

# Hodnocení obrobitelnosti polymerů při vrtání

Jan Horák

---

Bakalářská práce  
2014

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jan Horák  
Osobní číslo: T11230  
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství  
Studijní obor: Technologická zařízení  
Forma studia: prezenční

Téma práce: Hodnocení obrobiteľnosti polymerů při vrtání

Zásady pro vypracování:

1. Provedte studium literatury z teorie a technologie vrtání.
2. Určete metody stanovení obrobiteľnosti.
3. Provedte hodnocení dynamometrů.
4. Hodnotte dynamickou obrobiteľnost vybraných polymerů.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Jurko,J – Lukovics,I.: Obrábateľnosť materiálov. UTB ve Zlíně 2008,  
EAN 9788073187361

2. Jurko,J – Lukovics,I.: Vrtanie. UTB ve Zlíně 2007,  
ISBN 978-80-7318-488-9.

3. Neslušan,M.aj.: Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. EDIS Žilina.2007  
ISBN 978-8070-711-8

4. Václavovič,A.: Vrtání kovů SNTL Praha. 1966

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **10. února 2014**

Termín odevzdání bakalářské práce: **23. května 2014**

Ve Zlíně dne 10. února 2014

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



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

Příjmení a jméno: JAN HORÁK

Obor: TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby<sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou 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<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou 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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské 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.

Ve Zlíně 21.5.2014

  
.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybného projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdětku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdětku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

V předložené práci se zabývám vysvětlením pojmů Vrtání, obrobitelnost, obrábění, a řezné síly.

V praktické části na vrtačce OPTIMUM B40 GSM provádím vrtání různých materiálů za konstantních řezných podmínek a zjišťování velikosti složek řezné síly. Jedinou proměnou je velikost strojního posuvu. Zjišťování a vyhodnocování složek řezné síly provádím pomocí dynamometru. Veškeré výsledky jsou uvedeny v tabulkách a grafech.

V poslední části práce se zabývám vývojem a konstrukcí dynamometru.

Klíčová slova: vrtání, obrobitelnost, polymer, dynamometr, obrábění, řezná síla

## **ABSTRACT**

In the present work deals with the explanation of terms Drilling, workability, machining, and cutting forces.

In the practical part of the drill OPTIMUM B40 GSM Performing drilling of various materials under constant cutting conditions and determining the size of the components of the cutting forces. The only variable is the size of the power feed. Detection and evaluation components of the cutting forces is performed using a dynamometer. All results are presented in tables and graphs.

The last part deals with the development and construction the dynamometer.

Keywords: drilling, machinability, polymer, load cell, machining, cutting force

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Imrichovi Lukovicsovi CSc. za ochotu, cenné rady, připomínky a odborné vedení v průběhu celé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Čopovi za pomoc v průběhu měření.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné. Dále prohlašuji, že na odevzdané bakalářské práci jsem pracoval samostatně a všechnu uvedenou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně

.....

podpis studenta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 VRTÁNÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 HISTORIE VRTÁNÍ .....	12
1.2 TEORIE VRTÁNÍ .....	12
1.3 NÁSTROJOVÉ A PRACOVNÍ ÚHLY. ....	14
1.3.1 Nástrojové úhly. ....	15
1.4 VYTVÁŘENÍ, TVAROVÁNÍ A DEFORMACE TŘÍSKY PŘI VRTÁNÍ. ....	16
1.5 TEPLO A TEPLOTA PŘI TŘÍSKOVÉM OBRÁBĚNÍ.....	17
1.5.1 Tepelná bilance. ....	18
1.5.2 Teplota řezání.....	18
1.6 CHLAZENÍ A MAZÁNÍ PŘI OBRÁBĚNÍ. ....	20
1.6.1 Řezné kapaliny. ....	20
1.7 VRTACÍ NÁSTROJE.....	20
1.7.1 Plochý vrták (kopinatý vrták).....	21
1.7.2 Šroubovité vrtáky .....	21
1.7.3 Dělový vrták.....	23
1.7.4 Hlavňový vrták.....	23
1.7.5 Duté vrtáky a hlavice (korunky).....	24
1.7.6 Středící vrtáky .....	25
1.8 VRTACÍ STROJE. ....	25
1.8.1 Ruční vrtačky. ....	25
1.8.2 Přenosné vrtačky. ....	26
1.8.3 Stolní vrtačky. ....	26
1.8.4 Sloupové vrtačky.....	27
1.8.5 Stojanové vrtačky.....	27
1.9 VRTÁNÍ PLASTŮ.....	28
1.10 DYNAMICKÉ CHARAKTERISTIKY PŘI VRTÁNÍ. ....	29
1.11 VÝPOČET VÝKONU POTŘEBNÉHO PRO VRTÁNÍ.....	29
1.12 ZÁVĚR.....	30
<b>2 OBROBITELNOST MATERIÁLU</b> .....	<b>31</b>
2.1 OBROBITELNOST. ....	31
2.1.1 Dynamická obrobitelnost. ....	32
2.1.2 Mikrogeometrická obrobitelnost. ....	33
2.1.3 Obrobitelnost plastů. ....	33
2.2 METODA VRTÁNÍ ZA KONSTANTNÍHO TLAKU.....	34
2.3 ZÁVĚR.....	34
<b>3 MĚŘENÍ SLOŽEK ŘEZNÉ SÍLY</b> .....	<b>35</b>
3.1 NEPŘÍMÉ MĚŘENÍ SIL A MOMENTŮ.....	35
3.2 PŘÍMÉ MĚŘENÍ SIL A MOMENTŮ.....	35
3.3 MECHANICKÉ DYNAMOMETRY.....	36
3.3.1 Mechanické dynamometry.....	36



3.3.2	Hydraulické dynamometry.....	37
3.3.3	Pneumatické dynamometry.....	37
3.4	ELEKTRICKÉ DYNAMOMETRY.....	38
3.4.1	Elektrické dynamometry.....	38
3.4.2	Indukční dynamometry.....	38
3.4.3	Kapacitní dynamometry.....	39
3.4.4	Piezoelektrické dynamometry.....	39
3.4.5	Odporové dynamometry.....	40
3.5	ZÁVĚR.....	40
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>VYPRACOVNÁNÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI .....</b>	<b>43</b>
5.1	SLOUPOVÁ VRTAČKA OPTIMUM B40 GSM.....	43
5.2	DYNAMOMETRY .....	44
5.3	VRTANÉ VZORKY.....	44
5.3.1	Ocel 11 600.....	44
5.3.2	Polymethylmetakrylát.....	45
5.3.3	Epoxidová pryskyřice.....	45
5.4	VÝPOČET ŘEZNÝCH PODMÍNEK A NASTAVENÍ STROJE.....	46
5.5	VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH ZPRACOVÁNÍ.....	47
5.6	KONSTRUKCE DYNAMOMETRU.....	56
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>64</b>

## ÚVOD

Předložená bakalářská práce se zabývá tématem s názvem – Hodnocení obrobiteľnosti při vrtání. Téma mě zaujalo svou náplní. Mé rozhodnutí bylo ovlivněno touhou naučit se novým věcem a obohatit se o zkušenosti v oblasti vrtání.

Bakalářská práce je rozdělena na část teoretickou a praktickou. Jednotlivé body práce jsou seřazeny v obsahu, a pro lepší pochopení informací které v této práci uvádím, jsem do práce přidal obrázky.

Teoretická část je rozdělena na tři kapitoly. Každá kapitola obsahuje podkapitoly, ve kterých se podrobně zaměřuji na danou problematiku tématu. V první kapitole s názvem Vrtání, je popsána historie vrtání, teorie vrtání, nástrojové a pracovní úhly, teorie tvoření třísky, teplo vznikající při vrtání, chlazení a mazání, vrtací stroje a nástroje, teorie vrtání plastů a síly vznikající při vrtání. Ve druhé kapitole se zaměřuji na teorii obrobiteľnosti. Popisuji zde co je to obrobiteľnost a jak se obrobiteľnost hodnotí. Poslední kapitola teoretické části se zabývá měřením složek řezné síly. Popisuji v ní způsoby měření složek řezné síly, typy dynamometru jakož to měřících přístrojů pro měření velikosti složek řezné síly, jejich typy a konstrukci.

V praktické části uvádím cíle, podle kterých jsem postupoval. Jsou zde uvedeny stroje a nástroje, na kterých jsem prováděl a vyhodnocoval praktickou část bakalářské práce. K vrtání jsem použil sloupovou vrtačku OPTIMUM B40 GSM. Následné vyhodnocení proběhlo na dvousložkovém dynamometru, který jsem upravil na jednosložkový pro měření osové síly. Výsledky jsem zpracoval do grafů, ze kterých je snadné porovnat naměřené hodnoty. Za materiály které jsem zkoumal, jsem zvolil ocel 11600, epoxidovou pryskyřici a polymetylmakrylát. Vrtal jsem dvoubřitým vrtákem o průměru 6 mm při konstantních otáčkách 520 ot/min do hloubky 20mm. Proměnnou mi byla velikost strojního posuvu, který jsem měnil v hodnotách 0,1 a 0,2 mm/on. Do každého materiálu jsem vyvrtal za daných podmínek 5 děr. Mohl jsem tak vyloučit chyby, které by mohly z hlediska statistiky vznikát při vrtání.

V poslední části bakalářské práce se budu zaměřovat na konstrukci dynamometru. Je zapotřebí navrhnout konstrukční řešení dynamometru, kterým bude možno měřit jak osovou sílu, tak i krouticí moment.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 VRTÁNÍ

## 1.1 Historie vrtání

Vrtací nástroj, byl objeven již v dávném starověku. Vrtáním kamene a pazourku si pračlověk obráběl první pracovní nástroje. [5]

S růstem výrobních sil, se lidskou prací v dlouhých vývojových etapách obráběcí nástroje zdokonalovaly, a také vrtáky byly proti původním skromným začátkům značně zdokonaleny. V době železné to byly vrtáky kopinaté, lžícovité a středící, pro něž byly i později ve středověku vyvíjeny potřebné nástroje. [5]

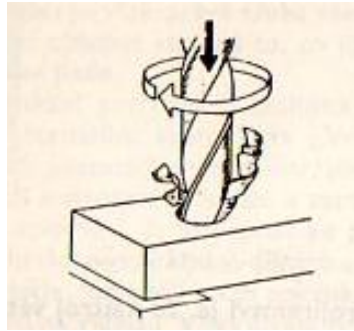
Vrtáním kovů se však naši předchůdci začali důkladněji zabývat teprve ve druhé polovině 18. století, kdy byly ohlášeny první patenty na vrtání a na různé vrtačky. [5]

Moderní šroubovítý vrták je z roku 1820 a v Evropě se začal ve velkých sériích vyrábět až koncem minulého století. Objev vrtáku měl značný vliv na rozvoj kovodělné výroby, neboť umožnil nahradit železné konstrukce svařované v ohni konstrukcemi nýtovanými a šroubovanými. Umožnil použít vyvrtaných děr jako ložisek k uložení čepů jednodušších strojů. [5]

## 1.2 Teorie vrtání

Výroba děr vrtáním je činnost stará jako lidstvo samo, která se postupně vyvinula do moderní metody procesu řezání. Vždy byla a nadále zůstává nejrozšířenější metodou výroby děr v porovnání se soustružením a frézováním. Díry jsou vyráběné řezným nástrojem, nejčastěji dvou nebo tří břitovým vrtákem, který má řezné hrany symetrické podle osy vrtáku. [1]

Vrtání probíhá otáčením vrtáku kolem své osy, totožné s osou díry, při současném posuvu v ose vrtáku. Oba tyto pohyby obvykle vykonává vřetenem vrtačky, poháněné elektromotorem a posouvané mechanizmy pro ruční nebo strojní posuv. Součástí, do které se vrtá díra, je vhodně upnuta. [5]



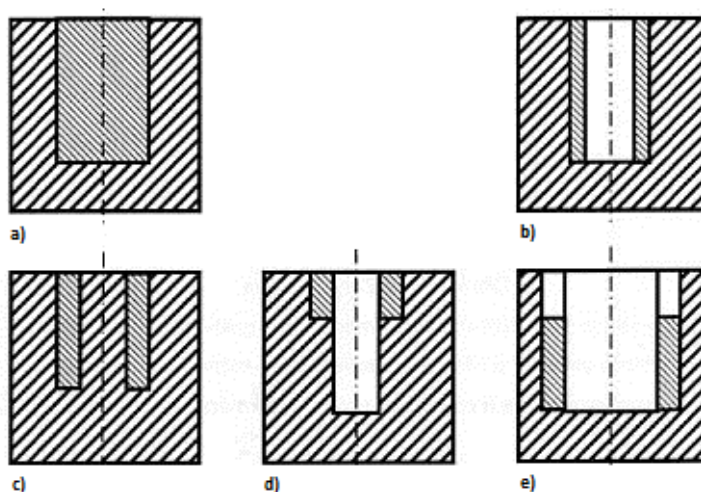
Obr. 1 Hlavní a vedlejší pohyby při vrtání díry. [5]

Hlavní pohyb: rotační pohyb řezného nástroje.

Vedlejší pohyb: posuv ve směru osy.

V současnosti můžeme základní operace vrtání kvalifikovat následovně:

- Vrtání do plna – je operace, při které se díra vrtá do plného materiálu v jedné operaci.
- Vyvrtávání – je operace, při které se aplikuje postupné vrtání. Aplikuje se hlavně pro větší průměry děr.
- Vrtání na věnec – je operace na vrtání mezikruží. Aplikuje se takzvaný trepanační nástroj, který nevrtá celý průměr díry, ale jen mezikruží po obvodě. Na třísku se nemění veškerý materiál, ale uprostřed díry zůstává plné jádro. Tento způsob je vhodný jen pro průchozí díry.
- Zahlubování – je operace na zvětšení průměru předvrtané díry speciálně konstruovaným nástrojem, který ubírá podstatné množství materiálu po obvodě díry.
- Vystružování a vyhrubování – jsou operace na zvýšení kvality vyvrtané díry. [1]



Obr. 2 Základní operace vrtání. [1]

Technologická metoda vrtání se aplikuje na výrobu děr pomocí řezných nástrojů (vrtáků). K této metodě procesu vrtání zařazujeme operace, které jsou podobné z hlediska principu procesu vrtání, ale aplikují se převážně na úpravu kvality vyvrtané díry. (Vyhrubování a vystružování.). [1]

Všeobecně vrtání rozdělujeme:

- Vrtání krátkých děr (do  $3x D_w$ ).
- Vrtání dlouhých děr, což je specializované metoda vrtání děr, jejichž hloubka je mnohonásobě větší než průměr děr (až  $150x D_w$ ). [1]

Obvodová rychlost nejvzdálenějšího bodu řezné hrany od osy otáčení se nazývá řezná rychlost  $v_c$  jejichž jednotkou je  $1 \text{ m/min}$ . Řezná rychlost jednotlivých bodů řezné hrany se směrem ke středu otáčení zmenšuje, a v ose otáčení je nulová. [1]

Řezná rychlost  $v_c$  je při vrtání definována vztahem

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m/min]} \quad [1]$$

Kde:

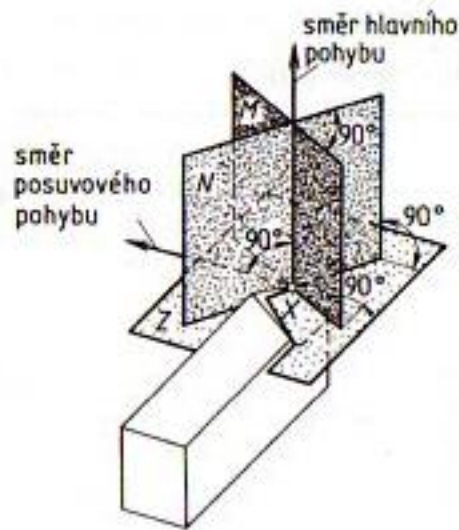
D je průměr vrtáku [mm]

n je počet otáček [ $\text{min}^{-1}$ ]

Pohyb vrtáku při vrtání ve směru jeho osy se nazývá posuv  $f$  a jednotkou je  $1 \text{ mm}$ . Protože vrták je konstrukčně řešený s dvěma řeznými břity (může mít i tři), má tedy dvě řezné hrany, každá řezná hrana pracuje s polovičním posuvem. [1]

### 1.3 Nástrojové a pracovní úhly.

Úhly jsou důležité pro identifikaci geometrické polohy ostří, čela a hřbetu. Nástrojové úhly se definují v nástrojové souřadnicové soustavě, pracovní úhly se definují v pracovní souřadnicové soustavě. Obecné definice jednotlivých úhlů jsou dále konkretizovány pro pravý ubírací soustružnický nůž. Identifikace polohy ostří, čela a hřbetu se provede následovnými úhly vztaženými k následovným rovinám. [7]



Obr. 3 Roviny nástroje – základní pojmy M – ortogonální rovina, N – rovina hlavního ostří, Z – základní rovina, X – zvolený bod, ve kterém se určuje geometrie břitu. [2]

### 1.3.1 Nástrojové úhly.

Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa$  je úhel, který svírá rovina hlavního ostří  $N$  se směrem posuvu nástroje.

Úhel nastavení vedlejšího ostří  $\kappa'$  je úhel, který svírá rovina vedlejšího ostří  $N'$  se směrem posuvu nástroje

Úhel špičky nástroje  $\varepsilon$  je úhel, který svírá rovina hlavního ostří  $N$ , s rovinou vedlejšího ostří  $N'$ .

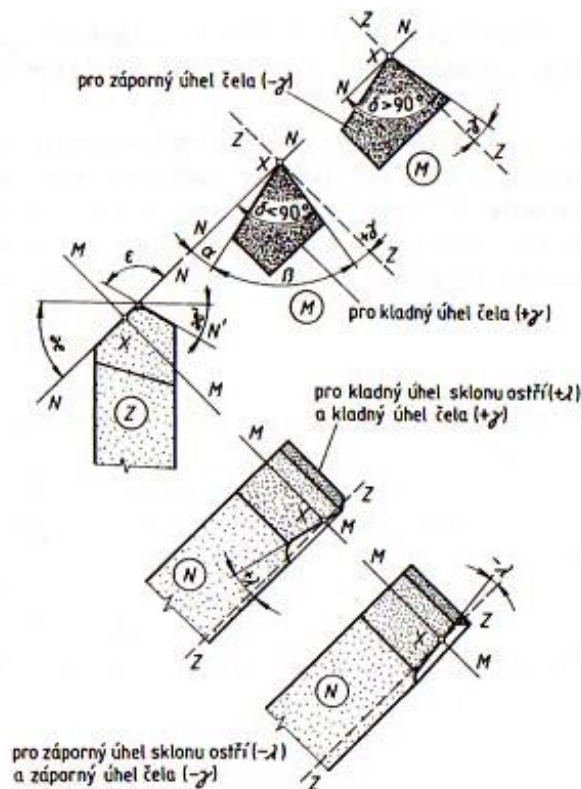
Úhel hřbetu  $\alpha$  je úhel, který svírá tečná rovina plochy hřbetu s rovinou hlavního ostří  $N$ .

Úhel břitu  $\beta$  je úhel, který svírá tečná rovina plochy čela s tečnou rovinou plochy hřbetu.

Úhel čela  $\gamma$  je úhel, který svírá tečná rovina plochy čela se základní rovinou  $Z$ .

Úhel řezu  $\delta$  je úhel, který svírá tečná rovina plochy čela s rovinou hlavního ostří  $N$ .

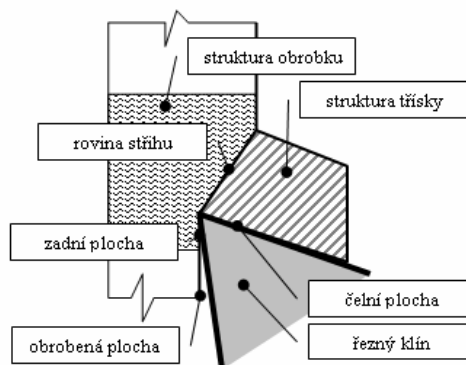
Úhel sklonu ostří  $\lambda$  je úhel, který svírá tečná přímka ostří se základní rovinou  $Z$ . [2]



Obr. 4 Úhly nástroje. [2]

#### 1.4 Vytváření, tvarování a deformace třísky při vrtání.

Vytváření třísek, jejich lámání a kontrolované odevzdávání z prostoru řezání je základním předpokladem moderní automatizované výroby. Tvoření třísek při řezání je výsledkem procesu plastické deformace materiálu, který nastane po překročení hranice pevnosti materiálu, v důsledku působení zatížení. Proces oddělování třísky probíhá poblíž roviny stříhu pod úhlem střižné roviny. Rovina stříhu dělí nedeformovanou strukturu materiálu objektu od deformované struktury třísky [1]



Obr. 5 Tvoření plynulé třísky při řezání – rovina stříhu a struktura třísky. [1]



Deformace třísky je vyjádřena veličinou stlačení třísky. Tvoření třísky je možné popsat na základě teorie o plastické deformaci, která probíhá v rovině stříhu (oblast kde se materiál objektu dotýká nástroje), kam je přiváděna podstatná část energie vynaložené na řezání. Rovina stříhu je místo, kde vzniká stříhové napětí a složky řezné síly, které podmiňují tření a pohyb třísky na čelní ploše řezné části nástroje. Deformovaná vrstva – tříška se pohybuje po čelní ploše nástroje a vytváří kontaktní zónu, ve které dochází k váznutí (zadírání) materiálu objektu na čelní ploše řezné části nástroje (obvykle v oblasti hrotu), dále probíhají jevy difuzní a adhezní v oblasti kluzného kontaktu a v oblasti, kde tříška opouští kontaktní zónu, probíhají abrazivní procesy. Za určitých podmínek řezání a při určitých typech materiálu objektu může docházet v oblasti kluzné interference k postupnému nárůstu vrstev třísky, které na čelní ploše váznou a vytvářejí takzvaný nárůstek. [1]



Obr. 6 Vytvořený nárůstek na nástroji. [1]

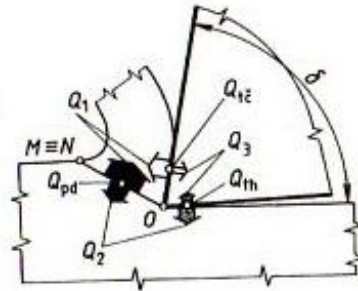
Tvar vzniklé třísky závisí na materiálu objektu, jeho pevnosti, tvrdosti, zvolených řezných podmínkách a procesního média. V závislosti na stupni deformace v rovině stříhu vznikají třísky různých tvarů. Tvoření třísky správného tvaru a rozměru a jejich odvádění je základním předpokladem úspěšného vrtání. Pokud tyto požadavky nejsou splněny, kterýkoli vrták v krátkém čase přestane plnit funkci, a to hlavně z důvodu ucpání drážek, zaseknutí a nalepování materiálu na čelní ploše řezné části nástroje. [1]

### 1.5 Teplo a teplota při třískovém obrábění.

Téměř veškerá mechanická práce vynaložená na přeměnu odřezávané vrstvy v třísku a odvedení třísky z místa řezu se přemění na teplo. Teplo se vyvíjí v poměrně malé oblasti a je příčinou vysoké teploty, která dosahuje až 1000°C. Teplota má nepříznivý vliv na opotřebení nástroje, na přesnost obrábění a na jakost obráběné plochy. [2]

### 1.5.1 Tepelná bilance.

Ke vzniku tepla dochází při obrábění přeměnou dílčích prací v jednotlivých místech zdrojů. (obr. 7):



Obr. 7 Dílčí zdroje tepla. [2]

- V oblasti primárních plastických deformací – přeměnou práce plastických deformací, teplo  $Q_{pd}$ .
- Na styčné ploše čela - přeměnou práce tření, teplo  $Q_{ic}$ .
- Na styčné ploše hřbetu - přeměnou práce tření, teplo  $Q_{th}$ . [2]

Celkové teplo vznikající při obrábění je z podstatné části odváděno třískou (teplo  $Q_1$ ), z menší části obrobkem (teplo  $Q_2$ ) a nástrojem (teplo  $Q_3$ ). Část tepla je vyzářena přímo do okolí (teplo  $Q_4$ ). Podíl jednotlivých složek odváděného tepla závisí na:

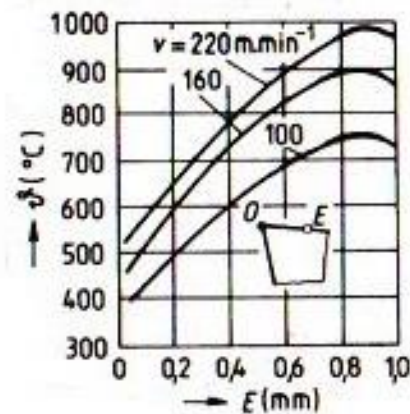
- tepelné vodivosti materiálu obrobku a nástroje
- řezných podmínkách
- řezném prostředí a způsobu chlazení a mazání
- geometrii břitu nástroje

Pro dílčí zdroje tepla a pro složky odváděného tepla platí takzvaná rovnice tepelné bilance

$$Q_{pd} + Q_{ic} + Q_{th} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4. [2]$$

### 1.5.2 Teplota řezání.

Vliv tepla při obrábění má za následek zvýšení teploty v místech zdrojů tepla a jejich okolí. Teplota má výrazný vliv na stav břitu, především na intenzitu jeho otupení. Protože teploty na čele nástroje jsou o 50 až 100% vyšší než na hřbetě nástroje, jsou z hlediska opotřebení nástroje, a tedy i z důvodů ekonomických, teploty na čele významnější. Nejvyšší teplota není na špičce nástroje, jak by se očekávalo, ale její maximum je vlivem poměru špičky nástroje posunuto do bodu  $E$ . [2]



Obr. 8 Teplota na čele nástroje.  $O$  – špička nástroje,  $E$  – místo nejvyšší teploty. [2]

V místech s nejvyšší teplotou na ploše čela je také nejintenzivnější opotřebení. Zjištění teplotního pole (teplot v jednotlivých místech sledované plochy) je velmi náročné, určuje se proto pouze střední teplota styčné plochy čela s třískou a nazývá se teplotou řezání  $\vartheta$ . Přípustné mezní hodnoty teploty řezání jsou závislé na odolnosti použitého materiálu (tab. 1)

Materiál břitu nástroje	Nejvyšší přípustná teplota řezání (°C)	Přibližná řezná rychlost (m/min)
Legovaná ocel	260	12 až 18
Rychlořezná ocel RO	560	24 až 36
Rychlořezná ocel s povlakem TiN nebo TiN + TiCN	až 750	až 90
Slinuté karbidy WC + CO	700	60 až 150
Slinuté karbidy WC + TiC + CO	900 až 1100	90 až 150
Slinuté karbidy s povlaky TiN, TiCN + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiC + TiCN + TiN, TiN, TiCN + Al <sub>3</sub> O <sub>2</sub> + TiN. (počet vrstev až dvanáct)	až 1100	až 500
Monolitní CBN nebo kompakty CBN (při obrábění kalených ocelí)	1400 až 1600	až 260
Keramické materiály	1100 až 1200	až 900

Tab. 1 Přípustné mezní teploty řezání jsou závislé na odolnosti použitého materiálu nástroje. [2]

Překročením mezní teploty řezání se rychle snižuje tvrdost břitu, nástroj ztrácí řezné schopnosti a prudce narůstá jeho opotřebení. Znalost teplotního pole a teploty obrobku je důležitá vzhledem k rozměrové a tvarové přesnosti obrobku a má význam při obrábění na čisto, zejména při broušení. [2]

## 1.6 Chlazení a mazání při obrábění.

Nepříznivý vliv tření a tepla lze snížit volbou vhodného prostředí. Prostředím při obrábění mohou být, kromě okolního vzduchu, řezné kapaliny, mlhoviny i některé plyny. Úkolem řezného prostředí je:

- odvádět teplo z oblasti jeho tvoření
- snížit práci vlivem tření
- snížit intenzitu otupování nástroje
- zlepšit jakost obráběné plochy
- odvádět třísky z místa řezu

Účinky řezného prostředí lze shrnout na účinek chladicí a mazací.

- Chladicí účinek – snižuje teplotu a snižuje tak opotřebení nástroje u rychlořezných ocelí až na pětinu proti obrábění za sucha.
- Mazací účinek – projevuje se snížením tření na činných plochách nástroje a usnadňuje plastické deformace třísky. Řezný odpor se tak snižuje až o 25%, u malých průřezů třísek i více. Účinkem mazání se tedy zlepši jakost obrobené plochy. [2]

### 1.6.1 Řezné kapaliny.

Nejčastěji se jako řezné prostředí používá řezných kapalin. Podle chemického složení je dělíme:

- Vodné roztoky – Jsou to roztoky uhličitanu sodného, křemičitanu sodného nebo draselného, nebo dusitanu sodného. Vodné roztoky se vyznačují dobrým chladícím účinkem. Používají se především při broušení.
- Ropné výrobky pro řezné kapaliny – velmi rozšířené jsou vodní emulze, směsí vody a jemně rozptýlených emulgačních olejů a maziv. [2]

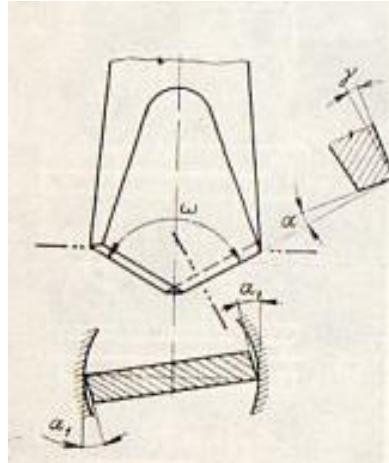
-

## 1.7 Vrtací nástroje.

Vrtáním se zhotovují díry do plného materiálu, vyvrtáváním se zvětšují díry již předvrtaných. Menší díry se vrtají na vrtačkách, dlouhé díry a díry velkých průměrů na vodorovných vrtacích a vyvrtávacích strojích. Přitom se většinou obrobek nepohybuje a veškeré pohyby (hlavní, i vedlejší) koná nástroj. [4]

### 1.7.1 Plochý vrták (kopinatý vrták).

Plochý vrták byl dříve nejobvyklejším nástrojem k obrábění děr. Nyní se vyrábějí pro nejmenší díry do průměru 3mm v levořezném provedení podle ČSN 22 1291 jako doplněk šroubovitých vrtáků pro automaty [5]



Obr. 9 Plochý vrták. [5]

### 1.7.2 Šroubovité vrtáky

Charakteristickými znaky šroubovitých vrtáků jsou zejména

- válcovité šroubovitě drážkované tělo, které umožňuje ostřit při dodržení původního rozměru bez překovávání, nutného u plochých vrtáků
- šroubovitě drážky, vytvářející na hlavních ostřích kladný úhel čela, který usnadňuje oddělování třísky a zároveň zajišťuje odvádění třísek z díry. Šroubovice je většinou pravotočivá, s výjimkou levořezných vrtáků pro automaty.
- fasetkou, vedoucí vrták v díře
- jádro, spojovací žebra a zabezpečující potřebnou tuhost vrtáku
- uspořádání břitů do kuželové špičky vrtáku, podbroušené pod úhlem hřbetu. [5]

Šroubovitý vrták je nástroj s minimálně dvěma řeznými hranami, přičemž hrany jsou ostřeny symetricky k ose, dochází tam k výrazné proměnlivosti pracovní geometrii řezného klínu v důsledku proměnné hodnoty pracovní rychlosti. S ohledem na potřebu vedení osového nástroje ve vyvrtávané díře vedlejší řezný klín má i vodící funkci, proto vedlejší hřbetová plocha je opatřena válcovou vodící plochou, fasetkou. Patří mezi nástroje s venkovním odvodem třísky. Dvě drážky (můžou být i tři), které slouží k přívodu procesního média a k odvodu třísek, jsou zhotovené ve šroubovici. [1]

Konvekční typ šroubovitého vrtáku tvoří řezná část a upínací část, která je válcová nebo kuželová. Válcová stopka se uplatňuje u vrtáků s menším průměrem (do 12mm) a upíná se do vrtací hlavy. Vrtáky větších průměrů se přímo upínají do vřetene stroje kuželovitou stopkou. Řeznou část zakončuje vrchol s dvěma nebo třemi řeznými klíny, které spolu svírají úhel  $\varepsilon$ , jehož velikost se liší podle vrtaného materiálu. [1]

$\varepsilon = 116^\circ - 120^\circ$  pro ocel a litinu

$\varepsilon = 130^\circ - 140^\circ$  pro hliník

$\varepsilon = 125^\circ$  pro měď

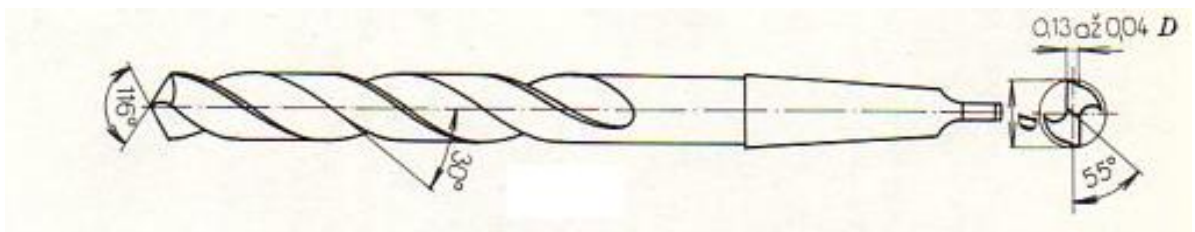
$\varepsilon = 130^\circ$  pro mosaz

$\varepsilon = 100^\circ - 116^\circ$  pro elektron

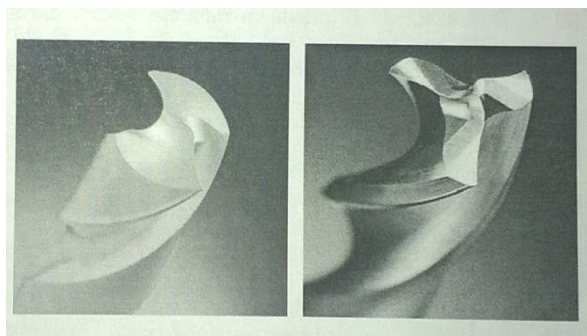
$\varepsilon = 30^\circ$  pro tvrdou gumu

$\varepsilon = 80^\circ$  pro mramor a lisované hmoty

$\varepsilon = 180^\circ$  pro plechy a šedou litinu [5]



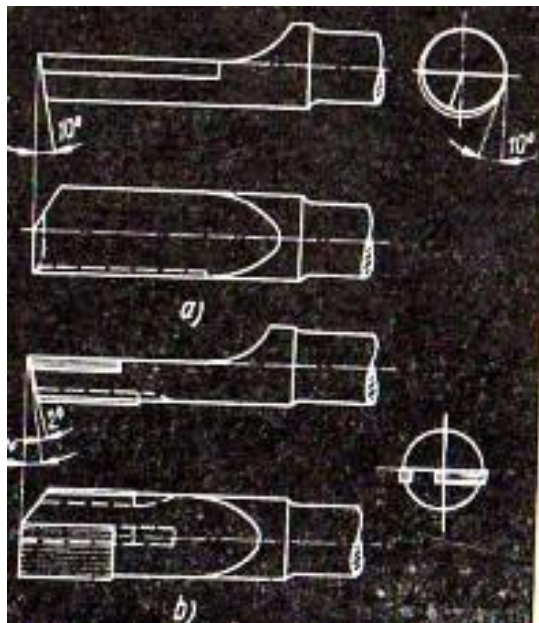
Obr. 10 Šroubovitý vrták. [4]



Obr. 11 Dvou a ří břity šroubovitý vrták. [1]

### 1.7.3 Dělový vrták

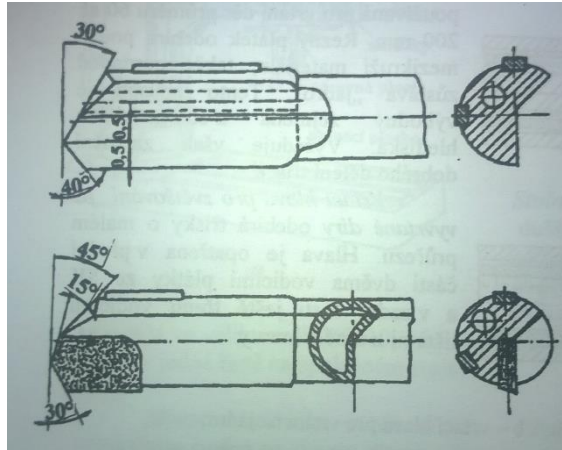
Dělový vrták se používá k vrtání děr, které mají být přímé a přesné. Vrták má jeden břit přesně v ose nástroje. Aby se vrták v díře nedřel, je část zbylého obvodu obroušena až na válcovou plošku o šířce 0,3 až 0,5mm. Na rozdíl od šroubovitého vrtáku nelze dělovým vrtákem vrtat přímo bez vystředění, nejlépe v kratší díže, předvrtané šroubovitým vrtákem. Nevýhodou je malý prostor pro třísky, takže se nástroj misí z díry často vyjímat. Předností je jejich snadná výroba. [5]



Obr. 12 Dělové vrtáky. [5]

### 1.7.4 Hlavňový vrták

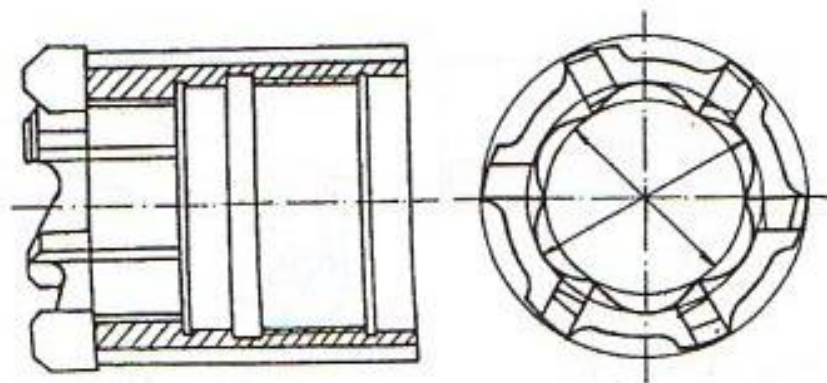
Hlavním znakem těchto jednobřitých vrtáků na hluboké díry je nucené vyplavování třísek vhodnou tlakovou tekutinou (emulzí, olejem) a lomený hlavní břit. Lomení je upraveno tak, aby se síly na hlavním břitu rušily a vrták neuhýbal od předepsané osy díry a aby se pro snadnější vyplavování třísky lámaly. Podmínkou dodržení přímosti vrtané díry je poměrně malý posuv na otáčku vrtáku (zhruba desetina posuvů používaných u šroubovitých vrtáků). [5]



Obr. 13 Hlavňové vrtáky. [7]

### 1.7.5 Duté vrtáky a hlavice (korunky)

Význam dutého vrtáku je v tom, že obrábí jen část vrtané díry jako mezikruží a třísky mají podstatně menší průřez než při vrtání zplna. Hlavice umožňuje zvýšit výkon vrtání a vrtat na menším stroji velké díry. Původně se dutých vrtáků používalo především na hluboké díry. Dnes se dutými vrtáky vypichují díry i v tenkostěnných odlitcích. Duté vrtáky mají jeden nebo několik břitů. Vícebřité duté vrtáky jsou na díry menšího průměru a na díry, které se vypichují s velkým jádrem a úzkým mezikružím. Jednobřité duté vrtáky se uplatňují jako vypichovací odvrtávací hlavice s výměnnými prvky zejména v malosériové výrobě. [5]

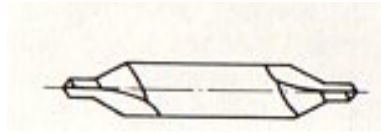


Obr. 14 vrtací korunka. [7]



### 1.7.6 Středící vrtáky

Středící vrtáky se používají k vrtání středících důlků do obrobků, které se při obrábění upínají mezi hroty. [4]



Obr. 15 Středící vrták. [4]

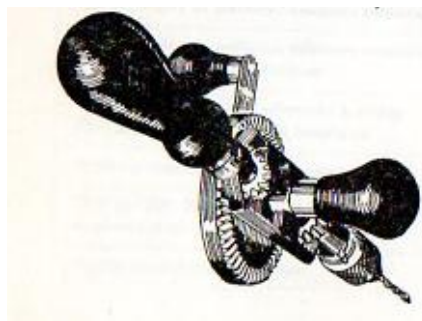
## 1.8 Vrtací stroje.

Vrtání ale také vyhrubování, vystružování a zahlubování se nejčastěji provádí na vrtačkách. V menším rozsahu se uvedené metody realizují na soustruzích, vodorovných vyvrtávačkách a obráběcích centrech.

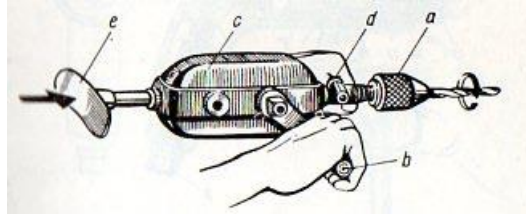
Vrtačky se podle konstrukčního provedení člení na ruční, stolní, sloupové, stojanové, otočné, vodorovné na hluboké díry a speciální. [7]

### 1.8.1 Ruční vrtačky.

Využívané na místech kde nástroje nesmějí jiskřit, a tam kde nelze obrobek upnout na upínací desce strojní vrtačky. Jednoduchá vrtačka má jeden převod. Dokonalejší ruční vrtačky mají převody dva. Přímý pomalejší je vhodný pro vrtání větších děr, u nichž je třeba většího výkonu. Dvojitého rychlejšího převodu používáme k vrtání menších děr a k vrtání lehce obrobitelných materiálů [5]



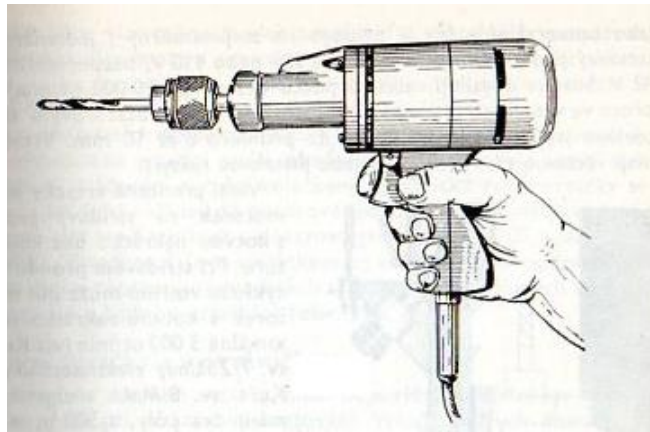
Obr. 16 Ruční vrtačka s kuželovým převodem. [5]



Obr. 17 Ruční vrtačka se dvěma krytými převody: a) vřeteno se sklíčidlem, b) ruční klika, c) zapouzdřené ozubené převody, d) rukojeť, e) prsní opěrka. [5]

### 1.8.2 Přenosné vrtačky.

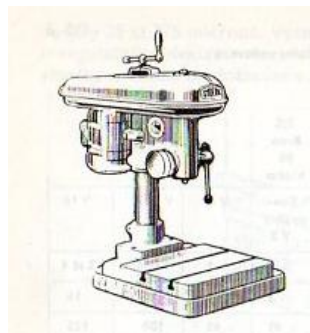
K vrtání na montáži ve špatně přístupné poloze se používá přenosných vrtaček pneumatických a elektrických. [5]



Obr. 18 Elektrická ruční vrtačka. [5]

### 1.8.3 Stolní vrtačky.

Mají jednoduchou konstrukci. Změny otáček vřetene se u nich dosahuje stupňovitou řemenicí, na níž se přesouvá ručně klínový řemen. Posuv nástroje je obvykle ruční. Stolní vrtačky se vyrábějí ve velikostech V6,10,16 a 20 jako jedno vřetenové nebo řadové s uspořádáním vřeten v jedné řadě na jednom společném stole [7]



Obr. 19 Stolní vrtačka. [5]



## 1.9 Vrtání plastů.

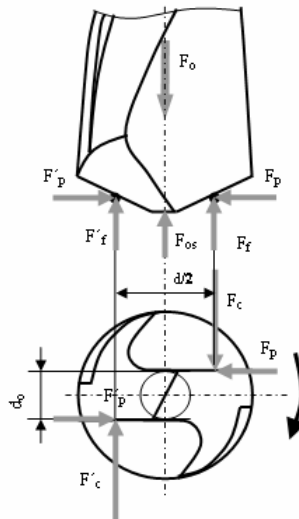
K vrtání plastických hmot se hodí lehké vrtací stroje, u nichž lze okamžitě vysunout nástroj z otvoru. Rychlost vrtání musí být přiměřená charakteru hmoty. Vrták se musí z díry často vysouvat, aby se předešlo pálení a měknutí hmoty. Používá se převážně vrtáků z rychlořezných ocelí. Pro díry do průměru 25mm jsou určeny výhradně šroubovitě vrtáky se širokou a strmou drážkou. Ta umožňuje snadný odchod třísek z otvoru, který by se jinak ucpal. Díry do průměru 10mm se vrtají přímo, větší se musí předvrtat pomocí nástroje menšího průřezu. Jinak vzniká nebezpečí, že díra bude mít elipsovité tvar. Díry průměru nad 25mm lze vypichovat pomocí nožových přípravků nebo i čepovými vrtáky. Měkké plastické hmoty (například změkčený PVC) lze vrtat pomocí dutých trubic s ostřím, což je způsob obvyklý pro vrtání korků a pryže. Předměty určené k vrtání mají být pevně zajištěny na desce stolu pro případ zaseknutí vrtacího nástroje. Otvory vyvrtané do plastických hmot se po odstranění nástroje někdy smršťují. Průměr vrtáku proto má být asi o 0,05 až 0,1 mm větší než je zadaný průměr otvoru. Vrtá se zpravidla za sucha, někdy s mírným tukovým mazadlem. Díry v termoplastech se mohou začistit horkým trnem, který se jimi protáhne. Ukazatele pro opracování plastických hmot vrtáním jsou uvedeny v tab. 2. [8]

Ukazatel	Fenoplasty (výlisky)	Fenoplasty (vrstvené)	Polyvinylchlorid	Polymetylmetakrylát	Vulkanfibr
Řezná rychlost (m/min) pro nástroje					
karbidové .....	(2-7 mm) 60-95 (7-20mm) 75-120 (20-40mm) 85-140		40-70		90-120
rychlořezné .....	30-50	40-50	30-40	30-35	30-40
Posuv (mm/ot) pro nástroje					
karbidové .....	(2-7mm) 0,04-0,12 (7-20mm) 0,06-0,18 (20-40mm) 0,12-0,25		0,2-0,4		0,2-2,0
rychlořezné .....			0,1-0,2	0,1-0,2	
Charakteristika nástroje uhel špičky	45-70	70-100	90	až 140	až 130

Tab. 2 Ukazatelé pro vrtání plastických hmot. [8]

## 1.10 Dynamické charakteristiky při vrtání.

Odpor materiálu proti vrtání je překonáváný řeznými silami působícími na řezných hranách nástroje. Během vrtání jsou řezné síly rozloženy na řezných hranách vrtáku. Složky řezné síly se koncentrují v definovaném bodě na řezných hranách nástroje a rozkládají se do směrů souřadného systému  $x, y, z$  [1]



Obr. 22 Řezné síly při vrtání. [1]

Pokud má vrták symetrické řezné hrany, radiální síly  $F_p$  a  $F'_p$  se navzájem ruší. Řezné síly  $F_c$  a  $F'_c$  působí přibližně na rameni  $d/4$  a vytvářejí kroutící momentu  $M_k$  který se přenáší na vřeteno stroje. Složky řezné síly  $F_f$  a  $F'_f$  se skládají a tvoří osovou sílu,  $F_{os}$  kterou překonává posuvový mechanismus. Kroutící moment se vypočítá podle rovnice. [1]

$$M_k = 2F_c \frac{d}{4} - 2F_p \frac{d_0}{2} \quad [1]$$

Všeobecně platí, že se zvyšováním posuvu roste  $M_k$  i  $F_{os}$ . Vliv posuvu na kroutící moment je větší než na osovou sílu. Řezná síla je dynamická, není konstantní a s časem se mění. Její změna souvisí s oddělováním elementů třísky od základního materiálu. Proces řezání je charakteristický tím, že celková mechanická energie vynaložená na oddělení třísky se prakticky přemění na teplo. [1]

## 1.11 Výpočet výkonu potřebného pro vrtání.

Výkon v procesu řezání – při vrtání  $P_{cp}$  se rovná součtu výkonů potřebných na vykonání hlavního řezného pohybu  $P$  a posuvu  $P_f$  podle rovnice [1]

$$P_{cp} = P + P_f \quad [W] \quad [1]$$

Výkon hlavního pohybu  $P$  je definován podle rovnice.

$$P = \frac{M_k \cdot n_c}{10^6} \quad [W] \quad [1]$$

Výkon posuvu  $P_f$  je definován podle rovnice.

$$P_f = \frac{F_0 \cdot f \cdot n_c}{10^6} \quad [W] \quad [1]$$

Na základě znalostí a zkušeností, pokud předpokládáme že  $P_f = (1,0 \text{ až } 2,0) \% P$ , potom uvažujeme  $P_{cp}$  podle rovnice

$$P_{cp} = P = \frac{M_k \cdot n_c}{10^6} \quad [W] \quad [1]$$

## 1.12 Závěr

Vrtání je jedna z nejstarších metod obrábění materiálu. Vrtání je nejrozšířenější výrobní metoda ve strojírenství. Vrtání se používá k obrábění vnitřních rotačních ploch obvykle dvoubřítým nástrojem (vrtákem). Hlavní pohyby, řezný otáčivý i posuvný ve směru osy nástroje vykonává pracovní nástroj, s výjimkou vrtání na soustruhu nebo horizontálních vrtačkách na hluboké díry. V této kapitole jsem se zabýval obecnou teorií vrtání, zmínil jsem se i o problematice vrtání plastů, se kterou budu pracovat i v praktické části. Zmínil jsem také nástroje, které se nejčastěji používají při vrtání a stroje na kterých se vrtání provádí.

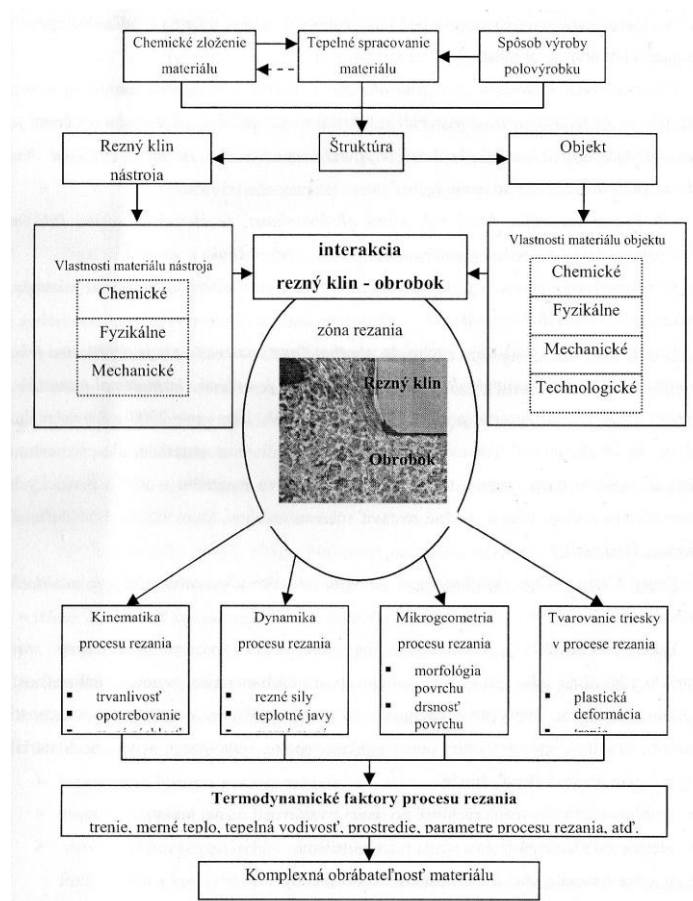
## 2 OBROBITELNOST MATERIÁLU.

### 2.1 Obrobitelnost.

Obrobitelnost je technologická vlastnost daného materiálu, která charakterizuje jeho vhodnost k obrábění. Zahrnuje vlivy mechanických a fyzikálních vlastností materiálu, chemického složení, tepelného zpracování, struktury a způsobu výroby polotovaru na kvalitativní, kvantitativní a ekonomické výsledky procesu řezání.

Obrobitelnost nelze vztáhnout jen k samotnému obráběnému materiálu, protože závisí i na způsobu obrábění a řezných podmínkách. [7]

Obrobitelnost materiálu je složitý komplex vlastností materiálu objektu včetně uvažování jeho termodynamického stavu v okamžiku obrábění třísky (obr. 23). [3]



Obr. 23 Charakteristika komplexní obrábiteľnosti materiálu. [3]

Z hlediska technologie obrábění je obrobitelnost jednou z nejdůležitějších vlastností materiálu. [6]

Z hlediska charakteristik je možné obrobiteľnosť rozdeliť na obrobiteľnosť absolútnú a relatívnu.

- Absolútna obrobiteľnosť – je charakterizovaná buď funkčným vzťahom a parametre spolu súvisiacimi, alebo určitou veľkosťou danej veličiny charakterizujúcej obrobiteľnosť.
- Relatívna obrobiteľnosť – je charakterizovaná bezrozmernými číslami, ktoré uvádzajú pomer veľkostí určitej veličiny, a sice pomer veľkostí tejto veličiny vzťahujúcej sa k danému materiálu obrobku a veľkosti tejto veličiny odpovedajúcej etalonovému materiálu obrobku.

Obrobiteľnosť hodnotíme predovšetkým z hľadiska intenzity opotrebovania brútu, ďalej tiež z hľadiska teplotného, silového, technologického a kvalitatívneho. Najčastejšie vychádzame z intenzity opotrebovania brútu. [6]

Najdôležitejším kritériom tohoto typu je komplexný Taylorov vzťah. Ďalšími kritériami sú jednoduchý Taylorov vzťah a hodnota rezných rýchlostí  $v_c$  odpovedajúcej určitej trvanlivosti brútu, čož patrí do absolútnych kategórií. K relatívnym charakteristikám, ktoré vychádzajú z intenzity opotrebovania brútu, patrí predovšetkým index obrobiteľnosti  $K_v$ . [6]

### 2.1.1 Dynamická obrobiteľnosť.

Pri určovaní dynamického obrobiteľnosti sa ako kritérium používa porovnávanie rezných síl materiálu etalonu a vzorku z materiálu zkoumaného objektu za rovnakých podmienok procesu rezania. Je možné použiť dynamometer, na ktorom sa mieri jednotlivé složky rezného odporu  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  pri meniaci sa hĺbke rezu. Rezná rýchlosť a posuv sú konštantné. Dynamometer musí byť citlivý, presný a schopný zaznamenávať dynamický priebeh rezných síl. Celá aparatura musí mať malú setrvačnosť a čo najvyššiu vlastnú frekvenciu, aby nedochádzalo k rezonanciam. Rezné sily závisia na použitých rezných podmienkach, a preto hodnotu rezných síl môžeme porovnať iba pri určitých konkrétnych hodnotách týchto parametrov. [3]

Dynamickou obrobiteľnosťou zkoušaného materiálu je možné definovať rovnicou:

$$K_d = \frac{F_c}{F_{ce}} \quad [3]$$

kde:  $F_{ce}$  je složka rezných síl pre materiál etalonu pri definovaných podmienkach. [3]



### 2.1.2 Mikrogeometrická obrobiteľnosť.

Drsnost povrchu ovplyvňuje plastická deformácia materiálu v procese rezání a jeho nerovnomerné vystoupení po odrezání třísky. Tito činitele jsou bezprostředně spojené s vlastnostmi materiálu objektu. Přitom vliv nerovnomerného odpružení můžeme zanedbat, protože tvoří jen 1 až 3% z celkové výšky nerovností. Vliv plastické deformace materiálu v procese rezání se odráží na kvalitě řezné plochy. Je potřebné správně zvolit hloubku řezu, řeznou rychlost, úhel čela, úhel hřbetu a úhel řezného klínu.

Za kritérium relativní mikrogeometrické obrobiteľnosti je možné volit poměr rozdílu kritických řezných rychlostí pro etalon a pro zkoušený materiál. [3]

$$K_{Ra} = \frac{V_{c,maxe} - V_{c,mine}}{V_{c,max} - V_{c,min}} \quad [3]$$

### 2.1.3 Obrobiteľnosť plastů.

Většina plastických hmot se dá obrábět podobně jako lehké kovy. Některé ze specifických vlastností jsou však příčinou jejich odlišného chování.

- Malá tepelná vodivost plastických hmot způsobuje, že teplo, vyvíjející se třením, není hmotou odvedeno a soustřeďuje se především v nástroji, takže ten je tepelně přetěžován. K tomu musíme přihlížet při obrábění termoplastů na rychloběžných strojích.
- Plastické hmoty nejsou stálé při vyšších teplotách. Termoplasty měknou, termosety uhelnatí. Proto musí mít nástroj dokonalé břity, neboť jen tak lze zaručit, že se hmota bude snadno řezat bez nežádoucího vývoje tepla, jež by vzniklo třením tupého nástroje o hmotu.
- Některé druhy plastických hmot při delším styku s vodou nebo olejem bobtnají. Zvolí se proto chladicí prostředek, který na hmotu nepůsobí, například tlakový vzduch nebo olejová mlha.
- Některé plastické hmoty (například nitrát celulózy) jsou do té míry hořlavé, že při nashromáždění většího množství prachu a odpadů v okolí přehřátého obráběcího nástroje a motoru vzniká nebezpečí samovznícení. Doporučuje se vždy přivádět vzduch k motoru potrubím z venkovního prostoru, odsávat prach a odstraňovat třísky. Pro usnadnění údržby je vhodné chránit motor i posuvná zařízení obráběcích strojů elastickým obalem.

- Velmi tvrdé plastické hmoty, například fenoplasty a polyestery s minerálními plnivy, vyžadují nástroje ze slinutých karbidů. Hmoty prosté minerálních plniv (většina termoplastů) lze s úspěchem obrábět nástroji z rychlořezných ocelí. Ze strojního zařízení vyhovují v nejširším měřítku rychloběžné stroje na obrábění lehkých kovů.
- I nejtvrďší plastické hmoty jsou však ve srovnání s ocelí měkké. To musíme mít na zřeteli při upínání plastických hmot do čelistí soustruhů, svěráků a podobných zařízení, kde při nesprávném zacházení může dojít k poškození povrchu, popřípadě k deformaci celého předmětu. Zabráni se tomu používáním ochranných pouzder a vložek ze dřeva, plastických hmot i barevných kovů. [8]

## 2.2 Metoda vrtání za konstantního tlaku

Princip této metody je založený na aplikaci technologické metody vrtání, při které je nástroj – vrták zatížený konstantní axiální (osovou) silou. Podstata spočívá v tom, že opotřebením vrtáku se zvyšuje tangenciální složka řezné síly  $F_c$ . Při určité hodnotě opotřebením, vrták přestane vrtat do materiálu. Mírou obrobiteľnosti je délka vrtání  $L$ , kterou porovnáváme s délkou vrtání do etalonového materiálu  $L_e$ . [3]

## 2.3 Závěr

Pojem obrobiteľnost je technologickou vlastností daného materiálu, kterou charakterizujeme jeho vhodnost k obrábění. Úroveň obrobiteľnost daného materiálu můžeme určit poměrem velikosti energie vynaložené na obrobení daného materiálu součástky a materiálu etalonu obráběných při stejných pracovních podmínkách. Neboť se v této práci zabývám problematikou stanovení obrobiteľnosti polymerních materiálů při vrtání, jsou zde zmíněny prvky charakterizující obrobiteľnost polymerních materiálů, jejich odlišností od materiálů kovových, a metoda stanovení obrobiteľnosti při vrtání za konstantního tlaku.

### 3 MĚŘENÍ SLOŽEK ŘEZNÉ SÍLY

Mechanismus tvorby třísky prokazuje, že při vnikání řezného klínu do materiálu obrobku vzniká v obráběném materiálu stav napjatosti, který způsobuje v mezní situaci jeho dělení. Proces tohoto dělení doprovází menší nebo větší plastické, ale i elastické deformace. Kromě jevů deformačních se při tomto procesu prosazují i poměry silové. Poznání těchto silových poměrů procesu řezání nám umožní získat přehled o mechanickém namáhání soustavy obrábění, a tím i podklady pro řešení celé technologické soustavy, jak z hlediska pevnosti, tak i její tuhosti včetně dynamické stability řezného procesu. [6]

Složky řezné síly můžeme měřit

- Nepřímou metodou. (Pomocí empirických vzorců)
- Přímou metodou. (Za pomoci dynamometrů)

#### 3.1 Nepřímé měření sil a momentů.

Metody pro nepřímé metody sil vycházejí převážně z výkonu elektromotoru obráběcího stroje. Ze vztahu pro užitečný výkon při obrábění plyne, že nepřímým měřením lze z výkonu hnací jednotky stanovit pouze tangenciální složku síly řezání. Tuto složku lze rovněž stanovit nepřímým měřením z krouticího momentu. [6]

$$P_{už} = F_c * v_c [W] \quad [6]$$

kde:

$P_{už}$  - užitečný výkon (W)

$F_c$  - tangenciální (řezná) složka síly obrábění (N)

$v_c$  - řezná složka rychlosti (m/s)

#### 3.2 Přímé měření sil a momentů.

Přímé měření složek síly řezání a jejich krouticích momentů se zakládá na měření deformací v soustavě stroj – nástroj – obrobek během obrábění prostřednictvím dynamometrů. Dynamometr, jakožto měřicí přístroj, musí zaručit nezávislost měřící veličiny na provozních vlastnostech přístroje. Dále se od něj požaduje schopnost měřit sledovanou veličinu ve zvoleném rozsahu s maximální přesností, musí zaručit stálost naměřených hod-

not v čase včetně její reprodukovatelnosti. Z těchto uvedených charakteristik plynou základní požadavky kladené na dynamometry:

- Tuhost dynamometrů – je dána velikostí zatěžující síly  $F$ , která působí deformaci. Velikost této deformace závisí na tvaru a provedení deformačního elementu, na celkovém konstrukčním provedení dynamometru i na použité měřicí metodě. Dostatečná tuhost dynamometru je zásadní při měření dynamickém.
- Citlivost dynamometrů – souvisí s citlivostí použité měřicí metody i s tuhostí konstrukčního provedení dynamometru. Dynamometr musí mít takovou citlivost, že nejmenší odečtená jednotka při dodržení dostatečné přesnosti musí odpovídat celkové hodnotě sledované veličiny.
- Stálost údajů dynamometrů – je závislá na tuhosti, citlivosti a přesnosti od stanovení nulové polohy, až po zachycení údajů o sledované veličině, a to po celou dobu měření.
- Setrvačnost dynamometrů – závisí přímo úměrně na hmotnosti soustavy. Zejména při dynamických měřeních, kde je nesmírně nutné sledovat jak skutečné hodnoty maximálních a minimálních hodnot měřené síly řezání, tak i jejich časový průběh, by měla být setrvačnost co nejmenší. [6]

Aparatura na měření složek řezné síly se zpravidla skládá ze tří částí:

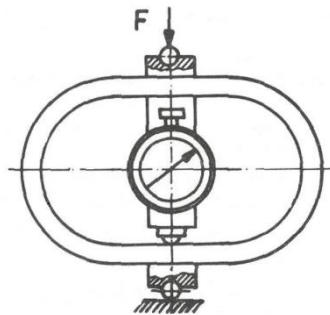
- Pružný člen – přebírá vnější zatížení a překonává jisté změny (deformace a změna polohy).
- Snímač – mění mechanickou veličinu změny pružného členu na hodnotu analogického parametru měřicí aparatury.
- Přijímač – zesiluje a zpracovává signál snímače, případně zapisuje velikost zatížení. [6]

### 3.3 Mechanické dynamometry.

#### 3.3.1 Mechanické dynamometry.

Zpravidla se používají mechanické dynamometry pro cejchování jiných druhů dynamometrů, protože u nich lze většinou vyloučit nežádoucí rušivé vlivy. Jsou dále charakteristické naprosto lineárním vztahem mezi sledovanou silou a vlastními naměřenými údaji. U mechanických dynamometrů se působící síly přenáší přímo nebo znásobeny mechanickým převodem na měřicí prvek, jako je například číselníkový úchylkoměr. O velikosti

síly se usuzuje z deformace silových pružin, kroužků, třmenů, nosníků, membrán, případně podle hloubky vtlačení kuličky do materiálu známe tvrdosti. Hlavním představitelem této skupiny dynamometrů jsou dynamometry třmenové, pro zatížení až do 10 000 N a dynamometry kruhové nebo prstencové, pro zatížení ještě větší. Mechanické dynamometry jsou jednoduché, spolehlivé, vyznačují se stálostí údajů a stálou přesností v rozmezí 0,5 – 2%. K nevýhodám mechanických dynamometrů patří závislost jejich údajů na teplotě, obtížná změna rozsahu měření, nutnost vymezování vůlí v mechanismech, únava materiálu a velká setrvačnost systémů, která nedovoluje jejich použití pro měření dynamická. [6]



Obr. 24 Mechanický dynamometr prstencový. [6]

### 3.3.2 Hydraulické dynamometry.

Podstatou hydraulických dynamometrů je přenos účinků měření síly nebo momentu na píst nebo membránu hydraulického obvodu, jejichž pohyb zajišťuje změnu tlaku v kapalině. Tato změna je snímána pomocí manometru nebo jiného přístroje. Výhodou těchto dynamometrů je jednoduchá konstrukce a možnost snadného měření více složek současně. Nevýhodou naopak nízká citlivost, požadavky na dokonalé ustředění systému a velká setrvačnost. Proto se nedají použít na dynamická měření. [6]

### 3.3.3 Pneumatické dynamometry.

Podstatou pneumatického dynamometru je snímač deformace pneumatickým systémem klapka – tryska, který využívá dynamických vlastností vzduchu procházejícího štěrbinou. Jsou principiálně založeny na měření změny tlaku nebo průtoku v závislosti na změně výtokového průřezu mezi klapkou a tryskou v deformačním elementu. Předností je snadná obsluha a údržba, vysoká spolehlivost a citlivost v porovnání s elektrickými způsoby a relativně nízké náklady na provoz. [6]

### 3.4 Elektrické dynamometry.

#### 3.4.1 Elektrické dynamometry.

Elektrické dynamometry patří mezi nejrozšířenější a nejvíce používané dynamometry v technické praxi. Mezi základní přednosti elektrických dynamometrů patří:

- snadný přenos signálu s celou řadou možných úprav
- možnost snímání signálu při rotujících a pohybujících se součástech
- využití minimálních měřících elementů,
- možnost vhodné registrace zachycených signálů různých průběhů a frekvencí,
- snadná dostupnost napájecích zdrojů a čistota provozu. [6]

Dle způsobu mechanicko-elektrické transformace je možné rozlišovat dva základní systémy elektrických dynamometrů:

- Systémy parametrické – jsou založeny na změně jednoho z parametrů elektrického obvodu – indukčnosti  $L$ , kapacity  $C$  a odporu  $R$ .
- Systémy generátorové – jsou založeny na vzniku napětí nebo proudu při deformaci elementů. Podstatou může být mimo jiné i piezoelektrický jev. [6]

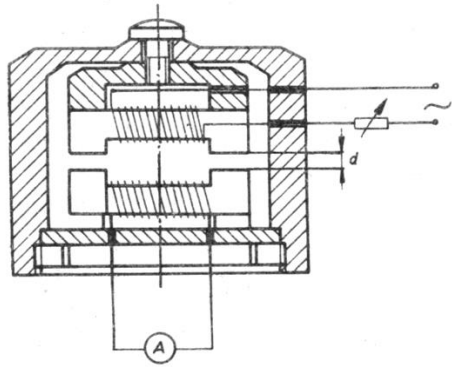
#### 3.4.2 Indukční dynamometry.

U elektrických dynamometrů indukčních v důsledku působení měřené síly dochází ke změně indukčnosti v obvodu použitého snímače. Probíhající mechanicko-elektrická transformace se dá vyjádřit například blokovým schématem.

Snímače pro indukční dynamometry s ohledem na uspořádání magnetického obvodu je možné rozdělit následovně:

- snímače s malou vzduchovou mezerou, tedy snímače s uzavřeným magnetickým obvodem
- snímače s otevřeným magnetickým obvodem
- snímače se stálým magnetickým obvodem.

V elektrických indukčních dynamometrech se převážně používají snímače pracující s malou vzduchovou mezerou. Působením zátěžové síly se mění šířka vzduchové mezery. Tím se mění impedance magnetického obvodu a v důsledku toho i indukčnost cívky. [6]



Obr. 25 Indukční snímač sil. [6]

### 3.4.3 Kapacitní dynamometry.

U elektrických dynamometrů kapacitních se využívá pro měření velikosti deformace změny kapacity snímačů. Nejjednodušším kapacitním snímačem je deskový kondenzátor. Pro experimentální studium dynamiky řezného procesu se však používá výhradně kapacitních snímačů, které pracují s proměnnou vzdáleností mezi deskami či elektrodami.

Kapacitní snímače mají dostatečně velikou citlivost a malou hmotnost. Jsou velmi citlivé na okolní vlivy a velmi náročné na měřicí techniku. Z toho důvodu se používají kapacitní snímače velmi zřídka. [6]

### 3.4.4 Piezoelektrické dynamometry.

Piezoelektrické dynamometry využívají pro snímání deformace piezoelektrického jevu, který je charakterizován vznikem elektrického náboje na povrchu některých krystalů při mechanickém zatížení. Mezi nejužívanějšími piezoelektrické materiály patří především křemen, dále potom materiály na bázi titaničitanu barného nebo Seignettovy soli. Základem piezoelektrického snímače pro tyto druhy dynamometrů je měřicí destička, která je vhodně vyříznutá z příslušného krystalu. Při zatěžování je velikost náboje přímo úměrná velikosti působící síly a s poklesem zatížení se lineárně snižuje, až zcela vymizí při zatížení nulovém. [6]



Obr. 26 Dynamometr KISTLER [6]

### 3.4.5 Odporové dynamometry.

U elektrických dynamometrů odporových se využívá pro měření velikosti deformace změny odporu snímačů. Nejpoužívanějšími odporovými snímači jsou odporové tenzometry, kde je změna odporu způsobená deformací vodiče nebo polovodiče. Odporový tenzometr se deformuje spolu deformačním elementem, neboť je s tímto elementem pevně spojen. Změna odporu vodiče je přímo úměrná deformaci, která vzniká na deformačním elementu v důsledku působení síly řezání nebo krouticího momentu. Při deformaci vodiče dochází ke změně délky a průřezu vodiče, rovněž dochází ke změně měrného odporu materiálu vodiče. [6]

## 3.5 Závěr

Při obrábění materiálu je důležité znát síly působící na soustavu stroj – nástroj – obrobek – přípravek. V této kapitole se proto zabývám metodami jak tyto síly měřit. V největší míře pak přímými metodami zjišťování těchto sil pomocí přístrojů zvaných dynamometry. Protože s dynamometry budu pracovat v praktické části. Uvádím v kapitole nejdůležitější vlastnosti, které by měly dynamometry splňovat, a popisuji nejpoužívanější typy dynamometru z řad mechanických i elektrických.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem práce je pozorovat a vyhodnotit, jak se bude měnit velikost osové síly při vrtání za rozdílných řezných podmínek. Pro úspěšné splnění tohoto zadání je potřeba:

- Seznámit se s obsluhou strojní sloupové vrtačky
- Seznámit se s obsluhou dynamometru a vyhodnocovacího programu
- Hodnocení řezných sil pomocí dvousložkového dynamometru
- Grafické vyhodnocení naměřených hodnot
- Úpravu konstrukce dynamometru pro měření krouticích momentů

## 5 VYPRACOVNÁNÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI

### 5.1 Sloupová vrtačka OPTIMUM B40 GSM

Sloupová vrtačka B40 GSM je určena pro výuku vrtání. Je vybavena ručním i strojním posuvem ve dvou rychlostech, širokým rozsahem otáček a automatickým vypínáním posuvu při dosažení požadované hloubky díry. Pracovní stůl lze nastavovat pouze v ose vřetene Z, nastavení v osách X a Y je prováděno polohováním upínacího přípravku.



Obr. 27 Sloupová vrtačka OPTIMUM B40 GSM

Základní technická data vrtačky B40 GSM

- Příkon 1500 W
- Rozsah otáček 50 – 1450 ot/min
- Strojní posuv vřetene se dvěma rychlostmi 0,1 a 0,2 mm/ot
- Maximální vzdálenost vřetene a stolu 780 mm

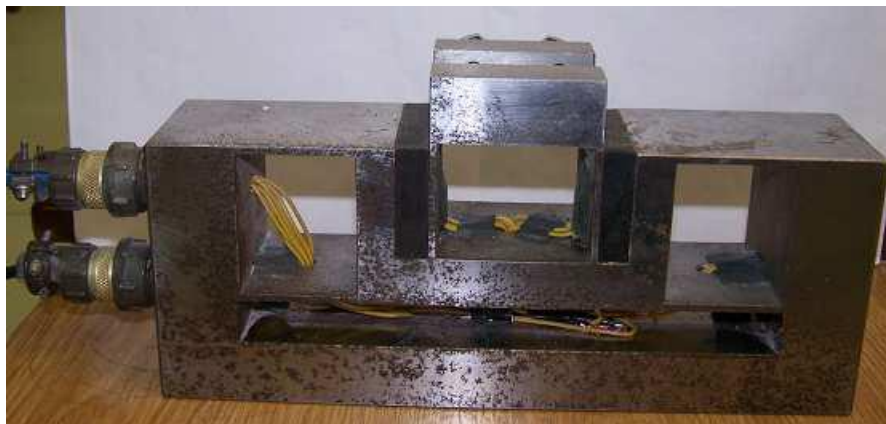
## 5.2 Dynamometry

Dynamometry nám pomáhají určit velikosti složek řezné síly které ovlivňují soustavu stroj – nástroj – obrobek, a jejich velikosti je důležité znát oři obrábění a jeho optimalizaci.

Dynamometry dělíme podle počtu složek řezných sil, které jsou schopny změřit na jednosložkové, dvousložkové a třísložkové.

Měření probíhá tak, že řezné síly se zachycují pomocí vhodných deformačních členů, které se přímo úměrně deformují. Tyto deformace převádí snímač na signál, který je zpracován přijímačem a zobrazován na displeji záznamového zařízení.

Měření jsem prováděl na dvousložkovém dynamometru, který je schopen měřit osovou sílu (sílu kolmou s vrtákem), a sílu kolmou s vrtákem (sílu podélnou s materiálem). Pro účely mého měření jsem odpojil snímač měřící kolmou sílu s vrtákem a měřil pouze osovou sílu. Touto úpravou jsem dvousložkový dynamometr změnil na jednosložkový.



Obr. 28 Dvousložkový dynamometr

## 5.3 Vrtané vzorky

Materiály vzorků jsem zvolil: Ocel 11600, epoxidovou pryskyřici a polymethylmetakrylát.

### 5.3.1 Ocel 11 600.

Oceli třídy 11 jsou uhlíkové konstrukční oceli se zaručenou čistotou, zaručeným obsahem fosforu a síry, zaručenou minimální pevností v tahu, mezi kluzu a tažností. Jsou odstupňovány podle obsahu uhlíku od nejmenší pevnosti v tahu 280 MPa do 900 MPa

Ocel 11 600 kterou jsem používal jako etalonový vzorek je ocel vyšší pevnosti vhodná pro náročnější a více namáhané strojní součásti [4]

### 5.3.2 Polymethylmetakrylát.

Polymethylmetakrylát (PMMA) běžný název jako plexisklo nebo akrylové sklo je čirý bezbarvý amorfní termoplast, vyznačující se propustností světelných paprsků, chemickou stálostí, trvanlivostí, odolností vůči povětrnostním vlivům a dobrou opracovatelností. Určitou nevýhodou může být povrchová měkkost. Používá se k nahrazení skla, v lékařství, na dekorační výrobky, na učební pomůcky a mnoho dalšího.

Monomer se vyrábí z acetonu, který se působením kyanovodíku převádí na acetonkyanhydrin. Z něho se získá metylmetakrylát působením kyseliny sírové a metylalkoholu. Polymerace se provádí bloková.

#### Vlastnosti PMMA

- pevnost v tahu 500 – 7000 kg/cm<sup>2</sup>
- pevnost v ohybu 900 – 1200 kg/cm<sup>2</sup>
- pevnost v tlaku 1200 – 1400 kg/cm<sup>2</sup>
- teplota tání 160°C [10]

### 5.3.3 Epoxidová pryskyřice.

Epoxidová pryskyřice je krystalický reaktoplast, který vzniká reakcí polyalkoholů nebo více fenolů s dichlorhydrinem nebo epichlorhydrinem.

Vlastnosti epoxidových pryskyřic jsou závislé na druhu výchozích látek, na způsobu jejich přípravy, na druhu a množství použitých tvrdidel a na způsobu tvrzení.

Vlastnosti epoxidové pryskyřice umožňují široké uplatnění v čelních průmyslových odvětvích. Je to zejména dobrá adheze ke kovům a jiným materiálům, velká mechanická pevnost, houževnatost, malé smrštění při tvrzení, velmi dobré dielektrické vlastnosti a dobrá tepelná a chemická odolnost.

Používají se jako lepidla na kovy, zalévací pryskyřice v elektrotechnice a pojiv při výrobě speciálních vrstvených hmot.

#### Vlastnost EP

- pevnost v tahu 550 – 650 kg/cm<sup>2</sup>

- pevnost v tlaku 1100 – 1300 kg/cm<sup>2</sup>
- pevnost v ohybu 800 – 1000 kg/cm<sup>2</sup> [11]

#### 5.4 Výpočet řezných podmínek a nastavení stroje.

Na vrtačce B40 GSM bylo zapotřebí nastavit tyto hodnoty – otáčky a posuv.

velikost otáček jsem vypočítal ze vztahu:

$$n = \frac{1000 * v_c}{\pi * D} [ot * min^{-1}]$$

kde  $v_c [m/min]$  je řezná rychlost a  $D[mm]$  je průměr vrtáku.

Vrtání všech tří materiálů jsem prováděl stejnou řeznou rychlostí a stejným průměrem vrtáku. Měnil jsem pouze hodnotu strojního posuvu. Mohl jsem tak porovnávat jak se bude měnit hodnota osové síly při změně velikosti posuvu.

Pro vrtání jsem zvolil dvoubřitý vrták o průměru 6 mm a řeznou rychlost 10 m/min. Po dosazení do rovnice pro výpočet otáček jsem vypočítal hodnotu otáček 530,51 ot/min

$$v_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \Rightarrow n = \frac{1000 * v_c}{\pi * D} = \frac{1000 * 10}{\pi * 6} = 530,51 \text{ ot/min}$$

Protože ale není na stroji možné volit vypočtenou hodnotu otáček, musíme na stroji zvolit skutečné otáčky takové hodnoty, které se nejvíce blíží vypočteným otáčkám. V mém případě jsem zvolil hodnotu 520 ot/min.

Řezné podmínky jsem zvolil následovně:

první skupina měření

- otáčky 520 ot/min
- velikost strojního posuvu 0,1 mm/ot

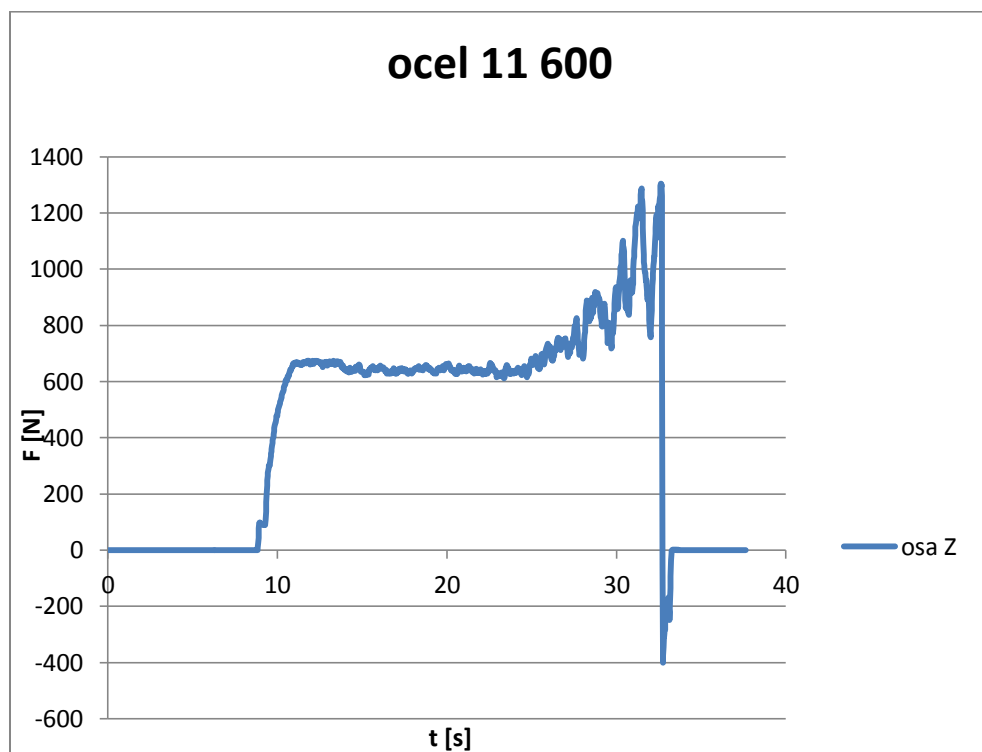
druhá skupina měření

- otáčky 520 ot/min
- velikost strojního posuvu 0,2 mm/ot

Vrtání jsem provedl vždy pětkrát do každého materiálu pro každou skupinu měření.

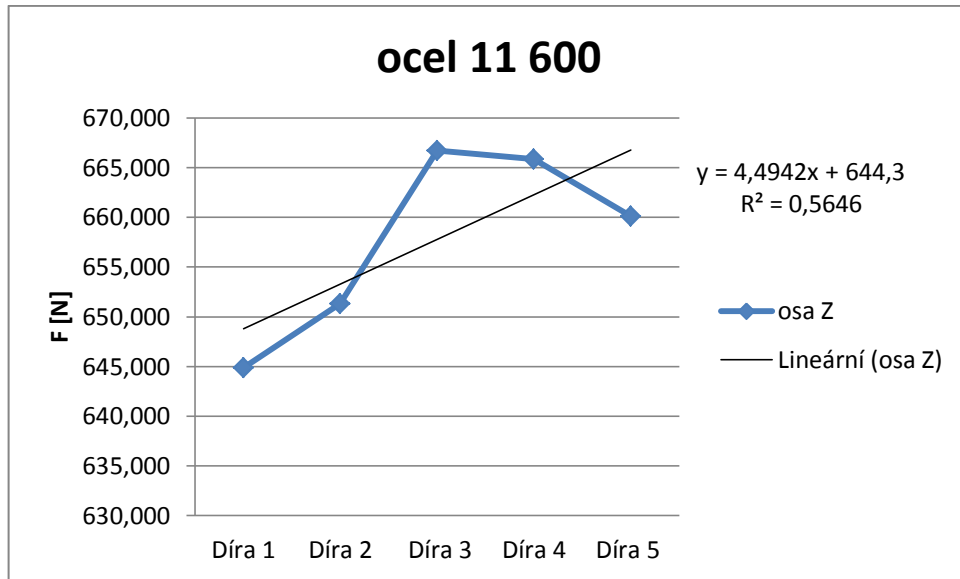
## 5.5 Výsledky měření a jejich zpracování.

Výsledky jsem získal pomocí dvousložkového dynamometru upraveného na jednosložkový pro měření osové síly. Pomocí programu a převodníku Spider 8 se mi měnil elektrický impuls na silové zatížení. Výsledné výsledky mi program udával v Newtonech bez nutnosti dalších přepočtů. Program mi zaznamenával grafickou stopu měření. Výstupem programu byl textový dokument, který jsem dále zpracovával v programu Excel do grafické podoby. Příklad průběhu vrtání je zobrazen v grafu 1.



Graf 1 Průběh vrtání oceli 11 600

Z grafu lze vidět, že při vniknutí vrtáku do materiálu prudce vzroste velikost osové síly a po ukončení vrtání okamžitě klesá na nulu. Je zde rovněž vidět že v čase  $t = 25s$  došlo ke zhoršení odvodu třísek z prostoru řezání, což mělo za následek zvýšení osové síly na dvojnásobnou hodnotu. Vrtání bylo provedeno dvoubřítým vrtákem o průměru 6 mm při 520 ot/min a velikosti strojního posuvu 0,1 ot/min. Z hodnoty naměřených v čase mezi  $t = 10s$  a  $t = 25s$  jsem sestrojil aritmetický průměr, směrodatnou odchylku a rozptyl. Tentýž postup jsem zopakoval pro každé měření.



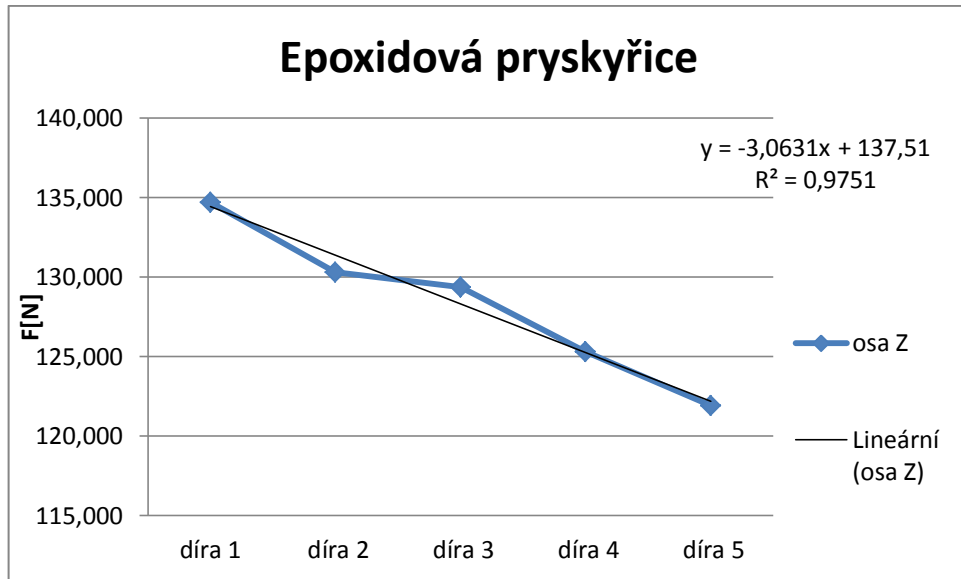
Graf 2 Ocel 11 600 – Velikosti osových sil při vrtání pěti děr za konstantních řezných podmínek

Vrtání bylo provedeno dvoubřítým vrtákem průměru 6 mm při 520 ot/min a velikostí strojního posuvu 0,1 mm/ot

Měřený vzorek	ocel 11600				
	Díra 1	Díra 2	Díra 3	Díra 4	Díra 5
Průměrná hodnota osové síly F [N]	644,899	651,332	666,706	665,853	660,11
směrodatná odchylka	14,26803	15,1935	26,1526	28,39157	23,95755
rozptyl	94675,48	20617,11	4488,187	743,2869	573,964
otáčky vřetene [ot/min]	520				
posuv [mm/ot]	0,1				

Tab. 3 Hodnoty naměřené při vrtání oceli 11 600



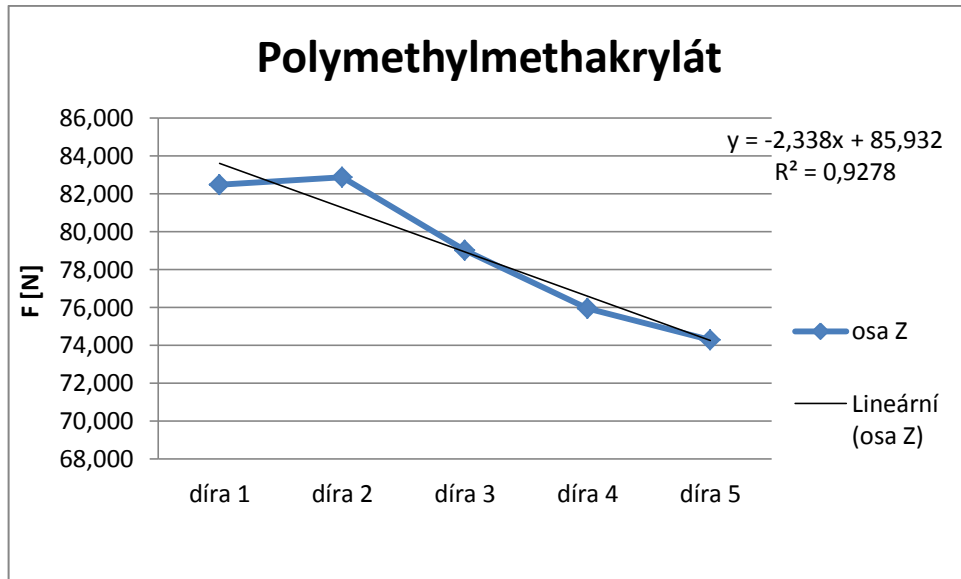


Graf 3 Epoxidová pryskyřice – Velikosti osových sil při vrtání pěti děr za konstantních řezných podmínek

Vrtání bylo provedeno dvoubřítým vrtákem průměru 6 mm při 520 ot/min a velikostí strojního posuvu 0,1 mm/ot

Měřený vzorek	epoxidová pryskyřice				
	Díra 1	Díra 2	Díra 3	Díra 4	Díra 5
Průměrná hodnota osové síly F [N]	134,707	130,319	129,374	125,289	121,906
směrodatná odchylka	6,83873	8,889313	8,206947	11,9254	13,34635
rozptyl	46,76822	79,01989	67,35398	142,2152	178,1249
otáčky vřetene [ot/min]	520				
posuv [mm/ot]	0,1				

Tab. 4 Hodnoty naměřené při vrtání epoxidové pryskyřice

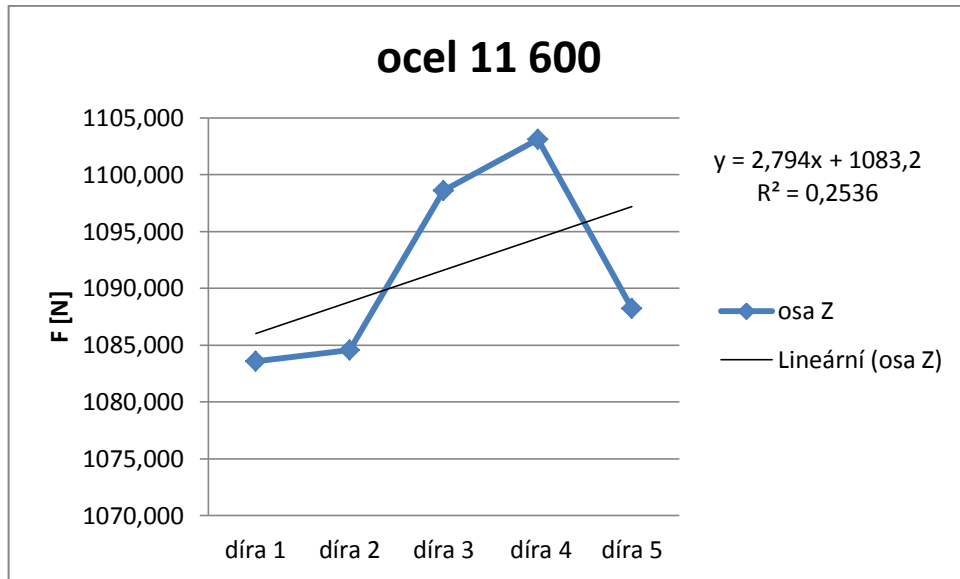


Graf 4 Polymethylmetakrylát – Velikosti osových sil při vrtání pěti děr za konstantních řezných podmínek

Vrtání bylo provedeno dvoubřítým vrtákem průměru 6 mm při 520 ot/min a velikostí strojního posuvu 0,1 mm/ot

Měřený vzorek	Polymethylmetakrylát				
	Díra 1	Díra 2	Díra 3	Díra 4	Díra 5
Průměrná hodnota osové síly F [N]	82,493	82,874	79,014	75,938	74,271
směrodatná odchylka	9,695692	9,178187	11,99493	9,477928	9,491285
rozptyl	94,00644	84,23911	143,8784	89,83112	90,08448
otáčky vřetene [ot/min]	520				
posuv [mm/ot]	0,1				

Tab. 5 Hodnoty naměřené při vrtání polymethylmetakrylátu

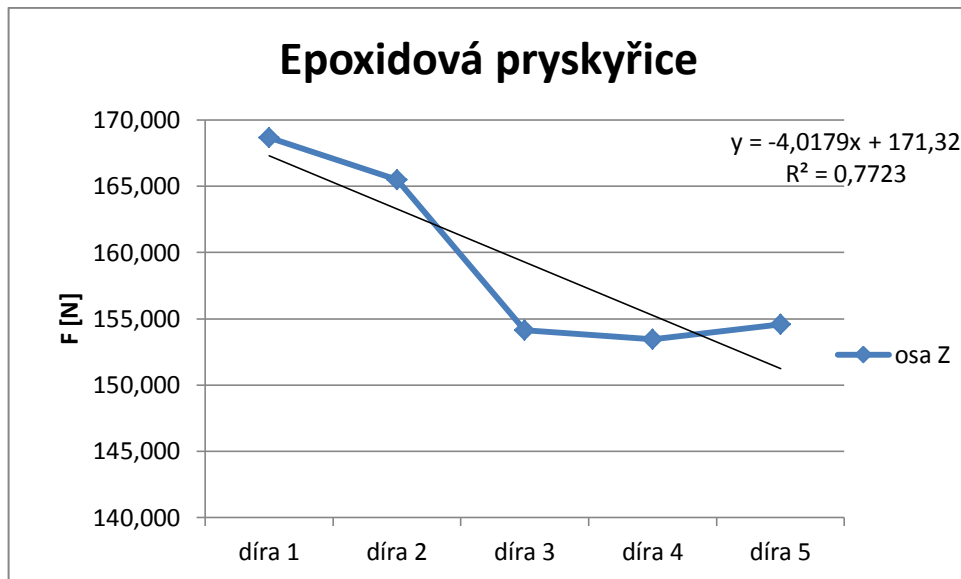


Graf 5 ocel 11 600 – Velikosti osových sil při vrtání pěti děr za konstantních rezných podmínek

Vrtání bylo provedeno dvoubřítým vrtákem průměru 6 mm při 520 ot/min a velikostí strojního posuvu 0,2 mm/ot

Měřený vzorek	ocel 11600				
	Díra 1	Díra 2	Díra 3	Díra 4	Díra 5
Průměrná hodnota osové síly F [N]	1083,573	1084,556	1098,63	1103,139	1088,251
směrodatná odchylka	44,60224	33,82624	47,96916	43,56424	38,11653
rozptyl	1989,359	2301,041	2301,041	1897,843	1452,87
otáčky vřetene [ot/min]	520				
posuv [mm/ot]	0,2				

Tab. 6 Hodnoty naměřené při vrtání oceli 11600

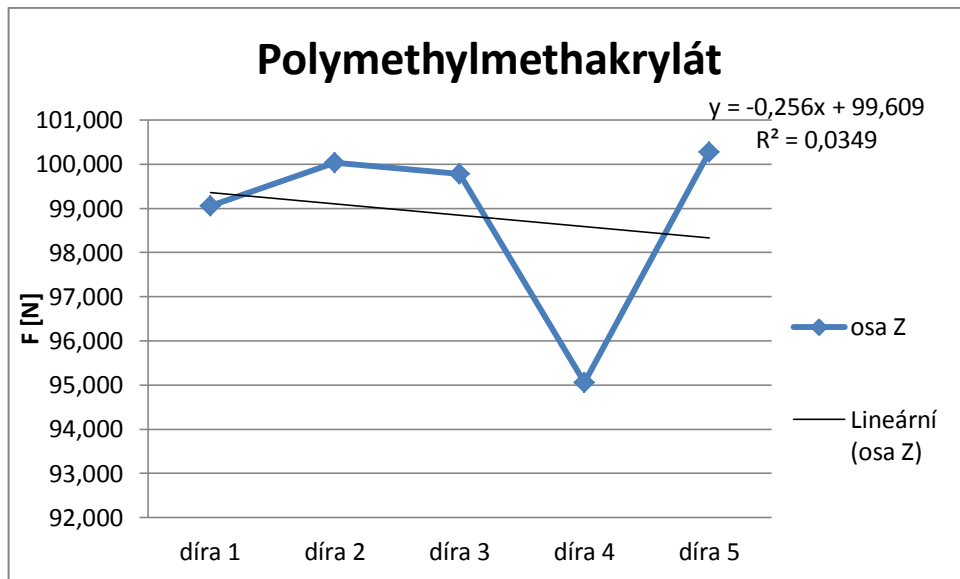


Graf 6 Epoxidová pryskyřice – Velikosti osových sil při vrtání pěti děr za konstantních řezných podmínek

Vrtání bylo provedeno dvoubřítým vrtákem průměru 6 mm při 520 ot/min a velikostí strojního posuvu 0,2 mm/ot

Měřený vzorek	epoxidová pryskyřice				
	Díra 1	Díra 2	Díra 3	Díra 4	Díra 5
Průměrná hodnota osové síly F [N]	168,655	165,506	154,149	153,437	154,601
směrodatná odchylka	9,802572	14,44965	11,50773	10,62434	12,22241
rozptyl	96,09043	208,7923	132,4278	112,8766	149,3872
otáčky vřetene [ot/min]	520				
posuv [mm/ot]	0,2				

Tab. 7 Hodnoty naměřené při vrtání epoxidové pryskyřice



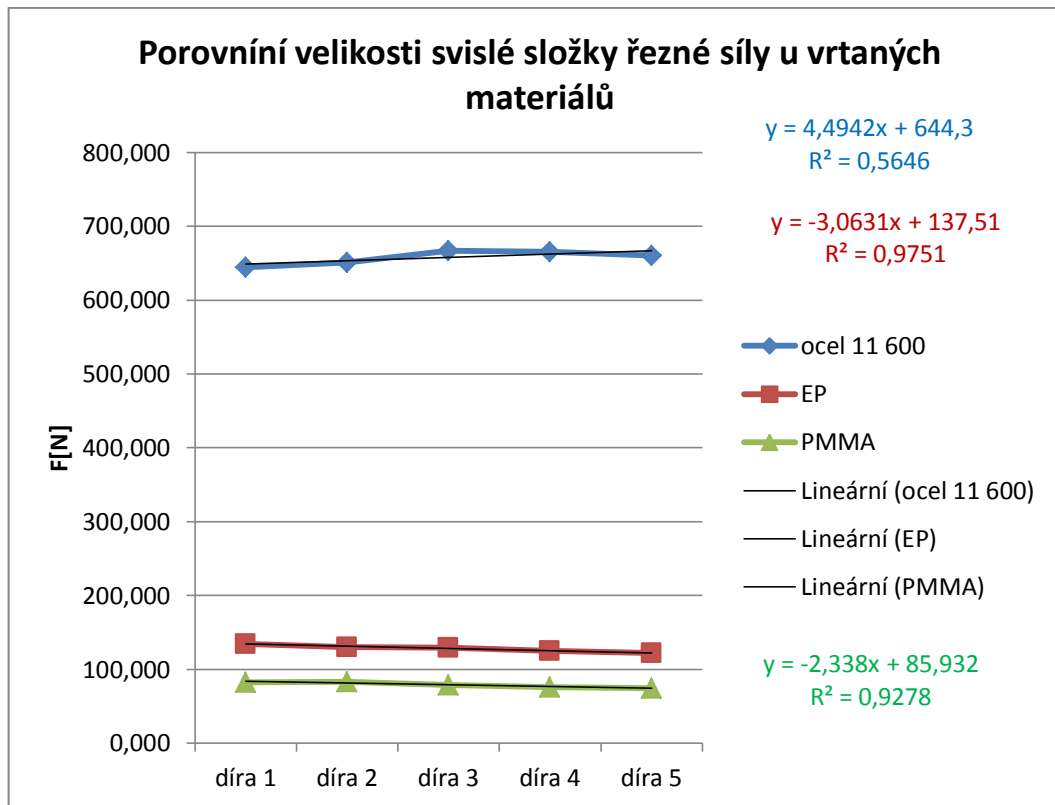
Graf 7 Polymethylmetakrylát – Velikosti osových sil při vrtání pěti děr za konstantních řezných podmínek

Vrtání bylo provedeno dvoubřítým vrtákem průměru 6 mm při 520 ot/min a velikostí strojního posuvu 0,2 mm/ot

Měřený vzorek	Polymethylmetakrylát				
	Díra 1	Díra 2	Díra 3	Díra 4	Díra 5
Průměrná hodnota osové síly F [N]	99,062	100,034	99,784	95,052	100,273
směrodatná odchylka	24,02095	23,28796	24,86617	23,50156	23,46379
rozptyl	577,0058	542,3291	618,3265	552,3235	550,5495
otáčky vřetene [ot/min]	520				
posuv [mm/ot]	0,1				

Tab. 8 Hodnoty naměřené při vrtání polymethylmetakrylátu

Z grafů 2-7 je vidět, že velikosti osových sil nejsou stejné, jsou mezi nimi rozdíly, které mohly být způsobeny nepravidelným odvodem třísek z prostoru řezání. Ucpáním drážek pro odvod třísky dojde ke zvýšení osové síly. U polymerních materiálů také docházelo při opakovaném vrtání ke zvyšování teploty nástroje i vrtaného materiálu a tím k měknutí materiálu a usnadnění průchodu vrtáku materiálem.

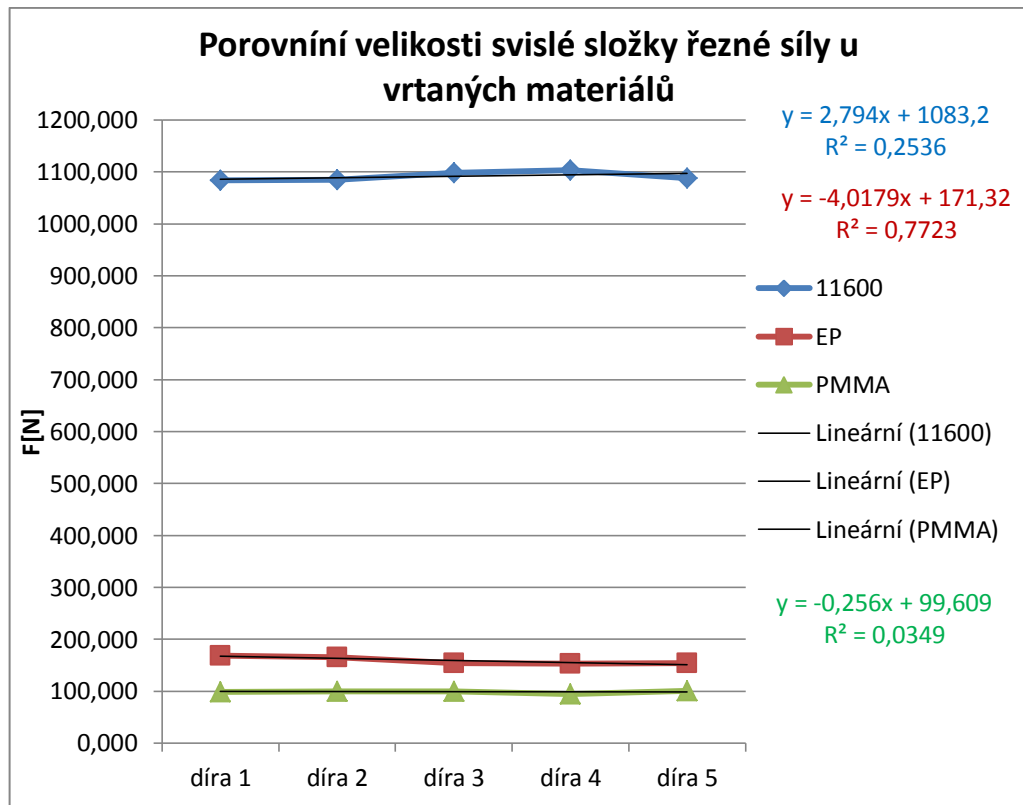


Graf 8 Porovnání svislé složky řezné síly

V tomto grafu porovnávám velikosti osové síly pro pozorované materiály. Po zprůměrování hodnot osové síly jsem získal hodnoty:

- ocel 11 600 = 657,780 N
- epoxidová pryskyřice = 128,319 N
- polymethylmetakrylát = 78,918 N

Vrtání jsem provedl při 520 ot/min, velikostí strojního posuvu 0,1 mm/ot a dvoubřítým vrtákem o průměru 6 mm



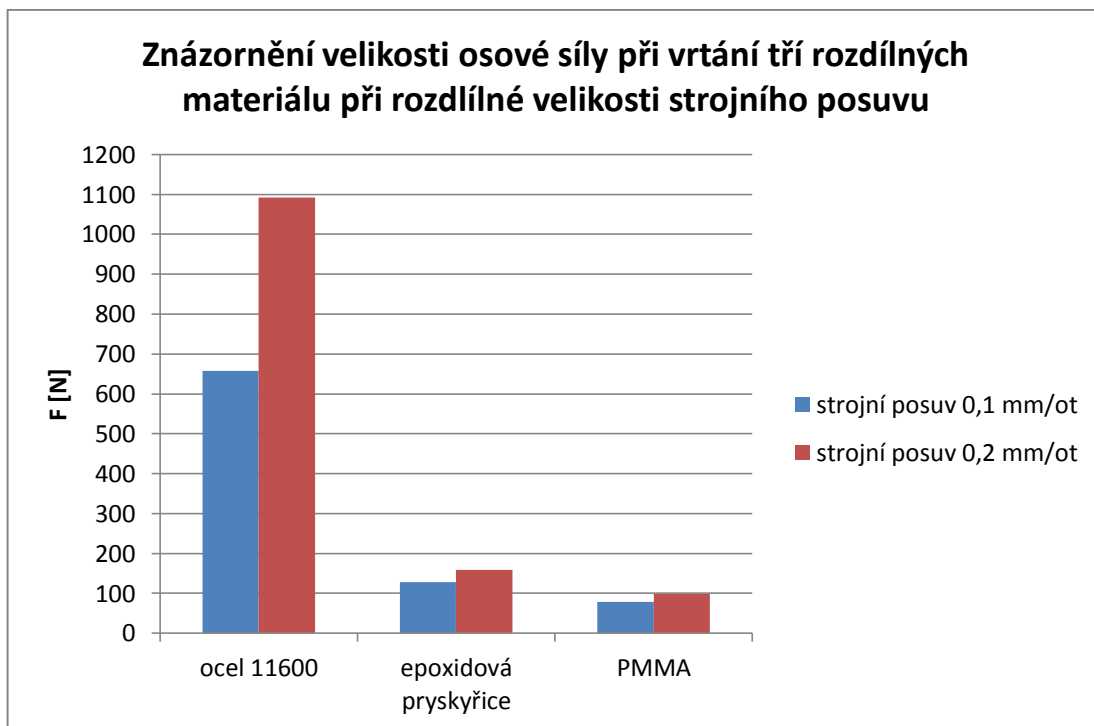
Graf 9 Porovnání svislé složky řezné síly

V tomto grafu porovnávám velikosti osové síly pro pozorované materiály. Po zprůměrování hodnot osové síly jsem získal hodnoty:

- ocel 11 600 = 1091,630 N
- epoxidová pryskyřice = 159,270 N
- polymethylmetakrylát = 98,841 N

Vrtání jsem provedl při 520 ot/min, velikostí strojního posuvu 0,2 mm/ot a dvoubřitým vrtákem o průměru 6 mm

Z grafů 8 a 9 je patrné, že při vrtání polymerů působila mnohem menší osová síla než pro vrtání oceli. Nejnižší síla působila při vrtání amorfního PMMA dále pak Epoxidové pryskyřice a největší osová síla je zapotřebí pro vrtání oceli.



Graf 10 Porovnání svislé složky řezné síly při vrtání tří rozdílných materiálů

V tomto grafu porovnávám změnu velikosti osové síly při vrtání oceli 11 600, epoxidové pryskyřice a polymethylmetakrylátu při velikosti strojního posuvu 0,1 a 0,2 mm/ot.

Z grafu jasně vyplývá, že se zvyšující se velikostí strojního posuvu se zvyšuje i osová síla. U oceli bylo zvýšení velikosti osové síly v řádu stovek Newtonů, u polymerních materiálů vylo zvýšení velikosti osové síly jen v řádu desítek Newtonů.

materiál	posuv $f$ [mm/ot]	průměrná hodnota osové síly $F$ [N]	směrodatná odchylka	rozptyl	zvýšení osové síly při změně velikosti posuvu z 0,1 na 0,2 mm/ot [%]
ocel 11600	0,1	657,780	8,459	71,552	66%
	0,2	1091,630	7,847	61,568	
epoxidová pryskyřice	0,1	130,066	4,568	20,863	22%
	0,2	159,270	6,466	41,805	
PMMA	0,1	78,918	3,433	11,783	25%
	0,2	98,841	1,937	3,753	

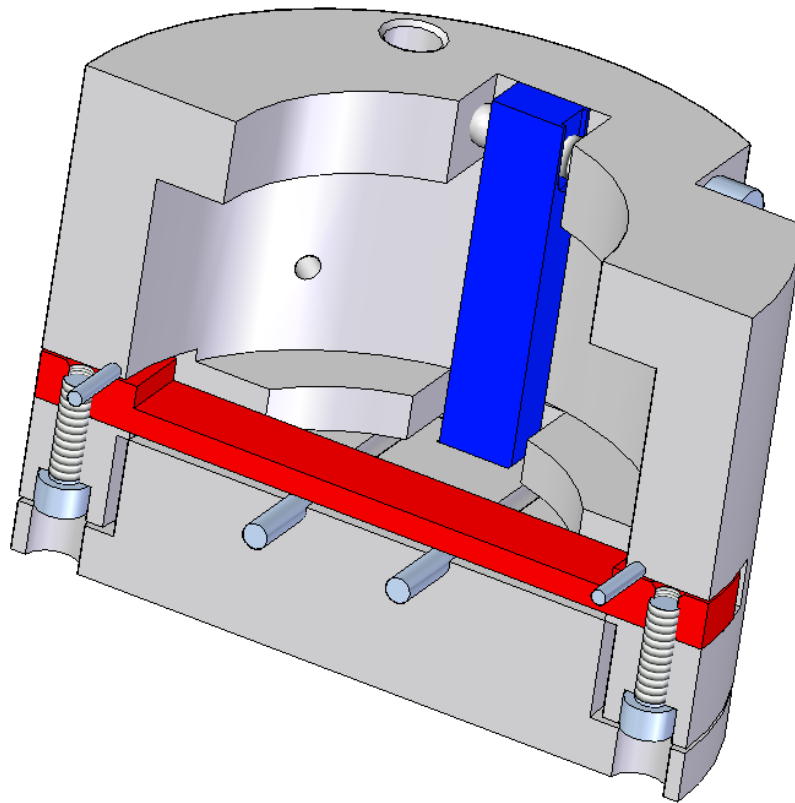
Tab. 9 Celkové vyhodnocení všech naměřených hodnot

## 5.6 Konstrukce dynamometru.

Úkolem bylo zkonstruovat dynamometr, který bude schopen měřit jak osovou sílu, tak i krouticí moment. Pro tento účel jsem navrhnul dynamometr se třemi deformačními nosníky, které se budou při působení sil deformovat. Na nosníky budou přilepeny tenzome-



trické snímače, které budou převádět velikost deformací na signál, který se bude dále zpracovávat. Jeden nosník je určený k zachytávání osové síly při vrtání, a zbylé dva zachytávají krouticí moment.



Obr. 29 Navržený dynamometr

Dolní část dynamometru bude pevně připevněna k pracovnímu stolu obráběcího stroje. Horní část dynamometru bude na spodní část volně nasunuta. Na horní část bude připevněn svěrák, do něhož se vloží obrobek. Osová síla vyvinutá při vrtání bude působit na horní část dynamometru, která je spojena s nosníkem 2 (viz příloha), který je na obrázku 9 znázorněn červeně. Nosník 2 se bude ohýbat kolem dvou kolíků, které jsou vsunuty v dolní části dynamometru. Velikosti vzniklých deformací budou zachyceny tenzometrickými snímači a v elektronické podobě odeslány k dalšímu zpracování.

Při měření krouticích momentů se bude krouticí moment přenášet přes upínací přípravek na horní část dynamometru, která bude mít snahu se otáčet kolem své osy a při tom bude docházet k deformaci nosníku 1 (viz příloha), který je na obrázku 9 znázorněn modře. Na nosník budou přilepeny tenzometry, které deformační síly zpracují do podoby elektrického signálu a odešlou ke zpracování do záznamového zařízení.

## ZÁVĚR

Praktická část práce se zabývá měřením sil při vrtání. Vrtání probíhalo na sloupové vrtačce OPTIMUM B40 GSM. Vrtal jsem do následujících materiálů: Ocel 11 600, epoxidová pryskyřice a polymethylmetakrylát. Všechny vrtání probíhaly do plného materiálu dvoubřitým šroubovým vrtákem o průměru 6 mm. Vrtal jsem do hloubky 20mm. Otáčky vřeten byly konstantní pro všechny materiály a to 520 ot/min. Jediné co jsem měnil, byla hodnota strojního posuvu v hodnotách 0,1 a 0,2 mm/ot. Do každého materiálu jsem vyvrtal 5 děr při stejných řezných podmínkách, mohl jsem tak vypočítat základní statistické charakteristiky souboru jako aritmetický průměr, směrodatnou odchylku a výběrový rozptyl.

Měření jsem prováděl na dvousložkovém dynamometru, který jsem po odpojení snímače síly kolmé na vrták upravil na jednosložkový. Měřil jsem tedy pouze velikost osově síly (síly rovnoběžné s vřetenem vrtáku). Měřené síly dynamometr zachycoval za pomoci deformačních členu, které se úměrně deformovaly a za pomoci tenzometrických snímačů se převáděly deformační síly na milivolty, které následně byly za pomoci programu Spider 8 převáděny na Newtony. Nebyly tudíž zapotřebí žádné další přepočty.

Při měření na dynamometru byly průměrné hodnoty osově síly následující: Při vrtání oceli 11 600 vrtákem průměru 6mm při 520 ot/min a strojním posuvu 0,1 mm/ot byla průměrná hodnota osově síly 657,780 N. Při vrtání epoxidové pryskyřice za stejných podmínek byla průměrná hodnota osově síly 128,319 N. Při vrtání polymethylmetakrylátu za stejných podmínek byla průměrná hodnota osově síly 78,918 N. Při změně strojního posuvu na hodnotu 0,2 mm/ot byly hodnoty následující: Při vrtání oceli 11 600 byla průměrná hodnota osově síly 1091,630N. Při vrtání epoxidové pryskyřice byla průměrná hodnota osově síly 159,270N. Při vrtání polymethylmetakrylátu byla průměrná hodnota osově síly 98,841N. Rozdíly ve velikosti osově síly při různých velikostech strojního posuvu byly u oceli ve stovkách Newtonů. U polymeru byl rozdíl jen v řádu desítek Newtonů. Pro vrtání polymerů byla za potřebí nižší osová síla než při vrtání oceli.

V poslední části práce jsem se zabýval zpracováním konstrukce dynamometru pro měření osově síly i krouticích momentů.

Výkresová dokumentace byla zpracována v programu Solid Edge ST3. Dokumentace obsahuje čtyři výkresy dílu sestavy a jeden výkres sestavy. Sestava tvoří základ dynamometru. Tenzometrické snímače jsou samostatné, a budou se muset na dynamometr přilepit.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] JURKO, Jozef a Imrich LUKOVICS. Vrtanie: technologická metóda výroby dier. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2007, 191 s. ISBN 978-80-7318-488-9.
- [2] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 316 s. ISBN 80-7183-244-8.
- [3] JURKO, Jozef a Imrich LUKOVICS. Obrábateľnosť materiálov. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíne, Fakulta technologická, 2008, 142 s. ISBN 978-80-7318-736-1.
- [4] HLUCHÝ, Miroslav a Josef BENEŠ. Strojírenská technologie: pro SPŠ nestrojnické. 1. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1981, 248 s.
- [5] VÁCLAVOVIČ, Antonín. Vrtání kovů. Vyd. 2. Praha: STNL – Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 102 s.
- [6] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marián. Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní. Ťilina : EDIS Ťilina, 2007. 343 s. ISBN 978–80–8070–711–8.
- [7] KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80 – 214 – 1996 – 2.
- [8] HAVLÍČEK, Vladimír, Vladimír ŠŇUPÁREK a Miloš OSTEN. Přehled plastických hmot. 2., dopln. vyd. Praha: SNTL, 1960, 424 s.
- [9] BEŇO, J.: *Teória rezania kovov*. Košice. VIENALA, 1999. ISBN 80-7099-429-0
- [10] BLABOLIL, František. Přehled výroby, zpracování a použití plastických hmot: příručka pro techniky a zlepšovatele. 1. vyd. Praha: Práce, 1956, 661 s.
- [11] HAVLÍČEK, Vladimír, Vladimír ŠŇUPÁREK a Miloš OSTEN. Přehled plastických hmot. 2., dopln. vyd. Praha: SNTL, 1960, 424] s.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

D	průměr vrtáku	[mm]
L	délka vrtáku	[mm]
n	otáčky vřetene	[ot/min]
$v_c$	řezná rychlost	[mm/min]
f	posuv na otáčku vřetene	[mm]
$Q_{pd}$	teplo vzniklé přeměnou práce plastické deformace	[J/s]
$Q_{tč}$	teplo vzniklé přeměnou práce tření po ploše čela nástroje	[J/s]
$Q_{th}$	teplo vzniklé přeměnou práce tření po ploše hřbetu nástroje	[J/s]
$Q_1$	množství tepla odvedeného třískou	[J/s]
$Q_2$	množství tepla odvedeného obrobkem	[J/s]
$Q_3$	množství tepla odvedeného nástrojem	[J/s]
$Q_3$	množství tepla předaného do prostředí	[J/s]
$F_p$	radiální síla	[N]
$F_c$	řezná síla	[N]
$M_k$	krouticí moment	[Nmm]
$F_{os}$	osová síla	[N]
$P_{cp}$	výkon řezání	[W]
P	výkon hlavního řezného pohybu	[W]
$P_f$	výkon posuvu	[W]
$K_v$	index obrobitelnosti	[-]
$P_{už}$	užitečný výkon	[W]
t	čas	[s]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Hlavní a vedlejší pohyby při vrtání díry. [5] .....	13
Obr. 2 Základní operace vrtání. [1].....	13
Obr. 3 Roviny nástroje – základní pojmy M – ortogonální rovina, N – rovina hlavního ostří, Z – základní rovina, X – zvolený bod, ve kterém se určuje geometrie břitu. [2].....	15
Obr. 4 Úhly nástroje. [2] .....	16
Obr. 5 Tvoření plynulé třísky při řezání – rovina stříhu a struktura třísky. [1] .....	16
Obr. 6 Vytvořený nárůstek na nástroji. [1] .....	17
Obr. 7 Dílčí zdroje tepla. [2].....	18
Obr. 8 Teplota na čele nástroje. $O$ – špička nástroje, $E$ – místo nejvyšší teploty. [2] .....	19
Obr. 9 Plochý vrták. [5] .....	21
Obr. 10 Šroubovitý vrták. [4].....	22
Obr. 11 Dvou a ři břity šroubovitý vrták. [1].....	22
Obr. 12 Dělové vrtáky. [5].....	23
Obr. 13 Hlavňové vrtáky. [7].....	24
Obr. 14 vrtací korunka. [7] .....	24
Obr. 15 Středící vrták. [4].....	25
Obr. 16 Ruční vrtačka s kuželovým převodem. [5].....	25
Obr. 17 Ruční vrtačka se dvěma krytými převody: a) vřetenem se sklíčidlem, b) ruční klika, c) zapouzdřené ozubené převody, d) rukojeť, e) prsní opěrka. [5] .....	26
Obr. 18 Elektrická ruční vrtačka. [5] .....	26
Obr. 19 Stolní vrtačka. [5] .....	26
Obr. 20 Sloupová vrtačka. [4].....	27
Obr. 21 Stojanová vrtačka. [5].....	27
Obr. 22 Řezné síly při vrtání. [1] .....	29
Obr. 23 Charakteristika komplexní obrobiteľnosti materiálu. [3].....	31
Obr. 24 Mechanický dynamometr prstencový. [6] .....	37
Obr. 25 Indukční snímač sil. [6] .....	39
Obr. 26 Dynamometr KISTLER [6] .....	39
Obr. 27 Sloupová vrtačka OPTIMUM B40 GSM .....	43
Obr. 28 Dvousložkový dynamometr.....	44
Obr. 29 Navržený dynamometr .....	57

## Seznam tabulek

Tab. 1 Přípustné mezní teploty řezání jsou závislé na odolnosti použitého materiálu nástroje. [2].....	19
Tab. 2 Ukazatelé pro vrtání plastických hmot. [8].....	28
Tab. 3 Hodnoty naměřené při vrtání oceli 11 600 .....	48
Tab. 4 Hodnoty naměřené při vrtání epoxidové pryskyřice .....	49
Tab. 5 Hodnoty naměřené při vrtání polymethylmetakrylátu.....	50
Tab. 6 Hodnoty naměřené při vrtání oceli 11600 .....	51
Tab. 7 Hodnoty naměřené při vrtání epoxidové pryskyřice .....	52
Tab. 8 Hodnoty naměřené při vrtání polymethylmetakrylátu.....	53
Tab. 9 Celkové vyhodnocení všech naměřených hodnot .....	56

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1 Průběh vrtání oceli 11 600.....	47
Graf 2 Ocel 11 600 – Velikosti osových sil při vrtání pěti děr za konstantních řezných podmínek .....	48
Graf 3 Epoxidová pryskyřice – Velikosti osových sil při vrtání pěti děr za konstantních řezných podmínek.....	49
Graf 4 Polymethylmetakrylát – Velikosti osových sil při vrtání pěti děr za konstantních řezných podmínek.....	50
Graf 5 ocel 11 600 – Velikosti osových sil při vrtání pěti děr za konstantních řezných podmínek.....	51
Graf 6 Epoxidová pryskyřice – Velikosti osových sil při vrtání pěti děr za konstantních řezných podmínek.....	52
Graf 7 Polymethylmetakrylát – Velikosti osových sil při vrtání pěti děr za konstantních řezných podmínek.....	53
Graf 8 Porovnání svislé složky řezné síly.....	54
Graf 9 Porovnání svislé složky řezné síly.....	55
Graf 10 Porovnání svislé složky řezné síly při vrtání tří rozdílných materiálů .....	56

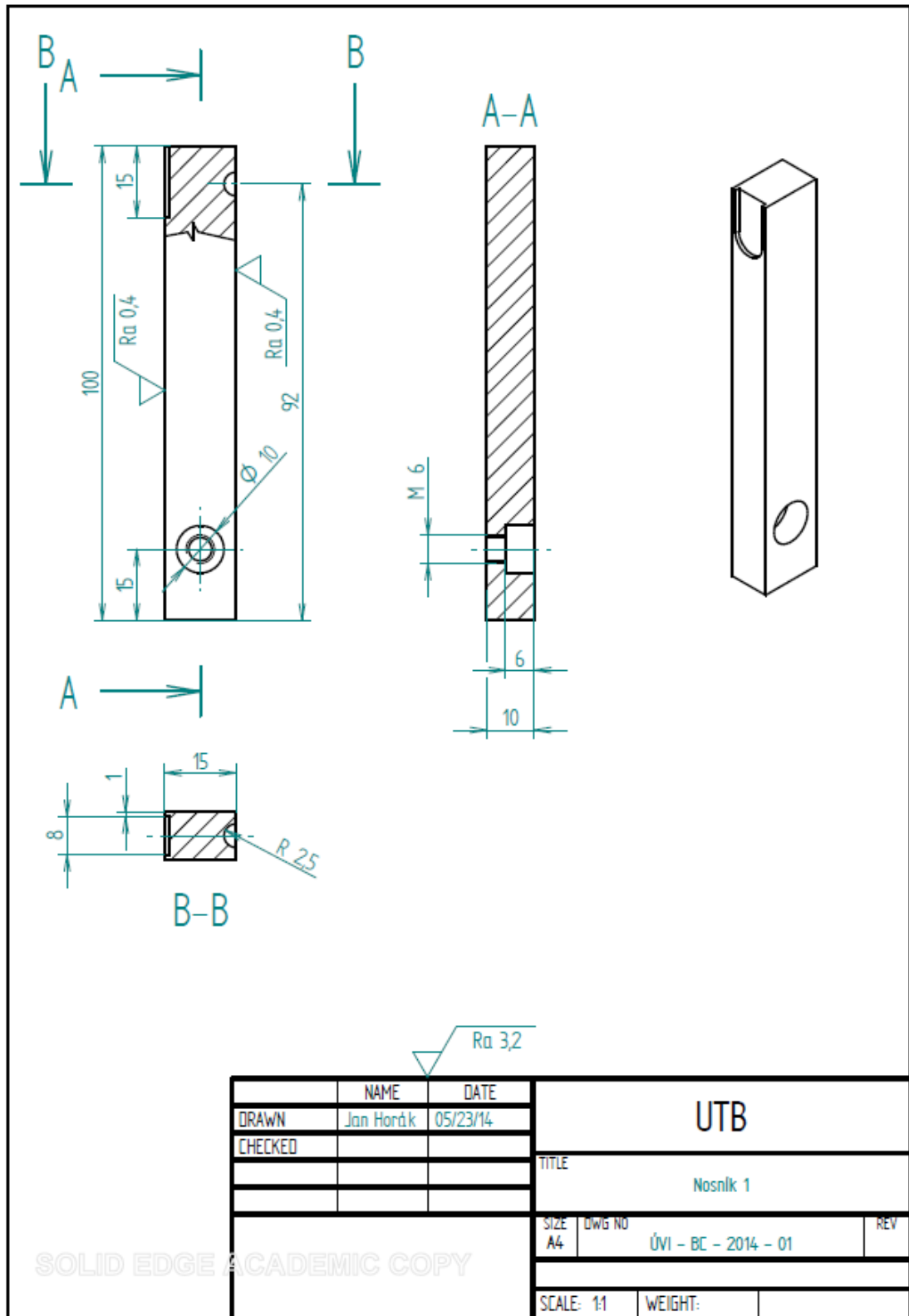
**SEZNAM PŘÍLOH**

P I	Výkres sestavy
P II	Výkres nosníku 1
P III	Výkres nosníku 2
P IV	Výkres příruby
P V	Výkres válcové části
P VI	Kusovník

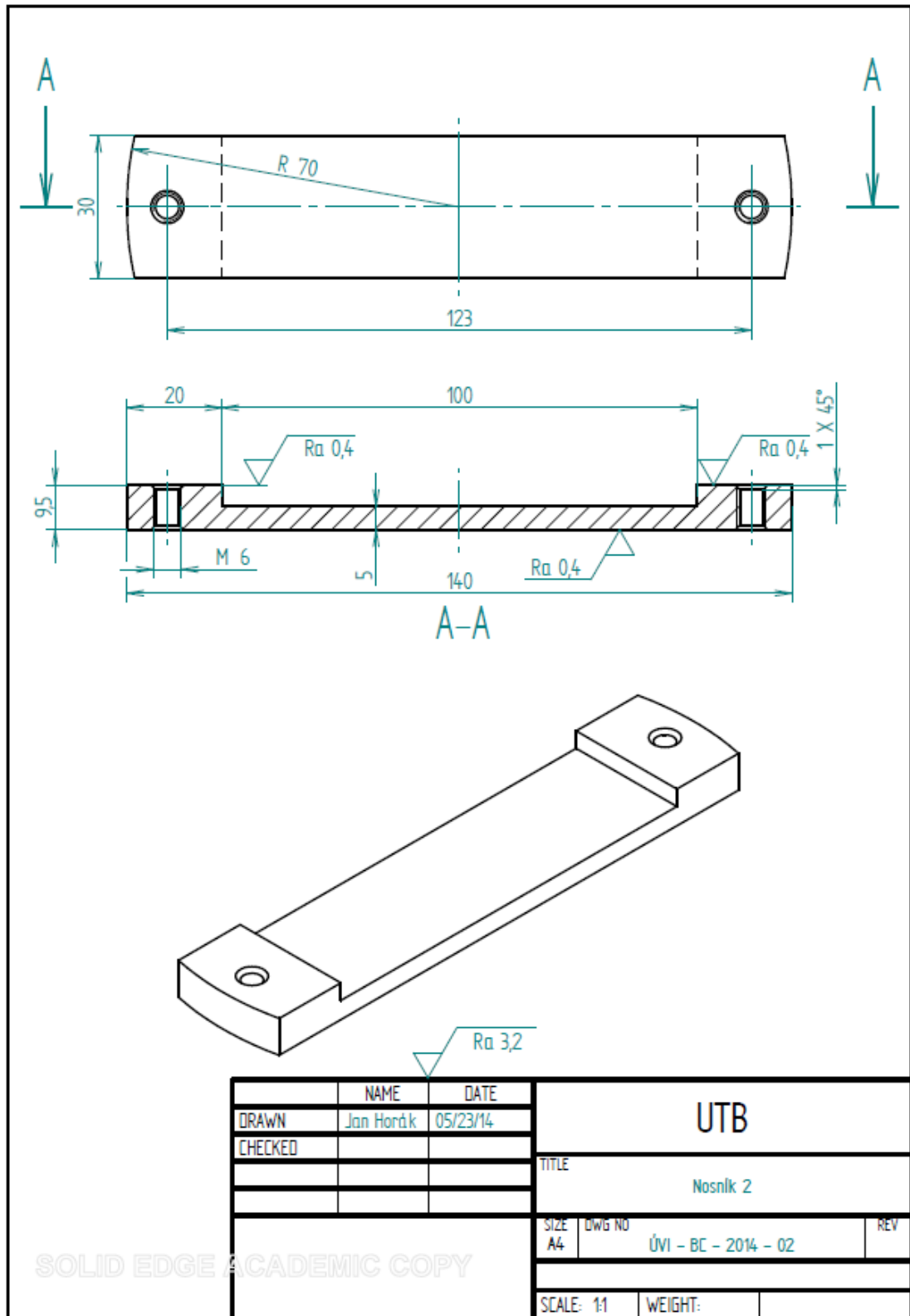




# PŘÍLOHA P II: VÝKRES NOSNÍKU 1



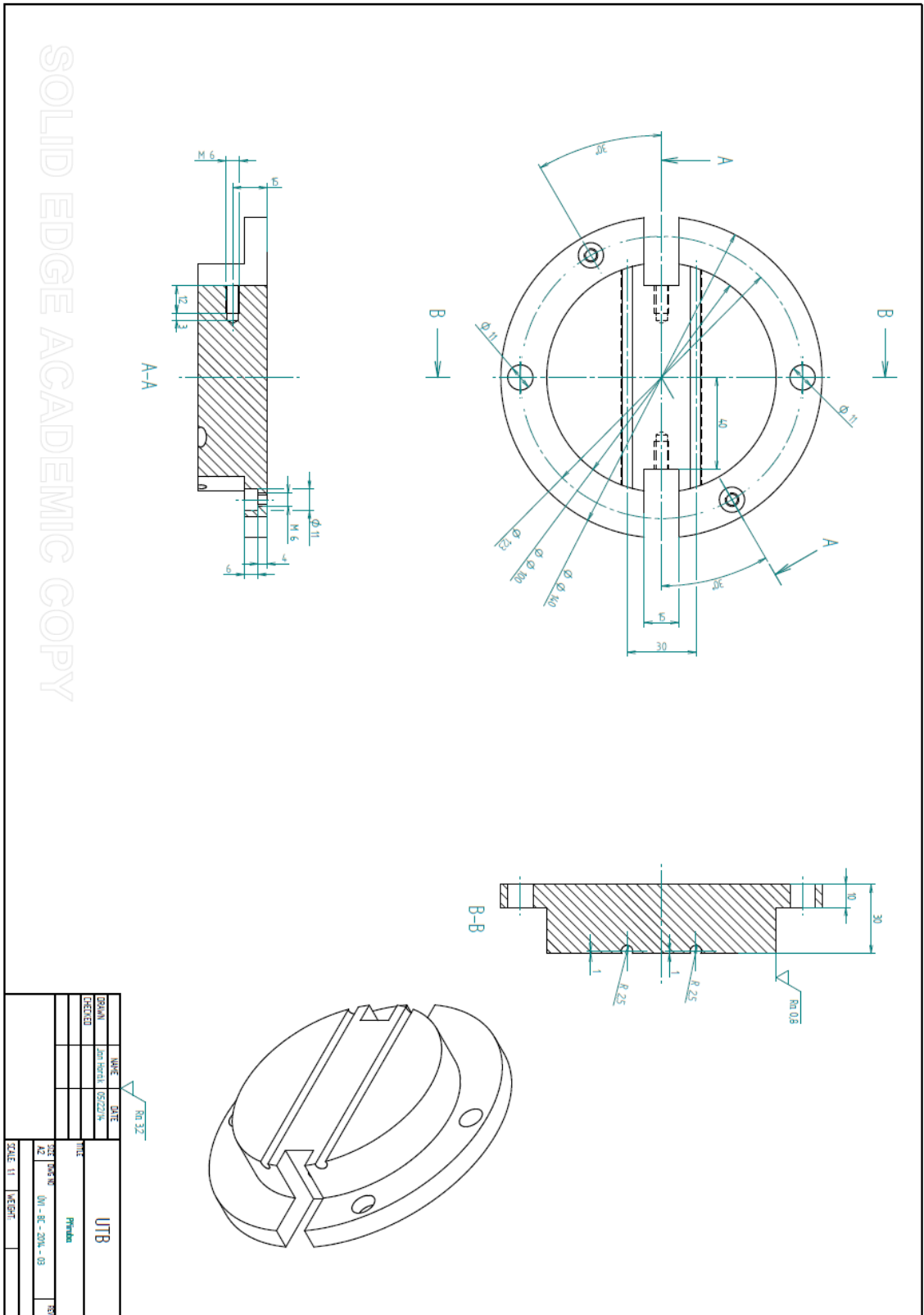
## Příloha P III: VÝKRES NOSNÍKU 2



	NAME	DATE	UTB		
DRAWN	Jan Horák	05/23/14	TITLE		
CHECKED			Nosník 2		
			SIZE	DWG NO	REV
			A4	ÚVI - BC - 2014 - 02	
SCALE: 1:1			WEIGHT:		

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

# Příloha P IV: VÝKRES PŘÍRUBY





## Příloha P VI: KUSOVNÍK

pozice	název	norma	ks
1	válcová část	ÚVI - BC - 2014 - 04	1
2	příruba	ÚVI - BC - 2014 - 03	1
3	nosník 2	ÚVI - BC - 2014 - 02	1
4	nosník 1	ÚVI - BC - 2014 - 01	2
5	kulička	průměr 8mm	2
7	šroub M6x30	ISO 4762	2
8	šroub M6x12	ISO 4762	2
9	šroub M8x30	ISO 4762	2
10	šroub M6x20	ISO 4762	2
11	kolík 5x30	ISO A 8734	2
12	kolík 3x30	ISO A 8734	2

	NAME	DATE	UTB		
DRAWN	Jan Horák	05/21/14			
CHECKED			TITLE		
			Kusovník		
			SIZE	DWG NO	REV
			A4	ÚVI - BC - 2014 - 05	
			SCALE:	WEIGHT:	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY