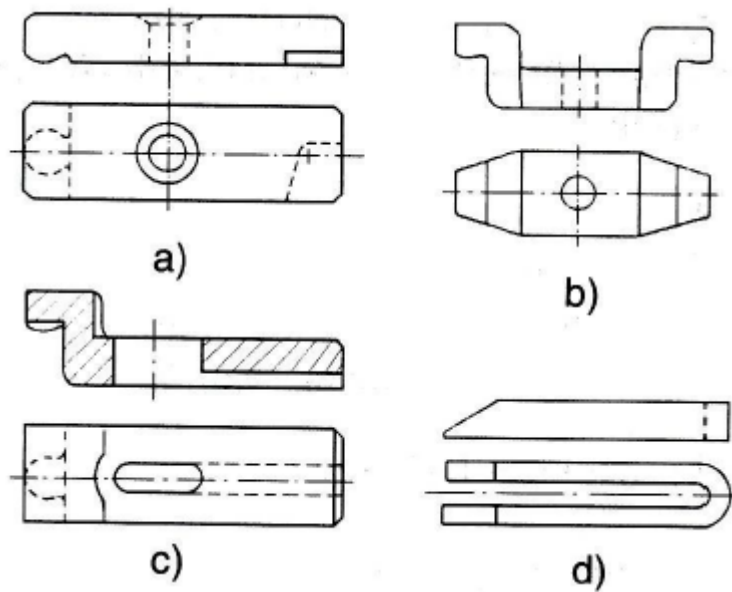
Obrobky s vnější válcovou plochou se ustavují pomocí prizmat. V případě dvou vnějších válcových ploch se použije dvou prizmat s tím, že jedna je pevná a druhá nastavitelná. [8]

#### 3.2 Upínací prvky

Upínací prvky slouží k upnutí obrobku a k zamezení jeho pohybu před i během procesu obrábění. Upínací prvky se vyskytují v celé řadě modifikací a lze je rozdělit následovně:

a) Upínky:

Slouží k upnutí rovinných ploch. Mohou být buď ploché, zahnuté, sedlové nebo ve tvaru U. Jednotlivé druhy upínek jsou znázorněny na obr. 10.



Obr. 10 Druhy upínek: a) plochá, b) sedlová, c) zahnutá, d) ve tvaru U [8]

b) Univerzální sklíčidlo:

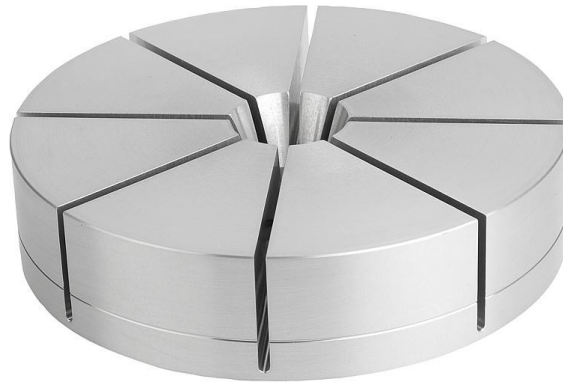
Slouží převážně k upínání válcových ploch. Nejčastěji se vyskytuje u soustruhů. Slouží nejen k upnutí obrobku, ale i k jeho ustavení. Příklad univerzálního sklíčidla je zobrazen na obr. 11. [8]



Obr. 11 Univerzální sklíčidlo [32]

c) Kleština:

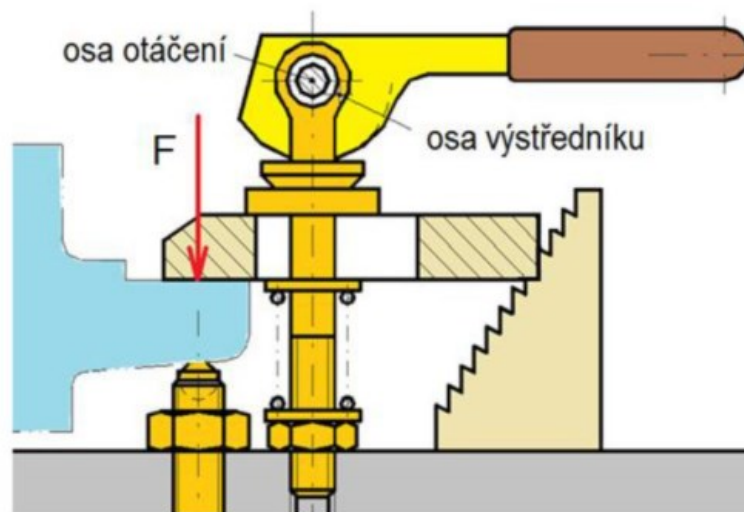
Používá se pro upínání válcových ploch. Výhodou kleštín je jednoduchá a tuhá konstrukce, z toho vyplývá i jejich přesnost. Naopak jejich velkou nevýhodou je značně malý rozsah upínání. Příklad kleštiny je znázorněn na obr. 12. [8]



Obr. 12 Kleština [33]

d) Výstředníky:

Pomocí výstředníků lze docílit rychlého a jednoduchého upnutí. Můžou se ovšem použít pouze na obrobenou plochu. Existuje několik druhů jako například jednoduchá páka, rozvidlená páka, nebo páka s drážkovým výstředníkem. Princip upínání pomocí výstředníků je znázorněn na obr. 13. [8]



Obr. 13 Princip výstředníku [34]

e) Vačky:

K upnutí dojde otočením širší strany vačky k obrobku. Jejich nevýhodou je jejich složitá konstrukce, ale mají větší upínací rozsah. Příklad upínače s vačkou je znázorněn na obr. 14. [8]

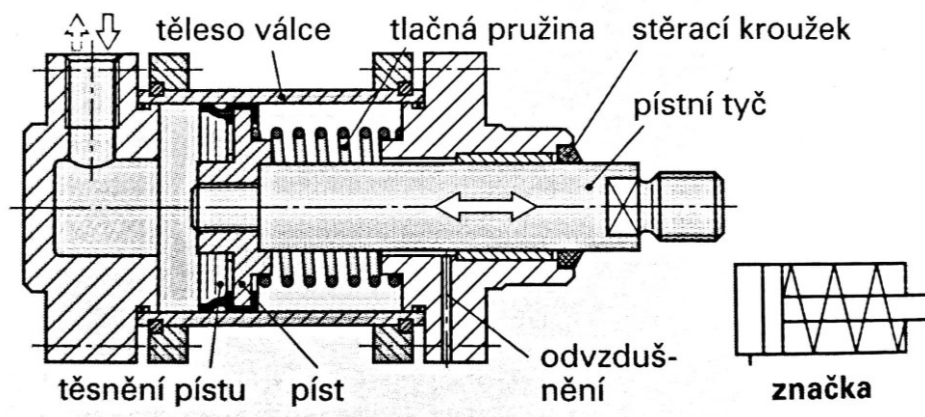


Obr. 14 Upínač s plochou vačkou [35]

### 3.3 Prvky pneumatických systémů

Pneumatické systémy se skládají ze 3 hlavních částí. První z nich je výroba stlačeného vzduchu. Do této částí spadají kompresory, chladiče, odvlhčovače a zásobníky. Druhou částí je úprava stlačeného vzduchu. Zde patří filtry, regulační tlakové ventily a rozprašovače oleje. Poslední částí je pneumatické řízení. V této části se nacházejí ventily a pneumatické pohony.

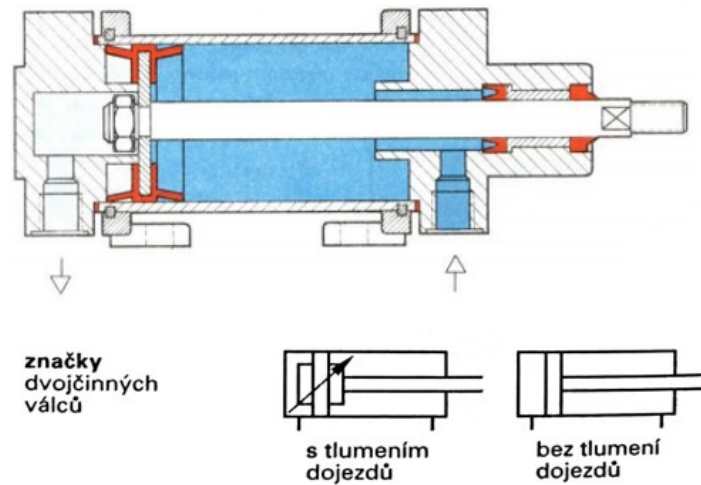
Mezi základní pneumatické pohony patří pneumatické válce. Tyto válce nejčastěji vykonávají lineární pohyb. Pneumatické válce se dále dělí na jednočinné a dvojčinné. V případě jednočinných válců dochází k přesouvání pístu pomocí stlačeného vzduchu pouze jedním směrem. Zpětný pohyb je zajištěn pomocí vestavěné pružiny. Princip jednočinného pneumatického válce je znázorněn na obr. 15, kde je zároveň znázorněna i jeho schématická značka. [9]



Obr. 15 Jednočinný pneumatický válec [9]

U dvojčinného válce dochází k přesouvání pístu oběma směry pomocí stlačeného vzduchu. Tyto pneumatické válce bývají často vybaveny koncovým tlumením. Pomocí tohoto tlumení

dochází ke snížení hlučnosti a rázů. Princip dvojčinného pneumatické válce s tlumením je znázorněn na obr. 16, kde jsou znázorněny i jeho schématické značky. [9]

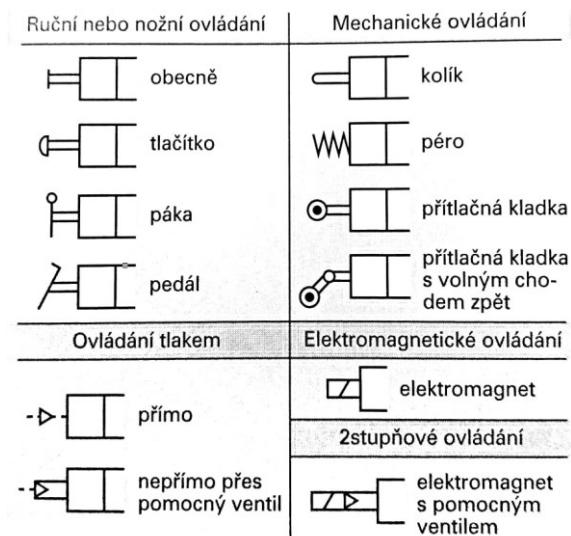


Obr. 16 Dvojčinný pneumatický válec [9]

Pneumatické válce bývají často zakončeny pístní tyčí, která slouží k přenosu pohybu. Pístní tyč může být buď jednostranná nebo oboustranná. Ovšem existují i pneumatické válce, které pístní tyč neobsahují. V těchto případech dochází k přenosu pohybu jiným způsobem, například magneticky nebo mechanicky pomocí unašeče.

Další důležitou součástí pneumatických systémů jsou ventily. Ventily mohou sloužit pro různé účely. Mezi základní ventily patří cestné, blokovací, průtokové a tlakové ventily.

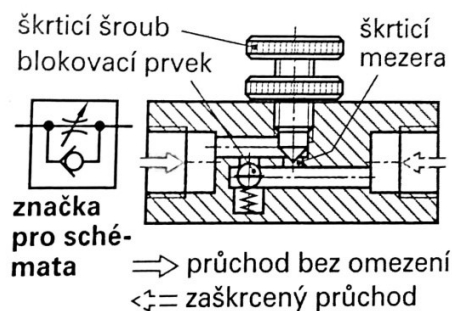
Úkolem cestných ventilů je řídit pohyb pneumatických pohonů pomocí přestavování jednotlivých cest. K tomuto přestavování může docházet různými způsoby ovládání. K ovládání cestných ventilů může docházet například ručně, mechanicky, elektromechanicky, tlakem, popřípadě kombinací různých způsobů. Schématické značky jednotlivých ovládání ventilů je znázorněno na obr. 17. [9]



Obr. 17 Schématické zobrazení ovládání ventilů [9]

Dalším druhem ventilů jsou blokovací. Úkolem těchto ventilů je blokovat průchod vzduchu jedním či více směry. Mezi tyto ventily patří například zpětné ventily, ventily logických funkcí „And“ a „Or“, rychle odvodušovací ventily.

Mezi poslední skupinu ventilů patří ventily průtokové. Pomocí těchto ventilů lze nastavit objemový průtok stlačeného vzduchu. Do této kategorie se řadí ventily škrtící a ventily škrtící zpětné. Princip škrtícího zpětného ventilu je znázorněn na obr. 18, kde je znázorněna i jeho schématická značka. [9]

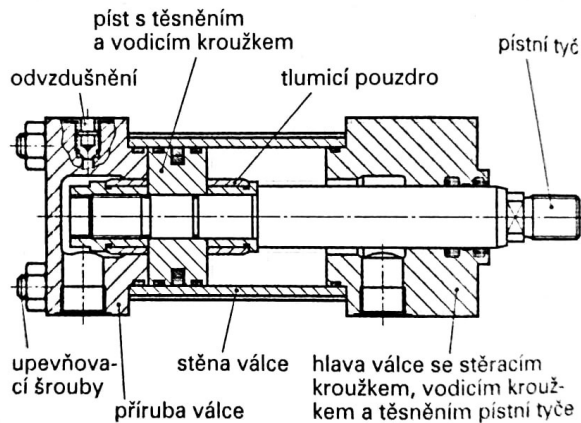


Obr. 18 Škrtící zpětný ventil [9]

### 3.4 Prvky hydraulických systémů

Mezi hlavní prvky hydraulických systémů patří čerpadla, rozvody, ventily, válce a hydromotory.

Hydraulické pohony lze rozdělit na hydraulické válce a hydraulické motory. V případě hydraulických válců dochází k lineárnímu pohybu. Stejně jako pneumatické válce, tak i hydraulické válce se dělí na jednočinné a dvojčinné. Princip dvojčinného hydraulického válce je znázorněn na obr. 19. [9]



Obr. 19 Dvojčinný hydraulický válec [9]

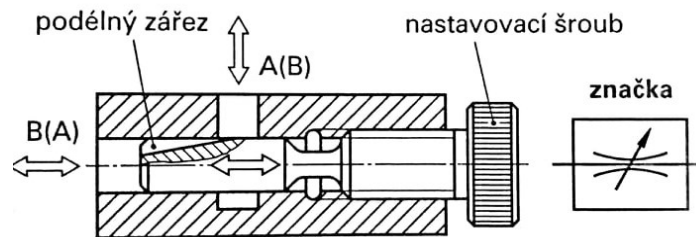
Dalšími důležitými prvky hydraulických systémů jsou ventily. Ty se stejně jako u pneumatických systémů dělí na cestné, zpětné, tlakové a průtokové.

Úkolem cestných ventilů je opět řídit pohyb hydraulických pohonů tím, že se přestavují do různých poloh. K jejich ovládání dochází stejnými prvky jako v případě pneumatických ventilů.

Dalším druhem ventilů jsou tlakové ventily. Ty se dělí na regulační a přepínací. Úkolem tlakových regulačních ventilů je udržení požadovaného tlaku v systému. K otevření tlakových regulačních ventilů dochází tehdy, dosáhne-li tlak určité nastavené hodnoty. Tlakové spínací ventily fungují na podobném principu. S tím rozdílem, že při dosažení určité nastavené hodnoty tlaku dojde k jejich přepnutí.

Mezi často používané ventily patří průtokové ventily. Pomocí těchto ventilů lze měnit objemový průtok. Změnou objemového průtoku se mění rychlost pohybu válců. Princip nastavitelného škrtícího ventilu je znázorněn na obr. 20, kde je znázorněna i jeho schématická značka. [9]





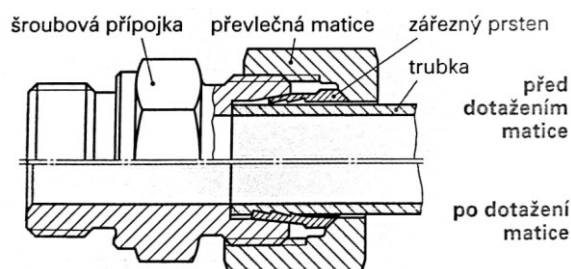
Obr. 20 Nastavitelný škrťací ventil [9]

Další důležitou součástí hydraulických systémů jsou trubky a šroubovací spojky. V případě hydraulických systémů se používají hladké tažené trubky, jejichž vnější průměr je úzce tolerován. Tolerované rozměry trubek pro hydraulický rozvod jsou zapsány v tab. 1. Jejich vnitřní průměr se pak volí podle požadovaného průtoku. [9]

Tab. 1 Trubky pro hydraulický rozvod [9]

$d_a$ [mm.mm]	$d_i$ [mm]	$p_{max}$ [bar]	$Q$ [l/min]
8x1	6	300	7
8x2	4	550	3
12x1	10	230	19
12x2	8	400	12
20x2	16	250	48
20x3	14	350	37
25x2	21	220	83
25x3	19	340	68

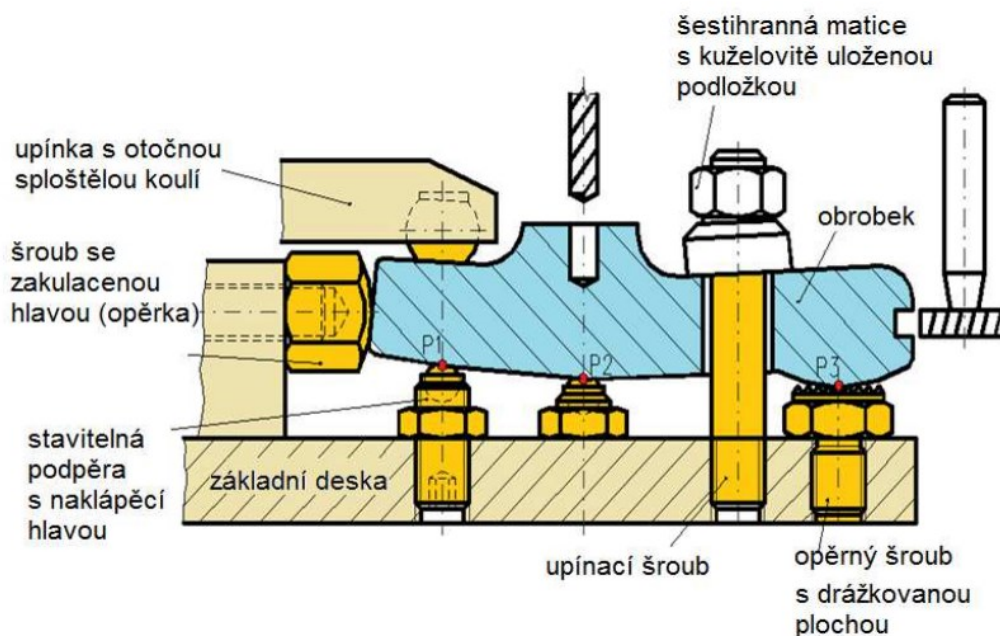
Hydraulické šroubení slouží k těsnému spojení vedení a jednotek hydraulického systému. Mezi nejpoužívanější spojovací prvek patří přímá přípojka se zářezným prstencem s převlečnou maticí. Princip přípojky se zářezným prstencem je znázorněn na obr. 21. U hydraulických šroubení se používají trubkové závity, popřípadě jemné metrické závity. [9]



Obr. 21 Přípojka se zářezným prstencem [9]

## 4 UPÍNÁNÍ OBROBKŮ

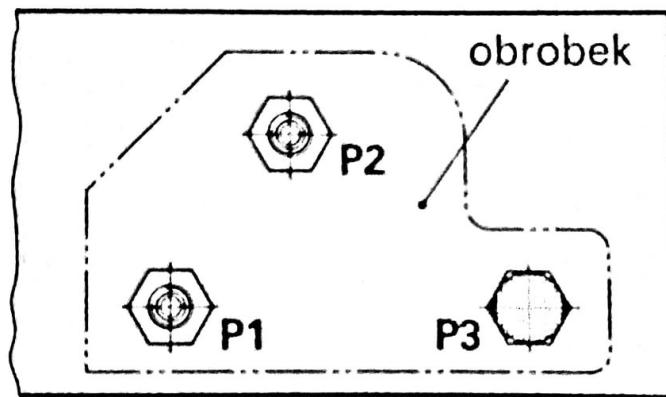
Jednotlivé operace jsou vázány k určitým plochám, z nichž při ustavování a obrábění součásti je nutné vždy vycházet. Obrobek je nutné vždy při každé operaci ukládat do přípravku plochami, které souvisejí s plochami obráběnými. Při upínání obrobku je nutné vycházet od určité plochy. Tato plocha se nazývá ustavovací (výchozí) a pomocí této plochy je určena poloha obrobku vůči nástroji. Na obr. 22 je schématický znázorněn příklad upnutí obrobku. [31]



Obr. 22 Příklad upnutí obrobku [21]

### 4.1 Tříbodové upnutí

Základem upnutí polotovaru je to, aby byl upnut pomocí tří bodů. Tyto body nesmějí ležet na stejné přímce. Zároveň by tyto body měly být co nejdále od sebe. V případě upnutí pomocí těchto tří bodů je jednoznačně definována poloha obrobku. Přesná poloha obrobku je dále definována pomocí bočních opěrek. Princip tříbodového upnutí je znázorněn na obr. 23. [9]



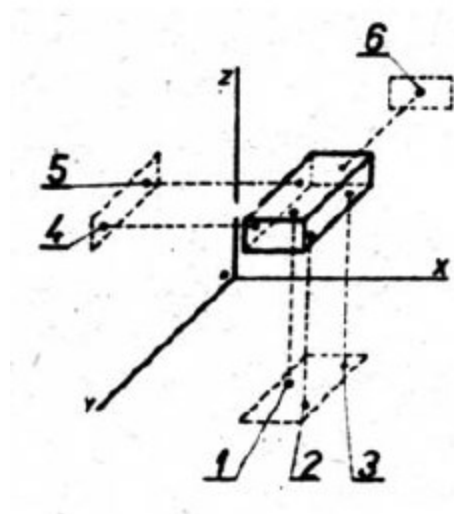
Obr. 23 Třibodové upnutí [9]

## 4.2 Určení polohy těles v přípravku

Všechna tělesa mají v prostoru šest stupňů volnosti. Tyto stupně volnosti musejí být při upínání a ustavování obrobku určitým způsobem vymezeny.

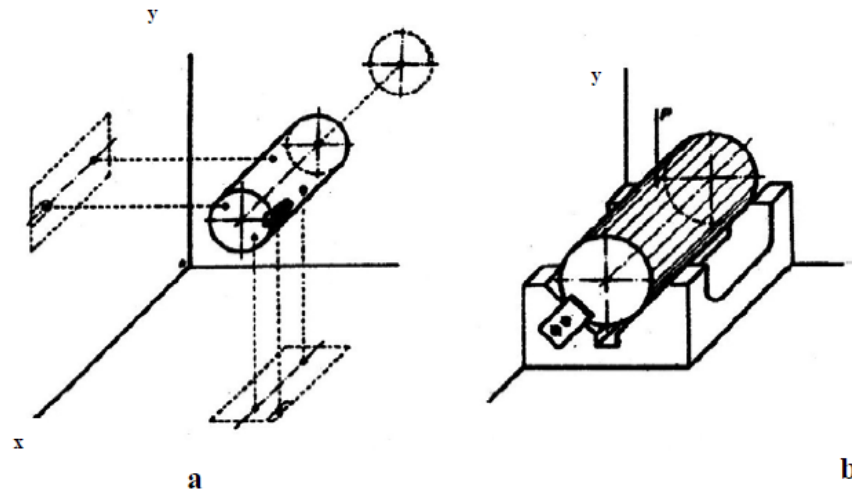
Každý obrobek obsahuje plochy základní. Tyto plochy jsou výchozí základny a definují polohu obrobku. Dále se na obrobku vyskytují plochy opěrné. Ty slouží k opření obrobku. Obrobek také obsahuje plochy upínací, sloužící k samotnému upnutí obrobku a plochy obráběné.

V případě tělesa rovinného je poloha určena pomocí tří bodů na ustavovací základně (1, 2, 3), dvou bodů na plochách opěrných (4, 5) a jednoho bodu na ploše dorazové (6). (viz obr. 24) [31]



Obr. 24 Určení polohy tělesa rovinného [31]

Tělesa válcová se ustavují podobně jako tělesa rovinná. Nejčastěji se při ustavování těles válcových využívají prizmatické opěrky, popřípadě se ustavují mezi hroty. (viz obr. 25) [31]



Obr. 25 Určení polohy těles válcových a) mezi hroty b) pomocí prizmatické opěrky [31]

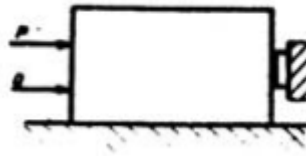
V případě, že těleso obsahuje vnitřní válcovou plochu se k ustavení takového tělesa využije kromě rovinných ploch a vnějších válcových ploch i tato vnitřní válcová plocha. V závislosti na tvaru obrobku, existují celkem tři způsoby, jak takovéto těleso ustavit. Při prvním způsobu dochází k ustavení tělesa pomocí rovinné plochy a díry, přičemž základní plochou může být jak plocha rovinná, tak i díra. Při druhém způsobu ustavení těles s vnitřní válcovou plochou se využívá rovinné plochy, čela a díry, jejíž osa je rovnoběžná s rovinnou plochou. U třetího případu ustavení těles s vnitřní válcovou plochou se využívá rovinné plochy a dvou děr. [31]

### 4.3 Stanovení upínací síly

Během upínání je nutné brát v potaz, aby při působení upínacích sil nedošlo polohy obrobku. Dále upínací síly musejí být zvoleny takové, aby nedošlo ke změně polohy obrobku působením řezných sil a zároveň, aby nedošlo k chvění obrobku. Taktéž je nutné volit působišť, velikost a směr upínacích sil v závislosti na působišti, velikosti a směru řezných sil. [31]

Při určování upínacích sil může dojít k pěti základním případům:

- 1) Jak upínací síla  $Q$ , tak i výslednice řezných sil  $P$  působí stejným směrem a mají stejný smysl a zároveň obě tyto síly působí proti pevným dorazům. V takovém případě je upínací síla  $Q$  minimální. (viz obr. 26) [31]

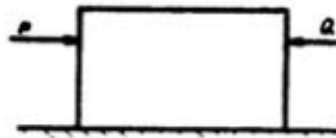


Obr. 26 Upínací síla i řezná síla působící proti pevným dorazům [31]

- 2) Upínací síla  $Q$  působí proti výslednici řezných  $P$  (viz obr. 27). V takovém případě se upínací síla  $Q$  vypočítá jako:

$$Q = k \cdot P \text{ [N]} \quad (3)$$

Kde  $k$  je koeficient bezpečnosti. V případě dokončování  $k= 1,5$  a v případě hrubování  $k= 3$ . [31]

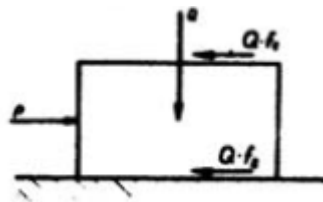


Obr. 27 Upínací síla působí proti řezné síle [31]

- 3) Upínací síla  $Q$  má směr kolmý k výslednici řezných sil  $P$  a zároveň proti výslednici řezných sil  $P$  působí třecí síla  $F$  (viz obr. 28). V takovém případě se upínací síla  $Q$  vypočítá jako:

$$Q = \frac{k \cdot P}{f_1 \cdot f_2} \text{ [N]} \quad (4)$$

Kde  $f_1$  a  $f_2$  jsou koeficienty kluzného tření. [31]

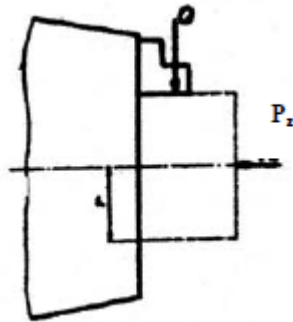


Obr. 28 Upínací síla působí kolmo na řeznou sílu [31]

- 4) Obrobek je upnut ve sklíčidle a působí na něj moment řezného odporu  $M$  a řezná síla  $P$ , působící ve směru osy obrobku (viz obr. 29). V takovém případě lze upínací sílu vypočítat jako:

$$Q = \frac{k \cdot z \cdot M}{f \cdot r} \text{ [N]} \quad (5)$$

Kde  $k$  je koeficient bezpečnosti,  $z$  je celkový počet upínacích čelistí a  $r$  je poloměr obrobku. [31]

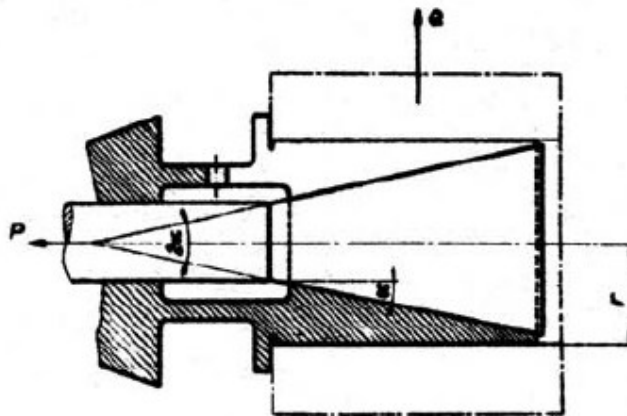


Obr. 29 Upínací síla při upnutí obrobku ve sklíčidle [31]

- 5) V případě, že je obrobek upnut na rozepínacím trnu (viz obr. 30) lze upínací sílu  $Q$  vypočítat jako:

$$Q = \frac{k \cdot M}{f \cdot r} [N] \quad (6)$$

Kde  $f$  je koeficient tření. [31]



Obr. 30 Upínací síla při upnutí obrobku na rozepínací trn [31]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 STANOVENÍ CÍLU DIPLOMOVÉ PRÁCE

V diplomové práci jsou stanoveny následující cíle:

- provést analýzu současného stavu,
- navrhnout hydraulický upínací přípravek,
- vytvořit výrobní dokumentaci,
- provést měření,
- z výsledků měření navrhnout nové technologické řešení.

Cílem diplomové práce je zanalyzovat aktuální stav výroby hydraulických upínacích přípravků a následně navrhnout nové řešení pro výrobu těchto přípravků. Při návrhu řešení zohlednit konstrukční a technologické možnosti výroby.

Výsledným cílem konstrukční části práce je vypracovat kompletní výkresovou dokumentaci, která bude obsahovat výkresy sestavy včetně všech nenormalizovaných součástí a výrobními výkresy jednotlivých dílů. V technologické části práce realizovat sérii měření a pokusů s cílem stanovit vhodné metody a podmínky obrábění se zaměřením na vliv vzniku otřepů ve vrtaných kanálech.

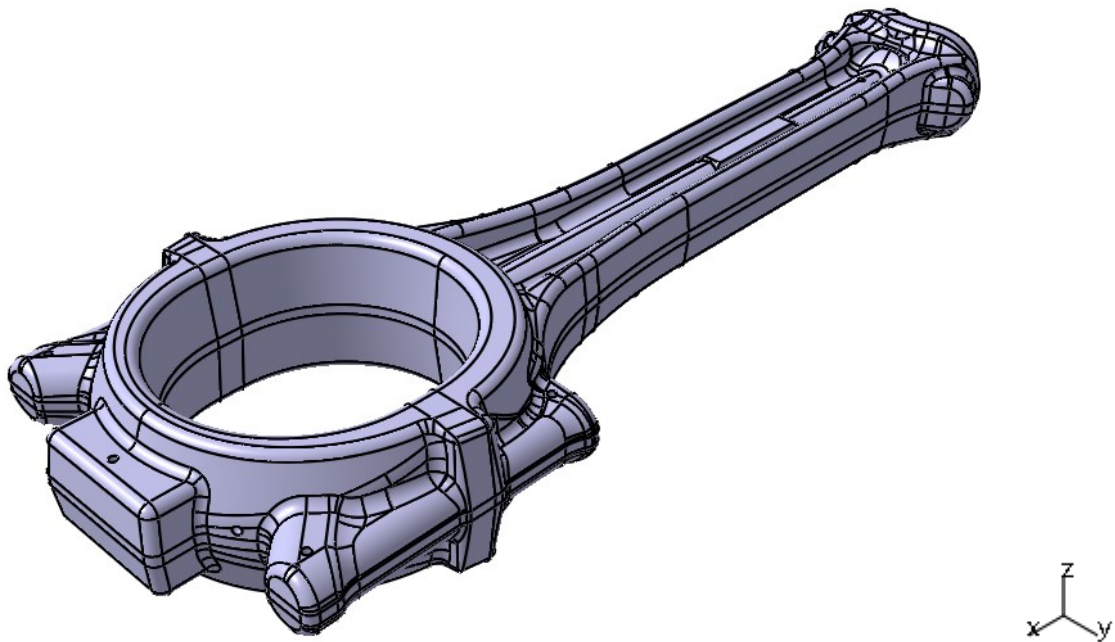


## 6 KONSTRUKČNÍ ČÁST

V rámci této části diplomové práce byl zhotoven návrh hydraulického upínacího přípravku. Hydraulický upínací přípravek byl zvolen z důvodu velkosériové výroby dílce, pro který byl navrhnut. Dále se pomocí hydraulického upínacího přípravku zvýší produktivita výroby, přesnost výroby a také se odstraní lidský faktor.

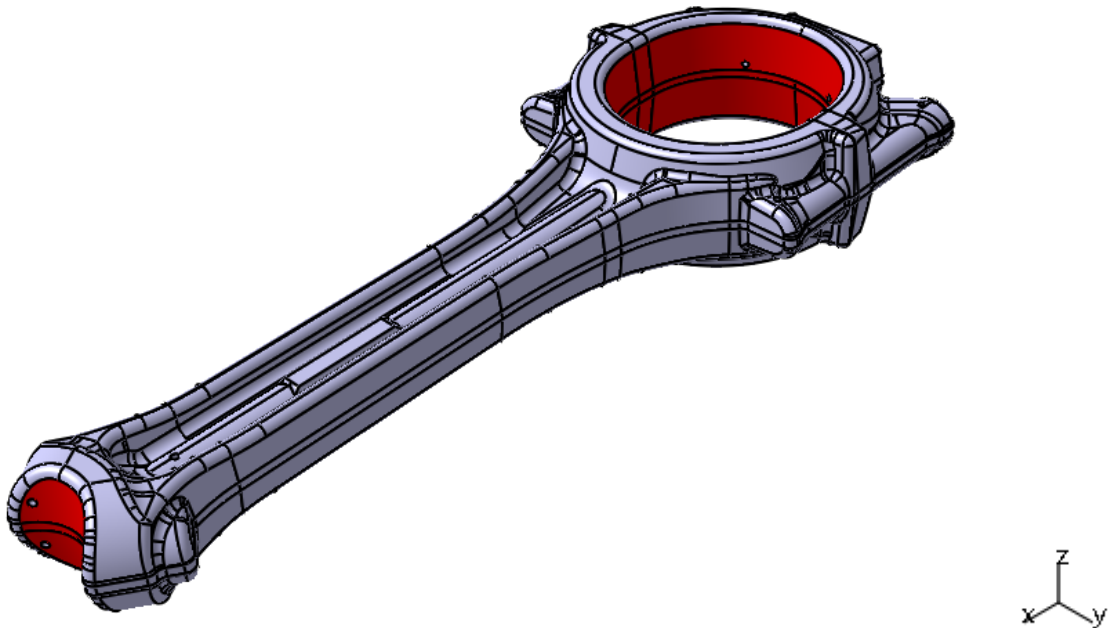
### 6.1 Obráběný díl

Upínací přípravek byl navrhnut pro upínání strojní součásti, a to konkrétně ojnice, kdy její největší rozměr v ose  $x$  je 700 mm, v ose  $y$  254 mm a v ose  $z$  92 mm. Ojnice dále obsahuje otvor o průměru 150 mm. Obráběný díl je zobrazen na obr. 31.



*Obr. 31 Obráběný díl*

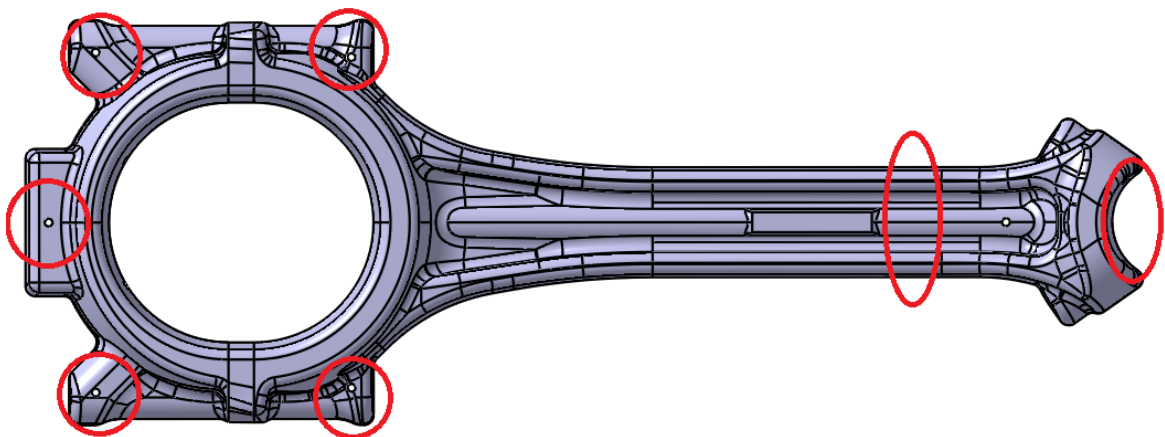
Na dílci bude docházet k obrábění otvoru o průměru 150 mm a rádiusového vybrání o poloměru 37,5 mm. Obráběné plochy jsou znázorněné na obr. 32 červenou barvou.



Obr. 32 Obráběné plochy

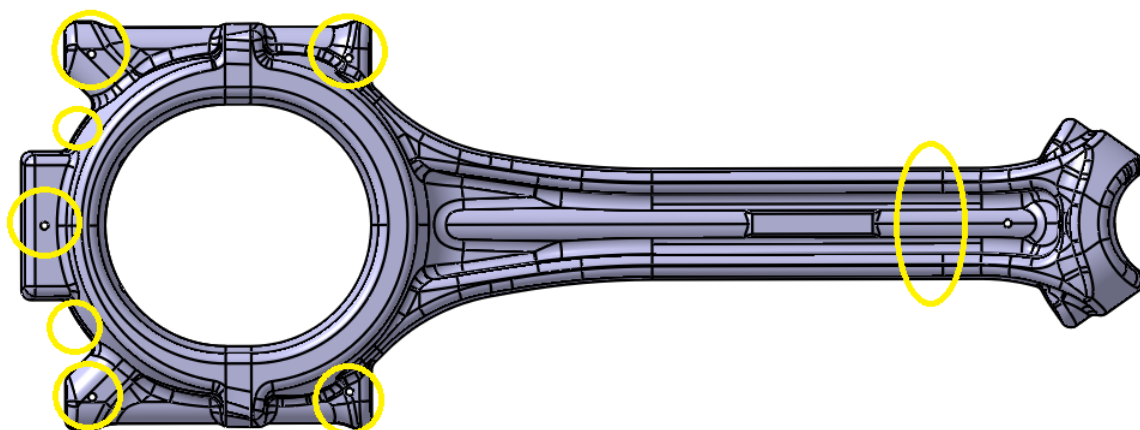
## 6.2 Konstrukční návrh

Jedním z hlavních kroků při konstrukci upínacího přípravku je vhodná volba upínacích a dosedacích ploch. Tato volba musí zajistit přesnou polohu obráběného dílce a zároveň musí zajistit to, aby byl nástroj schopen obrobít všechny požadované plochy. Volba upínacích ploch je znázorněna na obr. 33 červenou barvou.



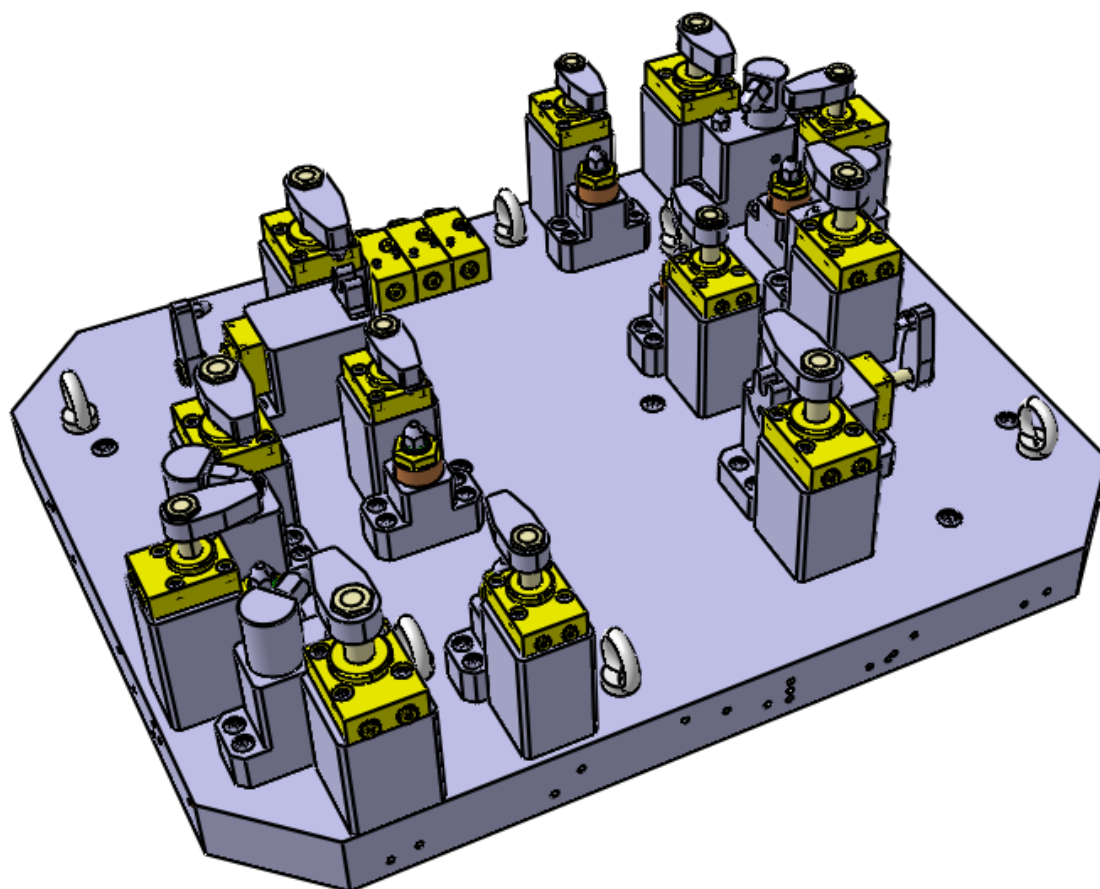
Obr. 33 Volba upínacích ploch

Zpravidla platí, že upínací prvky musejí působit proti pevným dorazům, aby byla zajištěna poloha obráběného dílce. Volba dosedacích ploch je znázorněna na obr. 34 žlutou barvou.



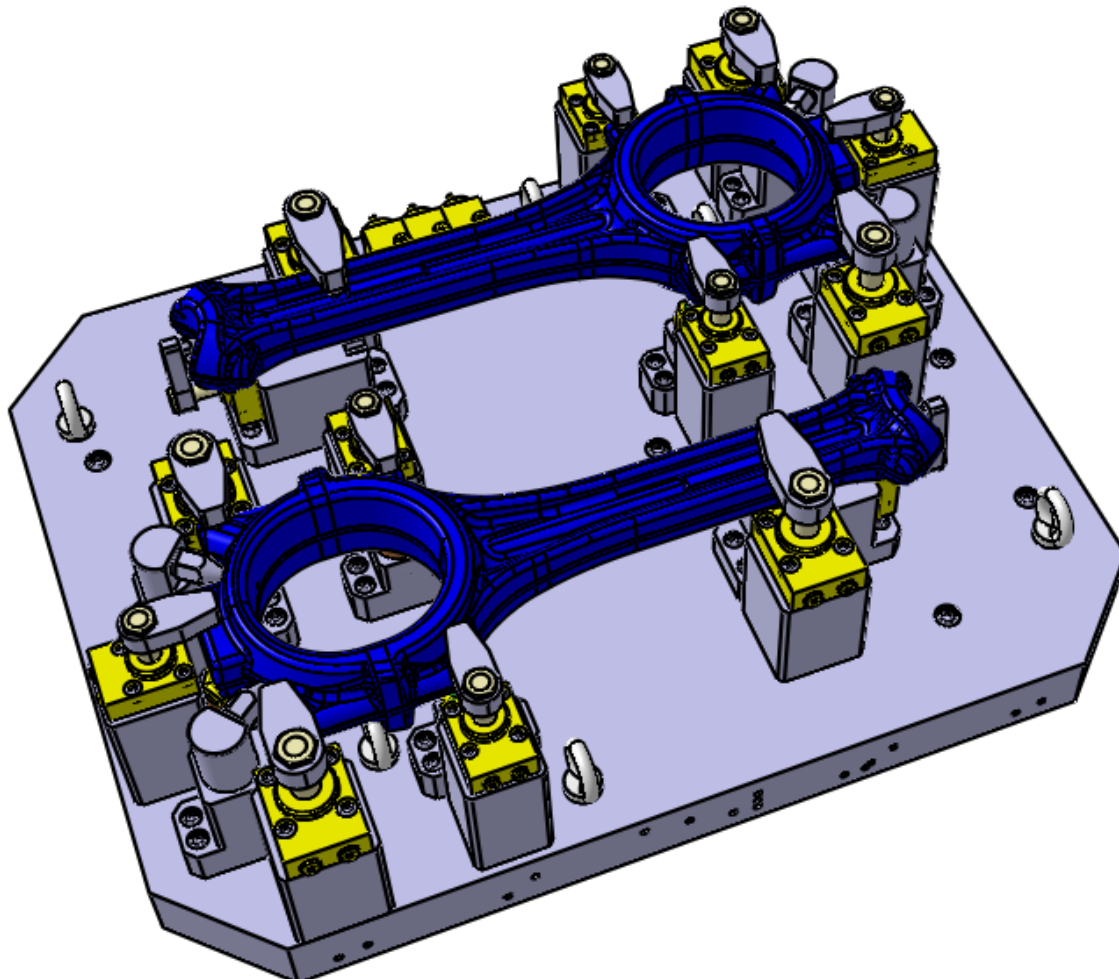
*Obr. 34 Volba dosedacích ploch*

Na obr. 35 je zobrazen celkový návrh upínacího přípravku. Základem upínacího přípravku je deska sloužící k upnutí všech ostatních součástí upínacího přípravku a také k rozvodu upínacího média. Upínací přípravek dále obsahuje kostky. Ty slouží k upevnění dalších komponentů jako jsou hydraulické válce, popřípadě dosedací plochy.



*Obr. 35 Návrh upínacího přípravku*

Na obr. 36 je znázorněno samotné uložení dílce v přípravku. Dílec je na obr. 36 znázorněn modrou barvou, zatím co normalizované prvky od firmy Roemheld jsou znázorněny barvou žlutou. Dle zadání bylo zhotoveno upínání dvou dílců zároveň.



*Obr. 36 Uložení dílce v přípravku*

Upínání více dílců zároveň má tu výhodu, že se zvýší produktivita, popřípadě obsluha může obsluhovat více strojů zároveň, ovšem značně se zvětší rozměry a hmotnost přípravku. Taktéž stroj, na kterém bude přípravek použit, tomu musí odpovídat.

### **6.3 Upínací prvky**

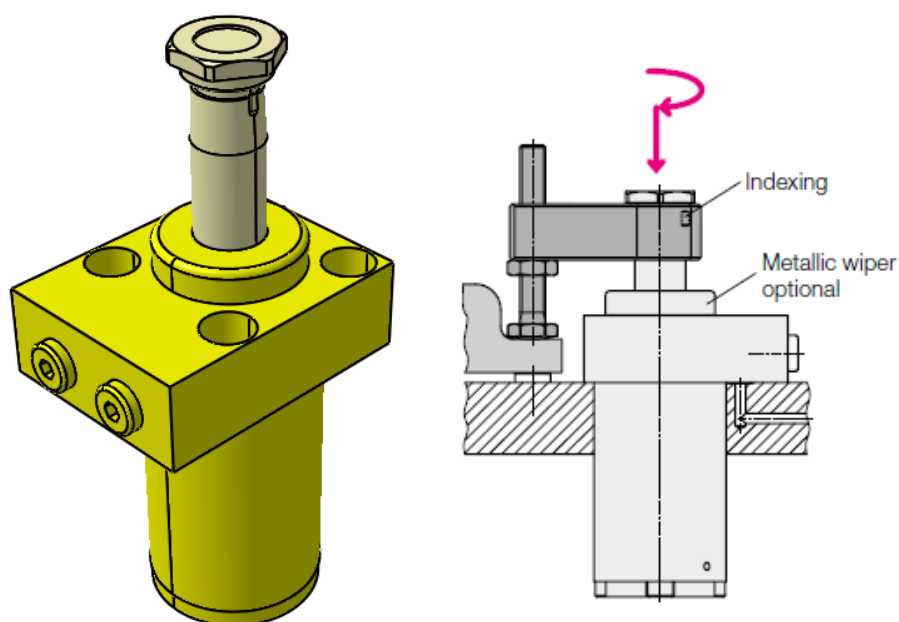
Velmi důležitou součástí přípravku jsou upínací prvky. Ty slouží k upnutí obráběné součásti tak, aby její poloha byla stálá a ani během procesu obrábění se nezměnila. Dále upínací prvky musejí vyvozovat sílu, která je značně větší než síla vznikající během obrábění.

Pro upnutí dílce byly zvoleny hydraulické válce. Ty upnou obráběný díl pomocí upínek. Celkem byly zvoleny tři typy hydraulických válců. Ty se od sebe liší pouze svými rozměry

a upínací silou, kterou jsou schopni působit. První hydraulický válec vyvozuje při pracovním tlaku 200 barů sílu o velikosti 3,5 kN. Jedná se o nejmenší hydraulický válec, který firma Roemheld nabízí. Jeho úkolem je přitlačit obráběný díl k vodorovným dosedacím plochám a tím celý díl vyrovnat. Tento hydraulický válec je v upínacím přípravku obsažen celkem dvakrát. Druhá velikost hydraulických válců, která byla použita, je střední velikost. Tyto válce vyvozují upínací sílu až 4,5 kN a působí proti pohyblivým dosedacím plochám. Jejich upínací síla musí být menší z toho důvodu, aby nedošlo k přetlačení pohyblivých dosedacích ploch. Sestava dále obsahuje hydraulické válce, které vyvozují upínací sílu až 8 kN. Jedná se o jedny z největších hydraulických válců od firmy Roemheld. Tyto hydraulické válce působí proti pevným dorazům a zajišťují spolehlivé upnutí. Jak válce střední velikosti, tak válce větší jsou v sestavě obsaženy šestkrát.

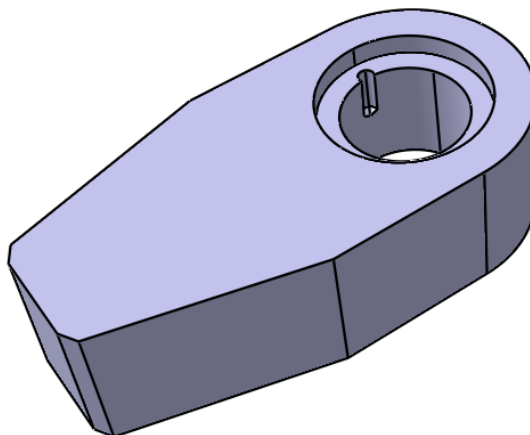
Hydraulický válec je zobrazen na obr. 37, kde je znázorněno i jeho schéma. Ve schématu lze vidět směr pohybu, který hydraulický válec vykonává. V tomto případě se jedná o kombinaci rotačního pohybu o 45° a lineárního posuvu směrem nahoru a dolů.

Hydraulické válce umožňují dvě možnosti přívodu a odvodu upínacího média. Buď z boční strany, popřípadě ze spodní strany. V případě tohoto upínacího přípravku byla zvolena možnost přívodu ze spodní strany, kdy upínací médium je vedeno do hydraulického válce přes kostku, ve které je umístěn. Tato možnost lze také vidět ve schématu na obr. 37.



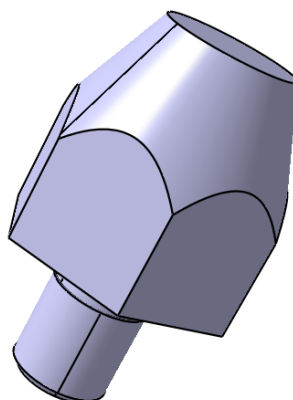
Obr. 37 Hydraulický válec pro upínky

K upnutí obráběné součásti dochází pomocí upínek. Ty jsou uchyceny na hydraulickém válci a zajištěny proti pootočení pomocí kolíku. Rozměry jednotlivých upínek byly zvoleny dle velikosti jednotlivých hydraulických válců tak, aby nepřekračovaly rozměry doporučené výrobcem. V případě, že by upínky měly větší rozměry než, které doporučuje výrobce, mohlo by docházet k jejich deformaci, která by byla způsobena ohybovým momentem. Upínka je zobrazena na obr. 38.



*Obr. 38 Upínka*

Upínky dále obsahují díru se závitem, ve které je upevněna dosedací plocha. Jelikož dosedací plocha je část, která se bude opotřebovávat, musí být řešena vyměnitelně. Dosedací plocha také musí být zakalená, aby odolávala opotřebení. Dosedací plocha je zobrazena na obr. 39.

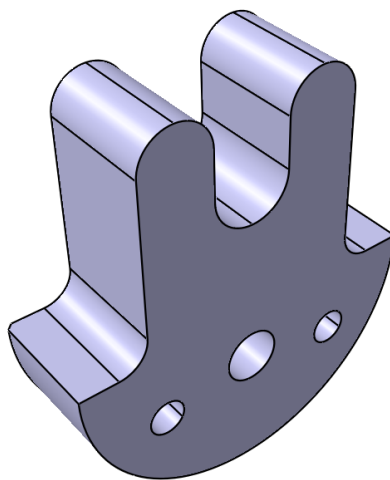


*Obr. 39 Dosedací plocha upínek*

## 6.4 Polohovací prvky

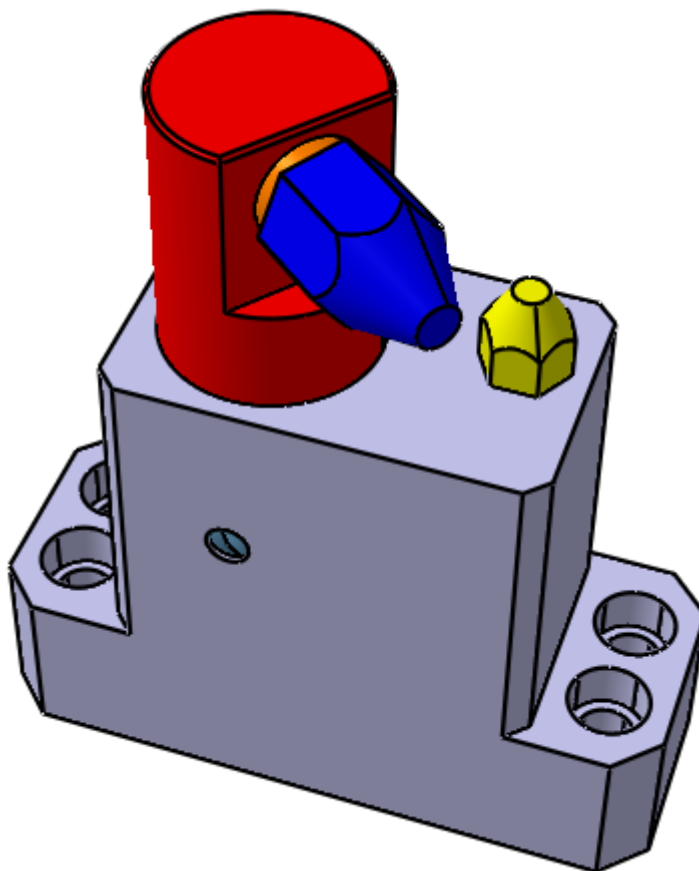
Další součástí upínacího přípravku jsou polohovací prvky. Jejich úkolem je definovat přesnou polohu obráběného dílce.

První takovou plochou je tvarová plocha, která se nachází pod velkou upínkou a definuje polohu dílce jak v ose  $z$ , tak i částečně v ose  $y$ . Tato dosedací plocha je zobrazena na obr. 40. Poloha této dosedací plochy je zajištěna pomocí dvou kolíků. Jelikož se jedná o dosedací plochu, tedy o plochu, která bude opotřebovávána, musí být tato součást zakalená.



*Obr. 40 Tvarová dosedací plocha*

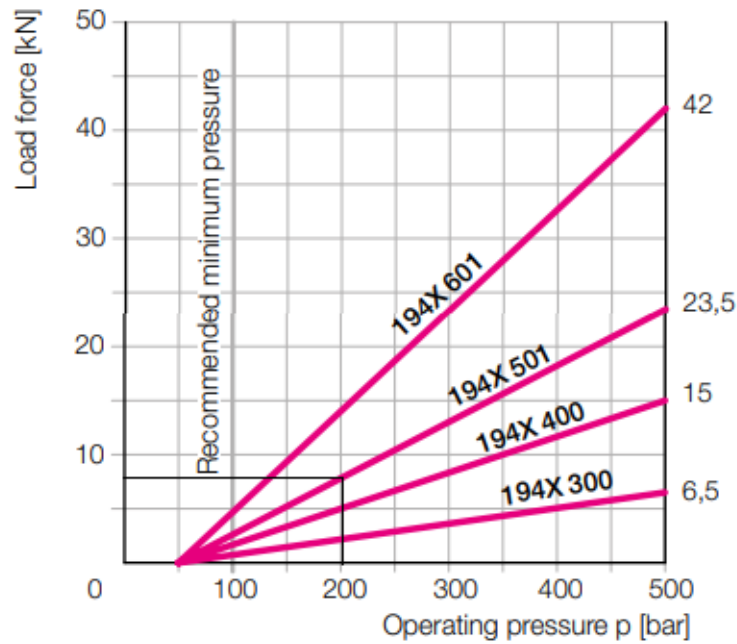
Dalšími dosedacími plochami jsou plochy zobrazené na obr. 41. Větší dosedací plocha, znázorněná modrou barvou na obr. 41, slouží k vyrovnání a přesnému definování polohy dílce v upínacím přípravku. Tato dosedací plocha je umístěna ve válci, který je dále umístěn v kostce. Přesná poloha válce je zaručena kolíkem. Mezi válcem a dosedací plochou je umístěna podložka, která je na obr. 41 znázorněná oranžovou barvou. Ta se bude brousit na míru v sestavě tak, aby byla zaručena přesná poloha dílce. Menší dosedací plocha, znázorněná žlutou barvou, je dosedací plocha k velkému hydraulickému válci a definuje polohu v ose  $z$ .



*Obr. 41 Kostka s dosedacími plochami*

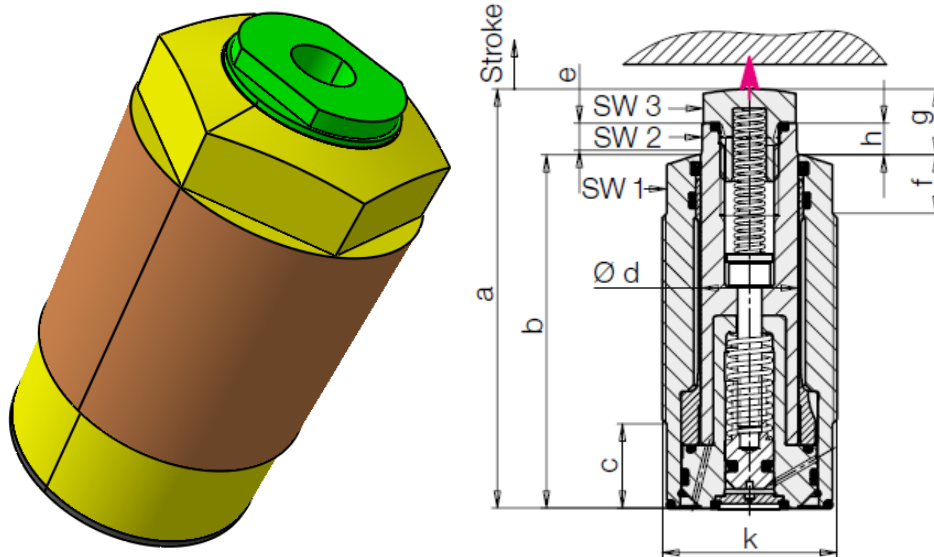
Další součástí upínacího přípravku je jednočinný píst. Ten působí proti upínkám středních hydraulických válců. Tento prvek byl zakomponován do sestavy z toho důvodu, že základem upínání je to, aby byl dílec upnut pomocí tří pevných bodů. Nejprve tedy dojde k upnutí dílce ke třem pevným bodům, až poté dojde k jeho upnutí k jednočinným pístům. Jelikož jednočinné píсты působí proti upínkám, musí být síla, kterou vyvozují, značně vyšší než síla, kterou na ně působí upínky. V opačném případě by totiž došlo k zatlačení jednočinného pístu a to by mohlo vést k jeho poškození a znehodnocení. Píсты byly zvoleny dle grafu na obr. 42. Síla, kterou vyvozují při pracovním tlaku 200 barů, musí být vyšší než síla hydraulických válců, která je 4,5 kN. Dle grafu tedy byly zvoleny jednočinné píсты 194X 501, které vyvozují sílu až 8 kN.





Obr. 42 Graf jednočinných pístů

Přívod a odvod upínacího média je realizován ze spodní strany pístu. Na obr. 43 je zobrazen jednočinný píst včetně jeho řezu. Píst je dále zašroubován do kostky, která slouží k vedení upínacího média.



Obr. 43 Jednočinný píst

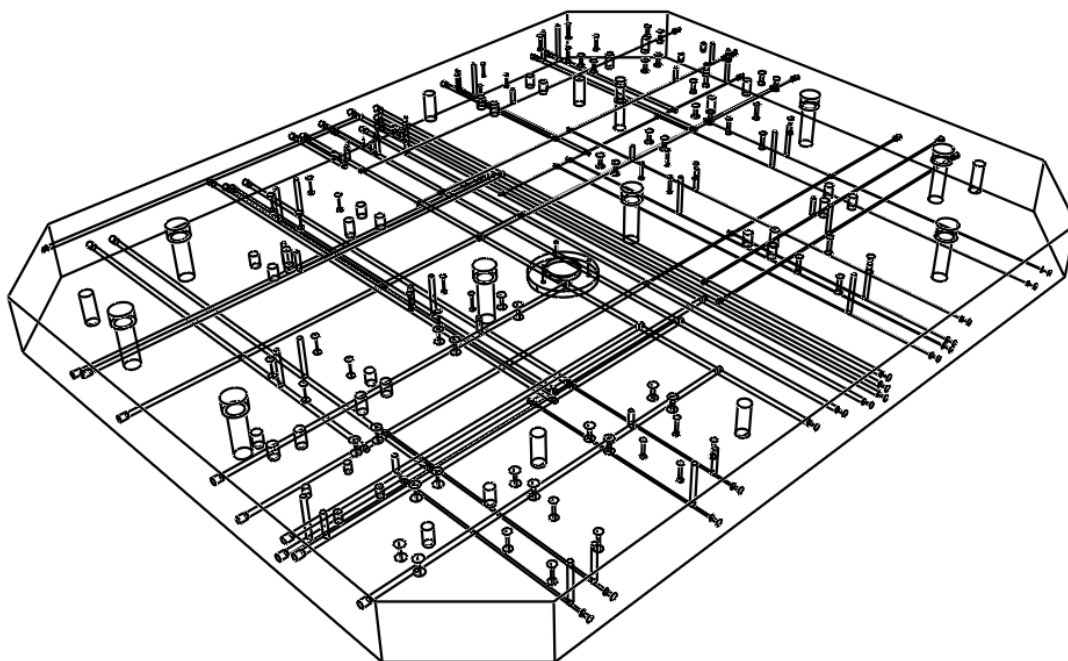
Stejně jako ostatní prvky, tak i jednočinné písty musejí mít dosedací plochy. Ty jsou opět řešeny vyměnitelně a jsou zakaleny. Na rozdíl od ostatních dosedacích ploch musí mít tato dosedací plocha ve spodní straně otvor, ve kterém bude umístěna pružina jednočinného pístu. Umístění pružiny jednočinného pístu lze vidět na obr. 43.

## 6.5 Rozvod upínacího média

Přípravek využívá jako upínací médium hydraulický olej. K rozvodu hydraulického oleje k jednotlivým elementům dochází pomocí systému vrtaných kanálů. Přípravek obsahuje celkem čtyři větve. Dvě z nich slouží k upnutí dílce a dvě k uvolnění. Přípravek musí obsahovat dvě větve navíc z toho důvodu, že nejmenší hydraulické válce sloužící k polohování dílce musejí být ovládány samostatně. Jelikož působí na plochu, která se bude obrábět. Musí tedy dojít k sepnutí těchto hydraulických válců, následnému upnutí ostatními hydraulickými válci a nakonec k uvolnění nejmenších hydraulických válců. Tím se docílí toho, že nástroj může obrobit všechny plochy.

Prívod hydraulického média je zajištěn pomocí přípojek a jednotlivé kanály jsou zaslepeny pomocí záspepek.

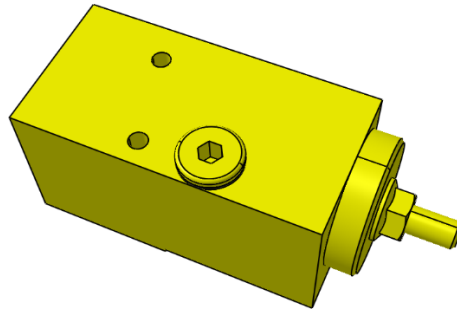
Na obr. 44 je znázorněn systém vrtaných kanálů. Jak lze vidět, jedná se o poměrně komplikovanou síť vrtaných kanálů. Základem funkčnosti upínacího přípravku je to, aby žádná z větví vrtaných kanálů nezasahovala do jiné větve.



Obr. 44 Systém vrtaných kanálů

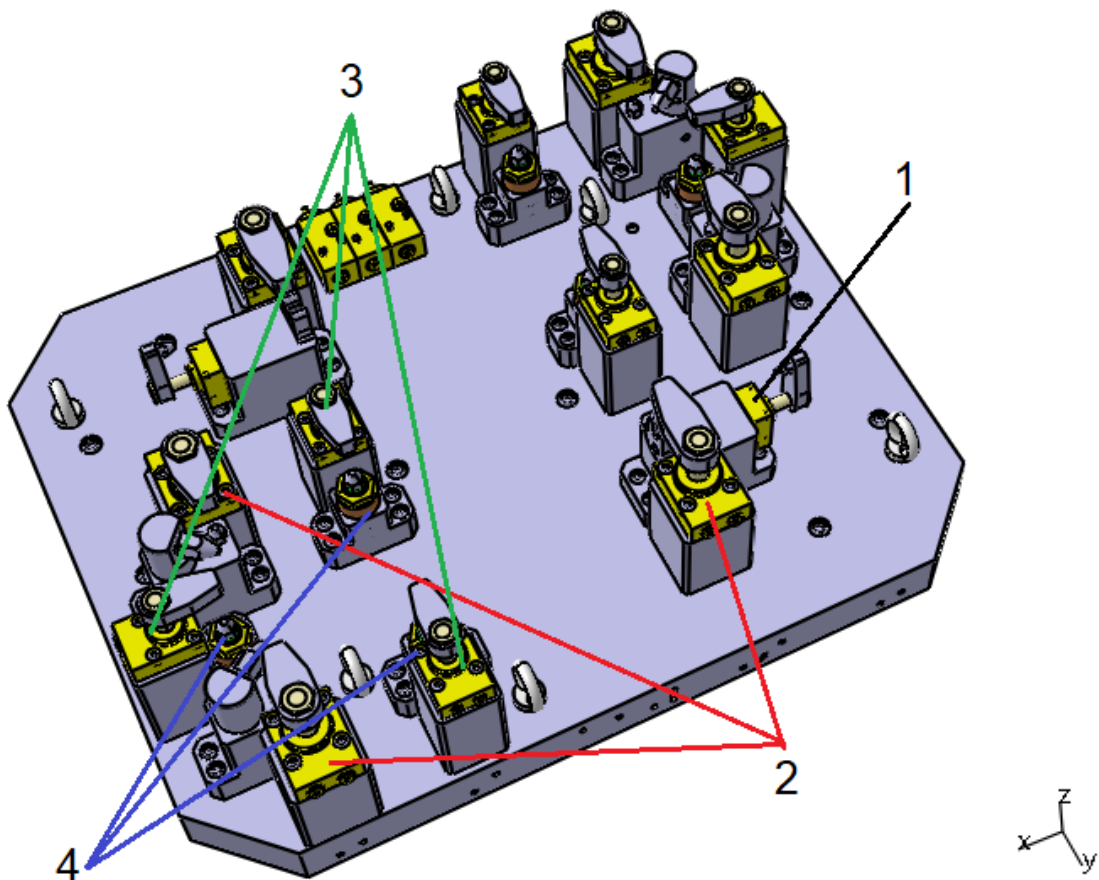
Hydraulické médium je rozváděno pomocí vrtaných kanálů skrz základní desku do kostek s hydraulickými elementy. Tyto kostky taktéž obsahují vrtané kanály, které dopravují hydraulický olej k samotným hydraulickým elementům. Spoje mezi kostkami a základní deskou jsou zajištěny pomocí O-kroužků, které zabraňují úniku hydraulického oleje mimo okruh.

Přípravek dále obsahuje tři sekvenční ventily. Ty slouží k nastavení pořadí, ve kterém má dojít k upnutí jednotlivých elementů. Sekvenční ventily fungují tak, že k jejich sepnutí dojde až po určitém čase, který se u nich nastaví. Tím dojde k časové prodlevě u jednotlivých hydraulických elementů. Sekvenční ventil je znázorněn na obr. 45.



Obr. 45 Sekvenční ventil

Je důležité, aby prodleva jednotlivých upínacích větví byla nastavena tak, aby došlo k upnutí obráběné součásti v určitém pořadí. Pořadí, ve kterém je nutné upnout dílec, je znázorněno na obr. 46.

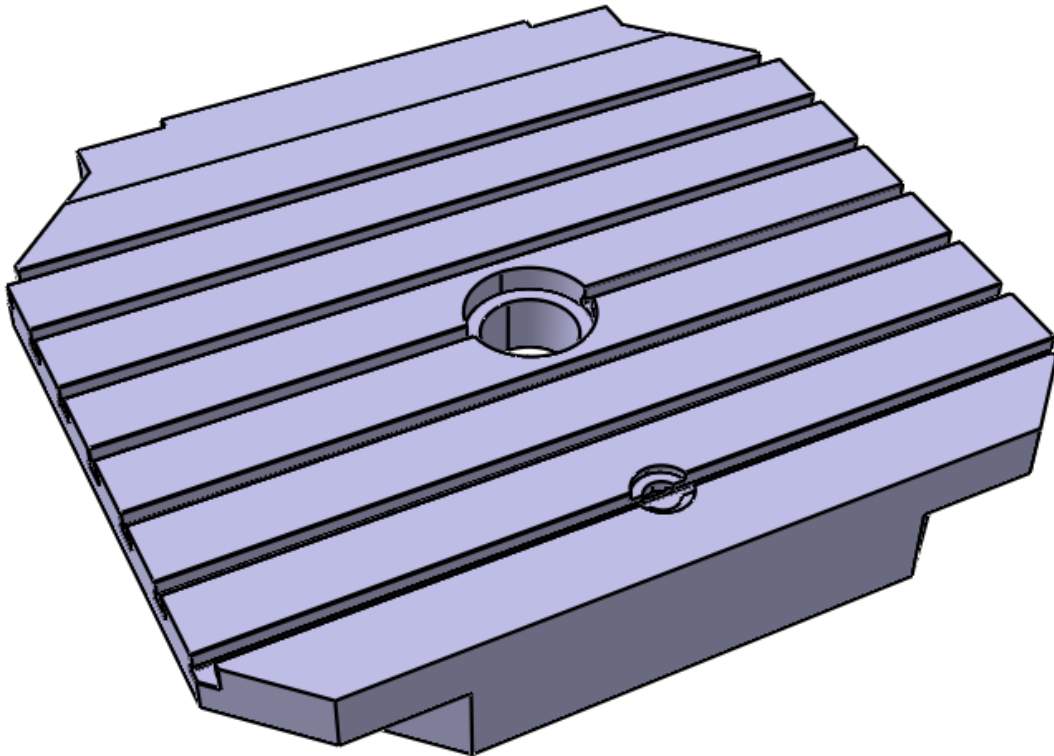


Obr. 46 Pořadí upnutí

V prvním kroku je důležité, aby byl dílec přitlačen nejmenším hydraulickým válcem k vodorovným dosedacím plochám. Tím dojde k definování polohy jak v ose  $x$ , tak v ose  $y$ . Ve druhém kroku musí dojít k upnutí dílce pomocí tří největších hydraulických válců, které působí proti pevným bodům. Tím dojde k zajištění polohy obráběného dílce. Následně dojde k sepnutí hydraulických válců, které působí proti jednočinným pístům. Ve čtvrtém kroku dojde k sepnutí jednočinných pístů. V posledním kroku dojde k uvolnění nejmenších hydraulických válců.

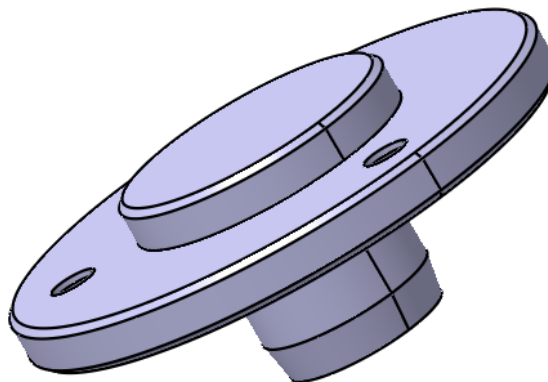
## 6.6 Uložení upínacího přípravku

Upínací přípravek byl zhotoven pro daný pracovní stůl CNC stroje, na kterém bude uložen. Pracovní stůl stroje je zobrazen na obr. 47.



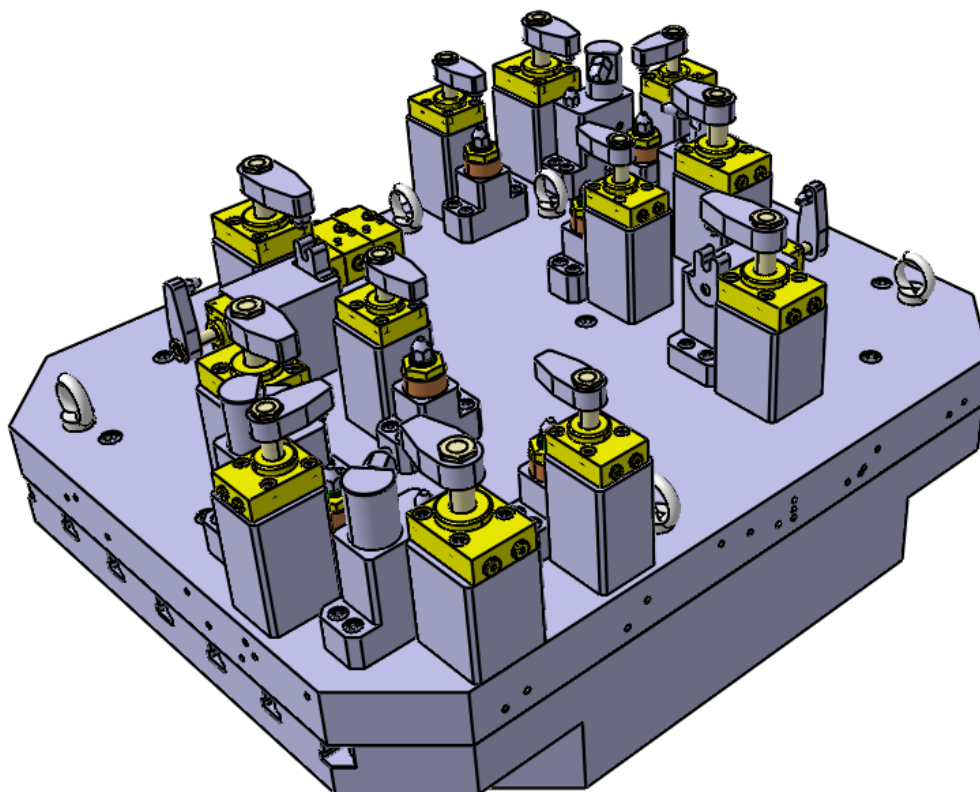
*Obr. 47 Pracovní stůl stroje*

Upínací přípravek je na pracovním stole vystředěn pomocí středící příruby. Ta je upevněna na spodní částí přípravku. Středící příruba je zobrazena na obr. 48.



*Obr. 48 Středící příruba*

Poloha upínacího přípravku je dále definována pomocí kolíku, který je k přípravku připevněn pomocí šroubu, aby nedošlo k jeho uvolnění. Upínací přípravek je upevněn k pracovnímu stolu stroje pomocí šroubů a T-matic. Celkové uložení upínacího přípravku je zobrazeno na obr. 49.



*Obr. 49 Uložení přípravku na pracovním stole*

Z důvodu lepší manipulace s upínacím přípravkem je přípravek vybaven šesti šrouby se závěsným okem. Celková hmotnost přípravku je dle softwaru 659 kg. Výrobce uvádí, že nosnost jednoho závěsného šroubu M16 je 500 kg. Stejně tak i nosnost pracovního stolu CNC stroje je dostatečně vysoká pro tento upínací přípravek.

## 7 TECHNOLOGICKÁ ČÁST

Tato část diplomové práce se zabývá problematikou vrtaných kanálů a to zejména jejich výrobou.

Velkým problémem, který vzniká při vrtání kanálů, jsou otřepy, které vnikají při průniku dvou a více kanálů. Tyto otřepy je velmi těžké odstranit. V případě, že nedojde k jejich odstranění, může dojít k jejich uvolnění během procesu upínání. Tím se dostanou do oběhu upínacího média. V případě, že upínací přípravek obsahuje filtry u jednotlivých upínacích elementů, dojde k zachycení otřepů pomocí těchto filtrů. Avšak pokud přípravek filtry neobsahuje, například z důvodu nedostatku místa, může dojít k tomu, že uvolněný otřep se dostane až do upínacího elementu. To může vést k zadření hydraulického válce. Tím nedojde k řádnému upnutí a mohou vzniknout škody jak na dílci, nástroji, přípravku, tak i na stroji.

### 7.1 Analýza současného stavu

V současném stavu se upínací přípravky vyrábějí zejména z oceli ČSN 11 523. Tato ocel má tu výhodu, že je lehce obrobitelná a zároveň její cena není tak vysoká, jako u ocelí vyšší kvality. Ovšem, jelikož se jedná o houževnatou ocel, tak v jejím případě vzniká velké množství otřepů, které zůstávají po obrobení uvnitř kanálů a musí dojít k jejich následnému odstranění.

Co se týče samotné výroby vrtaných kanálů, tak se na jejich výrobu používají zejména vrtáky z tvrdokovu, které zaručují značnou produktivitu. Vrtané kanály se vrtají řeznými parametry doporučenými od výrobce nástrojů a postupem, při kterém dojde nejdříve k vyvrtání hlavního kanálu a následně se k němu napojí kanály vedlejší.

### 7.2 Průběh měření

Cílem měření bylo otestovat vliv materiálu a řezných parametrů při vrtání na vznik otřepů ve vrtaných kanálech. Zároveň bylo také otestováno, zda na vznik otřepů má vliv i změna postupu vrtání.

Při měření byly použity předem připravené polotovary. Materiál, rozměry a počet kusů jednotlivých kostek je rozepsán v tab. 2.

Tab. 2 Zkušební tělesa

Materiál (ČSN)	Rozměr (mm)	Počet kusů
11 523	60x60x130	2
12 050	60x60x130	1
12 050	60x60x300	1
15 142	60x60x130	2
19 520	60x60x130	1
19 520	60x60x300	1

Do kostek byly následně vyvrtány díry. Postup vrtání byl navrhnout tak, aby se na každé kostce nejdříve vrtala jedna dlouhá díra, která simuluje hlavní kanál, a na ní se následně napojovaly díry menší délky. Ty naopak simulují kanály kratší. V praxi slouží k rozvodu hydraulického média ze základní desky k jednotlivým hydraulickým elementům. Zároveň se na každé kostce vyvrtaly kanály opačným postupem. Tedy postupem, při kterém se nejdříve vyvrtaly kratší kanály, na které se dále napojila díra delší. Občas je nutné napojovat vrtané kanály mimo osu, z toho důvodu byly některé díry v testovacích kostkách vyvrtány mimo osu.

U všech děr muselo nejdříve dojít k navrtání pomocí navrtávačku. Dále u děr vrtaných pomocí tvrdokovového vrtáku se musela vyvrtat pilotní díra, jejímž úkolem je navést vrták. V případě dlouhých kostech s délkou 300 mm, nebylo možné díru vyvrtat jedním vrtákem, z toho důvodu, že u dlouhých vrtáků docházelo k velkým vibracím a hrozilo poškození vrtáků. Z toho důvodu se muselo použít u nejdelších testovacích kostek více vrtáků, kdy každý vrták měl větší délku než vrták předešlý.

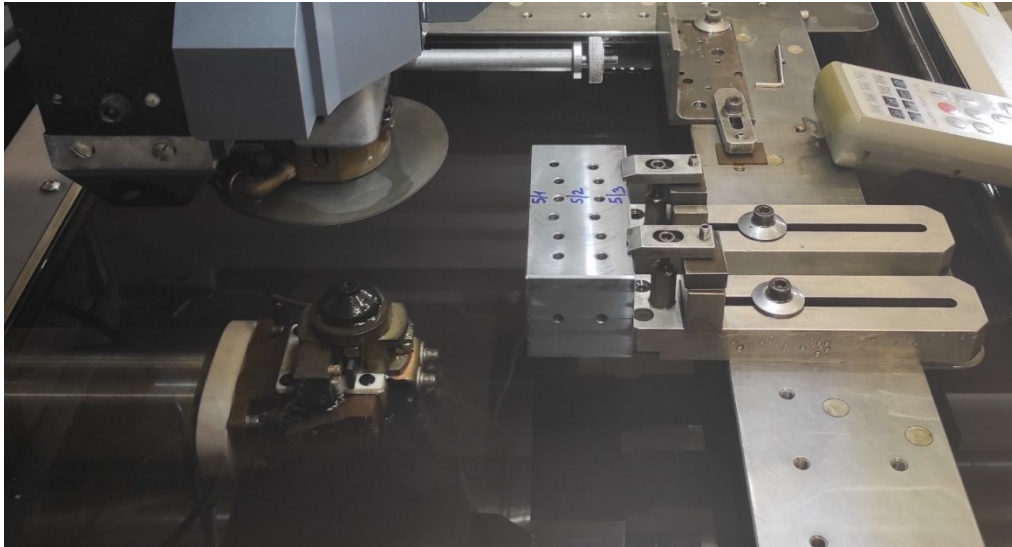
Na obr. 50 je zobrazen příklad upnutí při vrtání dlouhé díry. Vrtání děr bylo provedeno na CNC stroji MCFV 2080 od firmy Tajmac.



*Obr. 50 Upnutí testovací kostky během vrtání*

Poté, co došlo k vyvrtání všech otvorů, byly kostky následně rozřezány pomocí elektrojiskrového řezání. Příklad upnutí kostky během elektrojiskrového řezání je zobrazen na obr. 51. Elektrojiskrové řezání bylo použito z toho důvodu, aby se docílilo lepšího pohledu na spoje vrtaných kanálů a zároveň došlo k co nejmenšímu porušení vzniklých otřepů.





*Obr. 51 Upnutí testovací kostky během elektrojiskrového řezání*

### **7.3 Použité nástroje**

Během vrtání byly použity dva druhy vrtáků - tvrdokovový vrták s vnitřním chlazením a vrták z rychlořezné oceli.

Velkou výhodou tvrdokovového vrtáku je velká produktivita práce. U tohoto typu vrtáku byla řezná rychlost u některých vrtaných materiálů až 5krát vyšší než v případě vrtáků z rychlořezné oceli. Jeho velkou nevýhodou je však to, že nemohl být použit v případě, že se dlouhá díra napojovala na již předvrtané menší díry. V takovém případě by totiž vnitřní chlazení ztrácelo svůj efekt a nedocházelo by k dostatečnému vyplachování místa řezu. Tím by došlo k ucpaní vrtané díry a k následnému poškození nástroje. Také se předpokládalo, že v místě spoje by vrták ztrácel záběr a celý proces vrtání by byl rázovitý. Jelikož se jedná o vrták velmi křehký, rázovitý průběh vrtání by u něj měl za následek jeho poškození. Z toho důvodu se u vrtání dlouhých děr napojujících na již předvrtané kratší díry musel použít méně produktivní vrták z rychlořezné oceli.

## 8 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V následující kapitole jsou rozepsány výsledky měření u jednotlivých testovacích kostek. Pro vyhodnocení výsledků byl zvolen tří stupňový systém hodnocení vzniklých otřepů. V tabulkách jsou červenou barvou zaznačeny díry, ve kterých vzniklo velké množství otřepů. Žlutou barvou jsou poté označeny díry, ve kterých se otřepy vyskytovaly, ale ne ve velkém množství. A zelenou barvou jsou označeny díry, ve kterých vzniklo minimální množství otřepů, nebo žádné otřepy.

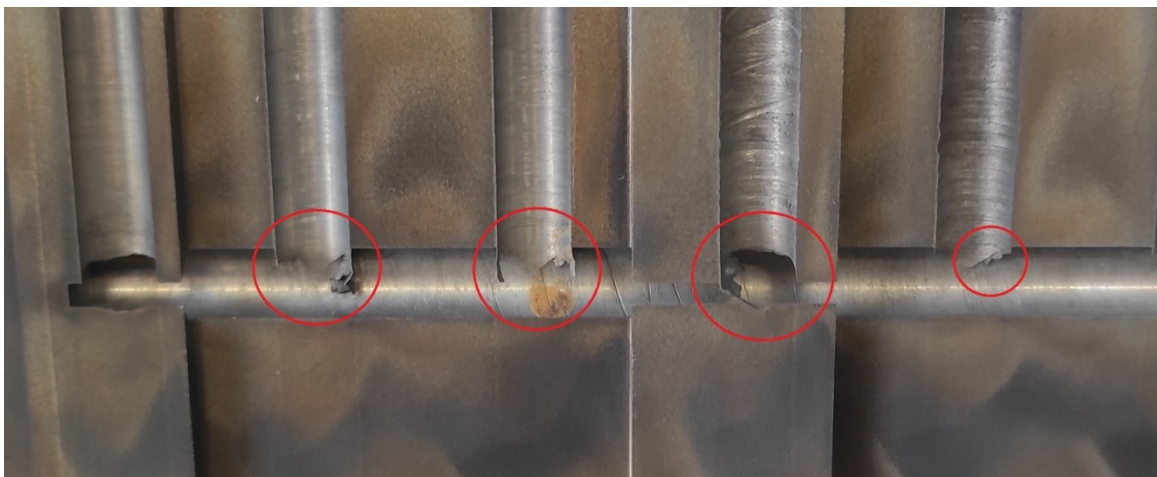
U některých děr dále došlo ke změně rezných parametrů a to konkrétně  $f_n$  a  $v_f$ , tyto parametry se vždy snížily o 2/3. Tato změna ovšem byla pouze v místě průniku.

### 8.1 Materiál ČSN 11 523

Jako první testovaný materiál, který byl použit, byl materiál ČSN 11 523. Měření bylo provedeno na kostce s rozměry 60x60x130 mm.

#### 8.1.1 Materiál ČSN 11 523 – postup 1

Na obr. 52 je znázorněn detailní pohled na testovací kostku č. 1 s vyznačenými otřepy, které u této kostky vznikly.



*Obr. 52 Testovací kostka č. 1*

V tomto případě se jedná o postup vrtání, při kterém nejdříve došlo k vyvrtání hlavního kanálu a až poté k vyvrtání kanálů vedlejších.

Tab. 3 Řezné parametry u testovací kostky č. 1 – postup 1

kanál	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ano	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ano	tvrdokovový ø6
hlavní	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6

V tab. 3 jsou vypsány jednotlivé řezné parametry a použité nástroje u všech děr. Jak lze vidět v případě tohoto postupu a tohoto materiálu vzniklo značné množství otřepů. Z tab. 3 lze také vyčíst, že při změně řezných parametrů v místě průniku nedošlo ke změnám, co se vzniku otřepů týče.

### 8.1.2 Materiál ČSN 11 523 – postup 2

V tab. 4 jsou vypsány jednotlivé řezné parametry a použité nástroje u všech děr. V tomto případě se stále jedná o testovací kostku č. 1 z materiálu ČSN 11 523. Ovšem jedná se o opačný postup výroby kanálů. Nejdříve tedy byly vyvrtány kanály vedlejší a na ně se až napojil kanál hlavní.

Tab. 4 Řezné parametry u testovací kostky č. 1 – postup 2

kanál	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
hlavní	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6

Při porovnání tab. 3 a 4 lze vidět, že při tomto postupu vrtání, vzniklo značně menší množství otřepů než v případě předchozím.

## 8.2 Materiál ČSN 11 523 – snížené řezné parametry

Stejně jako v předchozím případě, tak i u této testovací kostky byl použit materiál ČSN 11 523 s rozměry 60x60x130 mm. Testovací kostky č. 1 a 2 jsou tedy stejné. Rozdíl mezi touto testovací kostkou a testovací kostkou č. 1 je pouze v tom, že u této testovací kostky došlo ke snížení řezných parametrů v případě průniků u hlavního kanálu při druhém postupu vrtání.

### 8.2.1 Materiál ČSN 11 523 – snížené řezné parametry – postup 1

Na obr. 54 je znázorněn detailní pohled na testovací kostku č. 2, kde jsou znázorněné otřepy, které u tohoto postupu vrtání vznikly.



Obr. 53 Testovací kostka č. 2 pohled 1

Jednotlivé řezné parametry a použité nástroje jsou rozepsány v tab. 5. Jedná se o postup výroby, při kterém došlo nejdříve k vyvrtání kanálu hlavního a až poté k vyvrtání kanálů vedlejších.

Tab. 5 Řezné parametry u testovací kostky č. 2 – postup 1

kanál	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný $\varnothing 6$
vedlejší	20	1060	0,09	95	ano	rychlořezný $\varnothing 6$
vedlejší	20	1060	0,09	95	ano	rychlořezný $\varnothing 6$
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový $\varnothing 6$
vedlejší	90	4770	0,12	572	ano	tvrdokovový $\varnothing 6$
vedlejší	90	4770	0,12	572	ano	tvrdokovový $\varnothing 6$
hlavní	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový $\varnothing 6$

Stejně jako v případě předchozí testovací kostky lze vidět, že při tomto postupu výroby vzniklo značné množství otřepů. Ovšem u této testovací kostky lze vidět, že u tvrdokovového vrtáku vzniklo méně otřepů při snížených řezných parametrech v místě průniku.

### 8.2.2 Materiál ČSN 11 523 – snížené řezné parametry – postup 2

Na obr. 55 je znázorněn detailní pohled na testovací kostku č. 2. Jedná o postup vrtání, při kterém byly nejdříve vyvrtány kanály vedlejší a následně na ně byl napojen kanál hlavní. Jak lze vidět na obr. 54, u této kostky došlo k zatlačení otřepů do spodní části krátkých děr.



Obr. 54 Testovací kostka č. 2 pohled 2

Jednotlivé řezné parametry a použité nástroje jsou rozepsány v tab. 6.

Tab. 6 Řezné parametry u testovací kostky č. 2 – postup 2

kanál	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$vc$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný $\varnothing 6$
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný $\varnothing 6$
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný $\varnothing 6$
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový $\varnothing 6$
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový $\varnothing 6$
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový $\varnothing 6$
hlavní	20	1060	0,09	95	ano	rychlořezný $\varnothing 6$

Opět lze v tab. 6 vidět, že při tomto postupu výroby kanálů vzniká méně otřepů než v případě předchozího postupu. Také při porovnání tab. 4 a 6 lze vidět, že snížením řezných parametrů v místě průniků nedochází k velkým změnám, což se vzniku otřepů týče.

### 8.3 Materiál ČSN 12 050

U testovací kostky č. 3 byl použit materiál ČSN 12 050. Kostka měla opět rozměry 60x60x130 mm.

#### 8.3.1 Materiál ČSN 12 050 – postup 1

Řez testovací kostkou č. 3 je zobrazen na obr. 55.



Obr. 55 Testovací kostka č. 3

Jednotlivé řezné parametry a použité nástroje jsou rozepsány v tab. 7. Jedná se o postup výroby, při kterém nejdříve byl vyvrtán kanál hlavní a až poté na něj byly napojeny kanály vedlejší.

Tab. 7 Řezné parametry u testovací kostky č. 3 – postup 1

kanál	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ano	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ano	tvrdokovový ø6
hlavní	90	4770	0,12	572	ano	tvrdokovový ø6

Na rozdíl od testovacích kostek č. 1 a 2 u této testovací kostky nedošlo k tak velkému vzniku otřepů během tohoto postupu vrtání. Navíc lze vidět, že u této testovací kostky došlo ke změně při snížení řezných parametrů. Tento rozdíl je nejvíce patrný u vedlejších kanálů vrtaných tvrdokovovým vrták, kdy při sníženém posuvu vzniklo méně otřepů.

### 8.3.2 Materiál ČSN 12 050 – postup 2

Stejně jako u předchozích testovacích kostek, i u této testovací kostky byl použit opačný postup výroby kanálů. Jednotlivé řezné parametry a použité nástroje jsou zapsány v tab. 8.

Tab. 8 Řezné parametry u testovací kostky č. 3 – postup 2

kanál	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
hlavní	20	1060	0,09	95	ano	rychlořezný ø6

Při porovnání tab. 7 a 8 lze opět vidět, že při postupu vrtání, kdy se nejdříve vrtaly kanály vedlejší a až poté se na ně napojil kanál hlavní, vzniklo méně otřepů. Tento rozdíl ovšem není tak velký jako v případě materiálu ČSN 11 523.

## 8.4 Materiál ČSN 19 520

V případě testovací kostky č. 4 byl použit materiál ČSN 19 520. Jedná se o jeden z nejtvrdějších materiálů, který byl během měření použit. Opět byla použita testovací kostka s rozměry 60x60x130 mm.

### 8.4.1 Materiál ČSN 19 520 – postup 1

Na obr. 56 je znázorněn řez testovací kostkou č. 4. Jedná se o postup výroby, při kterém došlo nejdříve k vyvrtání kanálu hlavního a až poté k napojení kanálů vedlejších.



Obr. 56 Testovací kostka č. 4

Jednotlivé řezné parametry a použité nástroje jsou rozepsány v tab. 9.

Tab. 9 Řezné parametry u testovací kostky č. 4 – postup 1

č. díry	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný $\varnothing 6$
vedlejší	15	800	0,09	72	ano	rychlořezný $\varnothing 6$
vedlejší	15	800	0,09	72	ano	rychlořezný $\varnothing 6$
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový $\varnothing 6$
vedlejší	75	3980	0,13	520	ano	tvrdokovový $\varnothing 6$
vedlejší	75	3980	0,13	520	ano	tvrdokovový $\varnothing 6$
hlavní	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový $\varnothing 6$

V tab. 9 lze vidět, že v případě tohoto materiálu vzniklo velmi malé množství otřepů. Také lze vidět, že při snížených řezných parametrech u tvrdokovového vrtáku došlo ke vzniku menšího množství otřepů.

#### 8.4.2 Materiál ČSN 19 520 – postup 2

Na obr. 57 je znázorněn řez testovací kostkou č. 4, ve kterém nejdříve došlo k vyvrtání vedlejších kanálů a až poté k vyvrtání kanálu hlavního. Jak lze vidět na obr. 57, nedošlo k úplnému vyvrtání hlavního kanálu, navíc muselo dojít k vrtání tohoto kanálu z opačné strany. Z důvodu zalomení vrtáku z rychlořezné oceli. K zalomení vrtáku došlo z důvodu uvolnění vrtáku z kuželového pouzdra.



Obr. 57 Testovací kostka č. 4 pohled 2

Jednotlivé řezné parametry a použité nástroje jsou rozepsány v tab. 10.



Tab. 10 Řezné parametry u testovací kostky č. 4 – postup 2

č. díry	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový ø6
hlavní	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6

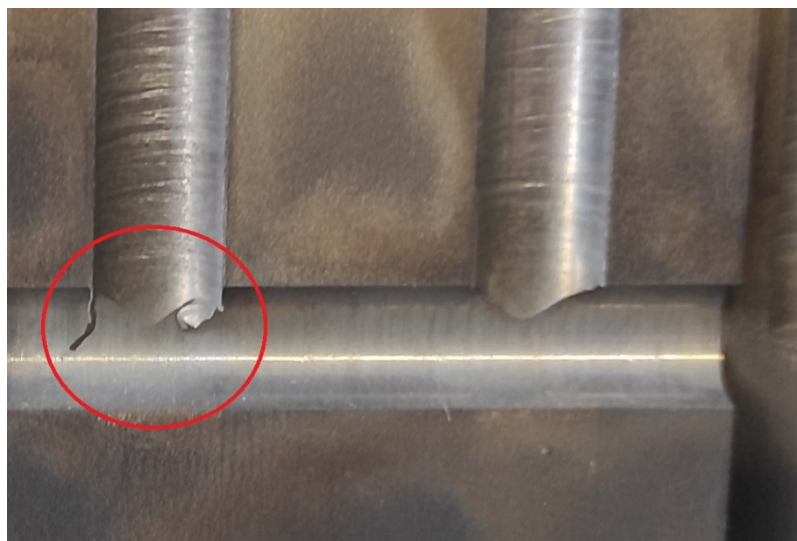
I přesto, že v případě této testovací kostky je měření ovlivněno zalomeným vrtákem, lze z tab. 10 vyčíst, že v případě změny postupu vrtání nedochází k velkým rozdílům, co se vzniklých otřepů týče. U tohoto materiálu lze zatím říct, že výsledky jsou neoptimalnější. V obou případech totiž vzniklo minimum otřepů a jakost děr je taktéž příznivá. Jelikož se však jedná o tvrdý materiál, řezné parametry musely být značně menší. Z toho vyplývá, že produktivita značně klesla.

## 8.5 Materiál ČSN 15 142

Pro testovací kostku č. 5 byl použit materiál ČSN 15 142 s rozměry 60x60x130 mm.

### 8.5.1 Materiál ČSN 15 142 – postup 1

Na obr. 58 je zobrazen detailní pohled na řez testovací kostkou č. 5. Konkrétně na obr. 58 lze vidět zaznačený otřep vzniklý ve vedlejším kanále.



Obr. 58 Testovací kostka č. 5

V rámci měření opět došlo k vyvrtání kanálu hlavního a až poté k vyvrtání kanálů vedlejších. Jednotlivé řezné parametry a použité nástroje jsou rozepsány v tab. 11.

Tab. 11 Řezné parametry u testovací kostky č. 5 – postup 1

č. díry	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	13	690	0,09	62	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	13	690	0,09	62	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	13	690	0,09	62	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	65	3450	0,1	345	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	65	3450	0,1	345	ano	tvrdokovový ø6
vedlejší	65	3450	0,1	345	ano	tvrdokovový ø6
hlavní	65	3450	0,1	345	ne	tvrdokovový ø6

Jak lze v tab. 11 vidět, při tomto postupu výroby opět vzniklo poměrně velké množství otřepů. Také lze vidět, že u vedlejších kanálů vrtaných tvrdokovovým vrtákem, při změně řezných parametrů v místě průniku, vzniklo méně otřepů.

### 8.5.2 Materiál ČSN 15 142 – postup 2

I v případě této testovací kostky došlo k použití druhého postupu výroby kanálů. Tedy k postupy, při kterém byly nejdříve vyvrtány kanály vedlejší, na které se následně napojil kanál hlavní.

Jednotlivé řezné parametry a použité nástroje jsou zapsány v tab. 12.

Tab. 12 Řezné parametry u testovací kostky č. 5 – postup 2

č. díry	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	13	690	0,09	62	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	13	690	0,09	62	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	13	690	0,09	62	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	65	3450	0,1	345	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	65	3450	0,1	345	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	65	3450	0,1	345	ne	tvrdokovový ø6
hlavní	11	580	0,05	29	ne	rychlořezný ø6

Jak lze vidět při porovnání tab. 11 a 12, při druhém postupu výroby vrtaných kanálů vzniklo opět menší množství otřepů.

## 8.6 Materiál ČSN 15 142 – snížené řezné parametry

U testovací kostky č. 6 byl použit opět materiál ČSN 15 142 s rozměry 60x60x130 mm jako u testovací kostky č. 5. Stejně tak byly použity i stejné řezné parametry jako u předchozí testovací kostky. Ovšem u tvrdokovového vrtáku byl snížen posuv na zub z  $f_n = 0,1 \text{ m/ot}$  na  $f_n = 0,08 \text{ m/ot}$ .

### 8.6.1 Materiál ČSN 15 142 – snížené řezné parametry – postup 1

Na obr. 59 je zobrazen řez testovací kostkou č. 6.



Obr. 59 Testovací kostka č. 6

Jednotlivé řezné parametry a použité nástroje jsou rozepsány v tab. 13. Opět se jedná o postup, při kterém došlo nejdříve k vyvrtání kanálu hlavního a až poté k vyvrtání kanálů vedlejších.

Tab. 13 Řezné parametry u testovací kostky č. 6 – postup 1

č. díry	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	13	690	0,09	62	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	13	690	0,09	62	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	13	690	0,09	62	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	65	3450	0,08	345	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	65	3450	0,08	345	ano	tvrdokovový ø6
vedlejší	65	3450	0,08	345	ano	tvrdokovový ø6
hlavní	65	3450	0,08	345	ne	tvrdokovový ø6

V tab. 13 lze opět vidět, že při tomto postupu výroby vzniklo velké množství ořepů. Při porovnání děr od tvrdokovového vrtáku u testovacích kostek č. 5 a 6 nelze vidět příliš velký rozdíl při použití posuvu na zub  $f_n = 0,1 \text{ m/ot}$  a  $f_n = 0,08 \text{ m/ot}$ .

### 8.6.2 Materiál ČSN 15 142 – snížené řezné parametry – postup 2

Opět došlo k použití druhého postupu výroby vrtaných kanálů, při kterém došlo nejdříve k vyvrtání kanálů vedlejší a až poté k vyvrtání kanálů hlavního. Jednotlivé řezné parametry a použité nástroje jsou rozepsány v tab. 14. I v případě tohoto postupu výroby byl u tvrdokovového vrtáku snížen posuv na zub z  $f_n = 0,1 \text{ m/ot}$  na  $f_n = 0,08 \text{ m/ot}$ .

Tab. 14 Řezné parametry u testovací kostky č. 6 – postup 2

č. díry	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	13	690	0,09	62	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	13	690	0,09	62	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	13	690	0,09	62	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	65	3450	0,08	345	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	65	3450	0,08	345	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	65	3450	0,08	345	ne	tvrdokovový ø6
hlavní	11	580	0,05	29	ne	rychlořezný ø6

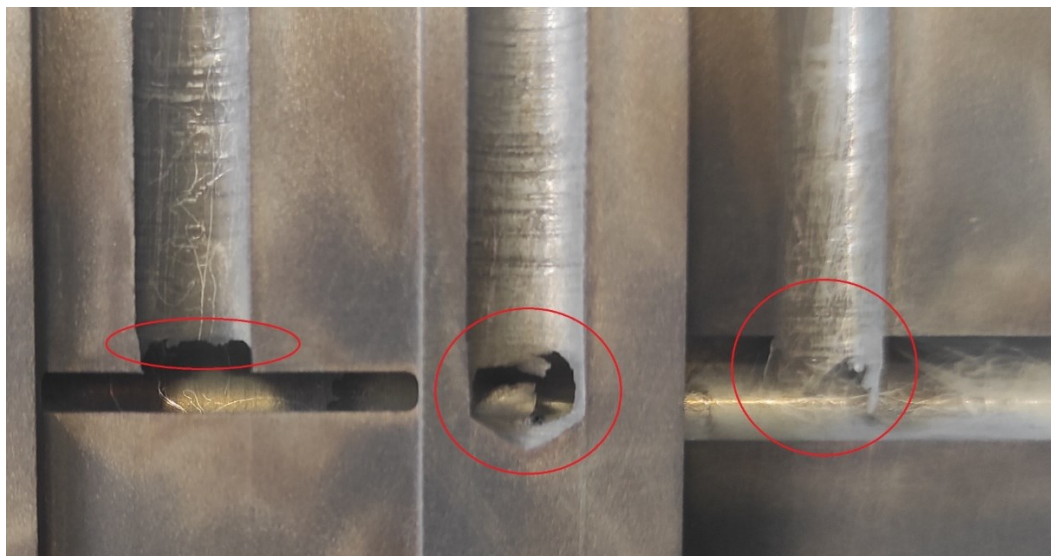
Stejně jako v případě předchozích testovacích kostek, i u této lze při porovnání tab. 13 a 14 vidět, že při druhém postupu výroby vzniklo menší množství otřepů. Ani u tohoto postupu výroby nelze vidět příliš velký rozdíl při použití posuvu na zub  $f_n = 0,1 \text{ m/ot}$  a  $f_n = 0,08 \text{ m/ot}$  u tvrdokovového vrtáku.

## 8.7 Materiál ČSN 12 050

Testovací kostka č. 7 byla opět vyrobena z materiálu ČSN 12 050, ovšem její rozměry byly 60x60x300 mm.

### 8.7.1 Materiál ČSN 12 050 – postup 1

Na obr. 60 je zobrazen detailní pohled na testovací kostku č. 7, kde jsou vyznačené vzniklé otřepy u vedlejších kanálů.



Obr. 60 Testovací kostka č. 7 pohled 1

Opět byl prvně použit postup výroby, při kterém se nejdříve vrtal hlavní kanál a až poté se na něj napojily kanály vedlejší. V tab. 15 jsou zaznačeny jednotlivé řezné parametry a použité nástroje. V případě hlavního kanálu nebylo možné díru vyvrtat pouze jedním vrtákem. Délka díry je totiž už tak velká, že by došlo k poškození vrtáku. Proto muselo nejdříve dojít k předvrtání díry.

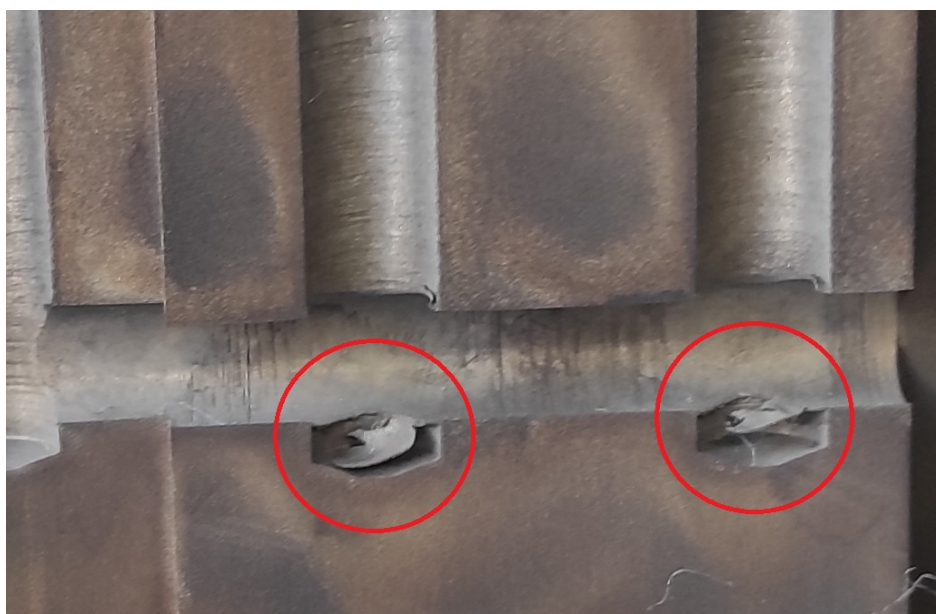
Tab. 15 Řezné parametry u testovací kostky č. 7 – postup 1

č. díry	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ano	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ano	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ano	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
hlavní	85	4500	0,16	700	ne	tvrdokovový ø6 L 120
hlavní	85	4500	0,12	540	ne	tvrdokovový ø6 L 300

Jak lze vidět v tab. 15 v případě tohoto postupu výroby a tohoto materiálu opět vzniklo velké množství otřepů. Taktéž lze vidět, že u děr vrtaných tvrdokovovým vrtákem vzniklo méně otřepů při snížené řezné rychlosti v místě průniku.

### 8.7.2 Materiál ČSN 12 050 – postup 2

Na obr. 61 je znázorněn detailní pohled na řez testovací kostkou č. 7, ve kterém byl použit druhý postup výroby vrtaných kanálů. Při tomto postupu opět došlo nejdříve k vyvrtání vedlejších kanálů a následného vyvrtání kanálu hlavního. Jak lze vidět, při tomto způsobu vrtání docházelo k zatlačení otřepů do spodní části krátké díry.



*Obr. 61 Testovací kostka č. 7 detailní pohled 2*

V tab. 16 jsou zaznačeny jednotlivé řezné parametry a použité nástroje. Stejně jako v předchozím případě, i u tohoto postupu nebylo možné hlavní kanál vyvrtat pouze jedním vrtákem. Ovšem v tomto případě musely být použity tři vrtáky. Tento kanál byl totiž vrtán rychlořezným vrtákem a ten na rozdíl od tvrdokovového vrtáku není tak tvrdý a tuhý, proto u něj dochází k větším vibracím.

Tab. 16 Řezné parametry u testovací kostky č. 7 – postup 2

č. díry	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	20	1060	0,09	95	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	90	4770	0,12	572	ne	tvrdokovový ø6
hlavní	13	690	0,05	34	ano	rychlořezný ø6 L 120
hlavní	13	690	0,035	25	ano	rychlořezný ø6 L 220
hlavní	13	690	0,035	25	ano	rychlořezný ø6 L 300

V tab. 16 lze opět vidět, že změnou postupu vrtání došlo k menšímu vzniku otřepů. Ovšem při použití tohoto postupu dochází k zatlačování otřepů do spodní části vedlejších kanálů.

## 8.8 Materiál ČSN 19 520

V případě testovací kostky č. 8 byl použit materiál ČSN 19 520. Rozměry kostky byly opět 60x60x300 mm.

### 8.8.1 Materiál ČSN 19 520 – postup 1

Na obr. 62 je zobrazen řez testovací kostkou č. 8.



Obr. 62 Testovací kostka č. 8

V rámci měření opět došlo nejdříve k vyvrtání kanálu hlavního a následného napojení kanálů vedlejších. Tab. 17 jsou vypsány jednotlivé řezné podmínky a použité nástroje. Stejně jako

v případě testovací kostky č. 7 i u této kostky nebylo možné hlavní kanál vyvrtat pouze jedním vrtákem.

Tab. 17 Řezné parametry u testovací kostky č. 8 – postup 1

č. díry	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	15	800	0,09	72	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	15	800	0,09	72	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	15	800	0,09	72	ano	rychlořezný ø6
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ano	tvrdokovový ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ano	tvrdokovový ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ano	tvrdokovový ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový ø6
hlavní	72	3800	0,16	592	ne	tvrdokovový ø6 L 120
hlavní	72	3800	0,13	497	ne	tvrdokovový ø6 L 300

Jak lze vidět v tab. 17, u tohoto materiálu nedošlo k velkému výskytu ořepů. Stejně jako u testovací kostky č. 4, lze říct, že v případě tohoto materiálu jsou výsledky nejpříznivější.

### 8.8.2 Materiál ČSN 19 520 – postup 2

I v případě této testovací kostky byl použit druhý postup výroby vrtaných kanálů, při kterém došlo nejdříve k vyvrtání kanálů vedlejších a následnému vyvrtání kanálu hlavního. Jednotlivé řezné podmínky a použité nástroje jsou vypsány v tab. 18.



Tab. 18 Řezné parametry u testovací kostky č. 8 – postup 2

č. díry	řezné parametry při vrtání				změna řezných parametrů při průniku	nástroj
	$v_c$ [m/min]	$n$ [ot/min]	$f_n$ [m/ot]	$v_f$ [m/min]		
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	15	800	0,09	72	ne	rychlořezný ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový ø6
vedlejší	75	3980	0,13	520	ne	tvrdokovový ø6
hlavní	13	690	0,05	35	ano	rychlořezný ø6 L 120
hlavní	11	580	0,04	23	ano	rychlořezný ø6 L 220
hlavní	9	480	0,025	12	ano	rychlořezný ø6 L 300

Při porovnání tab. 18 a 19, lze říct, že u tohoto materiálu nedochází k výrazným změnám při změně postupu vrtání. Ovšem řezné parametry musely být značně menší než v případě jiných testovacích kostek.

## 8.9 Vliv postupu vrtání

V případě, že se nejdříve vrtaly kanály vedlejší, na které se následně napojil kanál hlavní, vznikala problém. Vrták během tohoto postupu vrtání měl tendenci „uhýbat“. Neboli vrtat mimo svou osu. Tento rozdíl lze vidět na obr. 63, kde úchylkoměr ukazuje na konci dlouhé díry hodnotu 0 a na obr. 64 je rozdíl na začátku díry tak velký, že pomocí úchylkoměru ho nelze změřit.



*Obr. 63 Nastavení úchylkoměru*



*Obr. 64 Poloha úchylkoměru na začátku díry*

Jelikož vzniklý rozdíl nešel změřit pomocí úchylkoměru, musel být použit digitální výškoměr. Jak lze vidět na obr. 65, rozdíl mezi polohou na začátku a na konci díry je 1,7 mm. Tento rozdíl je naměřen u kostky s délkou 300 mm.



*Obr. 65 Hodnota výšky na začátku díry*

V případě opačného postupu vrtání, kdy se nejdříve vrtal kanál hlavní a na něj se následně napojily kanály vedlejší, vznikl rozdíl v poloze na začátku a na konci díry pouze 0,3 mm. U kratších kostek byly tyto rozdíly o něco menší. U opačného postupu, kdy se vrtal nejdříve kanál hlavní, na který se napojily kanály vedlejší, byl vzniklý rozdíl polohy na začátku a na konci díry 0,06 mm. Při opačném postupu vrtání byl vzniklý rozdíl polohy 1,3 mm.

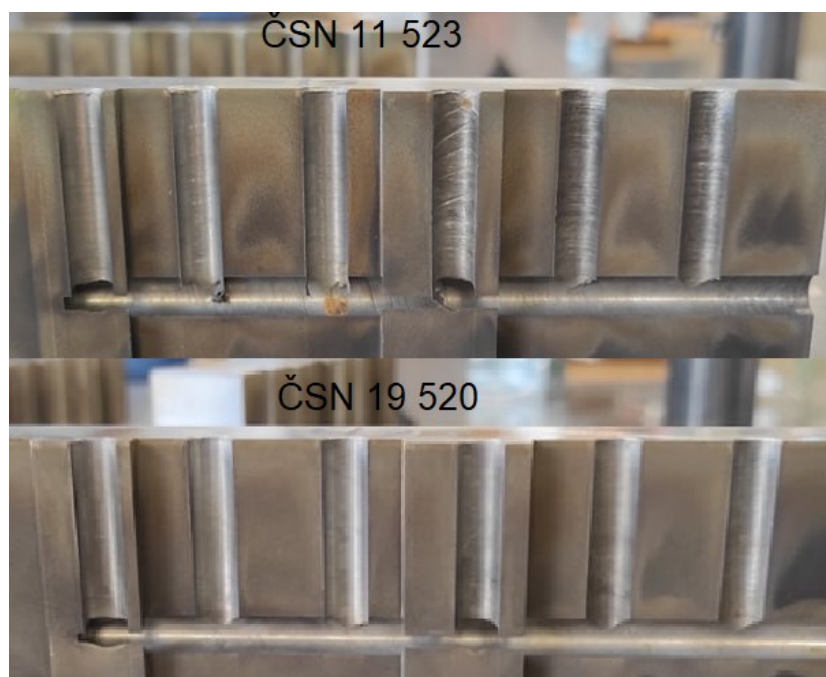
## 9 DISKUZE VÝSLEDKŮ

V první řadě byl zkoumán vliv vrtaného materiálu na vznik otřepů. Vybrané vlastnosti použitých materiálů jsou vypsány v tab. 19.

Tab. 19 Vlastnosti použitých materiálů

Ocel [ČSN]	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_e$ [MPa]	tvrdost HB
11 523	520 - 628	333	max. 274
12 050	min. 530	305	max 225
15 142	980 - 1180	765	300 - 360
19 520	960	850	300

Z experimentu vyplývá, že čím je materiál houževnatější, tím vznikají větší otřepy, které se následně musejí odstraňovat. Ocel ČSN 11 523 dopadla tedy nejhůře. Naopak u oceli ČSN 19 520 nevznikaly skoro žádné otřepy. Tento rozdíl lze vidět na obr. 66. Ovšem u tvrdších ocelí vznikají jiné problémy. Tyto problémy se týkají převážně obrobitelnosti. Čím je materiál tvrdší, tím menší řezné parametry musejí být použity, a tím se snižuje produktivita. Při obrábění tvrdých materiálů také dochází k většímu opotřebení nástrojů. V případě oceli ČSN 12 050 vzniklo méně otřepů než u oceli ČSN 11 523. Na druhou stranu vyvrtané díry měly horší jakost povrchu. U oceli ČSN 15 142 vzniklo opět o něco méně otřepů než u oceli ČSN 12 050 i jakost vyvrtaných děr byla lepší, ale nedosahovala kvality jako ocel ČSN 19 520.



Obr. 66 Rozdíl mezi ČSN 11 523 a ČSN 19 520

Dále byl zkoumán vliv nástroje na vznik otřepů. V tomto případě nedošlo k velkým rozdílům, co se týče otřepů. Jediný rozdíl byl v produktivitě práce. Zatímco vrták z rychlořezné oceli byl značně méně produktivní, vrták z tvrdokovu byl několikanásobně produktivnější. Ovšem nevýhodou vrtáku z tvrdokovu je to, že s ním nelze vrtat dlouhé díry, které se napojují na již předvrtané díry. To je způsobeno potřebou vnitřního výplachu.

U každého materiálu musely být navrhnuty a vypočítány řezné podmínky. Zpravidla nelze všechny materiály obrábět stejnými řeznými podmínkami. Platí, že čím je materiál tvrdší, tím musejí být řezné podmínky menší. U některých děl se dále navrhly snížené řezné parametry při průniku. Konkrétně se snižovala rychlost posuvu a posuv na otáčku. Jak rychlost posuvu, tak posuv na otáčku se snižovaly o dvě třetiny.

V případě oceli ČSN 11 523 nedošlo ani u jednoho z vrtáků k výrazným změnám při snížených řezných parametrech. To je způsobeno tím, že se jedná o houževnatý materiál a tříska nemá tendenci se lámat. Ovšem u oceli ČSN 12 050 došlo u tvrdokovového vrtáku ke změně. V momentě kdy, došlo ke snížení řezných parametrů v místě průniku, došlo i ke snížení vzniku otřepů. Ovšem u rychlořezného vrtáku ke změně nedošlo. Ke stejnému výsledku se došlo i při oceli ČSN 15 142. Opět u tvrdokovového vrtáku došlo ke snížení vzniku otřepů v případě menších řezných parametrů. Ovšem při použití rychlořezného vrtáku nedošlo k žádným změnám. Naopak u oceli ČSN 19 520 nedošlo ani u jednoho z vrtáků k žádným změnám.

Při snížení řezných parametrů došlo tedy ke změně pouze u tvrdokovového vrtáku a pouze u oceli ČSN 12 050 a ČSN 15 142. Ke snížení vzniku otřepů došlo z toho důvodu, že vrták má více času třísku odebrat a pomocí vnitřního výplachu ji dostat ven z místa řezu. Ovšem u materiálů, které jsou příliš houževnaté, k žádným změnám nedojde. Stejně tak u tvrdých materiálů k žádným změnám nedojde. Ke změnám nedojde z toho důvodu, že tříska se má tendenci už od začátku více lámat a tím dochází k lepšímu vyplachování třísek z místa řezu.

V neposlední řadě byl zkoumán vliv postupu vrtání na vznik otřepů. Z výsledků lze říct, že v momentě, kdy se nejdříve vyvrtají kanály vedlejší a na ně se následně napojí kanál hlavní, vznikají menší otřepy. K těmto výsledkům se došlo u všech testovaných materiálů. Největší rozdíl byl viděn u oceli ČSN 11 523. Tento rozdíl je zobrazen na obr. 67. Naopak nejmenší rozdíl vznikl v případě oceli ČSN 19 520.



*Obr. 67 Rozdíl při změně postupu vrtání u materiálu ČSN 11 523*

Ovšem při opačném postupu vrtání má vrták tendenci „uhýbat“. Z toho tedy vyplývá, že při změně postupu vrtání se značně sníží množství vzniklých otřepů, ale vzniká velká nepřesnost vrtání. S touto nepřesností také vzniká riziko, že se neprotnou kanály, které se mají protnout, nebo naopak se protnou dva kanály, které se protnout nemají. Tento problém může nastat zejména u delších děr. To lze ovšem vyřešit tím, že by se kanály, které se mají protnout, vrtaly v rozdílných hloubkách, a až poté se propojily kratším spojovacím kanálem.

## 10 NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO ŘEŠENÍ

Po vyhodnocení výsledků měření bylo navrženo nové technologické řešení výroby upínacích přípravků. Jelikož se v případě upínacích přípravků jedná o výrobu kusovou, tak produktivita práce nehraje významnou roli a je zejména důležité se zaměřit na kvalitu a spolehlivost upínacích přípravků. Z toho důvodu je vhodnější pro výrobu upínacích přípravků, zejména základních desek, použít oceli vyšší kvality. Tyto oceli jsou tvrdší a mají menší tendenci nechávat ve vyvrtaných kanálech otřepy, které by bylo potřeba odstraňovat. Ovšem při použití těchto ocelí se sníží produktivita a zvýší se cena upínacího přípravku. Avšak odpadá potřeba mechanického odstraňování otřepů z těžce dostupných míst upínacího přípravku.

V rámci menší dílců je taktéž vhodné použít metodu výroby děr, při které nejdříve dojde k vyvrtání vedlejších kanálů a na ně se až napojí kanál hlavní. V případě větších dílců tato metoda už není vhodná, z toho důvodu, že s rostoucími rozměry dílce roste i nepřesnost vrtání, která může vést až k nepropojení kanálů, které se propojit mají anebo naopak k propojení kanálů, které se propojit nemají.

Co se týče nástrojů, tak je vhodné dále používat tvrdokovové vrtáky, tam kde je to možné. Z toho důvodu, že zaručují vyšší produktivitu než vrtáky z rychlořezné oceli. U rychlořezných vrtáků je taktéž vhodné snížit řezné parametry v místě průniku, aby měl nástroj více času na odstranění třísky a její výplach z místa řezu.

Na základě zjištěných skutečností navrhuji výrobu základních desek z materiálu ČSN 19 520 běžnou metodou vrtání, při které se nejdříve vyvrtá kanál hlavní a na něj se následně napojí kanály vedlejší. V případě výroby menších součástí upínacího přípravku je naopak vhodné použít materiál ČSN 11 523. Ovšem při použití metody výroby vrtaných kanálů, při které se nejdříve vyvrtají kanály vedlejší a na ně se následně napojí kanál hlavní. U těchto menších součástí, totiž nevznikne taková nepřesnost při použití této metody vrtání a docílí se snížení vzniku otřepů. V případě nástrojů doporučuji používat tvrdokovové vrtáky, s tím že v místě průniku je lepší snížit posuv na otáčku a rychlost posuvu o 2/3.

## ZÁVĚR

Cílem teoretické části diplomové práce bylo popsat a rozebrat problematiku obrábění a upínacích přípravků. V první části jsou popsány jednotlivé metody obrábění. Dále jsou popsány samotné upínací přípravky a upínání. Důležitou částí diplomové práce jsou zejména informace o konstrukci upínacích přípravků, jednotlivých částech upínacích přípravků a také o jednotlivých metodách upínání.

V rámci praktické části diplomové práce byl navrhnout upínací přípravek sloužící k upínání dané součásti. Celý návrh byl proveden v softwaru CATIA V5R19 za použití katalogů Roemheld a Hasco. Během konstrukce muselo nejdříve dojít k volbě vhodných upínacích a dosedacích ploch. Dále byla zvolena vhodná poloha dílce a vhodné hydraulické prvky. Při konstrukci upínacího přípravku došlo také k vhodnému návrhu drah hydraulických kanálů. Na závěr byla zhotovena výkresová dokumentace včetně všech nenormalizovaných prvků.

Praktická část diplomové práce se dále zabývá problematikou vrtaných kanálů. V této části byla provedena analýza současného stavu výroby upínacích přípravků. Aby mohlo dojít k návrhu nového postupu výroby, bylo provedeno měření, při kterém se zkoumal vznik otřepů za různých podmínek. Následně došlo k vyhodnocení výsledků tohoto měření.

Během měření se zkoumal vliv vrtaného materiálu, nástroje, rezných podmínek a postupu vrtání. Z měření vyplývá, že čím je vrtaný materiál tvrdší, tím jsou vzniklé otřepy menší. V případě nástrojů k velkým změnám nedocházelo. Jediný rozdíl byl v produktivitě práce. V tomto případě byl produktivnější vrták z tvrdokovu. Ovšem tímto vrtákem nelze vrtat dlouhé díry, které procházejí již vyvrtanými dírami. Další vliv, který se zkoumal, byl vliv rezných parametrů na tvorbu otřepů. Z měření vyplývá, že snížení rezných parametrů v místě průniku nemá žádný vliv na houževnaté a tvrdé materiály. Avšak v případě materiálů ČSN 12 050 a ČSN 15 142 došlo ke snížení otřepů v případě vrtání tvrdokovovým vrtákem. V momentě, kdy se v místě průniku sníží rezné parametry, má vrták více času na odebrání třísky a její výplach z místa řezu. V neposlední řadě se zkoumal vliv postupu vrtání. Během tohoto měření byly navrženy dva postupy vrtání. Při prvním postupu se nejdříve vyvrtala dlouhá díra a na ni se následně napojily díry kratší. V druhém případě byl postup opačný. Nejdříve se vyvrtaly díry krátké a na ně se následně napojila díra dlouhá. Co se týče vzniku otřepů, u všech testovacích kostek byly pozitivnější výsledky během druhého postupu. Ovšem tento postup má značnou nevýhodu. Tou je tendence vrtáku vrtat mimo svou osu.

V případě dlouhých kostek byl rozdíl polohy díry na začátku a na konci roven 1,7 mm. Z toho vyplývá, že tato metoda je vhodná pouze pro méně rozměrné součásti.

Na závěr celé praktické části bylo navrženo nové technologické řešení výroby upínacích přípravků. Z měření vyplývá, že pro výrobu upínacích přípravků, zejména základních desek je vhodnější použít materiály tvrdší. U nich totiž nedochází ke vzniku tak velkých otřepů jako v případě ocelí houževnatých. U dílců menších rozměru je naopak výhodnější použít postup vrtání, při kterém se nejdříve vyvrtají kanály vedlejší, a na ně se až napojí kanál hlavní. U rozměrově větších dílců tato metoda už není vhodná, jelikož by u nich rostla nepřesnost vrtaných děr. V případě nástrojů, je výhodné používat tvrdokovové vrtáky. Ty zaručují větší produktivitu práce než vrtáky z rychlořezné oceli.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] DENG, Y. A Theoretic Study on Cam-Clamping Device. Sanya, PEOPLES R CHINA. International Conference on Advanced Engineering Materials and Technology, 2011. ISBN 978-3-03785-194-4.
- [2] Základy soustružení. COPTEL [online]. [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: <https://coptel.cz/mod/resource/view.php?id=7741>
- [3] Základy frézování. COPTEL [online]. [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: <https://coptel.cz/mod/resource/view.php?id=7742>
- [4] JURKO, J. a LUKOVICS I. Vrtanie: technologická metóda výroby dier. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2007, 191 s. Edícia vedeckej a odbornej literatúry: Monografia. ISBN 9788073184889.
- [5] ŘASA, J.; GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3. Metody, stroje a nástroje pro obrábění, 2. vyd.; Scientia: Praha, 2005. ISBN 80-7183-337-1
- [6] CHLADIL, J. Přípravky a nástroje – část obrábění. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1993, ISBN 80-214-0408-6.
- [7] ZEMČÍK, O. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2336-6.
- [8] KOVÁČ, J., MIHOK, J.: Priemyselné inžinierstvo. Edícia vedeckej a odbornej literatúry, Sjf TU v Košiciach, 2013, ISBN 978-80-553-0806-7
- [9] DILLINGER, J. a kol. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Praha: Europa-Sobotáles cz, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [10] BÍLEK, O. a LUKOVICS I. Výrobní inženýrství a technologie. 2014. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [11] JERSÁK, J. Základní konvenční technologie obrábění PROTAHOVÁNÍ a PROTLAČOVÁNÍ. Educon [online]. [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: [http://educom.tul.cz/educom/inovace/TOB/VY\\_03\\_069-Z%C3%A1kladn%C3%AD%20konven%C4%8Dn%C3%AD%20tchgie%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD-PROTAHOV%C3%81N%C3%8D%20a%20PROTLA%C4%8COV%C3%81N%C3%8D\\_MZ\\_4.pdf](http://educom.tul.cz/educom/inovace/TOB/VY_03_069-Z%C3%A1kladn%C3%AD%20konven%C4%8Dn%C3%AD%20tchgie%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD-PROTAHOV%C3%81N%C3%8D%20a%20PROTLA%C4%8COV%C3%81N%C3%8D_MZ_4.pdf)
- [12] Clamping and clamping devices. Slideshare [online]. [cit. 2020-12-24]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/amrutarane5/clamping-and-clamping-devices>

- [13] Roemheld [online]. [cit. 2020-12-24]. Dostupné z: <https://www.roemheld-gruppe.de/>
- [14] Walker, John R. Machining fundamentals. Vyd. 10. Tinley Park, IL: The Goodheart-Willcox Company, Inc. 2019, 650 s. ISBN 9781635632088
- [15] JOSHI, P. H., Jigs and fixtures, Tata McGraw-Hill Education, 2010, ISBN: 978-00-706-8073-9
- [16] Introduction to JIGS AND FIXTURES. Nitc.ac.in [online]. [cit. 2020-12-25]. Dostupné z:  
[http://www.nitc.ac.in/dept/me/jagadeesha/mev303/CHAPT\\_INTRODUCTION\\_TO\\_JIGS\\_AND%20FIXTURES.pdf](http://www.nitc.ac.in/dept/me/jagadeesha/mev303/CHAPT_INTRODUCTION_TO_JIGS_AND%20FIXTURES.pdf)
- [17] Jigs and fixtures. Theunboxfactory [online]. [cit. 2020-12-25]. Dostupné z: <https://theunboxfactory.com/jigs-and-fixtures/>
- [18] Nee, John, G. Fundamentals of tool design. 2010. Dearborn, Mich. : Society of Manufacturing Engineers, c2010. ISBN 978-087263-867-9.
- [19] Erdel, Bert, P. High-Speed Machining. 2003. Dearborn, Mich. : Society of Manufacturing Engineers, 2003. ISBN 978-0-87263-649-1.
- [20] MELICHAR, J., BRADA, K. A BLÁHA, J. Hydraulické stroje: konstrukce a provoz. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 8001026574
- [21] PALÁT, H. Inovace. SSPU Opava [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: [https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/\\_sablony/STT\\_IV/VY\\_52\\_INOVACE\\_I-04-03.pdf](https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/STT_IV/VY_52_INOVACE_I-04-03.pdf)
- [22] KALPAKJIAN, S., SCHMID, S. a SEKAR, K. Manufacturing engineering and technology. 7th ed. in SI units. Jurong, Singapore: Pearson Education South Asia, c2014, xxviii, 1180 s. ISBN 9789810694067.
- [23] Soustužení. OSU [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lekce1.htm>
- [24] Frézování. Moodle Trebesin [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: [https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9915/mod\\_resource/content/0/FR%C3%89ZOV%C3%81N%C3%8D.pdf](https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9915/mod_resource/content/0/FR%C3%89ZOV%C3%81N%C3%8D.pdf)
- [25] Dokončovací způsoby obrábění. SST.Opava [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: [https://sst.opava.cz/pernikar/nove\\_www/nekonvencni\\_soubory/superfinisovani1.htm](https://sst.opava.cz/pernikar/nove_www/nekonvencni_soubory/superfinisovani1.htm)

- [26] Obrábění. *SPSS Brno* [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: [http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY\\_32\\_INOVACE\\_19-15.pdf](http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_19-15.pdf)
- [27] Hasco dako katalog 2015. *HASCO* [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://www.hasco.com>
- [28] HUMÁR, A. *Technologie I: technologie FSI, 2004.: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. 2003 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
- [29] *TECHNICKÁ MECHANIKA I - STATIKA* [online]. ING. FLORIAN, Zdeněk , CSc, Karel CSc. DOC. RNDR.PELLANT a Miroslav CSc. DOC. ING. SUCHÁNEK,. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: [http://www.umt.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/Tech\\_mech\\_I.pdf](http://www.umt.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/Tech_mech_I.pdf)
- [30] MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje*. 3. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2001, 188 s. ISBN 80-707-8941-7.
- [31] NOVOTNÝ, K. a ZEMČÍK O. *Přípravky a nástroje: Učební texty kombinovaného bakalářského studia*. Brno Vysoké učení technické; Fakulta strojního inženýrství, 2015.
- [32] NarexConsult. *Eshopnarexcon* [online]. [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://www.eshopnarexcon.cz/x27091/univerzalni-sklicidlo-m1-4-200-4-1m1-csn243801-tos-svitavy-204110>
- [33] Schachermayer. *Webshop* [online]. [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://webshop.schachermayer.com/cat/cs-CZ/product/upinaci-klestiny-system-er-din-6499-470-e-er-32-20-mm/109958928>
- [34] Strojírenská technologie. *Slideplayer* [online]. [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/14855797/>
- [35] Halder. *Halder* [online]. [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://www.halder.com/cz/Produkty/Normovane-dily/Strojni-a-zajistovaci-prvky/Zajistovaci-prvky/Upinace-s-plochou-vackou>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

IT – toleranční stupně

Ra – průměrná aritmetická odchylka profilu

v – rychlost

d – průměr

n – otáčky

mm – milimetr

μm – mikrometr

p – tlak

Q – průtok

l – litr

U – úspora v přímých mzdách

R – koeficient režie vlastní výroby

C – cena přípravku

K – životnost přípravku

B – rozdíl v nákladech na seřízení stroje s přípravkem a bez něho

n – počet výrobků vyrobených v jednom roce

k – koeficient bezpečnosti

f – koeficient kluzného tření

M – moment

r – poloměr

Q – upínací síla

P – výslednice řezných

3D – 3 rozměrný

kN – kilonewton

CNC – computer numerical control

ČSN – Česká technická norma

HSS – high speed steel

$f_n$  – posuv na otáčku

$v_f$  – rychlost posuvu

min – minuta

m – metr

ot – otáčka

x, y, z – osy souřadného systému

$R_m$  – mez pevnosti

$R_e$  – mez kluzu

MPa – megapascal

HB – tvrdost podle Brinella

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Princip soustružení [23]</i> .....	12
<i>Obr. 2 Princip frézování [24]</i> .....	13
<i>Obr. 3 Princip nesousledného frézování [3]</i> .....	14
<i>Obr. 4 Princip sousledného frézování [3]</i> .....	14
<i>Obr. 5 Protahovací trn [11]</i> .....	16
<i>Obr. 6 Princip superfinišování [25]</i> .....	17
<i>Obr. 7 Princip lapování [26]</i> .....	17
<i>Obr. 8 Ekonomičnost různých metod obrábění [22]</i> .....	18
<i>Obr. 9 Příklad mechanického upínání [12]</i> .....	21
<i>Obr. 10 Druhy upínek: a) plochá, b) sedlová, c) zahnutá, d) ve tvaru U [8]</i> .....	27
<i>Obr. 11 Univerzální sklíčidlo [32]</i> .....	27
<i>Obr. 12 Kleština [33]</i> .....	28
<i>Obr. 13 Princip výstředníku [34]</i> .....	28
<i>Obr. 14 Upínač s plochou vačkou [35]</i> .....	29
<i>Obr. 15 Jednočinný pneumatický válec [9]</i> .....	29
<i>Obr. 16 Dvočinný pneumatický válec [9]</i> .....	30
<i>Obr. 17 Schématické zobrazení ovládání ventilů [9]</i> .....	31
<i>Obr. 18 Škrťící zpětný ventil [9]</i> .....	31
<i>Obr. 19 Dvočinný hydraulický válec [9]</i> .....	32
<i>Obr. 20 Nastavitelný škrťící ventil [9]</i> .....	33
<i>Obr. 21 Přípojka se zářezným prstencem [9]</i> .....	33
<i>Obr. 22 Příklad upnutí obrobku [21]</i> .....	34
<i>Obr. 23 Tříbodové upnutí [9]</i> .....	35
<i>Obr. 24 Určení polohy tělesa rovinného [31]</i> .....	35
<i>Obr. 25 Určení polohy těles válcových a) mezi hroty b) pomocí prizmatické opěrky [31]</i> .	36
<i>Obr. 26 Upínací síla i řezná síla působící proti pevným dorazům [31]</i> .....	37
<i>Obr. 27 Upínací síla působí proti řezné síle [31]</i> .....	37
<i>Obr. 28 Upínací síla působí kolmo na řeznou sílu [31]</i> .....	37
<i>Obr. 29 Upínací síla při upnutí obrobku ve sklíčidle [31]</i> .....	38
<i>Obr. 30 Upínací síla při upnutí obrobku na rozepínací trn [31]</i> .....	38
<i>Obr. 31 Obráběný díl</i> .....	41
<i>Obr. 32 Obráběné plochy</i> .....	42
<i>Obr. 33 Volba upínacích ploch</i> .....	42
<i>Obr. 34 Volba dosedacích ploch</i> .....	43

<i>Obr. 35</i>	<i>Návrh upínacího přípravku</i>	43
<i>Obr. 36</i>	<i>Uložení dílce v přípravku</i>	44
<i>Obr. 37</i>	<i>Hydraulický válec pro upínky</i>	45
<i>Obr. 38</i>	<i>Upínka</i>	46
<i>Obr. 39</i>	<i>Dosedací plocha upínek</i>	46
<i>Obr. 40</i>	<i>Tvarová dosedací plocha</i>	47
<i>Obr. 41</i>	<i>Kostka s dosedacími plochami</i>	48
<i>Obr. 42</i>	<i>Graf jednočinných pístů</i>	49
<i>Obr. 43</i>	<i>Jednočinný píst</i>	49
<i>Obr. 44</i>	<i>Systém vrtaných kanálů</i>	50
<i>Obr. 45</i>	<i>Sekvenční ventil</i>	51
<i>Obr. 46</i>	<i>Pořadí upnutí</i>	51
<i>Obr. 47</i>	<i>Pracovní stůl stroje</i>	52
<i>Obr. 48</i>	<i>Středící příruba</i>	53
<i>Obr. 49</i>	<i>Uložení přípravku na pracovním stole</i>	53
<i>Obr. 50</i>	<i>Upnutí testovací kostky během vrtání</i>	56
<i>Obr. 51</i>	<i>Upnutí testovací kostky během elektrojiskrového řezání</i>	57
<i>Obr. 52</i>	<i>Testovací kostka č. 1</i>	58
<i>Obr. 53</i>	<i>Testovací kostka č. 2 pohled 1</i>	60
<i>Obr. 54</i>	<i>Testovací kostka č. 2 pohled 2</i>	61
<i>Obr. 55</i>	<i>Testovací kostka č. 3</i>	62
<i>Obr. 56</i>	<i>Testovací kostka č. 4</i>	63
<i>Obr. 57</i>	<i>Testovací kostka č. 4 pohled 2</i>	64
<i>Obr. 58</i>	<i>Testovací kostka č. 5</i>	65
<i>Obr. 59</i>	<i>Testovací kostka č. 6</i>	67
<i>Obr. 60</i>	<i>Testovací kostka č. 7 pohled 1</i>	69
<i>Obr. 61</i>	<i>Testovací kostka č. 7 detailní pohled 2</i>	70
<i>Obr. 62</i>	<i>Testovací kostka č. 8</i>	71
<i>Obr. 63</i>	<i>Nastavení úchylkoměru</i>	74
<i>Obr. 64</i>	<i>Poloha úchylkoměru na začátku díry</i>	74
<i>Obr. 65</i>	<i>Hodnota výšky na začátku díry</i>	74
<i>Obr. 66</i>	<i>Rozdíl mezi ČSN 11 523 a ČSN 19 520</i>	75
<i>Obr. 67</i>	<i>Rozdíl při změně postupu vrtání u materiálu ČSN 11 523</i>	77

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Trubky pro hydraulický rozvod [9] .....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 2 Zkušební tělesa .....</i>	<i>55</i>
<i>Tab. 3 Řezné parametry u testovací kostky č. 1 – postup 1 .....</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 4 Řezné parametry u testovací kostky č. 1 – postup 2 .....</i>	<i>59</i>
<i>Tab. 5 Řezné parametry u testovací kostky č. 2 – postup 1 .....</i>	<i>60</i>
<i>Tab. 6 Řezné parametry u testovací kostky č. 2 – postup 2 .....</i>	<i>61</i>
<i>Tab. 7 Řezné parametry u testovací kostky č. 3 – postup 1 .....</i>	<i>62</i>
<i>Tab. 8 Řezné parametry u testovací kostky č. 3 – postup 2 .....</i>	<i>63</i>
<i>Tab. 9 Řezné parametry u testovací kostky č. 4 – postup 1 .....</i>	<i>64</i>
<i>Tab. 10 Řezné parametry u testovací kostky č. 4 – postup 2 .....</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 11 Řezné parametry u testovací kostky č. 5 – postup 1 .....</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 12 Řezné parametry u testovací kostky č. 5 – postup 2 .....</i>	<i>66</i>
<i>Tab. 13 Řezné parametry u testovací kostky č. 6 – postup 1 .....</i>	<i>67</i>
<i>Tab. 14 Řezné parametry u testovací kostky č. 6 – postup 2 .....</i>	<i>68</i>
<i>Tab. 15 Řezné parametry u testovací kostky č. 7 – postup 1 .....</i>	<i>69</i>
<i>Tab. 16 Řezné parametry u testovací kostky č. 7 – postup 2 .....</i>	<i>71</i>
<i>Tab. 17 Řezné parametry u testovací kostky č. 8 – postup 1 .....</i>	<i>72</i>
<i>Tab. 18 Řezné parametry u testovací kostky č. 8 – postup 2 .....</i>	<i>73</i>
<i>Tab. 19 Vlastnosti použitých materiálů .....</i>	<i>75</i>



**SEZNAM PŘÍLOH**

- P I – UTB-01-001-01 – ZÁKLADNA POHLED 1
- P II – UTB-01-001-02 – ZÁKLADNA – ŘEZ B
- P III – UTB-01-001-03 – ZÁKLADNA – ŘEZ C
- P IV – UTB-01-001-04 – ZÁKLADNA – ŘEZ D
- P V – UTB-01-001-05 – ZÁKLADNA – ŘEZ E
- P VI – UTB-01-001-06 – ZÁKLADNA ŘEZ F
- P VII – UTB-01-001-07 – ZÁKLADNA ŘEZ G
- P VIII – UTB-01-001-08 – ZÁKLADNA ŘEZ H
- P IX – UTB-01-001-09 – ZÁKLADNA POHLED 2
- P X – UTB-01-002 – KOSTKA PRO UPINKU POLOHOVACÍ
- P XI – UTB-01-003 – KOSTKA PRO UPINKU – VELKÁ
- P XII – UTB-01-004 – KOSTKA PRO UPINKU – MALÁ
- P XIII – UTB-01-005 – KOSTKA PRO UPINKU – STŘEDNÍ
- P XIV – UTB-01-006 – KOSTKA PRO JEDNOČINNÝ PÍST 1
- P XV – UTB-01-007 – KOSTKA PRO JEDNOČINNÝ PÍST 2
- P XVI – UTB-01-008 – KOSTKA PRO DOSEDACÍ PLOCHY 2
- P XVII – UTB-01-009 – VÁLEC PRO DOSEDACÍ PLOCHU 2
- P XVIII – UTB-01-010 – VODOROVNÁ DOSEDACÍ PLOCHA
- P XIX – UTB-01-011 – BROUŠENÁ PODLOŽKA
- P XX – UTB-01-012 – KOSTKA PRO DOSEDACÍ PLOCHY 1
- P XXI – UTB-01-013 – VÁLEC PRO DOSEDACÍ PLOCHU 1
- P XXII – UTB-01-014 – UPINKA VYROVNÁVACÍ
- P XXIII – UTB-01-015 – UPINKA K PEVNÉMU DORAZU 2
- P XXIV – UTB-01-016 – UPINKA K JEDNOČINNÉMU PÍSTU
- P XXV – UTB-01-017 – UPINKA K PEVNÉMU DORAZU

P XXVI – UTB-01-018 – DOSEDACÍ PLOCHA VYROVNÁVACÍ

P XXVII – UTB-01-019 – DOSEDACÍ PLOCHA UPINKY 2

P XXVIII – UTB-01-020 – CENTROVACÍ DOSEDACÍ PLOCHA

P XXIX – UTB-01-021 – STŘEDÍCÍ PŘÍRUBA

P XXX – UTB-01-022 – DOSEDACÍ PLOCHA PÍSTU

P XXXI – UTB-01-023 – DOSEDACÍ PLOCHA SVISLÁ

P XXXII – UTB-01-024 – DOSEDACÍ PLOCHA UPINKY 1

P XXXIII – UTB-01-025 – VÝKRES SESTAVY

P XXXIV – KUSOVNÍK

P XXXV – SEZNAM DĚR 1/7

P XXXVI – SEZNAM DĚR 2/7

P XXXVII – SEZNAM DĚR 3/7

P XXXVIII – SEZNAM DĚR 4/7

P XXXIX – SEZNAM DĚR 5/7

P XL – SEZNAM DĚR 6/7

P XLI – SEZNAM DĚR 7/7

