

# Konstrukce přípravku pro leštění rotačních ploch

Bc. Jaroslav Krpal

---

Diplomová práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jaroslav Krpal**  
Osobní číslo: **T13622**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Konstrukce přípravku pro leštění rotačních ploch**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na dané téma
2. Navrhněte konstrukci pro upnutí vysokoobrátkového vřetene do nožové hlavy soustruhu tak, aby leštící kotouč byl přitlačován k leštěnému povrchu konstantní silou
3. Vypracujte výrobní dokumentaci
4. Zhodnoťte navržené řešení

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**dle doporučení vedoucího DP**

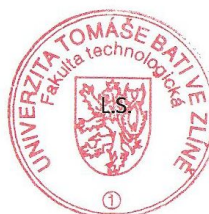
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaroslav Maloch, CSc.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015

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



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

Příjmení a jméno: Krpal Jaroslav

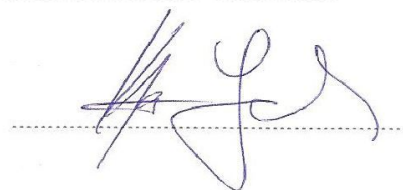
Obor: Výrobní inženýrství

## 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 13.5.2015



<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 nevyjádřeně zveřejní uje 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 obhájení musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlédnutí 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 požadovat na své náklady výpisy, a písy 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 díla vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní díla).*

<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 díla:

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy a užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odporá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího 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, a by jim a utar školního díla z výdělku 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 přihlídí k výši výdělku dosaženého škola u nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá konstrukcí přípravku pro leštění rotačních ploch. V teoretické části jsou popsány jednotlivé metody obrábění a leštění povrchu, dále je uvedena teorie jakosti povrchu a základy pružnosti a pevnosti. V praktické části je navržen 3D model konstrukce přípravku pro leštění rotačních ploch tak, aby byl leštící kotouč vysokoobrátkového vřetene, upnutého do nožové hlavy soustruhu, přitlačován k leštěnému povrchu konstantní silou. Následně je zpracována výrobní dokumentace jednotlivých dílů a sestavy přípravku.

Klíčová slova:

Teorie obrábění, jakost povrchu, leštění, pružnost, pevnost, konstrukce přípravku, rotační plochy

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with a construction of a preparation for polishing surfaces of revolution. Its theoretical part describes unique methods used for tooling and polishing surfaces. Furthermore, it includes the quality surface theory, as well as basics of its elasticity and solidity. The practical part contains a three-dimensional model of the construction of the preparation for polishing surfaces of revolution, made in a way that the polishing disc of the high-pitched spindle, which is strapped in a cutter block of a spinning lathe, is pressed to the polished surface by a constant force. It is followed by a carefully elaborated production documentation of individual component parts of the preparation assembly.

Keywords:

machining theory, surface quality, polishing, flexibility, strength, design of the jig, rotating surface

Touto cestou bych rád poděkoval svému vedoucímu Ing. Jaroslavu Malochovi, Csc. za odborné vedení, poskytnuté rady a čas, který mi věnoval při vypracování diplomové práce.

*„Neměj strach z dokonalosti,*

*nikdy jí nedosáhneš.“*

(Salvador Dali)

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

Ve Zlíně 13.5.2015

.....  
Podpis Diplomanta

# OBSAH

<b>ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>11</b>
<b>1 TEORIE TRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ.....</b>	<b>12</b>
1.1 METODY OBRÁBĚNÍ NÁSTROJI S DEFINOVANOU GEOMETRIÍ.....	14
1.1.1 Soustružení.....	14
1.1.2 Frézování.....	16
1.1.3 Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování.....	19
1.1.3.1 Vrtání.....	19
1.1.3.2 Vyhrubování a vystružování.....	20
1.1.3.3 Zahlubování.....	20
1.1.4 Hoblování a obrážení.....	21
1.1.5 Protahování a protlačování.....	22
1.2 METODY OBRÁBĚNÍ NÁSTROJI S NEDEFINOVANOU GEOMETRIÍ .....	23
1.2.1 Broušení.....	24
1.2.2 Honování.....	25
1.2.3 Lapování.....	26
1.2.4 Superfinašování.....	27
<b>2 TEORIE BEZTRÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ.....</b>	<b>28</b>
2.1 VÁLEČKOVÁNÍ.....	28
2.2 KULIČKOVÁNÍ.....	28
2.3 VYHLAZOVÁNÍ POVRCHU DIAMANTEM.....	29
<b>3 TEORIE LEŠTĚNÍ.....</b>	<b>30</b>
3.1 MECHANICKÉ LEŠTĚNÍ.....	30
3.2 CHEMICKÉ LEŠTĚNÍ.....	31
3.3 ELEKTROCHEMICKÉ LEŠTĚNÍ.....	32
3.4 LEŠTĚNÍ ROTUJÍCÍMI KARTÁČI.....	33
3.5 OMÍLÁNÍ.....	34
3.6 LEŠTĚNÍ PÁSY.....	35
<b>4 TEORIE JAKOSTI POVRCHU .....</b>	<b>36</b>
4.1 CHARAKTER TEXTURY POVRCHU .....	36
4.1.1 Odchylka tvaru.....	37
4.1.2 Vlnitost povrchu.....	37
4.1.3 Drsnost povrchu.....	38
4.1.4 Hodnocení textury povrchu.....	38
<b>5 TEORIE PRUŽNOSTI A PEVNOSTI.....</b>	<b>46</b>



5.1	ZÁKLADNÍ POJMY PRUŽNOSTI A PEVNOSTI.....	46
5.2	VNĚJŠÍ ZATĚŽUJÍCÍ SÍLY.....	47
5.3	VNITŘNÍ SÍLY .....	47
5.4	DEFORMACE TĚLESA .....	48
5.5	PROSTÝ TAH A TLAK.....	49
5.6	SMYK.....	51
5.7	KRUT.....	52
5.8	OHYB.....	52
<b>6</b>	<b>SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DP .....</b>	<b>54</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>VYUŽITÍ PŘÍPRAVKU PRO LEŠTĚNÍ ROTAČNÍCH PLOCH .....</b>	<b>56</b>
<b>8</b>	<b>KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU .....</b>	<b>57</b>
8.1	KINEMATIKA MECHANIZMU PŘÍPRAVKU .....	59
8.2	NÁVRH KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU Č. 1 .....	62
8.3	NÁVRH KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU Č. 2.....	63
8.3.1	Základna přípravku.....	66
8.3.2	Stavitelná konzola a čep.....	71
8.3.3	Vahadlo .....	72
8.3.3.1	FEM analýza vahadla .....	73
8.3.4	Příložka s držáky vřetene .....	76
8.3.5	Napínací mechanismus.....	78
8.3.5.1	Základna závěsu .....	79
8.3.5.2	Vodící tyč.....	80
8.3.5.3	Závěs s kladkami .....	80
8.3.5.4	Závaží .....	82
8.3.6	Přítlačná síla leštícího kotouče.....	83
8.4	ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY .....	84
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>85</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>87</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>89</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>93</b>

## ÚVOD

V dnešní době jsou kladeny vyšší a vyšší nároky na přesnost a kvalitu strojních součástí. Nejedná se jenom o vzhled součásti, ale ve většině případů součástí pro stroje se jedná o přesnost pro funkčnost, správný chod a životnost sestaveného stroje. Povrchy některých součástí vyžadují vysoký lesk pro správnou funkčnost stroje nebo dané operace stroje. Jsou to například trny vytlačovacích strojů, části vstřikovacího stroje, nebo samotné formy pro vstřikování. Vyleštění takových součástí je nákladnou a časově náročnou operací. V mnoha případech se musí vyrábět leštící element geometrických tvarů kopírující tvar leštěného povrchu, který je nevýhodný pro kusovou výrobu. Z tohoto důvodu je výhodné vyrobit univerzální přípravek pro leštění povrchu, se kterým je možné leštit povrchy kusové výroby.

V teoretické části se zabývám obecně třískovým a beztrískovým metodám obrábění, strukturou povrchu a teorií leštění. Následně problematikou pružnosti a pevnosti, kde jsou popsány základní druhy deformací, jako je tah, tlak, smyk, krut a ohyb.

Praktická část je zaměřena na samotnou konstrukci přípravku pro leštění rotačních ploch a to tak, aby leštící kotouč byl přitlačován konstantní silou k leštěnému povrchu. Pro jednotlivé části přípravku je vypracována potřebná výkresová dokumentace, včetně sestavy přípravku s kusovníkem.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 TEORIE TŘÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ

Mezi třískové obrábění lze zařadit takový proces, při kterém je finální tvar i rozměr strojní součásti zhotoven úběrem materiálu z povrchové vrstvy polotovaru. Metody třískového obrábění se rozdělují podle různých hledisek.

Mezi základní rozdělení patří ruční a strojní metody obrábění. Mezi ruční metody třískového obrábění řadíme takové práce, které vykonává člověk pomocí ručních nástrojů jako je sekání, řezání, pilování zaškrabávání, apod. Do této kategorie řadíme rovněž práce vykonávané pomocí ručně ovládaných strojů, jako jsou ruční elektrické vrtačky, brusky, apod. U ručních metod obrábění se využívá fyzická síla a manuální zručnost pracovníka.

Strojní metody třískového obrábění je potřebná energie, dodávána většinou ve formě elektrické energie k obráběcímu stroji, transformována v energii mechanickou, využívána pro realizaci obráběcího procesu.

Strojní metody třískového obrábění pak dále dělíme na tři základní skupiny:

1. Obrábění nástroji s definovanou geometrií
2. Obrábění nástroji s nedefinovanou geometrií
3. Nekonvenční metody třískového obrábění

Dále můžeme rozdělit třískové obrábění podle charakteru záběru řezání na:

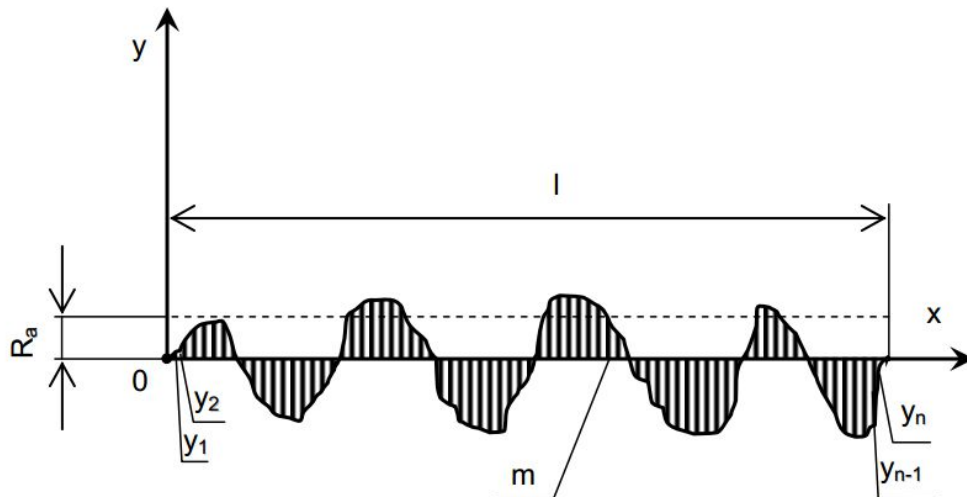
- A. Plynulé řezání - u této metody je řezný klín po celou dobu řezání stále v záběru. Typickým příkladem této metody řezání je soustružení.
- B. Přerušované řezání – u této metody řezný klín střídavě vchází a vychází ze záběru. Typickým příkladem této metody řezání je frézování.

Důležitým aspektem při obrábění materiálu je kvalita obroběných ploch. Dosahované přesnosti obroběných ploch pro základní metody obrábění lze vyjádřit pomocí soustavy 20 stupňů přesnosti, které se označují IT 01, IT 0, IT1,.... IT18. Jednotlivé metody obrábění a odpovídající přesnosti obroběných ploch společně s drsností povrchu jsou znázorněny v tab. 1. [1]

Tab. 1 Dosahované parametry přesnosti obrobených ploch pro základní metody obrábění [1]

Metoda obrábění		Přesnost rozměrů		Drsnost plochy	
		IT		Ra [ $\mu\text{m}$ ]	
		střední	rozsah	střední	Rozsah
<i>Vnější rotační plochy</i>	<i>Soustružení</i>				
	hrubování	13	11 až 14	25	12,5 až 50
	dokončování	10	9 až 11	3,2	1,6 až 12,5
	jemné slin.karbidem	8	7 až 9	0,8	0,4 až 1,6
	jemné diamantem	6	5 až 7	0,4	0,2 až 0,8
<i>Vnitřní rotační plochy</i>	<i>Soustružení</i>				
	hrubování	12	11 až 13	25	12,5 až 50
	dokončování	10	9 až 12	3,2	1,5 až 12,5
	<i>Vrtání šroubovitým vrtákem</i>				
	bez vedení	13	12 až 14	6,3	6,3 až 25
	s vedením	12	10 až 13	3,2	3,2 až 25
	<i>Vyhrubování</i>	9	9 až 11	3,2	1,6 až 3,2
	<i>Vystružování</i>	8	7 až 9	0,8	0,8 až 3,2
	<i>Zahlubování</i>				
	hrubování	12	11 až 14	3,2	1,6 až 12,5
	dokončování	9	7 až 10	1,6	1,6 až 6,3
	<i>Vyvrtávání</i>				
	hrubování	12	11 až 14	25	12,5 až 50
dokončování	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3	
jemné slin.karbidem	6	5 až 8	0,8	0,4 až 1,6	
jemné diamantem	5	4 až 7	0,4	0,2 až 0,8	
<i>Protahování</i>					
hrubování	8	7 až 8	1,6	0,8 až 3,2	
dokončování	7	5 až 7	0,4	0,1 až 0,8	
<i>Rovinné plochy</i>	<i>Frézování</i>				
	hrubování válč.frézou	12	10 až 13	25	12,5 až 50
	dokonč.válč..frézou	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3
	hrub.nožovou hlavou	11	10 až 13	25	12,5 až 50
	dokonč.nož. hlavou	9	8 až 9	3,2	0,8 až 6,3
	jemné slinutým karb.	6	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	<i>Hoblování</i>				
hrubování	12	12 až 13	50	25 až 100	
dokončování	10	9 až 11	6,3	3,2 až 12,5	
	jemné	9	7 až 10	1,6	0,8 až 1,6

Společně se stupněm přesnosti je spjata drsnost povrchu. Drsností povrchu rozumíme část geometrických nerovností s poměrně malou vzdáleností sousedních nerovností. Tyto nerovnosti jsou způsobeny stopami nástrojů při třískovém obrábění. Základní charakteristikou drsnosti povrchu je střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$ , tj. střední aritmetická hodnota absolutních hodnot úchylek  $y_i$  profilu od střední aritmetické čáry profilu  $m$ , která rozděluje skutečný profil tak, že v rozsahu základní délky jsou součty ploch po obou stranách stejné. [2]



Obr. 1 Střední aritmetická úchylka Ra [2]

Ra - střední aritmetická úchylka profilu

m - střední čára profilu

$y_i$  – hodnota úchylky  $i$ -tého bodu profilu od střední čáry profilu

$$Ra = \frac{|y_1| + |y_2| + \dots + |y_n|}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (1)$$

## 1.1 Metody obrábění nástroji s definovanou geometrií

Za metodu obrábění nástroji s definovanou geometrií se považuje taková metoda, při které se používají nástroje s jednoznačně určenou rovinou čela, hřbetu a základovou rovinu, tzn., jsou ohraničena těmito rovinami. Nástroje jsou většinou kovové, keramické destičky, sli nuté karbidy atd. [4]

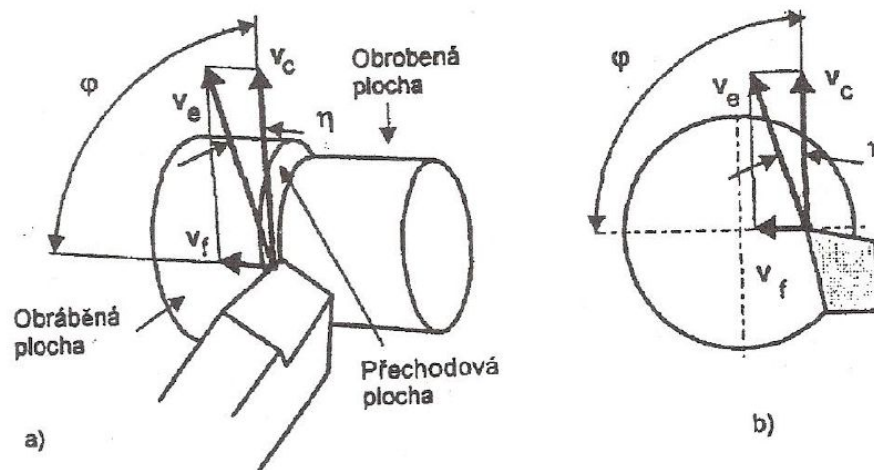
Mezi základní metody obrábění nástroji s definovanou geometrií břitů patří soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání, hoblování, obrážení, protahování a protlačování.

### 1.1.1 Soustružení

Soustružení je taková metoda obrábění, která se aplikuje pro zhotovení rotačních součástí, zejména pomocí jednobřítých nástrojů – soustružnických nožů. Z mnoha hledisek se považuje za nejjednodušší způsob obrábění a jedná se o velmi frekventovanou metodu ve strojním průmyslu. Na soustruzích se soustruží polotovary s hmotností od několika miligramů až do několika tun a to jak na soustruzích s ručním tak i s automatickým ovládáním.

Při soustružení dochází k úběru materiálu řeznou částí nástroje s definovanou geometrií. Materiál je odebrán od polotovaru v podobě třísky. Nástroj musí mít pochopitelně vyšší tvrdost než obráběný materiál, aby došlo k oddělení třísky od polotovaru. Soustružením lze obrábět vnější i vnitřní válcové plochy, kulové a všeobecné rotační plochy, rovinné (čelní) plochy a závity. Na soustruzích lze dále vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závity, vroubkovat, válečkovat, hladit a leštit. [3]

Hlavní pohyb je většinou rotační pohyb obrobku. Posuvový pohyb je vedlejší, vykonává ho nástroj a obvykle je přímočarý nebo obecný. Při soustružení válcové plochy se řezný pohyb realizuje po šroubovici, při soustružení čelní plochy pak po Archimédově spirále a při soustružení obecného rotačního tvaru po obecné prostorové křivce. [1]



Obr. 2 Vektory pohybů při soustružení [1]

a - Podélné soustružení válcové plochy

b - Příčné soustružení čelní plochy

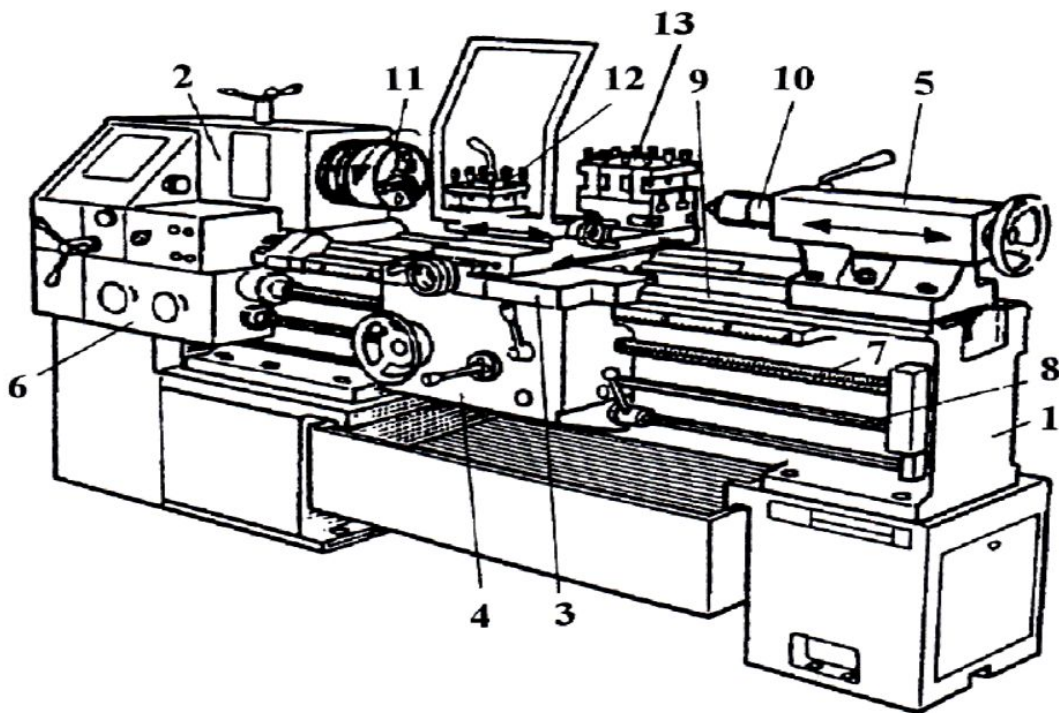
Soustružnické stroje tvoří nejpočetnější skupinu třískových obráběcích strojů. Existuje mnoho různých druhů, typů a velikostí soustruhů.

Z konstrukčního hlediska se dělí na:

- hrotové,
- svislé,
- čelní,
- revolverové,
- speciální.

Rozdělení podle stupně automatizace:

- ručně ovládané,
- poloautomatické – pracují v automatickém cyklu, ovšem je nutný zásah obsluhy po ukončení procesu pro odepnutí a upnutí nového polotovaru,
- automatické – pracují plně automaticky, umožňují samočinné opakování pracovního cyklu po obrobení jedné součástky.



Obr. 3 Univerzální hrotový soustruh a jeho části [3]

- 1- lože, 2- vřeteník, 3- suport, 4- suportová skříň, 5- koník, 6- posuvová převodovka,  
 7- vodící šroub, 8- vodící tyč, 9- vodící plochy, 10- hrotová objímka, 11- sklíčidlo,  
 12- otočná nožová hlava, 13- zadní nožová hlava

### 1.1.2 Frézování

Frézování je metoda třískového obrábění, při níž je materiál z obrobku odebírán břity rotujícího nástroje, tzv. frézy. Frézování se využívá při obrábění hranolovitých rovinných, tvarových i rotačních ploch, dále pro obrábění drážek nejrůznějších profilů, závitů a ozubení. Hlavní pohyb při frézování vykonává nástroj, který rotuje. Vedlejším pohybem je posuv, který vykonává obrobek a obvykle je přímočarý. U dnešních moderních strojů jsou posuvy plynule měnitelné ve více osách najednou a tím docílíme obrobení složitých tvarů.



Řezný proces u frézování je přerušovaný. Frézování je další metoda třískového obrábění, která patří mezi velmi rozšířené metody ve strojírenství.

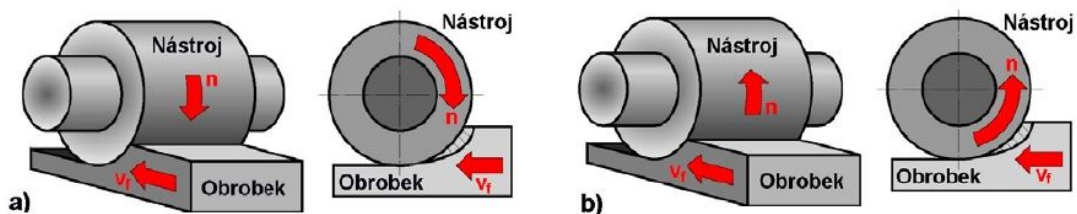
Z technologického hlediska v závislosti na poloze osy nástroje rozlišujeme:

- Frézování válcové – frézování obvodem nástroje
- Frézování čelní – frézování čelem nástroje

U válcového frézování jsou zuby frézy pouze na obvodu nástroje, hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo na osu frézy. Obráběná plocha je rovnoběžná s osou nástroje.

V závislosti na kinematice obráběcího procesu rozlišujeme frézování na:

- Sousedné - sousměrné
- Nesousedné - protisměrné

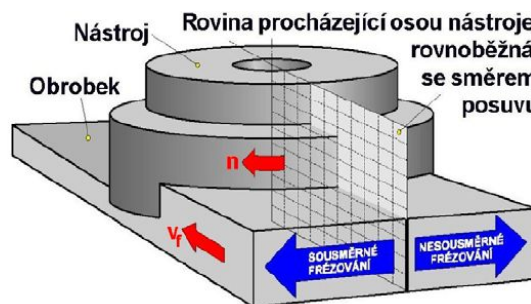


Obr. 4 Válcové frézování, a) sousledné, b) nesousledné [3]

Při sousledném frézování je smysl rotace nástroje v místě styku ve směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se mění z maximální do minimální hodnoty. Finální, neboli obrobená plocha se vytváří výstupem zubu frézy ze záběru.

Při nesousledném frézování je smysl rotace nástroje v místě styku proti směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se mění z minimální do maximální hodnoty. Finální plocha se vytváří vstupem zubu frézy do záběru.

U čelního frézování jsou zuby frézy na obvodu i čele nástroje. U čelního frézování je obráběná plocha kolmá s osou nástroje, hloubka řezu se nastavuje ve směru osy nástroje.



Obr. 5 Čelní frézování [3]

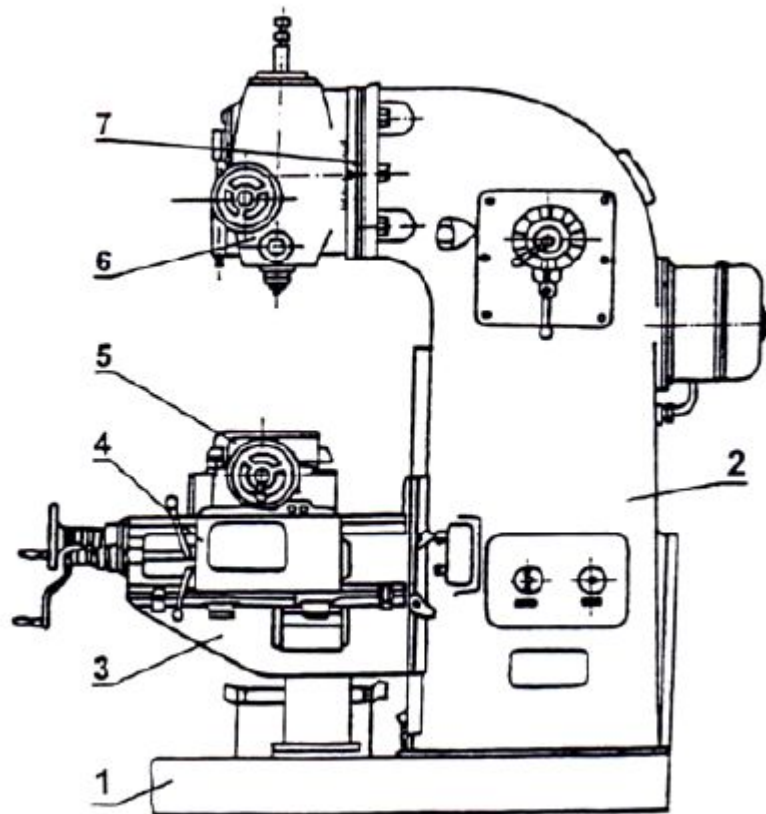
Frézovací stroje jsou vyráběny v mnoha provedení různých velikostí, typů i výkonů s rozmanitým příslušenství.

Základní dělení fréz vytváří 4 skupiny:

- Konzolové
- Stolové
- Rovinné
- Speciální

Rozdělení podle stupně automatizace:

- Ručně ovládané
- Programově řízené – s tvrdou nebo pružnou automatizací



Obr. 6 Svislá konzolová frézka

- 1- základna, 2- stojan, 3- konzola, 4- příčný stůl,  
5- podélný pracovní stůl, 6- naklápěcí vřeteník,  
7- kruhová základna vřeteníku

### 1.1.3 Vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování

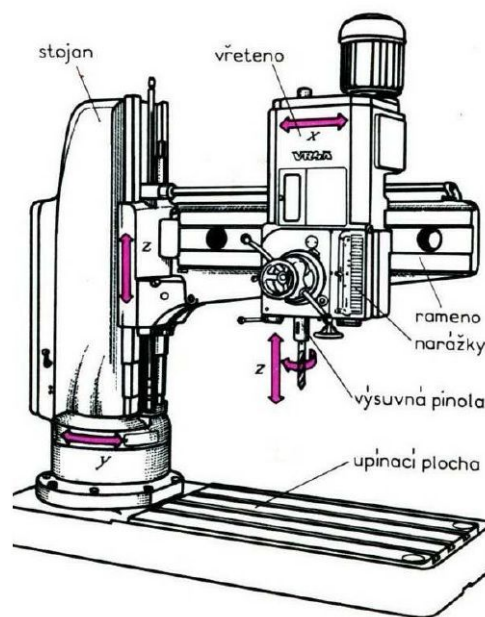
Tyto metody třískového obrábění slouží k opracování válcových děr. Obrábění děr se řadí do kategorie obrábění vnitřních ploch strojních součástí a je ve strojírenské výrobě hojně využívána. Tvary obráběných děr jsou různé a odvíjí se od jejich funkce. V drtivé většině se používají na opracování vícebřité nástroje. Hlavní pohyb při těchto operacích vykonává převážně nástroj. Vedlejší pohyb je rovnoběžný s osou nástroje. Naopak je to u těchto operací zhotovujících na soustruzích, kdy hlavní pohyb koná obrobek. [1]

#### 1.1.3.1 Vrtání

Vrtání je metoda, kterou se zhotovují díry do plného materiálu, nebo se zvětšují již předpřipravené díry po předvrtání, předlití, předlisování, apod. Nástrojem pro vrtání je vrták a jeho osa je většinou kolmá na k ploše, kterou obrábíme. Při vrtání rozlišujeme vrtání průchozích a neprůchozích děr. Strojem pro vrtání jsou vrtačky a podle druhu vrtání se rozděluje vrtání na ruční nebo strojní. [3]

Strojní vrtačky dělíme podle konstrukce do 5 kategorií na:

- Stolní
- Sloupové
- Stojanové
- Otočné
- Speciální

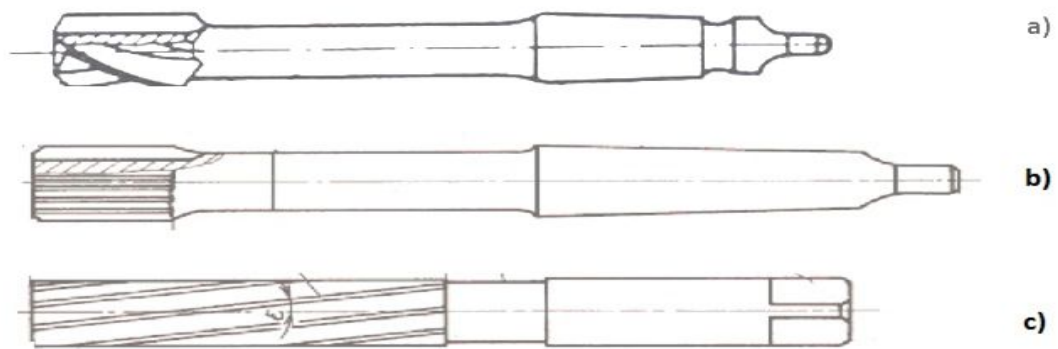


Obr. 7 Otočná vrtačka VR4A [3]

### 1.1.3.2 Vyhrubování a vystružování

Vyhrubování a vystružování se používá při vyšších nárocích na přesnost díry. Tyto operace se používají po vrtání, které zpřesňují tvar díry a snižují drsnost povrchu. Nástrojem pro vyhrubování je výhrubník, který je obvykle tříbřitý až čtyřbřitý, výjimečně pak pětibřitý. Nástrojem pro vystružování je výstružník, u kterého je počet břitů odvíjen od průměru výstružníku (zpravidla 4 až 18 břitů). U menších děr, do průměru 10 mm, se používá pouze vystružování, větší díry se první vyhrubují a pak vystružují. [1][3]

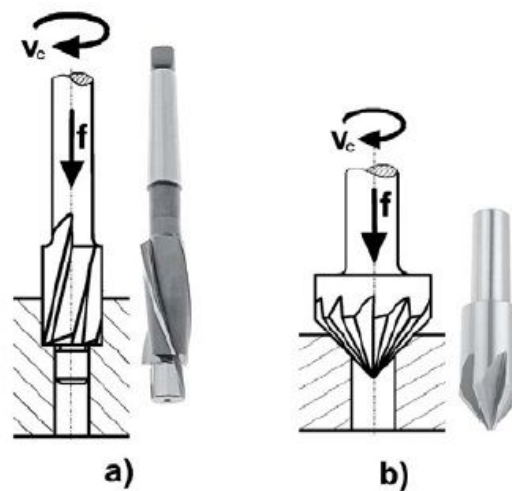
Výstružníky dělíme, na rozdíl od výhrubníků, na ruční a strojní. U ručního výstružníku je stopka zakončena čtyřhranem pro vratidlo, u strojních mají stopku kuželovou nebo válcovou. Geometrie ručního výstružníku je kuželovitého tvaru, u strojního výstružníku je to válcový tvar se skosenou špičkou nástroje.[3]



Obr. 8 a) výhrubník, b) strojní výstružník, c) ruční výstružník

### 1.1.3.3 Zahlubování

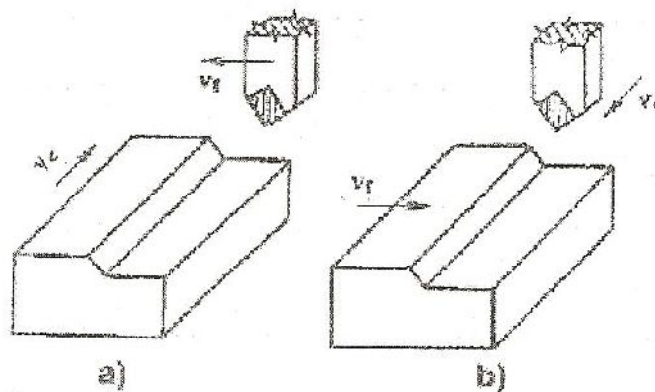
Zahlubování je metoda třískového obrábění, která slouží k obrobení válcových děr pro hlavy šroubů nebo kuželového zahloubení pro zapuštěné hlavy šroubů. Podle tvaru zahloubených ploch rozlišujeme záhlubníky válcové, kuželové a ploché. Válcové záhlubníky mají stopku, nebo jsou nástrčné. Kuželové záhlubníky mají samostředící efekt, oproti válcových a plochým záhlubníkům, které mají vedení zajištěné vodícím čepem.



Obr. 9 Způsoby zahlubování a) válcové, b) kuželové [3]

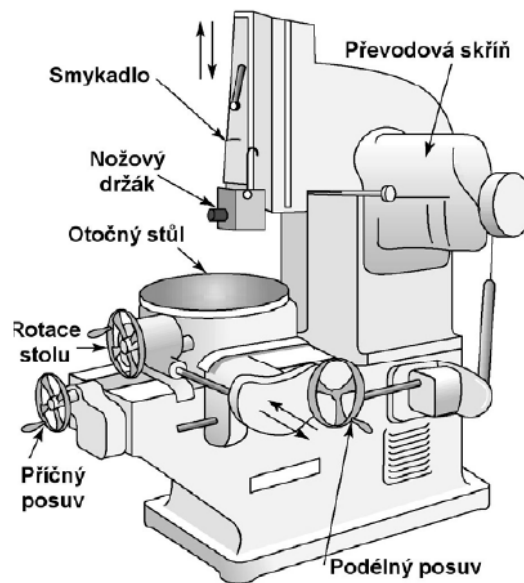
#### 1.1.4 Hoblování a obrážení

Hoblování a obrážení je metoda třískového obrábění využívaná pro obrobení dlouhých rovinných a tvarových ploch jednobřitým nástrojem. Hlavní pohyb je přímočarý vratný, při hoblování ho vykonává obrobek a při obrážení ho vykonává nástroj. Vedlejší pohyb je posuv, který je kolmý na směr hlavního pohybu a je přerušovaný, probíhá vždy na konci dvojdvihu.



Obr. 10 a) hoblování, b) obrážení [1]

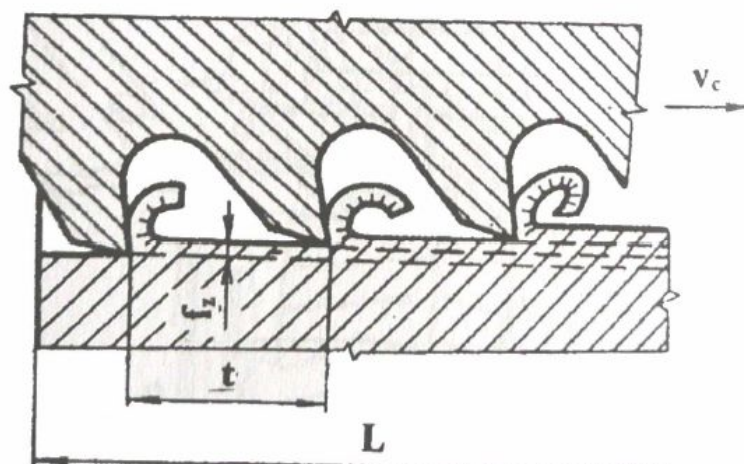
Stroje pro hoblování se nazývají hoblovačky a dělí se na svislé nebo vodorovné, pro obrážení jsou to obrážečky, které se dělí také na svislé a vodorovné.



Obr. 11 Schéma svislé obrážeky [3]

### 1.1.5 Protahování a protlačování

Protahování a protlačování je velmi produktivní metoda, která se využívá převážně pro výrobu tvarových děr a vnějších tvarových ploch. Využívají se především pro hromadné a velkosériové výroby, z důvodu vysokých pořizovacích nákladů nástroje. Hlavní pohyb u těchto technologií koná nástroj, který je u protahování tažen a při protlačování tlačěn a jde o pohyb přímočarý. Podstatou protahování a protlačování je postupný úběr materiálu z obrobku jednotlivými po sobě následujícími zuby protahovacího trnu. Protahovací nebo protlačovací trn udává konečné rozměry, tvar a drsnost povrchu. [1]



Obr. 12 Princip protahování a protlačování [1]

## 1.2 Metody obrábění nástroji s nedefinovanou geometrií

Metody obrábění nástroji s nedefinovanou geometrií břitu jsou nejvíce využívány při obrábění strojírenských součástí, u kterých je kladen důraz na vysokou kvalitu a přesnost obroběných ploch. Do této skupiny řadíme takové operace, u kterých nelze definovat rovinu čela, hřbetu a základovou rovinu. Mezi tyto metody obrábění patří zejména broušení, honování lapování a superfinišování. Parametry, kterých můžeme dosáhnout při použití těchto metod, jsou uvedeny v tab. 2. [1][3]

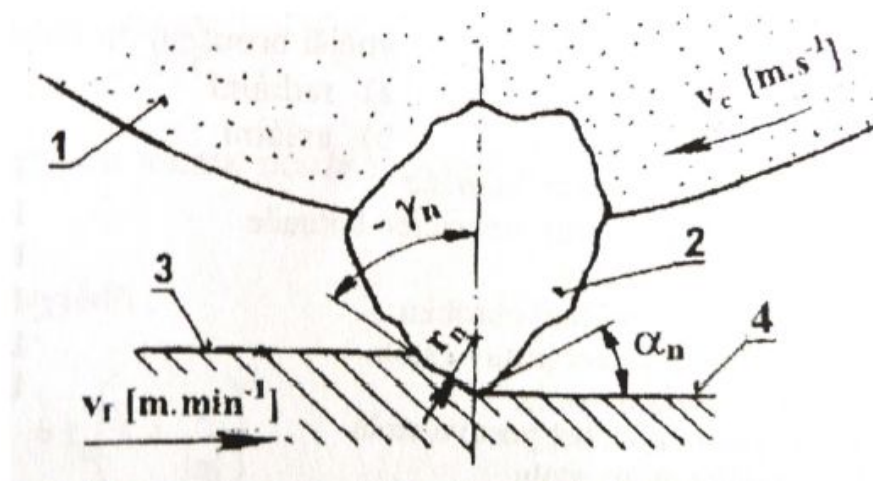
Tab. 2 Dosahované parametry obrobených ploch pro metody obrábění nástroji s nedefinovanou geometrií [3]

Metoda obrábění			Přesnost rozměrů		Drsnost povrchu	
			IT		Ra [ $\mu\text{m}$ ]	
			střední	rozsah	střední	rozsah
vnější rotační	Broušení	hrubovací	10	9 ÷ 11	2,40	0,80 ÷ 3,20
		dokončovací	5	5 ÷ 6	0,40	0,20 ÷ 0,60
		jemné	4	3 ÷ 5	0,20	0,05 ÷ 0,40
	Lapování	dokončovací	4	3 ÷ 4	0,10	0,05 ÷ 0,20
		jemné	2	1 ÷ 2	0,03	0,012 ÷ 0,050
	Superfinišování	dokončovací	4	3 ÷ 5	0,20	0,05 ÷ 0,40
		jemné	3	2 ÷ 4	0,06	0,025 ÷ 0,100
vnitřní rotační	Broušení	hrubovací	10	9 ÷ 11	2,40	1,60 ÷ 3,20
		dokončovací	6	5 ÷ 7	0,80	0,40 ÷ 1,60
		jemné	5	3 ÷ 6	0,20	0,05 ÷ 0,40
	Honování	hrubovací	7	6 ÷ 8	0,40	0,20 ÷ 0,80
		dokončovací	6	5 ÷ 7	0,15	0,10 ÷ 0,20
		jemné	4	3 ÷ 5	0,07	0,05 ÷ 0,10
	Lapování	dokončovací	4	3 ÷ 5	0,20	0,01 ÷ 0,40
		jemné	2	1 ÷ 3	0,03	0,012 ÷ 0,050
Rovinné	Broušení	hrubovací	10	9 ÷ 11	2040	1,60 ÷ 3,20
		dokončovací	6	5 ÷ 7	0,80	0,40 ÷ 1,60
		jemné	5	3 ÷ 6	0,20	0,05 ÷ 0,40
	Lapování	dokončovací	4	3 ÷ 5	0,20	0,10 ÷ 0,40
		jemné	2	1 ÷ 3	0,03	0,012 ÷ 0,050

### 1.2.1 Broušení

Broušením dosáhneme velmi přesných a jakostních povrchů, tímto patří mezi nejvýznamnější technologii výroby. Pro broušení je charakteristickým znakem nerovnoměrné rozložení brusných zrn po celém povrchu brusného kotouče odebírající velké množství malých třísek. Jde tedy o metodu třískového obrábění s mnohobřitým nástroji s nedefinovatelnou geometrií břitu (zrna brusiva), které jsou spojeny pojivem. Patří mezi nejstarší metody obrábění. Hlavní pohyb vykonává rotující brusný kotouč, vedlejší pohyb (posuv) vykonává obrobek nebo brusný kotouč.

Z důvodu nepravidelného uspořádání a geometrii zrn v brousícím nástroji se odebírá nepravidelná tříška. Jednotlivá brousící zrna mají vysokou tvrdost a odolnost vůči teplotě.



Obr. 13 Model záběru brousícího zrna [1]

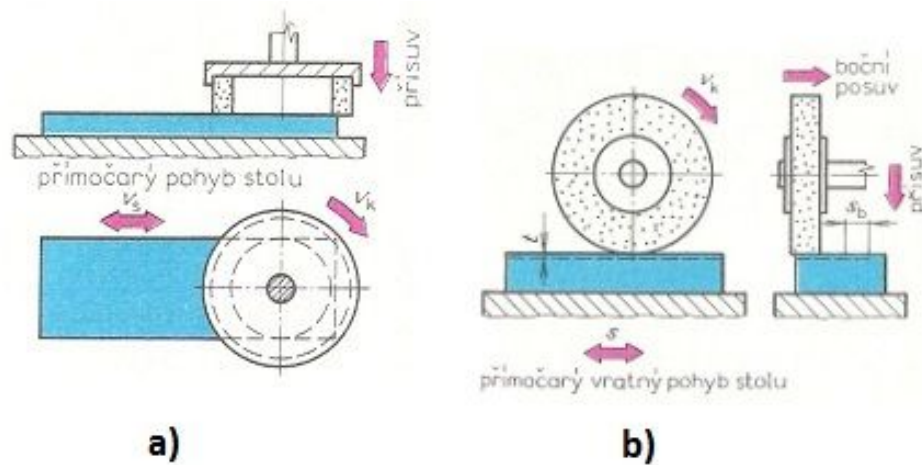
1- brousící kotouč, 2- brousící element, 3- broušený povrch, 4- povrch po broušení

Brousit se dají různé tvary povrchu v různých polohách, proto existuje mnoho druhů broušení. Podle tvaru obrobenej plochy se rozlišuje:

- Rovinné broušení – pro rovinné plochy
- Broušení dokulata – pro rotační plochy
- Broušení na otáčivém stole – broušení s rotačním posuvem
- Tvarové broušení – broušení ozubených ploch, závitů, atd.
- Kopírovací broušení – broušení s řízenou změnou posuvu, NC stroje
- Broušení tvarovými brousícími kotouči – profil brousícího kotouče určuje konečný tvar obrobku



Podle aktivní části brousícího kotouče se rozděluje broušení na obvodové a čelní broušení.



Obr. 14 Broušení a) čelem kotouče, b) obvodem kotouče

Stroje pro broušení se nazývají brusky. Podle toho, jaké plochy brousíme, dělíme brusky zásadně:

- Pro broušení vnějších rotačních ploch
- Pro broušení vnitřních rotačních ploch a čel
- Pro broušení rovinných ploch
- Nástrojové
- Závitové
- Pro broušení ozubených kol
- Jednoúčelové brusky.

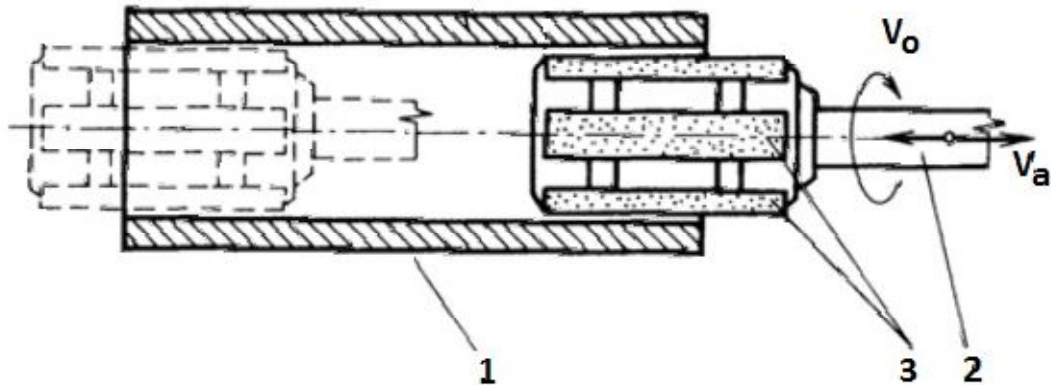
### 1.2.2 Honování

Honování je dokončovací metoda obrábění, při které je odebírán materiál abrazivním účinkem velmi jemného brusiva honovacích kamenů, lišt nebo kartáčů z obrobku. Honování se používá většinou pro vnitřní válcové plochy, a to jak díry průchozí tak i neprůchozí v poměrně velkém rozsahu průměrů i délek. Méně často se honují vnější válcové plochy. Honování má své uplatnění při výrobě hydraulických, pneumatických a brzdových válců, válců spalovacích motorů, pouzder, ložisek apod. Honováním se dosáhne vysoké přesnosti geometrického tvaru a jakosti povrchu. [1]

Honovacím nástrojem je honovací hlava, ve které je upevněna sada radiálně stavitelných honovacích kamenů v rovnoměrných roztečích po celém jejím obvodu. Brousící kameny jsou přitlačovány k honované ploše určitým tlakem. [3]

Podle požadované přesnosti honovaného povrchu se rozlišuje: [5]

- Honování jednostupňové – jeden nástroj pro hrubovací i dokončovací honování
- Honování dvoustupňové – hrubozrnější nástroj pro hrubování, jemnozrný nástroj pro dokončování



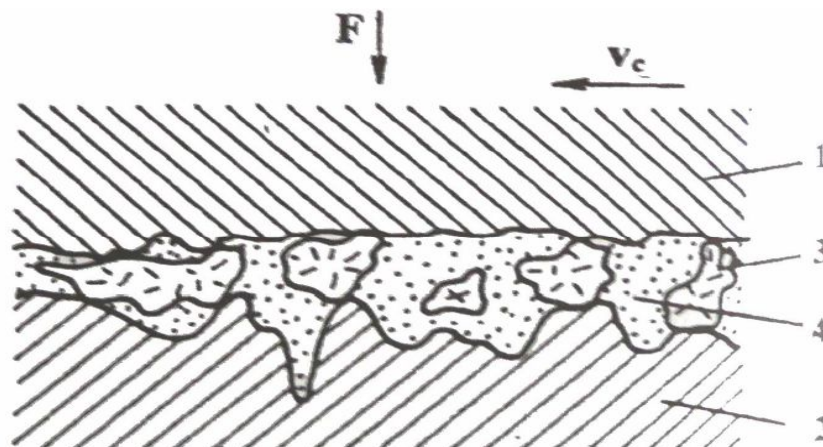
Obr. 15 Princip honování [5]

1- obrobek, 2- honovací hlava, 3- honovací kameny

### 1.2.3 Lapování

Lapování je dokončovací operace obrábění, kterou se dosahuje nejvyšší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti obrobenej plochy. Lapování se používá pro dokončení jak vnějších, tak i vnitřních rovinných, válcových i tvarových ploch. Lapují se zejména součásti s vysokým nárokem na přesnost a hlavně jakost povrchu, jakož jsou funkční plochy měřidel kalibrů, koncových měrek apod. Lapování je zvláštní druh velmi jemného broušení, při němž se využívá volné brusivo k mikroskopickému úběru materiálu z obrobku, které se přivádí mezi vzájemně se pohybující lapovací nástroj a obrobek. Lapovací nástroj je negativem obráběné plochy. Nosným médiem brusných zrn je kapalina nebo pasta.[1]

Z technologického hlediska se lapování rozlišuje na hrubovací, jemné a velmi jemné lapování. Při hrubovacím lapování dochází k úběru nerovností a výstupku obráběného povrchu, u velmi jemného lapování dochází k plastické deformaci lapované plochy. [7]

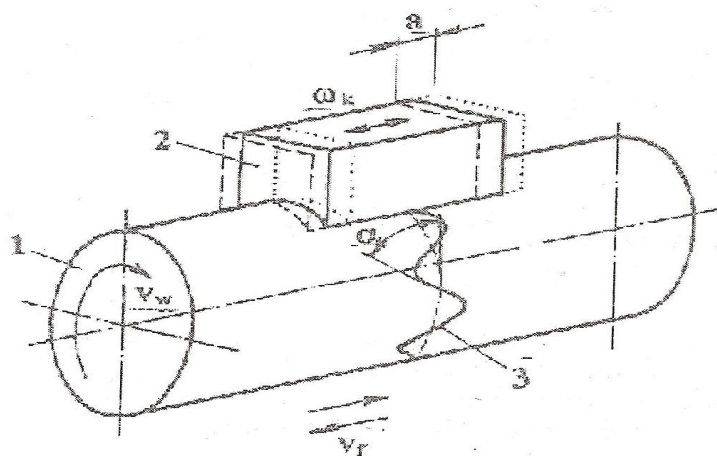


Obr. 16 Princip lapování [7]

1- lapovací nástroj, 2- lapovaná část, 3- brusné zrno, 4- lapovací prostředí

#### 1.2.4 Superfinašování

Superfinašování je vysoce produktivní metoda dokončovacích operací při obrábění vnějších i vnitřních rovinných, rotačních a tvarových ploch s velmi vysokou přesností a nízkou drsností povrchu. Hlavní význam má při výrobě valivých ložisek a součástí automobilového průmyslu. Superfinašování je speciální druh broušení, při němž se z obráběného povrchu odřezávají vrcholky nerovností abrazivním účinkem jemných zrn superfinašovacích kamenů. Pro superfinašování je charakteristickým znakem malá řezná rychlost a oscilační pohyb superfinašovacího nástroje, který je přitlačovaný určitou silou na obráběný povrch. Jako pomocné médium se používá petrolej pro hrubé superfinašování, pro velmi jemné superfinašování se používá kapaliny s vyšší viskozitou, např. olej.



Obr. 17 Princip superfinašování [1]

1- obrobek, 2- superfinašovací nástroj, 3- stopa po jednom zrně brusiva

## 2 TEORIE BEZTRŽÍSKOVÉHO OBRÁBĚNÍ

Beztržiskové metody obrábění jsou založeny na principu plastické deformaci povrchové vrstvy obrobku. Plastické deformace se dosahuje do hloubky několika setin až desetin milimetru. Těmito deformacemi dochází ke zlepšení struktury povrchu a ke zvýšení pevnosti a tvrdosti. V povrchové vrstvě se zvýší odolnost proti opotřebení a odolnost vůči korozi.

Do beztržiskové metody řadíme válečkování, kuličkování, vyhlazování povrchu diamantem a leštění.

### 2.1 Válečkování

Válečkováním se dokončující vnější i vnitřní plochy většinou rotačních součástí. Působící plastická deformace zahlužuje nerovnosti a zpevňuje povrch po předchozím obrábění. Válečkování se provádí tvářecími prvky, jakož jsou válečky nebo i soudečky, které jsou přitlačovány na obráběný povrch konstantní silou při statickém válečkování, nebo dynamickými rázy při dynamickém válečkování. Výsledný efekt závisí na průměru aktivního povrchu válečku, kdy menší průměry zvyšují hloubku zpevnění a větší průměry snižují drsnost. [3]

### 2.2 Kuličkování

Kuličkování je metoda beztržiskového obrábění pro úpravu povrchu válcových, rovinných i složitých tvarů obrobku pomocí aktivních částic ve tvaru kuliček.

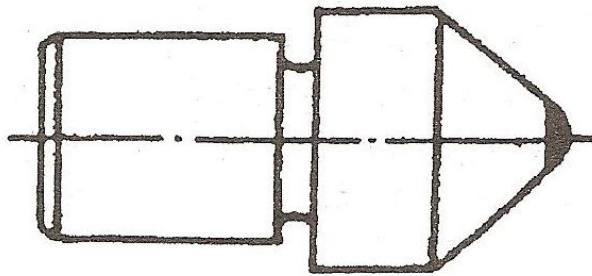
Základní rozdělení metod podle tvaru obrobku:

- Statické kuličkování – pro úpravu rotačních a rovinných ploch
- Dynamické kuličkování – pro složitější tvary
- Vibrační kuličkování – pro složité tvary

Statické kuličkování je velmi podobné válečkování, ale jako aktivní prvky jsou kuličky místo válečku či soudečků. Pro složité tvary se využívá dynamického kuličkování, jehož princip je založen na vrhání aktivních částic proti povrchu upravované plochy pomocí proudu stlačeného vzduchu či kapaliny. Vibrační kuličkování se používá na složité tvary a realizuje se v nárazy kuliček na součásti umístěné v nádobě, která kmitá všemi směry.

### 2.3 Vyhlazování povrchu diamantem

Vyhlazování povrchu diamantem je beztržisková metoda obrábění pro dokončování povrchu součástí z tepelně zpracovaných ocelí. Vyhlazování probíhá pomocí diamantu s kuželovou špičkou, která má definovaný poloměr zaoblení a je přitlačována konstantní silou k povrchu součásti. Na rozdíl od válečkování a kuličkování nedochází v místě styku k odvalování a tím vzniká kluzné tření.



Obr. 18 Diamantový vyhlazovací nástroj [1]

### 3 TEORIE LEŠTĚNÍ

Leštění je dokončovací operace opracování povrchu, při které se odstraňují nerovnosti povrchu a tím se dosahuje vysoké jakosti povrchu (až  $Ra=0,01 \mu\text{m}$ ) a zrcadlového lesku. Metoda se využívá pro zlepšení vzhledu povrchu, vytvoření funkční plochy anebo pro přípravu na další povrchovou úpravu, např. pokovování. Na rozdíl od broušení se z povrchu materiálu odstraňují pouze malé nerovnosti po obrábění. Leštění lze provádět ručně i strojně.

Leštění rozdělujeme do tří základních skupin na:

- Mechanické leštění
- Chemické leštění
- Elektrochemické leštění

Výběr správné metody leštění konkrétních součástí závisí na materiálu součásti, rozměru, tvaru, hmotnosti, stavu povrchu před leštěním a požadované kvalitě vyleštěné součásti.[8]

#### 3.1 Mechanické leštění

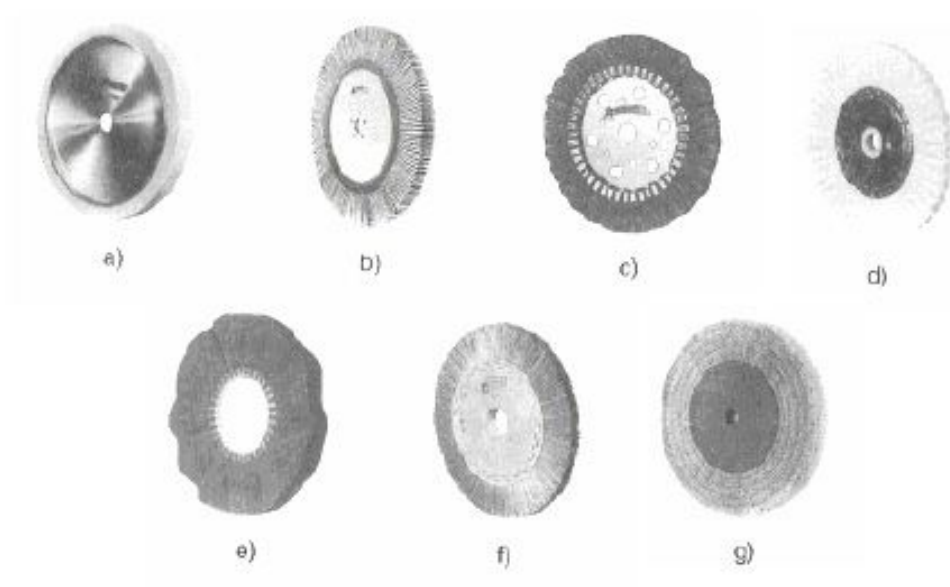
Podstatou mechanického leštění je přitlačení vysoce se otáčejícího nástroje na povrch součásti, který je pokryt vrstvou leštícího přípravku, např. leštící pastou. Při styku leštícího nástroje s leštěnou plochou nastává vyhlazení drobných nerovností až na zrcadlový lesk. Jako pracovní nástroje se používají leštící kotouče, kartáče nebo leštící pásy s přídavkem leštících past, nebo prášků. Leštící kotouče se používají látkové, kožené, gumové, dřevěné, korkové, papírové, plstěné apod. Leštících přípravků při leštění je celá řada, jako jsou jemné brousící a leštící pasty, vídeňské vápno, leštící zeleň apod. Správný výběr leštícího přípravku se odvíjí od materiálu leštěného povrchu. Leštění kotouči je nejrozšířenější metoda mechanického leštění a lze ho vykonávat ručně i strojně, dokonce plně automatickým cyklem procesu.[8]

Základní dělení leštících kotoučů uděluje konstrukce a materiál kotouče, dělí se na:

- Lisované bavlněné kotouče
- Skládané sešívané látkové kotouče
- Široké kotouče složené z jednotlivých elementů látky
- Lístkové látkové kotouče
- Plstěné kotouče
- Kotouče na bázi celulózy a dřeva

- Kovové kotouče s leštící vrstvou na povrchu
- Ohybné kotouče na bázi kaučuku

Faktory ovlivňující pracovní schopnost a efektivitu kotouče je druh naneseného leštícího přípravku, obvodová rychlost kotouče, tlak kotouče na leštěnou součást a základní materiál kotouče. [5]



Obr. 19 Leštící kotouče [5]

- a) bavlna, b) bavlna, c) guma, d) příze,  
e) nylonová tkanina, f) nylonová vlákna, g) vlněná tkanina

### 3.2 Chemické leštění

Chemické leštění řadíme do nových technologií leštění kovových povrchů, které se liší principiálně od leštění mechanického. Kvalitního, lesklého a hladkého povrchu se dosahuje při chemickém leštění působením aktivních chemických látek. Principem chemického leštění je ponoření součásti po určitou dobu do nádrže s chemickým roztokem, kde začnou probíhat chemické reakce, povrchová vrstva se začne rozpouštět a kvalita povrchu se přitom zlepšuje, až dosáhne vysokého lesku. Povrch se rozpouští ve všech místech obrobku rovnoměrně, při čemž se uvolňují plyny a ty musí volně odcházet z roztoku a nehromadit se v dutinách obrobku. Důležité je tedy i správná poloha obrobku v roztoku. Průběh a výsledek chemického leštění závisí na mnoha parametrech součásti, zejména na dokonale připraveném povrchu (očištění, odmaštění), složení a teplotě roztoku, času leštění a množ-

ství kovu rozpuštěného v roztoku. Je proto důležité dodržovat technologického postupu pro tuto metodu.

Typový technologický postup pro chemické leštění se skládá z těchto operací:

- Odmaštění povrchu
- Promývání v tekoucí studené vodě
- Chemické leštění
- Promývání v tekoucí studené vodě
- Promývání v teplé vodě o teplotě 60-90 °C
- Sušení

Roztoky používané pro chemické leštění jsou tvořeny většinou na bázi silných kyselin, méně časté jsou roztoky zásadité. Každá skupina kovů vyžaduje jiné složení roztoku pro úspěšné leštění. Optimální teplota roztoku je závislá na materiálu leštěné součásti a pohybuje se v rozmezí 70-90 °C.

Chemické leštění se používá u tvarově složitých součástí. Hlavní výhodou chemického leštění je jednoduché zařízení a rychlost leštění. Nevýhodou je práce s chemikáliemi a vysoké náklady na chemické roztoky.[8]



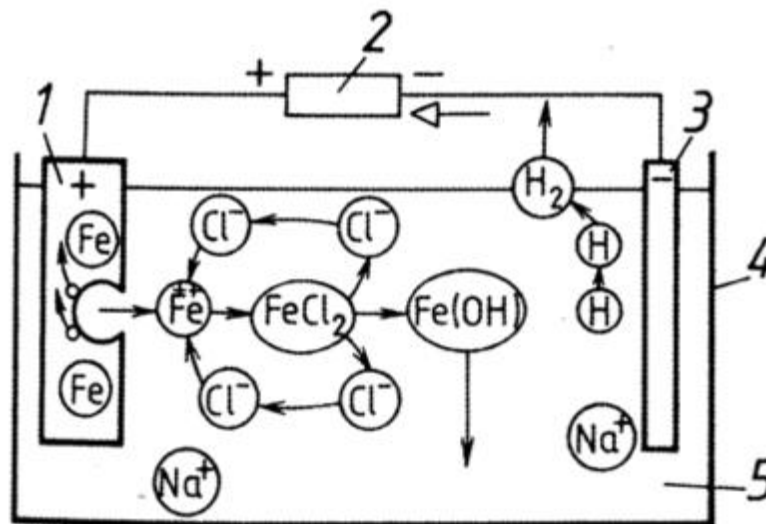
Obr. 20 Výsledek chemického leštění

### 3.3 Elektrochemické leštění

Principem elektrochemického leštění je anodické rozpouštění výstupků a nerovností povrchu materiálu. Průchodem stejnosměrného proudu elektrolitem se elektrochemicky rozpouští povrch leštěného obrobku. Nástroj (katoda) je většinou olověná a musí mít větší plochu, než má obrobek. Rozpouštění je intenzivnější na výstupcích nerovností, naopak



v mikrokrátěrech je pomalejší, tím se povrch postupně vyhlazuje, tím se drsnost povrchu postupně zlepšuje a povrch se stává hladkým a lesklým. Podle materiálu obrobku a požadavkům na jakost obrobenej plochy se používají různé elektrolyty, zejména HCL,  $H_34$  nebo  $H_{24}$ . Elektrochemické leštění se využívá zejména pro leštění vnitřních ploch nádob z korozi-vzdorné oceli.

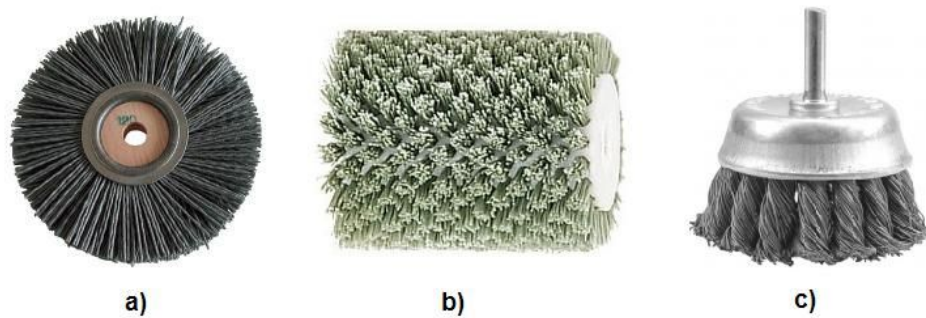


Obr. 21 Princip elektrochemického obrábění (leštění)

1- obrobek (anoda), 2- napájecí zdroj 3- nástroj (katoda),  
4- pracovní vana, 5- elektrolyt

### 3.4 Leštění rotujícími kartáči

Leštění rotujícími kartáči je metoda, která má v praxi hojné využití. Tento způsob se využívá zejména pro čištění součástek od opalu, okovů, barev, rzi, odstraňování otřepů, ostrých hran, leštění a mechanické zpevnění povrchů. Leštění rotujícími kartáči se blíží svou podstatou k mechanickému leštění. Kartáče se vyrábí z ocelového drátu, přírodních i syntetických štětín, přírodních vlasů apod. Jednotlivé vlákna jsou upevněny v pevném jádře a tvarem připomínají leštící kotouče. Vlákna jsou tak měkké, že vnikají i do těch nejmenších záhybu na obrobku. Leštění rotujícími kartáči lze opracovávat rovinné, ale i tvarově složité tvary. Velkou předností této metody je jednoduchost a vysoká produktivita. Nejčastěji používané jsou kartáče s ocelovými vlákny o průměru 0,1-1,2 mm. Hrubší vlákno se využívá např. pro čištění svarů, jemnější (0,1-0,4 mm) se používá na čisté opracování povrchu.[8]



Obr. 22 Základní druhy rotujících kartáčů

a) kotoučový kartáč, b) válcový kartáč, c) čelní kartáč

### 3.5 Omílání

Omílání je leštící proces, při kterém se leštěné součástky dostávají do nuceného kontaktu s leštícími materiály v omílacích bubnech a třením i nárazy se povrch součástek postupně vyhlazuje. Omíláním se dokončují povrchy takových součástek, u kterých není možné leštění mechanické. Při omílání je úběr povrchu nerovnoměrný, takže nelze opracovávat součástky náročné na geometrickou přesnost, proto má své opodstatnění u součástek, u kterých se požaduje pouze hladkost povrchu. Běžná drsnost povrchu je  $R_a=0,4 \mu\text{m}$ , při speciálních podmínkách až  $R_a=0,1 \mu\text{m}$ .

Základní zařízení omílání se nazývá omílací buben, do kterého se vkládají leštěné součástky, leštící směs (brusný prášek, apod.) a aktivní kapalina. Omílací bubny se vyrábí ocelové nebo dřevěné a mají tvar válce, kužele nebo několikahranu. Ocelové bubny mají vnitřní stěnu obloženou gumou nebo dřevem. Nejčastěji se používají bubny osmihranné a šestihranné, ve kterých je intenzita leštění vyšší než u bubnů válcových. Kromě otáčejících se bubnů existují omílací bubny vibrační, hydrodynamické, apod.[8]



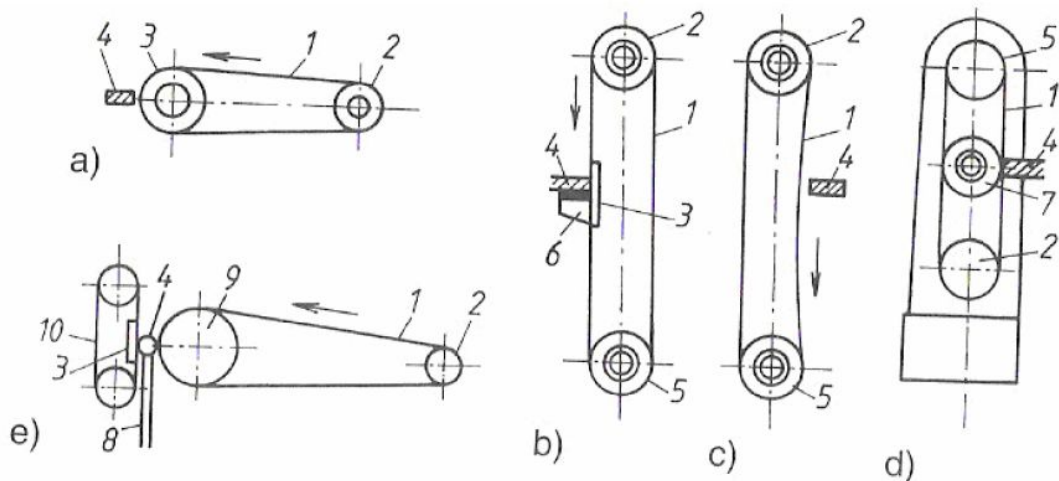
Obr. 23 Šestihranný omílací buben

### 3.6 Leštění pásy

Leštění pásy je metoda, při které se odebírá materiál z povrchu obrobku pomocí brusných zrn nanesených na poddajném podkladu a tím leští povrch. Nekonečný leštící pás se vyrábí z pevných a zároveň elastických materiálů, např. kapron, bavlna, guma. Na vnější straně pásu je vrstva brousících prášků. Leštící pásy se otáčejí vysokou rychlostí na dvou válcích, při čemž jeden je hnací, druhý hnaný. Při leštění se používají pásy hladké, na které se nanášejí leštící pasty, nebo pásy s nanesenou vrstvou leštícího prášku.[5]

Z hlediska polohy pásu a leštěné součástky lze rozdělit leštění pásy na:

- Kontaktní leštění
- Leštění s opěrnou plochou
- Leštění volným pásem
- Tvarové kontaktní leštění
- Bezhraté leštění
- Leštění válcovité



Obr. 24 Principy leštění pásy [5]

- a) kontaktní leštění, b) leštění s opěrnou deskou, c) leštění volným pásem,  
d) tvarové kontaktní leštění, e) bezhraté leštění

## 4 TEORIE JAKOSTI POVRCHU

Jakost povrchu výrobku je jedním z nejdůležitějších úkolů technologie. Dříve se za jakost považovala pouze rozměrová přesnost. V dnešní době, kdy jsou nároky na finální výrobky vyšší, se pod pojmem jakost nerozumí pouze geometrická a rozměrová přesnost, ale i vlastnosti povrchové vrstvy. Vlastnosti povrchové vrstvy nazýváme texturou povrchu a projevuje se drsností, vlnitostí, nebo změnou vlastnosti materiálu pod povrchem materiálu, které mohou vznikat při procesech obrábění. Na jakosti povrchu závisí přesnost strojních součástí, životnost součástí, odolnost vůči korozi, apod.

Obrobená plocha dokončená některou s technologických operací má svou jakost, tj. rozměr, tvar a drsnost. Na každé z těchto ploch lze sledovat průběh povrchových nerovností, jakož je výška, popř. hloubka vrcholů, dále tvar nerovností a rozteče jednotlivých bodů profilu. Tyto vlastnosti lze shrnout a nazvat je texturou povrchu. [9]

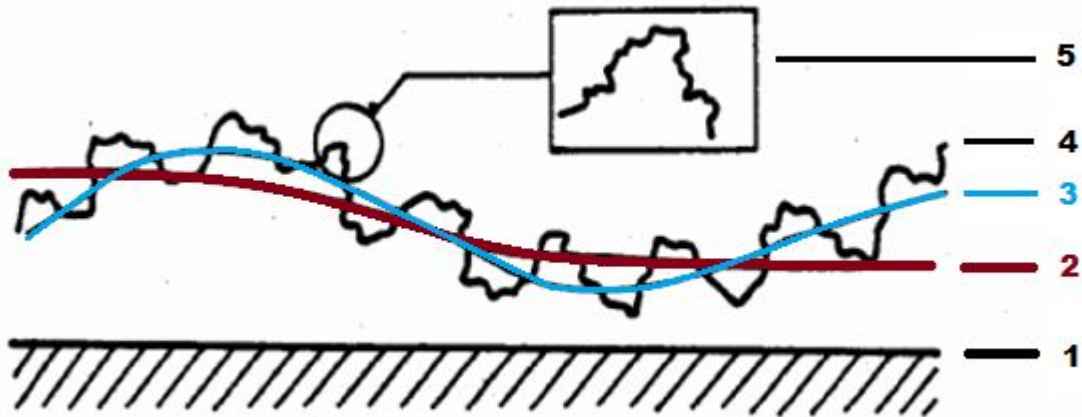
### 4.1 Charakter textury povrchu

Funkčnost součástí závisí ve velké míře na charakteru povrchu. Charakter povrchu při vyhotovení výrobku ovlivňuje zejména funkčnost, životnost výrobku a životnost celého mechanismu. Hodnocení charakteru povrchu vychází z hodnocení povrchu z profilu povrchu čáry nazývané jako profilová metoda.

Strukturou povrchu, definicí, termíny, parametry struktury povrchu a pravidly pro posouzení povrchu plochy se zabývají normy ČSN EN ISO 4285-4288 a zahrnují geometrické požadavky na výrobu nazývané GPS (Geometrical Product Specification).

Nerovnost povrchu se člení podle velikosti rozteče příslušných nerovností na:

- Odchylka tvaru – největší rozteč nerovností
- Vlnitost povrchu
- Drsnost povrchu – nejmenší rozteč nerovností [11]



Obr. 25 Charakter textury povrchu [11]

- 1 – ideálně rovný povrch, 2 – odchylka tvaru a polohy, 3 – vlnitost povrchu,  
4 – mikroskopické drsnosti, 5 – submikroskopické nerovnosti

#### 4.1.1 Odchylka tvaru

Odchylkou tvaru se rozumí nesrovnalost tvarového prvku od ideálního geometrického tvaru. Geometrická struktura povrchu je dána tvarem, rozměrem a rozmístěním povrchových nerovností, které vznikají při obrábění, nebo jsou zapříčiněna opotřebením povrchu součásti.

Odchylku tvaru vyvolává zejména:

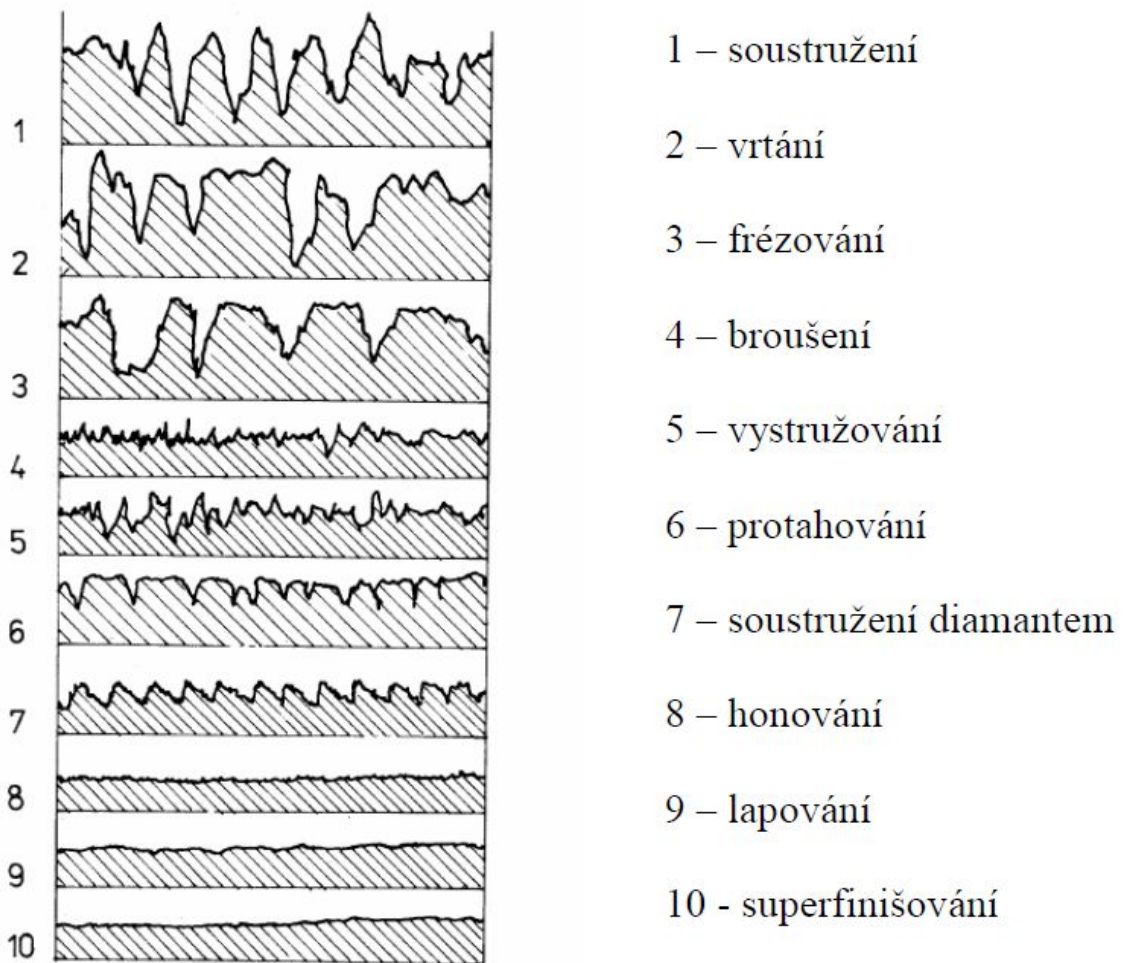
- Obráběcí stroj – vlivem nepřesnosti chodu, vibracemi
- Nástroj – opotřebení, rychlost posuvu
- Obrobek – nehomogenita materiálu
- Prostředí – vlivem okolních rázů, chvění okolních strojů [9]

#### 4.1.2 Vlnitost povrchu

Vlnitost povrchu je ta část textury, na které můžeme pozorovat drsnost výrobku. Jde o souhrn periodicky i neperiodicky uspořádaných povrchových nerovností. Vlnitost povrchu ovlivňuje zejména obráběcí stroj a to vlivem vibrací, opotřebených vodících částí a nízkou tuhostí stroje. [10]

### 4.1.3 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu lze chápat jako nepravidelnost struktury povrchu, které jsou výsledkem výrobních procesů. Nepravidelnost struktury povrchu je velmi obtížné posuzovat, proto se měření drsnosti obvykle řeší redukcí povrchu do roviny řezu rovinou kolmou na posuzovanou plochu. V rovině řezu je získán základní profil pro posuzování textury povrchu. [10]



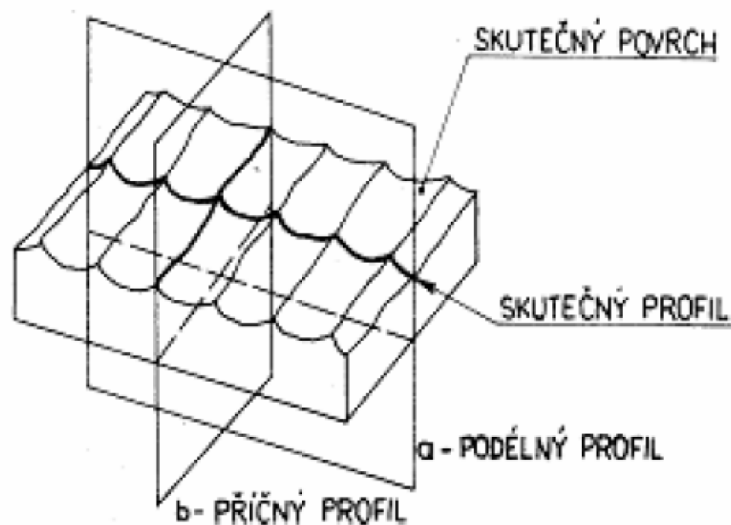
Obr. 26 Drsnosti povrchu u některých způsobů obrábění [10]

### 4.1.4 Hodnocení textury povrchu

Vliv jakosti povrchu značně ovlivňuje funkčnost součástí. Tuto problematiku musí v první řadě ovládat konstruktér s technologem. Znalost podmínek interakce ploch umožňuje předem stanovit vlastnosti ploch, aby byla zabezpečena jejich funkce. Jedním řešením je do-

konalé zvládnutí operací využívající se při dokončování funkčních ploch součástí. To vede k nutnosti jasné specifikace úchylek rozměrů, tvaru a textury povrchu, tj. drsnost a vlnitost, zbytková napětí v povrchové vrstvě. Tímto zajistíme splnění požadavků zajištění životnosti a spolehlivosti vyráběných součástí.

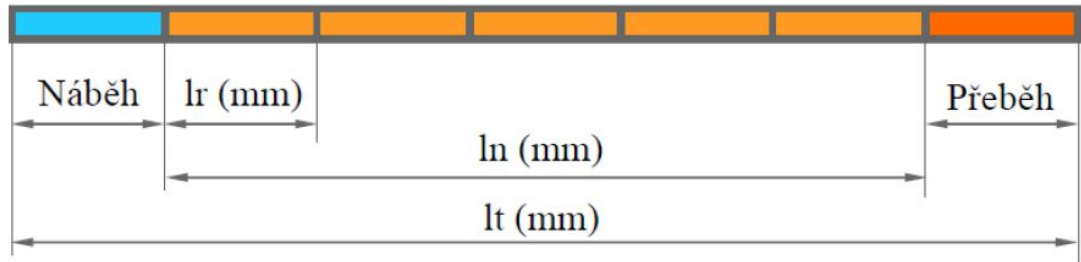
Textura povrchu zahrnuje drsnost, vlnitost i tvarovou úchytku sledovaného povrchu. Rozdíly mezi těmito charakteristikami textury jsou dány poměrem rozteče nerovností k jejich výšce. U drsnosti je poměr rozteče nerovností k jejich výšce 1-50, u vlnitosti pak 50-1000 a u tvarové úchytky je tato hodnota vyšší než 1000. Z geometrického hlediska je nerovnost povrchu, tvar a velikost určena tvarem ostří řezného nástroje a podmínkami při obrábění. Na obrobeném povrchu jsou pravidelně uspořádány stopy po řezném nástroji. U některých metod obrábění není drsnost povrchu ve všech směrech stejná. Proto se rozděluje drsnost na příčnou (drsnost ve směru kolmém na řezný pohyb) a drsnost podélnou (drsnost ve směru řezného pohybu). [9]



Obr. 27 Příčný a podélný profil drsnosti [9]

### Měřicí dráha snímače

- Délka zdvihu  $l_t$  (mm) měřícího zařízení je větší než vyhodnocovaná délka z důvodu náběhu a přeběhu měřícího snímače.
- Vyhodnocovaná délka  $l_n$  (mm) slouží k vyhodnocení posuzovaného profilu. Obsahuje jednu nebo i několik základních délek.
- Základní délka  $l_r$  (mm) slouží k rozpoznání nerovností, které určují profil metodou nejmenších čtverců. Číselně se rovná vlnové délce profilového filtru drsnosti.



Obr. 28 Měřicí dráha snímače

Délka zdvihu  $l_t$  (mm):

$$l_t = l_n + 2 \cdot l_r \text{ (mm)} \quad (2)$$

Vyhodnocovaná délka  $l_n$  (mm):

$$l_n = n \cdot l_n \text{ (mm)} \quad (3)$$

### Geometrické parametry drsnosti povrchu:

**P-parametr** - parametr vypočítaný z primárního profilu

**R-parametr** - parametr vypočítaný z profilu drsnosti

**W-parametr** - parametr vypočítaný z profilu vlnitosti

**Výstupek profilu** - část profilu vystupující směrem ven z materiálu (do okolního prostředí)

**Prohlubeň profilu** - část profilu vstupující směrem do materiálu (z okolního prostředí)

**Hodnota souřadnice  $Z(x)$**  - výška profilu v libovolné části osy x

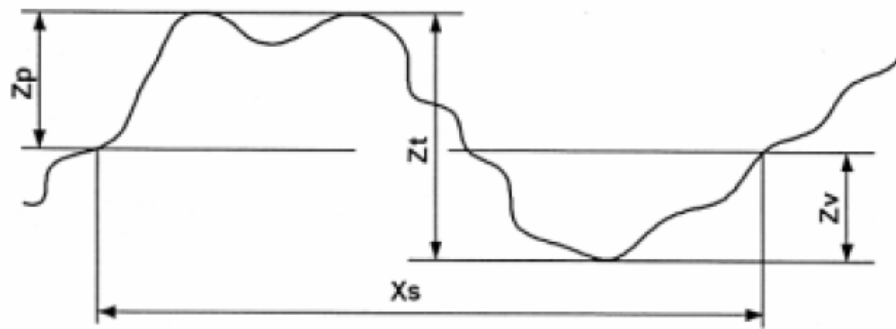
**Hodnota výstupku profilu  $Z_p$**  - vzdálenost mezi střední čarou profilu a nejvyšším bodem výstupku profilu

**Hodnota prohlubně profilu  $Z_v$**  - vzdálenost mezi střední čarou profilu a nejhlubším bodem prohlubně profilu

**Výška prvku profilu  $Z_t$**  - součet hloubky prohlubně  $Z_v$  a výšky výstupku profilu  $Z_p$

**Šířka prvku profilu  $X_s$**  - úsek střední čáry profilu s prvkem profilu

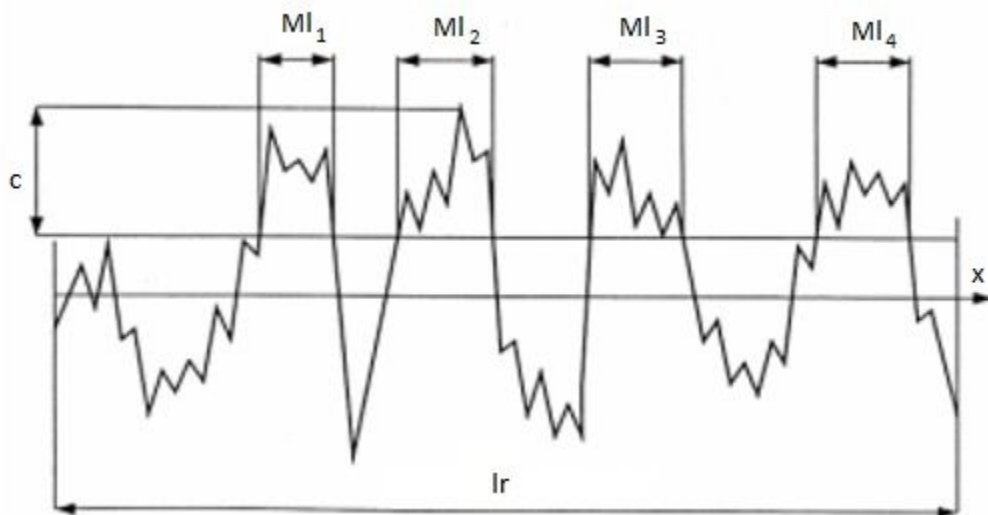




Obr. 29 Základní čára profilu [11]

**Nosná délka profilu na úrovni c  $Ml(c)$**  - součet délek úseků oddělením výstupků profilu vytvořených řezem rovnoběžným se střední čarou profilu na úrovni c v rozsahu základní délky.

$$Ml(c) = Ml_1 + Ml_2 + Ml_3 + \dots + Ml_n \quad (4)$$

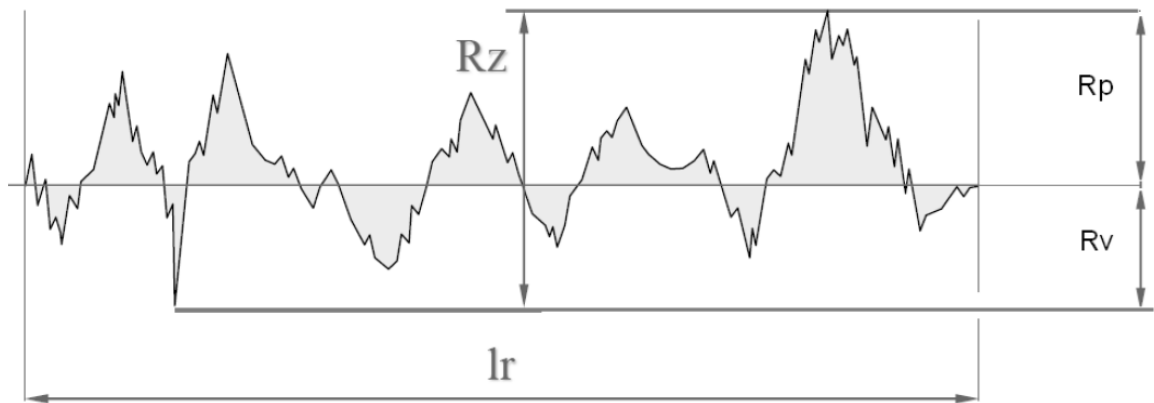


Obr. 30 Nosná délka profilu [11]

**Výška největšího výstupku profilu  $R_p$**  - největší hodnota výstupku profilu  $Z_p$  v rozsahu základní délky

**Hloubka největší prohlubně profilu  $R_v$**  - největší hodnota prohlubně profilu  $Z_v$  v rozsahu základní délky

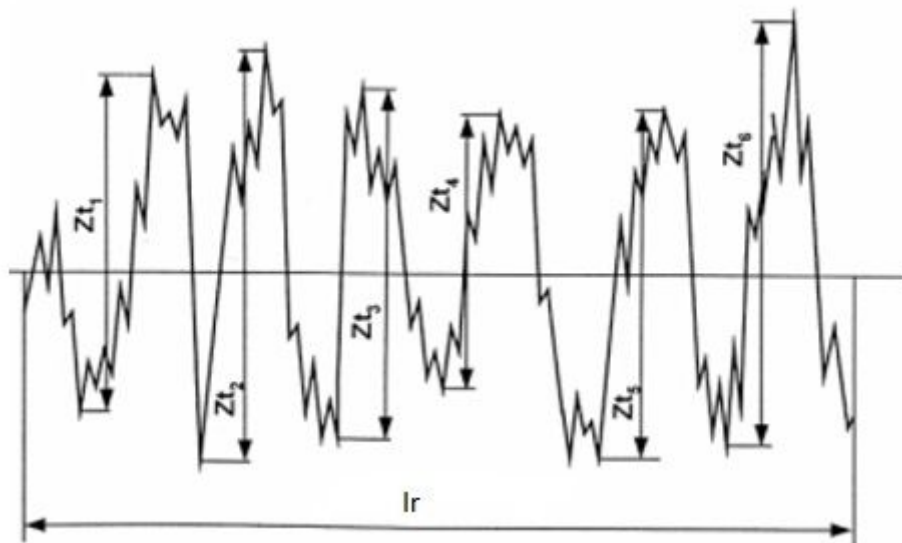
**Největší výška profilu  $R_z$**  - součet největší hodnoty  $R_p$  a  $R_v$  v rozsahu základní délky



Obr. 31 Největší hodnota nerovnosti povrchu Rz [10]

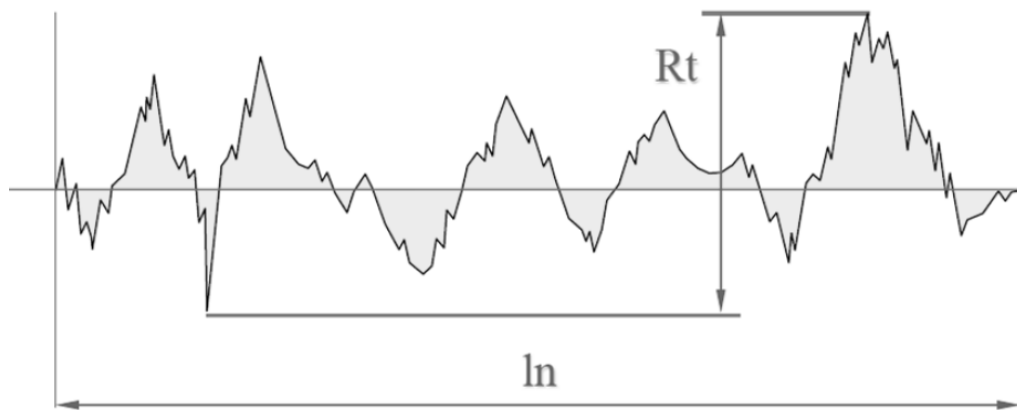
**Střední výška prvku profilu Rc** - střední hodnota prvků profilu Zt v rozsahu základní délky

$$Rc = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Zt_i \quad (\mu m) \quad (5)$$



Obr. 32 Střední hodnoty prvků profilu Zt [11]

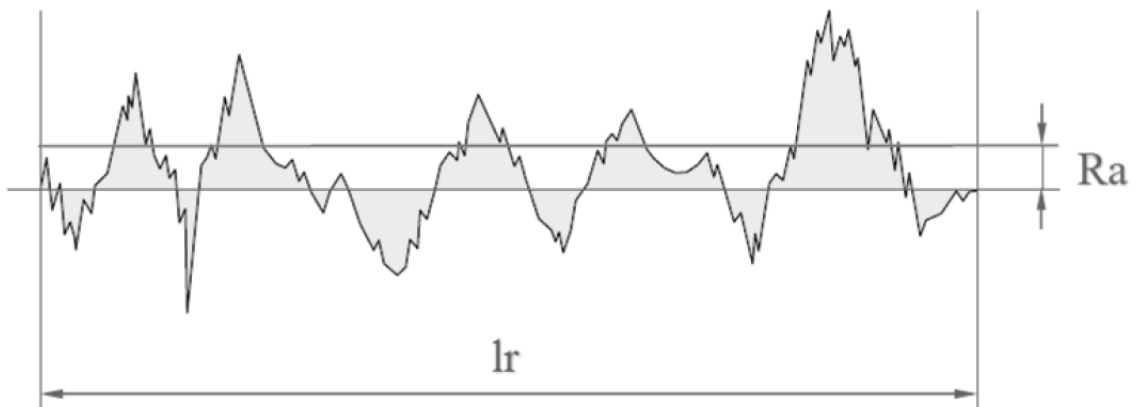
**Celková výška profilu Rt** - součet největší hodnoty výstupku profilu Zp a největší hodnoty prohlubně profilu Zv na vyhodnocené délce ln



Obr. 33 Celková výška profilu drsnosti Rt [11]

**Střední aritmetická odchylka Ra** - střední aritmetická hodnota absolutních odchylek profilu  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$

$$Ra = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (\mu m) \quad (6)$$



Obr. 34 Střední aritmetická odchylka profilu Ra [11]

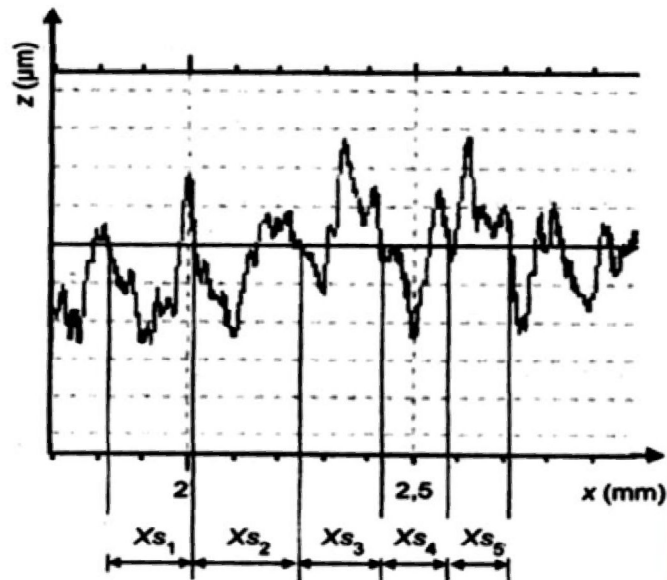
**Střední kvadratická odchylka Rq** - střední kvadratická hodnota odchylek  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} Z(x)^2 dx} \quad (\mu m) \quad (7)$$

**Koeficient asymetrie posuzovaného profilu Rsk** - míra asymetrie hustoty rozdělení odchylek profilu  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$

**Koeficient špičatosti posuzovaného profilu Rku** - míra špičatosti hustoty rozdělení odchylek profilu  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$

**Střední šířka prvků profilu RSm** - aritmetický průměr prvků profilu ( $X_s$ ) v rozsahu základní délky  $l_r$

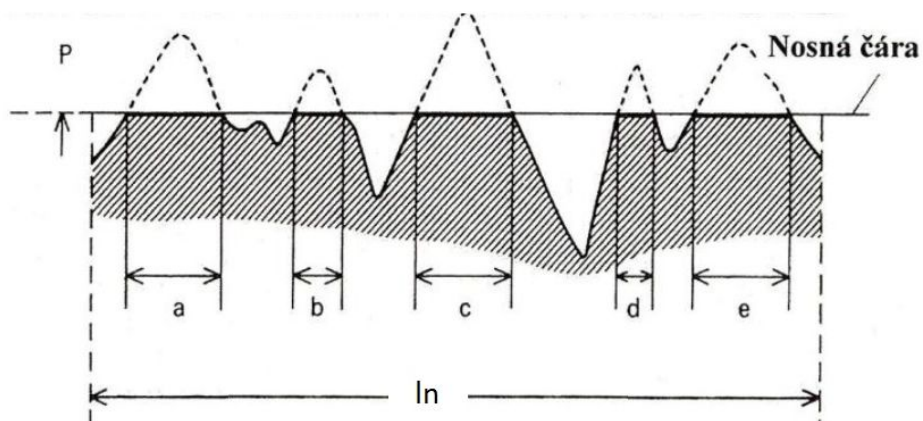


Obr. 35 Průměrná šířka prvků profilu Rsm [11]

**Střední kvadratický sklon profilu RΔq** - střední kvadratická hodnota sklonu profilu v rozsahu základní délky  $l_r$

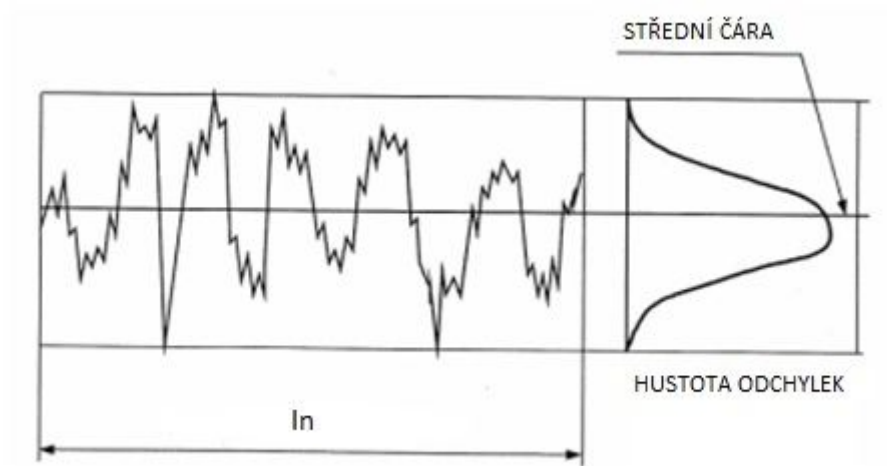
**Materiálový podíl profilu Rmr (nosný podíl)** - poměr vyjadřovaný v procentech délky nosné plochy v kterékoliv hloubce profilu k vyhodnocované délce  $l_n$ .

$$Rmr = \frac{a+b+c+d+e}{l_n} \cdot 100 \quad (\%) \quad (8)$$



Obr. 36 Materiálový poměr profilu drsnosti Rmr [11]

**Rozdělení hustoty odchylek profilu** - funkce hustoty pravděpodobnosti profilu  $Z(x)$  v rozsahu vyhodnocované délky  $l_n$  [11]



Obr. 37 Rozdělení hustoty odchylek profilu [11]

## 5 TEORIE PRUŽNOSTI A PEVNOSTI

Cílem pružnosti a pevnosti je zabránění ztráty funkčnosti součástí, konstrukcí a zařízení způsobené nadměrnou deformací a porušováním. Pružnost a pevnost pomáhá konstruktérovi stanovit tvar a rozměry strojních součástí s ohledem na životnost, bezpečnost a ekonomičnost.[12]

### 5.1 Základní pojmy pružnosti a pevnosti

Při stanovení závislosti mezi zatížením strojní součásti a deformací předpokládáme u materiálu, že je:

- homogenní - jeho fyzikální vlastnosti jsou v celém objemu shodné
- izotropní - jeho vlastnosti jsou ve všech směrech shodné

Pohybem jednotlivých částí u strojních součástí a konstrukcí vznikají určité síly. Mimo zatěžující síly mohou působit v tělese i síly způsobené teplotními, magnetickými nebo jinými fyzikálními účinky. Působící síly v závislosti na čase se rozdělují na zatížení:

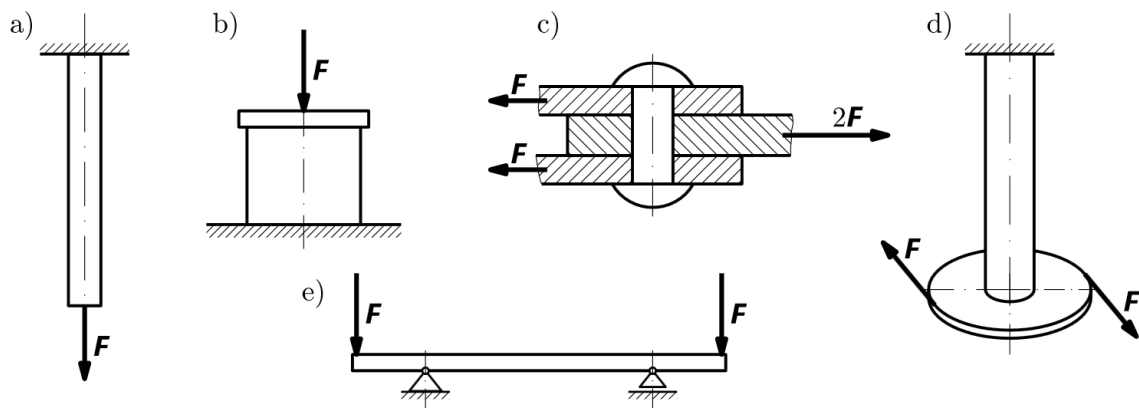
- statické - zatížení roste zpravidla z nulové hodnoty na konečnou hodnotu pozvolna
- dynamické - zatížení rázem s velkým okamžitým zrychlením

Tyto síly se nazývají vnější a dělí se na:

- síly povrchové, které působí na povrch tělesa jako:
  - osamělé síly - působí na velmi malou plochu s ohledem na celkovou
  - spojitě zatížení - působí na celou plochu, nebo po její části
- síly objemové, které vznikají účinkem silového pole na hmotu a působí na každý element objemu tělesa, především tíhová síla a odstředivá síla
- vazbové síly (reakce), které vznikají působením okolního tělesa v místech vazeb

Obecně síly a momenty sil způsobují složité deformace těles. Ve zvláštních případech dochází k deformacím těles a těmi jsou:

- Tah a tlak - tahová a tlaková deformace, např. u namáhání lan, sloupů a řetězů
  - Smyk - smyková deformace, např. u namáhání svárů, šroubů a nýtů
  - Krut - torzní deformace, např. u namáhání hřídelů a pružin
  - Ohyb - namáhání se projevuje u všech druhů nosníků, např. mostovek a překladů
- [13]



Obr. 38 Základní druhy deformací a) tah, b) tlak, c) smyk, d) krut, e) ohyb [13]

## 5.2 Vnější zatěžující síly

Za vnější zatěžující síly se považují síly objemové a síly působící na povrchu tělesa. Mezi objemové síly patří takové síly, které působí na objem tělesa a jsou úměrné jeho velikosti jako např. setrvačné a magnetické síly. Povrchové síly působí na v různých místech povrchu tělesa a patří mezi ně síly primární a momenty, tj. síly akční, momenty a síly sekundární ve vazbách tělesa k jiným tělesům, tj. síly reakční. Síly působí osaměle nebo spojitě na určité ploše tělesa, přičemž je působení sil v čase konstantní nebo proměnné. Hovoří se tedy o zatížení statickém nebo dynamickém.[13]

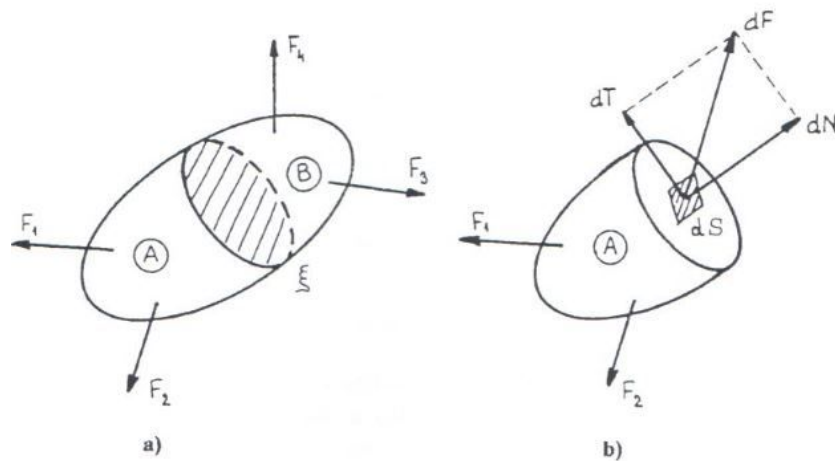
## 5.3 Vnitřní síly

Každé těleso se účinkem vnějších sil deformuje. Tato deformace vyvolá v tělese tzv. vnitřní síly. Pro zjištění velikost vnitřních sil se využívá metoda myšleného řezu. Ze zjištěných vnitřních sil a momentů se určí napětí a deformace. [13]

Metoda řezu spočívá v rozdělení tělesa, na které působí několik sil, plochou  $\xi$  na dvě části A a B (obr. 39a). Na obr. 39b) je znázorněna jedna elementární síla  $dF$  působící na elementární plochu  $dS$ . Síla  $dF$  se rozděluje zásadně do složky kolmé k rovině řezu -  $dN$  a do složky ležící v rovině řezu -  $dT$ . Pro lepší porovnání účinku vnitřních sil se zavádí poměr vnitřních sil na jednotku plochy, tzv. napětí[12]:

$$\text{Normálové napětí} \quad \sigma = \frac{dN}{dS} \quad [\text{N.m}^{-2}=\text{Pa}, \text{ resp. N.mm}^{-2}=\text{MPa}] \quad (9)$$

$$\text{Smykové (tečné) napětí} \quad \tau = \frac{dT}{dS} \quad [\text{N.m}^{-2}=\text{Pa}, \text{ resp. N.mm}^{-2}=\text{MPa}] \quad (10)$$

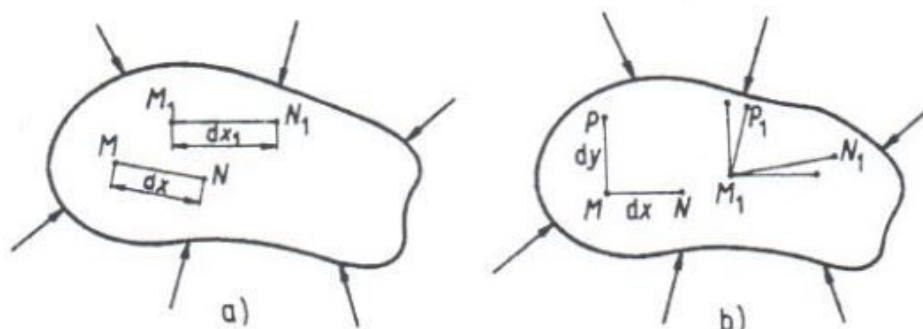


Obr. 39 Metoda řezu [12]

## 5.4 Deformace tělesa

Vlivem zatížení dochází u tělesa k přetvoření, tzv. k jeho deformaci. Ke sledování přetvoření se využívá dvou bodů M a N, u kterých je vzdálenost před zatížením  $dx$  (obr. 40). Po zatížení se změní hodnota  $dx$  o hodnotu  $\Delta dx$  na hodnotu  $dx_1$ . Posunuté body se označují  $M_1$  a  $N_1$ . Poměr změny délky k původní délce je vyjádřeno vztahem [12]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta dx}{dx} \quad (11)$$



Obr. 40 Deformace tělesa [12]

### Hookův zákon

Hookův zákon popisuje závislosti mezi složkami tenzoru napětí  $T_\sigma$  a tenzoru přetvoření  $T_\varepsilon$  v určitém bodě tělesa. Přetvoření a napětí má lineární závislost v případě lineárního pružného materiálu. V případě jednoosé napjatosti (např. u tlaku a tahu) je jedinou nenulovou



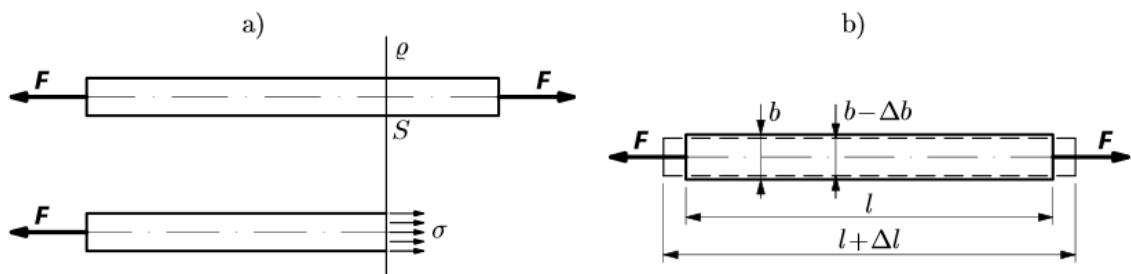
složkou tenzoru napětí  $T_\sigma$  normálové napětí v podélném směru tělesa  $\sigma$  a závislost mezi napětím a přetvořením je dána vztahem:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E, \quad (12)$$

kde  $E$  je konstanta úměrnosti nazývaná Youngův modul pružnosti. Vztah říká, že deformace je přímo úměrná napětí materiálu.

## 5.5 Prostý tah a tlak

Prostým tahem (tlakem) se považuje namáhání součásti, u kterého je normálové napětí rovnoměrně rozděleno na celou plochu průřezu.



Obr. 41 Tahová deformace a) určení napětí metodou řezu,  
b) prodloužení tyče [13]

Normálové napětí  $\sigma$  se určuje pomocí metody řezu. Rovina  $Q$  je kolmá k ose průřezu. Z podmínky rovnováhy oddělené části  $\sigma \cdot S - F = 0$  plyne:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (13)$$

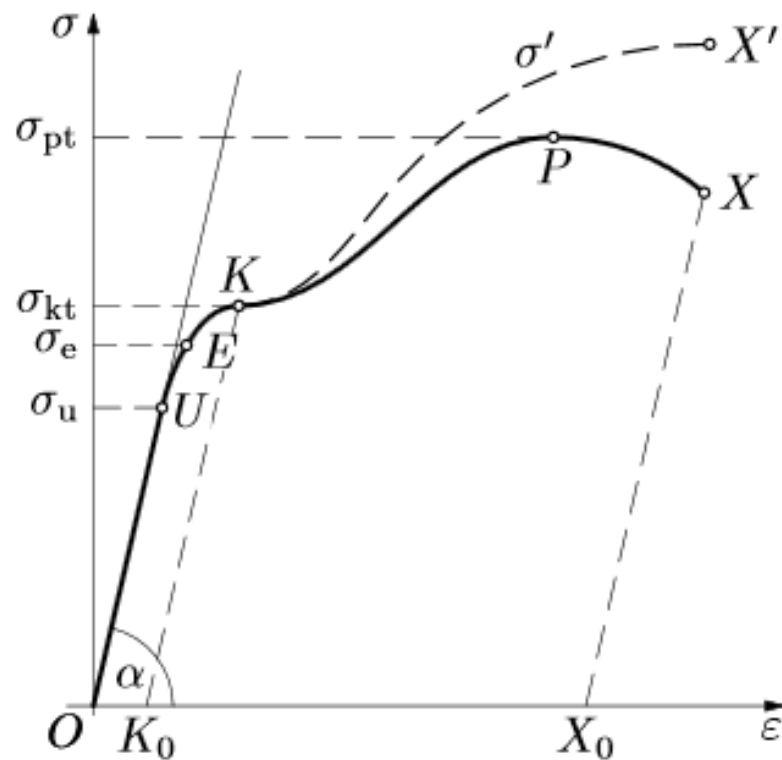
Pro prostý tah platí:  $F > 0$ ,  $\sigma > 0$ ,

pro prostý tlak platí:  $F < 0$ ,  $\sigma < 0$ .

Působením síly  $F$  se tyč prodlouží o  $\Delta l$ . Prodloužení tyče je přímo úměrné k jeho délce  $l$  a velikosti působící síly  $F$  a nepřímo úměrné k plošnému obsahu příčného řezu dle vztahu:

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot S} = \frac{\sigma}{E} \cdot l \quad (14)$$

Graf závislosti velikosti zatěžující síly  $F$  na prodloužení  $\Delta l$ , resp. závislosti napětí  $\sigma$  na relativním prodloužení  $\varepsilon$  se nazývá pracovní diagram. [13]



Obr. 42 Pracovní diagram houževnaté oceli [13]

Pracovní diagram má několik významných bodů:

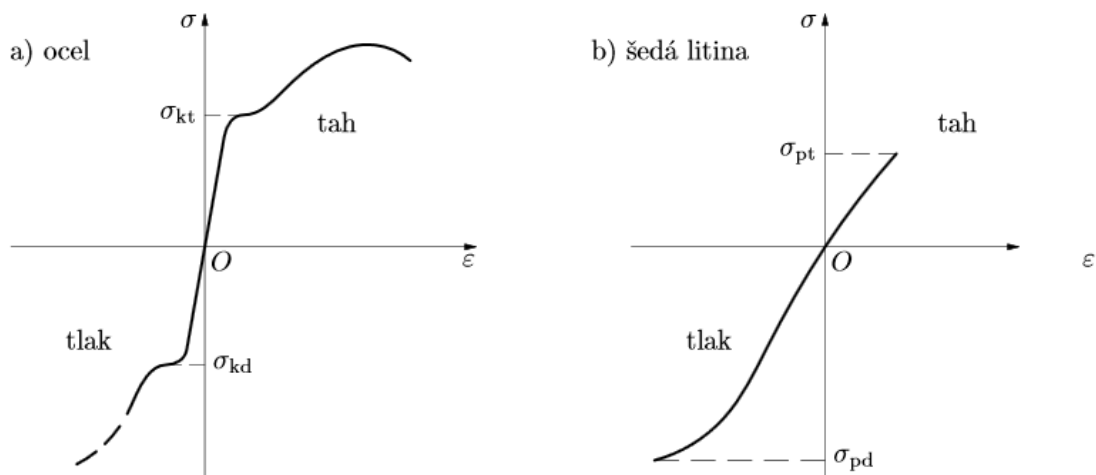
**U** - mez úměrnosti - vymezuje oblast, v níž je splněn Hookův zákon

**E** - mez pružnosti - v tomto bodě začínají vznikat trvalé deformace

**K** - mez kluzu - vymezuje bod, při kterém se částečně poruší strukturální vazba v krystalické mřížce a vznikají výrazné plastické deformace

**P** - mez pevnosti - při dosažení tohoto bodu dochází k trvalému porušení materiálu

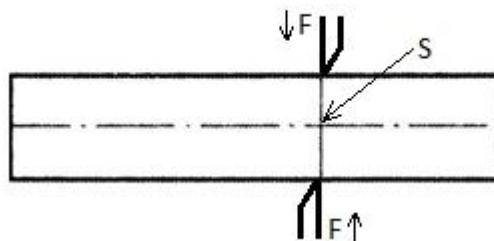
**X** - přetržení materiálu



Obr. 43 Úplný pracovní diagram s porovnáním houževnatého a křehkého materiálu a) houževnatá ocel, b) šedá litina [13]

## 5.6 Smyk

Namáhání prostým smykem vzniká tehdy, když dvě síly stejné velikosti působí opačným směrem na společné nositelce a prochází těžištěm průřezu. Častěji je ovšem smyk doprovázený ohybem, tj. kromě posuvu ve směru působící síly dochází i k ohybu.



Obr. 44 Prostý smyk

Smykové napětí je rovnoměrně rozloženo do celého obsahu průřezu a platí:

$$\tau_{max} = \frac{F}{n \cdot S} \quad (15)$$

$\tau_{max}$  - smykové napětí [Pa]

F - zatěžující síla [N]

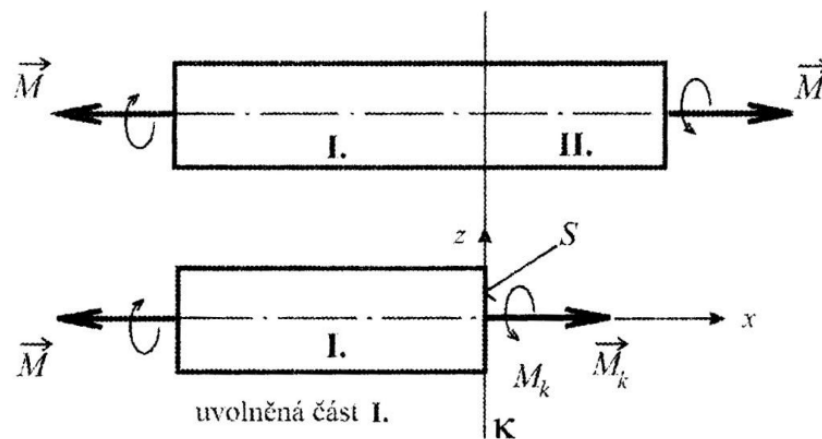
S - plocha průřezu [m<sup>2</sup>]

n - počet současně namáhaných průřezů [-]

Deformace se u prostého smyku neberou v úvahu, protože jsou nepatrné a v případě stříhu záměrné. [12]

## 5.7 Krut

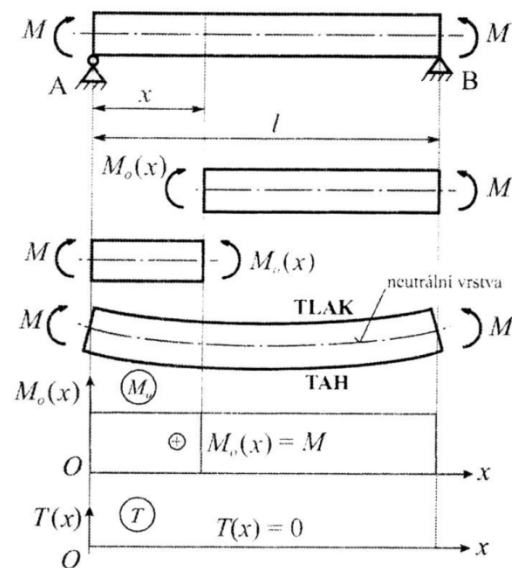
Krut je druh namáhání, u kterého působí ve vyšetřovaném průřezu jen vektor kroutícího momentu  $M_k$  jako účinek odstraněné části na uvolněnou část. Ostatní složky, jakožto ohybový moment  $M_O$ , posouvající síla  $T$  a síla  $N$  jsou nulové. [13]



Obr. 45 Prostý krut [13]

## 5.8 Ohyb

Ohyb je takový druh namáhání, při kterém se původně přímý prut zakřivuje do rovinné, popř. prostorové křivky. Přímý prut namáhaný na ohyb se nazývá nosník, jestliže výslednice sil kolmá k podélné ose vytváří dvojici sil  $N$ , který se nazývá ohybový moment  $M_O$ . Tento případ se nazývá prostý ohyb. [12]



Obr. 46 Zatížení prostého nosníku  
na ohyb [12]

Stopa ohybové momentu je přímka kolmá na vektor ohybového momentu v příčném řezu nosníku. Pokud je při rovinném zatížení stopa ohybového momentu totožná s centrální osou průřezu, jedná se o rovinný ohyb. V opačném případě se jedná o prostorový ohyb. Ohyb přímého prutu nastává při působení vnějších silových účinků, při kterém se vyvolá prohnutí prutu a změna délek vláken. Vnitřní síly udávají ohybový moment  $M_o$  a posouvající sílu  $T$ , které pak vyvolají v daném řezu napětí  $\sigma$  a  $\tau$  nahrazující účinek odstraněné části prutu a jsou navzájem v rovnováze se soustavou vnějších sil. [12]

## 6 SHRNUÍ TEORETICKÉ ČÁSTI A CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DP

Teoretická část diplomové práce je zaměřena na teorii třískového obrábění, kde jsou popsány metody obrábění s definovanou a nedefinovanou geometrií. Dále je popsáno beztřískové obrábění. Důležitou částí pro praktickou část je zpracování teorie leštění, ve které jsou popsány jednotlivé metody leštění a navazuje teorie jakosti povrchu včetně vyhodnocovacích parametrů. Pro konstrukci přípravku je nedílnou součástí i teorie pružnosti a pevnosti, ve které jsou popsány základy druhy namáhání tělesa.

Cílem praktické části je zpracování 3D návrhu přípravku pro leštění rotačních ploch tak, aby byl leštící kotouč přitlačován konstantní silou na leštěný povrch upnutý ve sklíčidle soustruhu. Model přípravku je vytvořen v programu Catia V5R19, kde jsou také prováděny pevnostní analýzy a zpracována výrobní dokumentace přípravku. Zpracovaný návrh konstrukce přípravku je vyhodnocen. Návrh přípravku by měl být následně vyroben.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 VYUŽITÍ PŘÍPRAVKU PRO LEŠTĚNÍ ROTAČNÍCH PLOCH

Leštění je nezbytnou součástí moderního zpracování a úpravu povrchu. Pro dokonalost leštěného povrchu je potřeba použít leštící kotouče z měkkých materiálů spolu s leštícími pastami určený na leštěný materiál. Při ručním leštění rotačních součástí se nedosahuje rovnoměrného vyleštění na celé ploše obrobku a můžou vznikat nežádoucí tzv. proleštěná místa. Konstrukcí přípravku se tyto nežádoucí místa snažíme eliminovat. Při velkosériové výrobě se řeší leštění takových ploch pomocí speciálních leštících nástrojů vyrobené přímo pro daný výrobek. Pro malosériovou výrobu, nebo pouze opravy jednotlivého kusu se nevyplatí vyrábět speciální leštící přípravek.

Význam konstrukce přípravku je univerzálnost pro jednotlivé rotační součásti, například pro vyleštění trnu vytačovacího stroje. Jako hlavní kritérium konstrukce přípravku je rovnoměrné vyleštění rotačních součástí do vysokého lesku za použití univerzálního soustruhu. Rovnoměrné vyleštění je zajištěno konstantním přitlakem leštícího kotouče na leštěný povrch, rovnoměrnou rychlostí podélného posuvu soustruhu, nízkými otáčkami vřetene soustruhu a vysokými otáčkami leštícího elementu. Vysoké otáčky leštícího elementu jsou zajišťovány pomocí vysokoobrátkové přímé brusky. Leštícím elementem jsou běžně dostupné leštící filcové kotouče vyráběny v nespočetném množství variant.

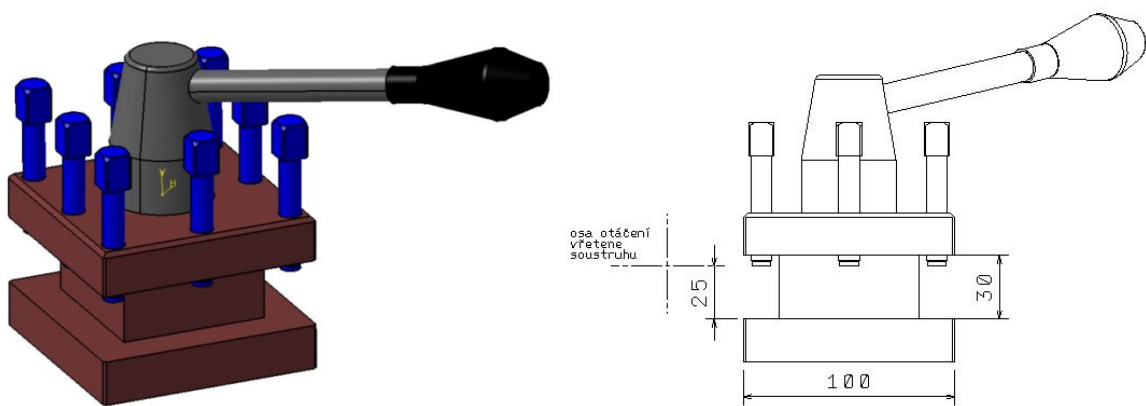


## 8 KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU

Přípravek je navrhován do nožové hlavy univerzálního soustruhu, např. pro TOS S32 umístěného v laboratoři obrábění UTB. Velikost nožové hlavy je 100 x 100 mm a maximální výška nástroje činí 30 mm. Osa otáčení vřetene je 25 mm od spodní části drážky pro upnutí nástroje do nožové hlavy.



Obr. 47 Fotografie školního univerzálního soustruhu TOS S32



Obr. 48 Model a základní rozměry nožové hlavy soustruhu TOS S32

3D modely jsou zhotoveny v programu Catia V5R19 od firmy Dassault Systemes se školní licencí Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Jednotlivé návrhy jsou modelovány pro vyso-

kootáčkovou přímou brusku Extol Craft 404122. Tato bruska byla vybrána z důvodu možnosti regulací otáček od 0 až po 22 000 ot.min<sup>-1</sup>. Další výhodou jsou válcové plochy na kancích brusky pro upnutí do přípravku a pak hmotnost samotné brusky, která činí pouhých 180 gramů. Na nízkou hmotnost brusky má vliv především motor, který je poháněn stejnosměrným napětím a transformátor ze střídavého proudu je umístěn externě mimo přímou brusku.



Obr. 49 Přímá bruska Extol Craft 404122

Leštící elementy jsou vybírány podle průměru sklíčidla na přímé brusce, která umožňuje průměr stopky nástroje volit od 1 mm do maximálního průměru 3 mm. Pro tento případ byl zvolen největší možný průměr stopky nástroje, ten odpovídá 3 mm. Vybraným nástrojem je válcový filcový leštící kotouč na stopce, který má průměr 10 mm a styčná délka nástroje je 25 mm.



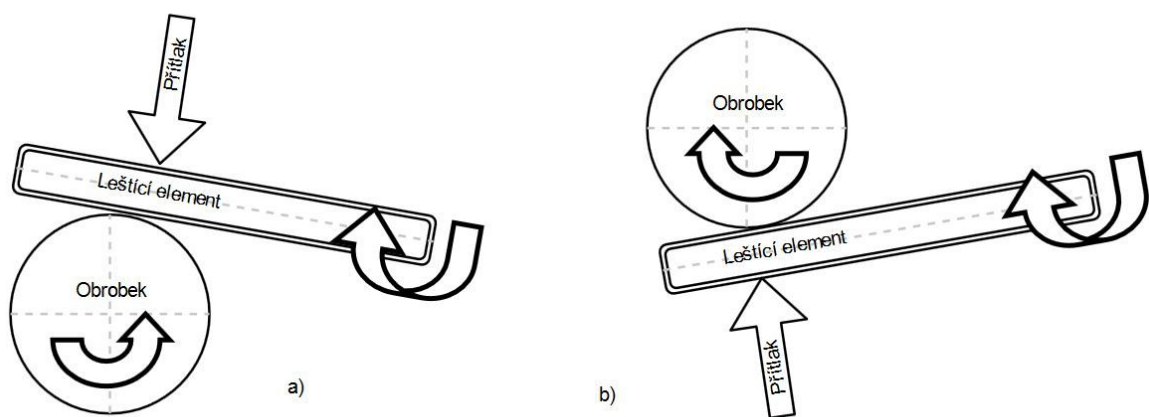
Obr. 50 Filcový leštící válcový kotouč na stopce



Obr. 51 Model filcového leštícího válcového kotouče na stopce

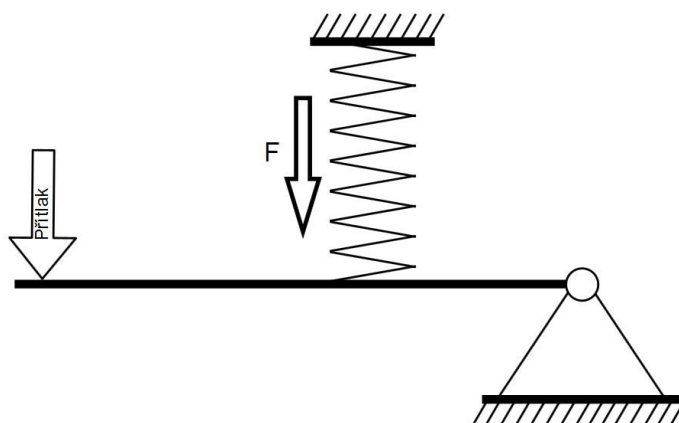
## 8.1 Kinematika mechanismu přípravku

Pro konstrukci přípravku se nabízí hned několik možností mechanismu přípravku. Základní rozdělení můžou tvořit dvě kategorie. Do první patří přítlak leštícího elementu zesponu, do druhé přítlak leštícího elementu seshora obrobku za předpokladu obrácených otáček vřetene soustruhu. Přítlak leštícího elementu zesponu obrobku není vhodný pro obsluhu soustruhu, která zcela nevidí na nástroj. Proto tuto variantu vylučuji.

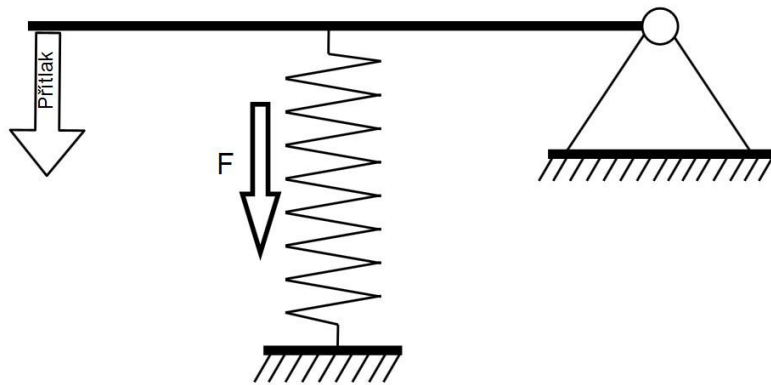


Obr. 52 Přítlak leštícího elementu a) seshora, b) zesponu obrobku

Dále se tedy budu zabývat pouze konstrukcemi s přítlakem leštícího elementu seshora na leštěnou plochu obrobku. První návrhy konstrukce jsou stavěny na uchycení konce nosníku v kloubovém spoji. Přítlak leštícího kotouče je vyvolán tlačnou pružinou (obr. 53), nebo tažnou pružinou (obr. 54).

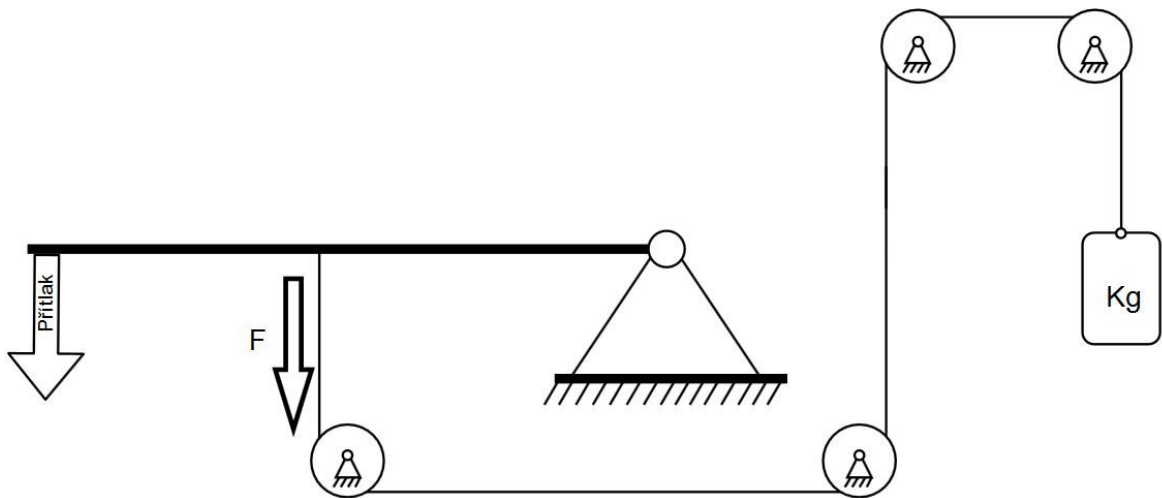


Obr. 53 Uložení s tlačnou pružinou



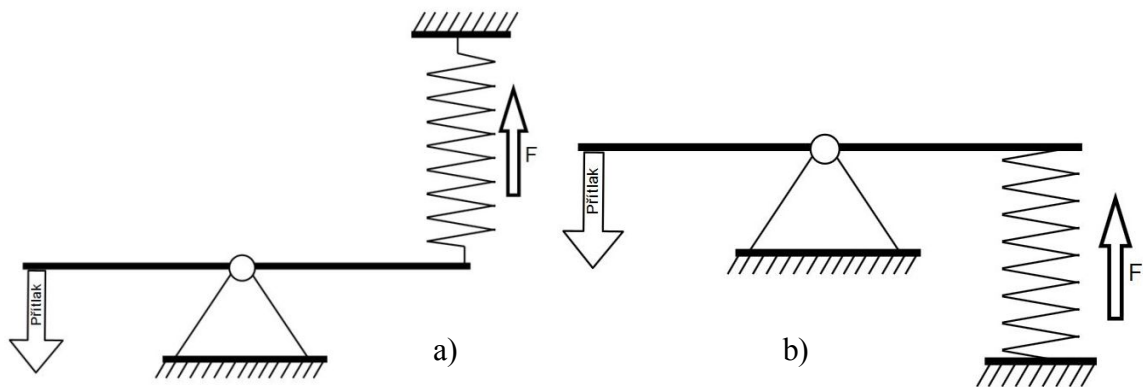
Obr. 54 Uložení s tažnou pružinou

U těchto variant nejsme schopni jednoduše regulovat přítlak na obrobek. Pro konstantní přítlak leštícího elementu by museli být pružiny velmi dlouhé s velmi nízkou tuhostí. Proto přichází návrh č.3, u kterého je přítlačná síla vyvolána závažím umístěné na kladce.



Obr. 55 Uložení se závažím na kladce

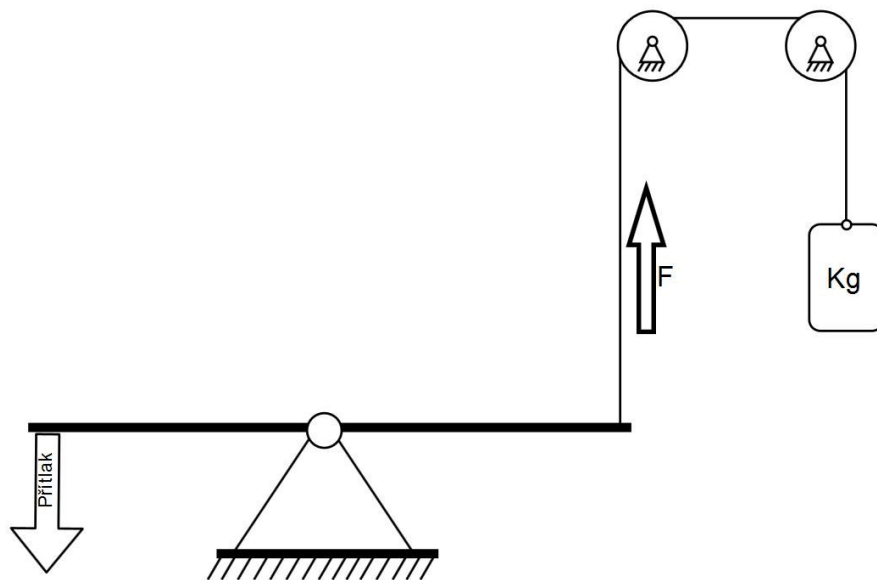
Mezi další návrhy spadají pákové uložení na střed nosníku, čímž se síly potřebné k přítlaku leštícího elementu sníží na polovinu.



Obr. 56 Pákové uložení s a) tažnou, b) tlačnou pružinou

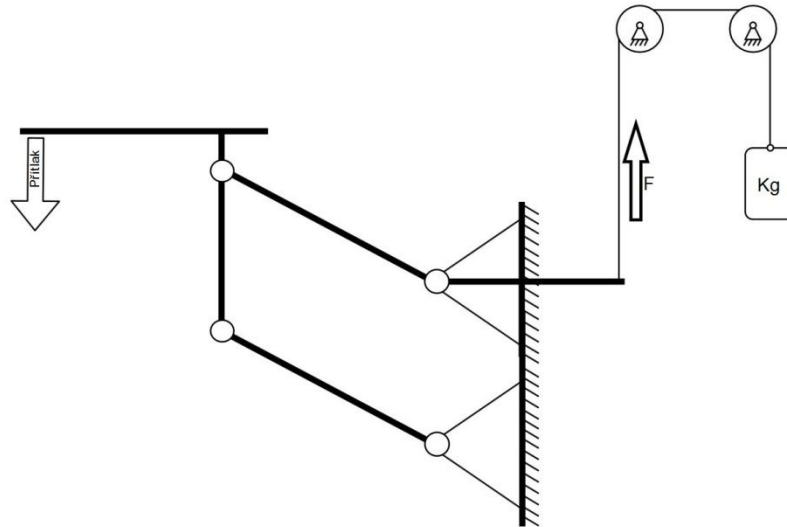
U pákových mechanismů se setkáváme se stejným problémem jako u uložení na konci nosníku. Pružina nezajistí konstantní přítlak na obrobek při změně průměru obrobku.

Řešením pro konstantní přítlak je, jak při uložení na konci nosníku, závaží na kladce (obr. 57).



Obr. 57 Pákové uložení se závažím na kladce

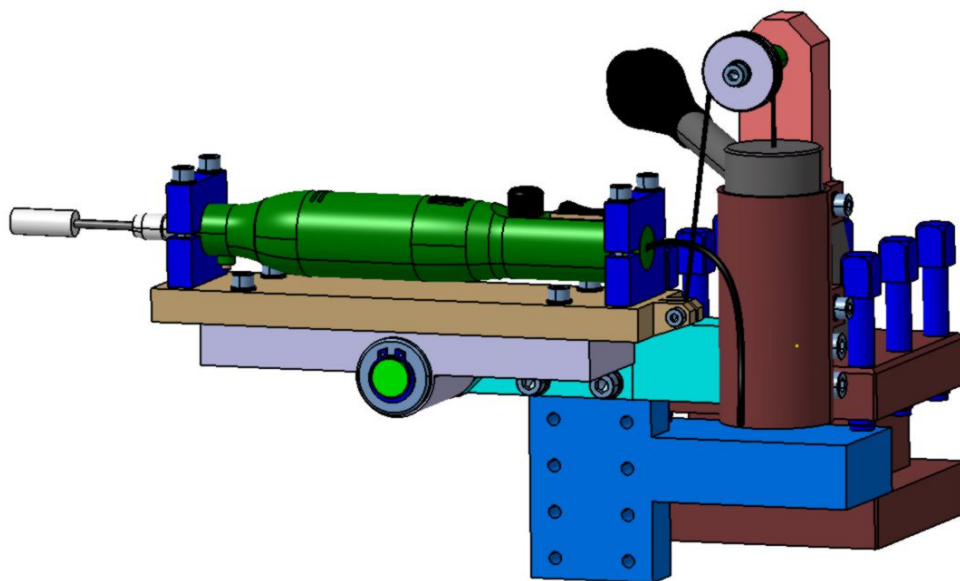
Poslední možností uložení nabízí mechanismus nazývaný paralelogram (obr.58), který je ovšem složitější a náročnější na přesnost výroby a pro tento případ konstrukce zbytečný. Využití by bylo vhodné pro rovinné plochy, kdy by byl leštící kotouč ve vodorovné poloze nezávisle na výšce polotovaru.



Obr. 58 Paralelogram se závažím na kladce

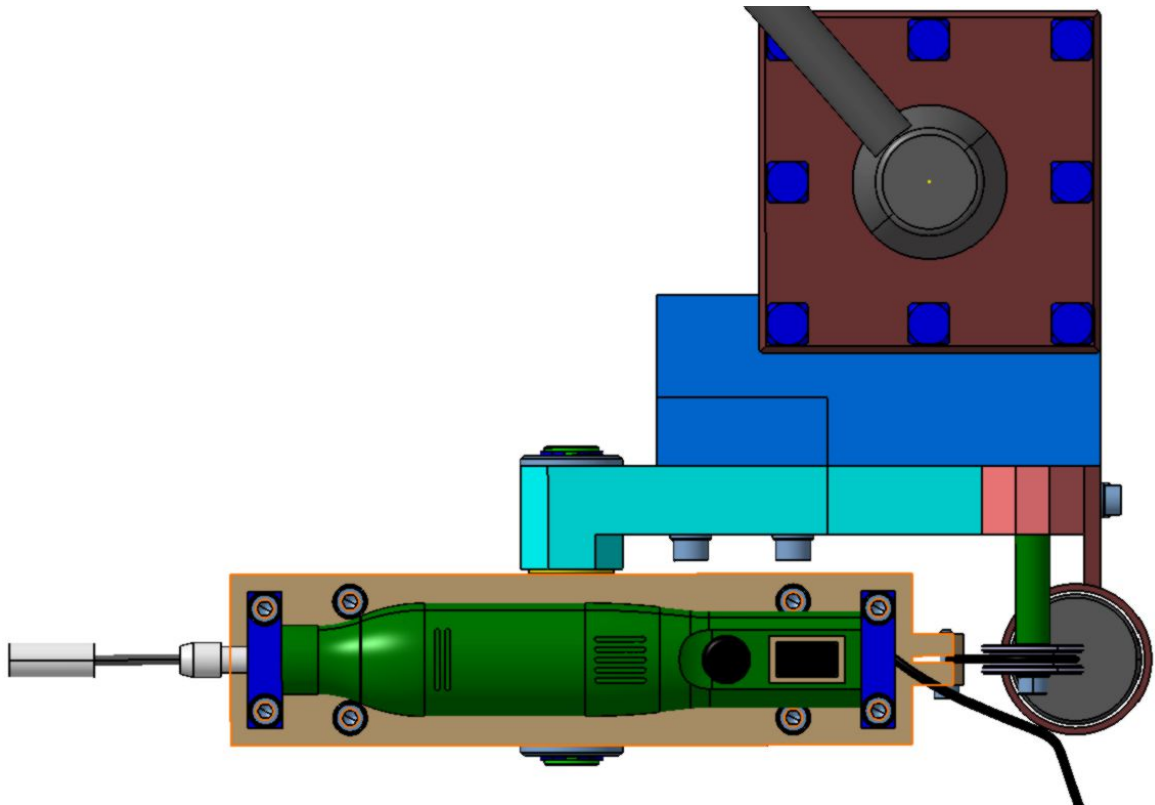
## 8.2 Návrh konstrukce přípravku č. 1

Z uvedených kinematických schémat je vybráno pákové uložení se závažím na kladce (obr. 57). Hlavním důvodem pro výběr tohoto uložení je jednoduchost a splňuje všechny požadavky na konstrukci přípravku. Přípravek je navržen dle zadání tak, aby byl leštící kotouč přitlačován konstantní silou seshora obrobku, za předpokladu záporných otáček soustruhu. Leštící kotouč je přitlačován na leštěný povrch konstantní silou pomocí závaží umístěného na ocelovém lanku přes kladku.



Obr. 59 Sestava návrhu přípravku č.1 pro leštění rotačních ploch

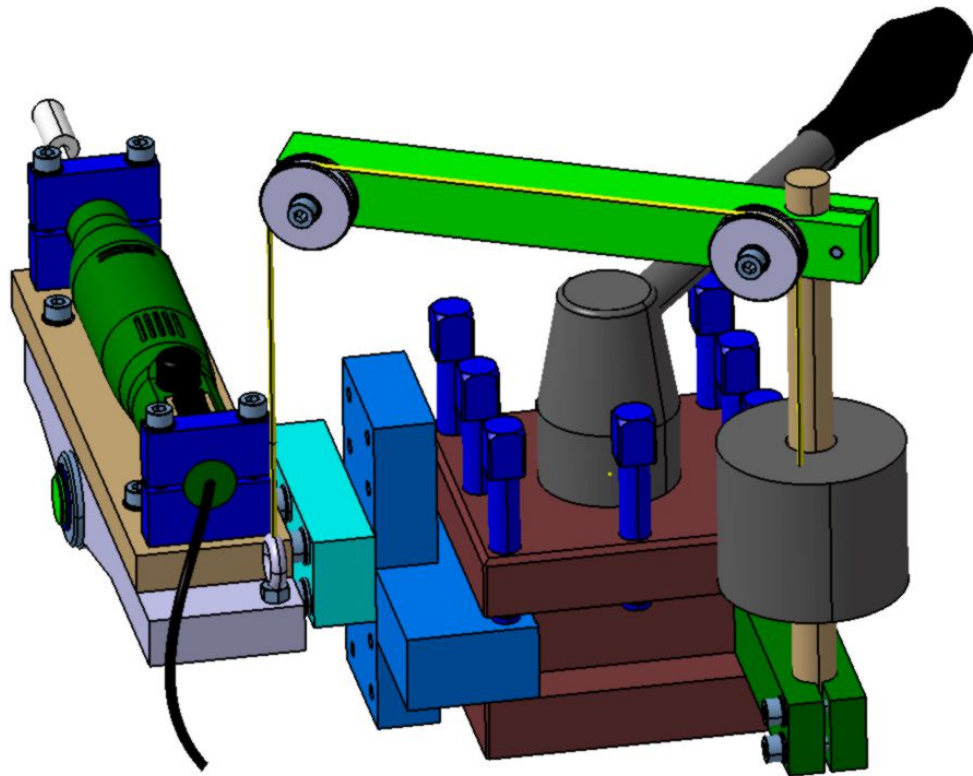
Toto řešení s sebou nese množství nevýhod. Vzhledem k tomu, že vysokoobrátkové vřeteno má přívod elektrické energie v zadní části a lanko pro závaží je uloženo uprostřed vahadla, není toto řešení funkční. Při pohledu na obrázek 60 je zřejmé, že pozice pro ocelové lanko nemůže být v ose vysokoobrátkového vřetene, z důvodu možné kolize napájecího kabelu vřetene a ocelového lanka. Tento návrh je tedy zavrhnut.



Obr. 60 Pohled shora na návrh přípravku č.1

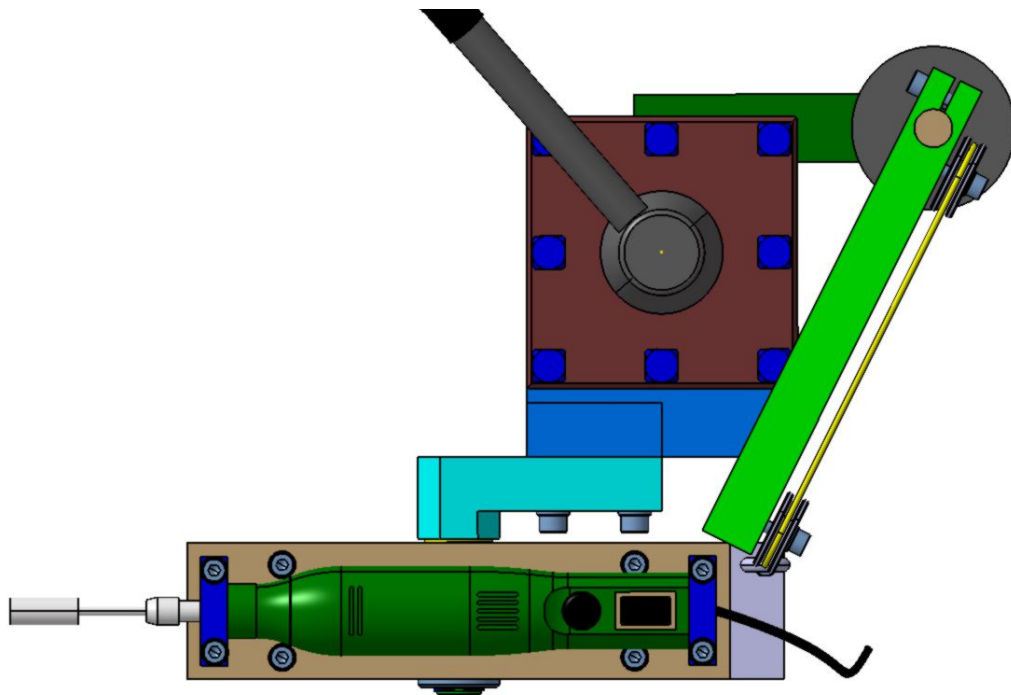
### 8.3 Návrh konstrukce přípravku č. 2

U návrhu konstrukce přípravku č. 2 je konstrukce rozdělena na dvě části. První část tvoří mechanismus s vysokoobrátkovým vřetenem a druhá část se skládá z konzole pro závaží pro vytvoření přítlaku leštícího elementu na obrobek. Toto řešení odstraňuje problém s přívodním kabelem vysokoobrátkového vřetene, jelikož je ocelové lanko vyoseno z dráhy kabelu.



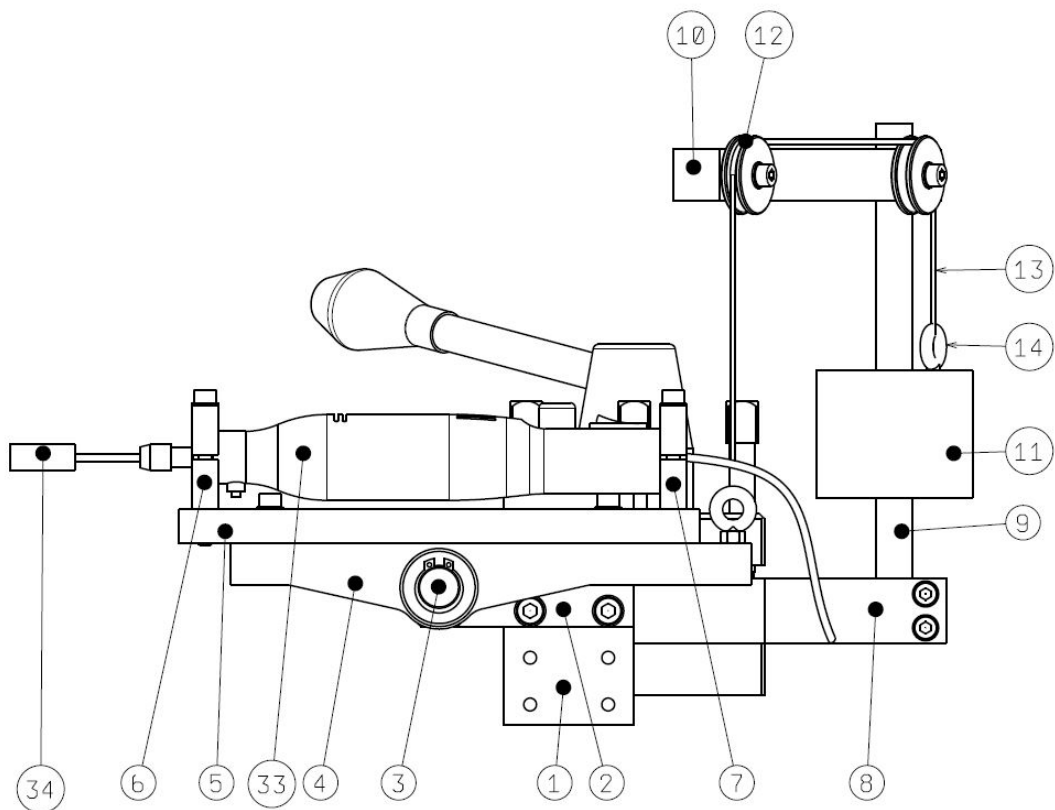
Obr. 61 Sestava návrhu přípravku č.2

Při pohledu shora je evidentní, že je problém s přívodním kabelem a pozicí ocelového lan-  
ka vyřešen.



Obr. 62 Pohled shora na návrh přípravku č.2



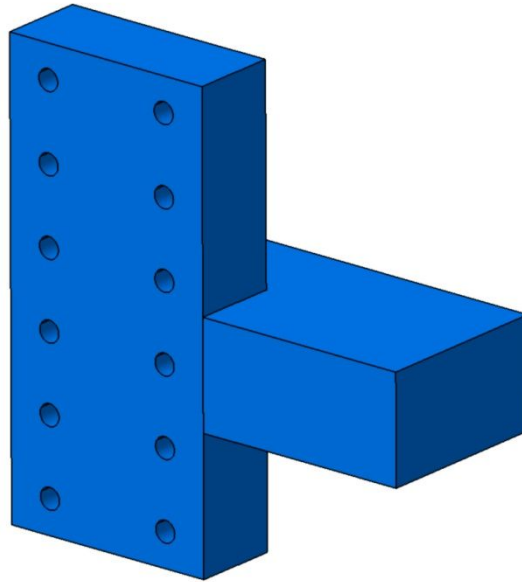


Obr. 63 Schéma přípravku pro leštění rotačních ploch

Přípravek se skládá z 14 základních dílů doplněných o šrouby, podložky, matice, pojistné kroužky a kluzné pouzdra pro celkové sestavení přípravku. Vysokoobrátkové vřeteno (poz. 33) je pevným spojením uloženo k příložce (poz. 5) pomocí přeních a zadních držáků vřetene (poz. 6 a 7). Takto sestavená příložka s vřetenem je šroubovými spoji připevněna k vahadlu (poz. 4), které se otáčí kolem osy čepu (poz. 3). Čep je zalisován do stavitelné konzole (poz. 2) a následně pojištěn proti pootočení stavěcím šroubem. Vahadlo je zajištěno proti axiálnímu posuvu pojistným kroužkem. Pro hladký chod je do vahadla zalepeno kluzné pouzdro a mezi vahadlem a stavitelnou konzolou je vložen axiální kroužek. Stavitelná konzola je sešroubována se základnou přípravku (poz. 1). Příklad lešticího elementu (poz. 34) k obrobku je vyvolán gravitační silou závaží (poz. 11), upevněno pomocí oka (poz. 14) na ocelovém lanku (poz. 13). Působící gravitační síla závaží je přenášena k vahadlu pomocí sestavy jednoduchých kladek (poz. 12), které jsou uloženy na závěsu (poz. 10). Závěs je uchycen svěrným spojem s vodící tyčí (poz. 9), která je opět svěrným spojem uchycena do základny závěsu (poz. 8). Vodící tyč slouží rovnou jako vodící element pro závaží. Výrobní výkres sestavy přípravku včetně kusovníku je přiložen do přílohy P XII a P XIII.

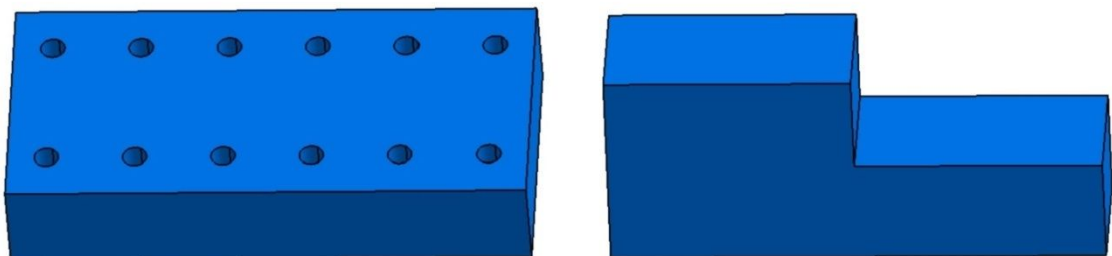
### 8.3.1 Základna přípravku

Základna přípravku bude nejvíce namáhaná součást. Jelikož jde o součást upevněnou do nožové hlavy soustruhu pomocí upínacích šroubů nožové hlavy, hrozí brzké opotřebování styčné plochy základny. Z tohoto důvodu je zvolen jako materiál ocel.



Obr. 64 Model základny přípravku

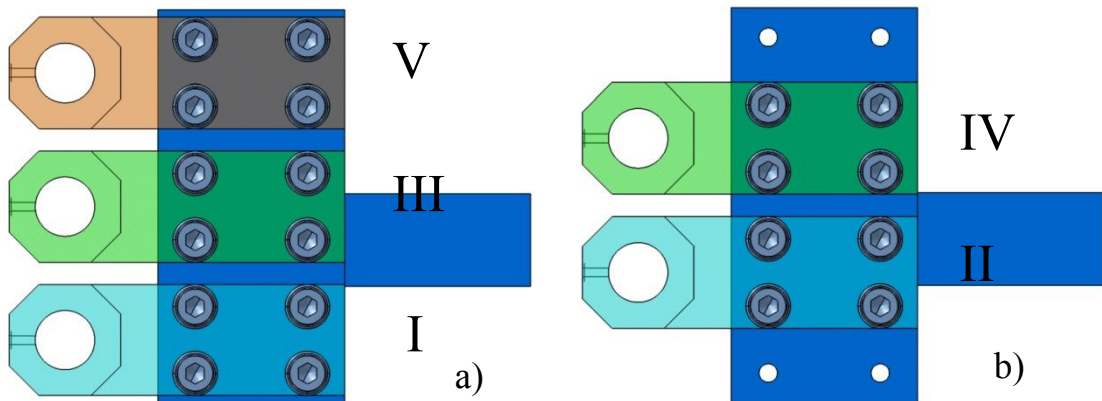
Při frézování základny z jednoho kusu materiálu by docházelo k odpadu ve výši 60 % polotovaru. Pro eliminaci odfrézovaného materiálu je vhodné základnu rozdělit na dvě části, které se posléze spojí svářem. Nelegovaná ocel pro konstrukce s označením EN S235JRG1 (ČSN 11 373) je označována jako ocel s výbornou svařitelností a tím se hodí pro tento případ. Výrobní dokumentace jednotlivých dílů a svařence základny přípravku jsou přiloženy v příloze P I.



Obr. 65 Jednotlivé díly pro svařenec základny přípravku

V základně přípravku je vyřezáno 12 závitů, které umožňují sestavení základny přípravku společně se stavitelnou konzolou do celkem pěti poloh. Těchto pět poloh slouží pro leštění

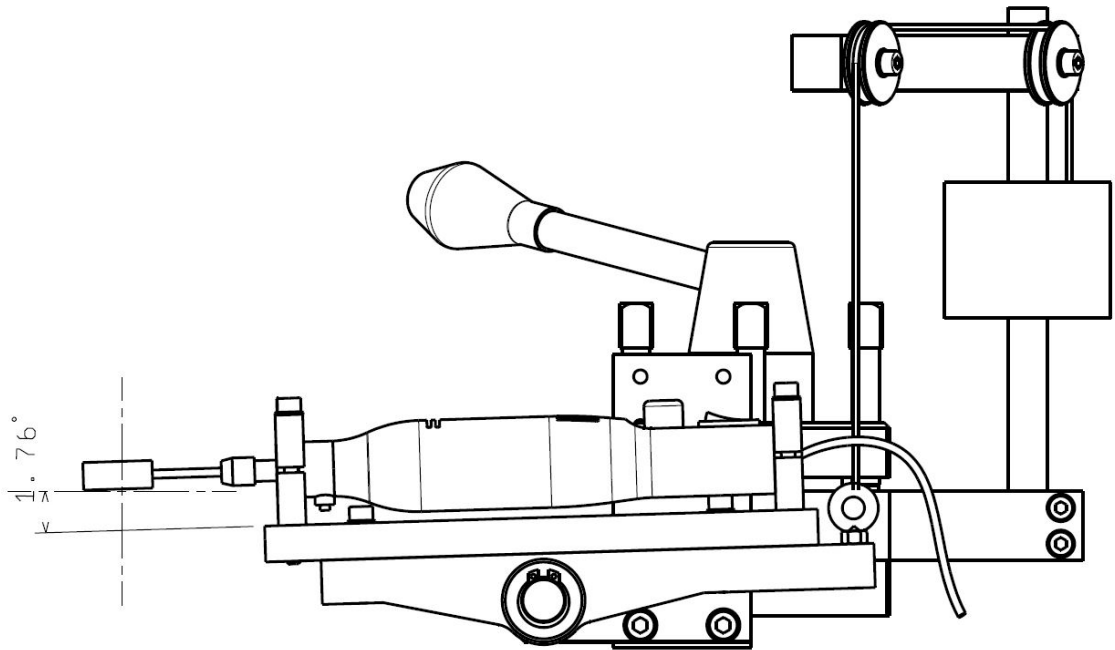
ploch od zásadně nulového průměru až do průměru 160 mm. Tyto polohy lze rozdělit na tři základní a dvě mezipolohy, které jsou zobrazeny na obrázku 66.



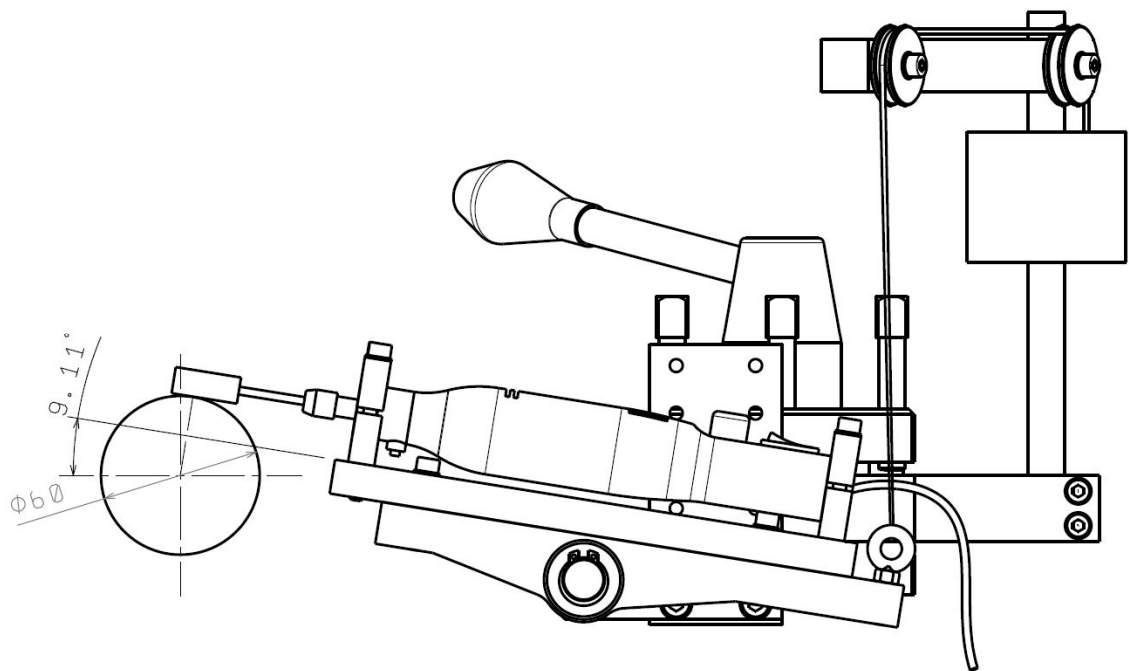
Obr. 66 Polohy sestavení přípravku a) základní, b) mezipolohy

Se třemi základními polohami lze vyleštit kompletně obrobek od nulového průměru až po průměr 160mm. Mezipolohy II a IV slouží k výhodnější pozici sestavení pro rovnoměrnější vyleštění průměrů na hranicích hlavních poloh sestavení.

Na obrázku 67 a 68 jsou schematicky znázorněny minimální a maximální leštěné průměry při sestavení přípravku do polohy I. Minimální možný průměr leštěného povrchu u tohoto sestavení je nulová hodnota, což umožňuje vyleštit i špičku leštěného obrobku (obr. 67). Maximální hodnota průměru leštěného povrchu je u tohoto sestavení 60 mm (obr. 68).

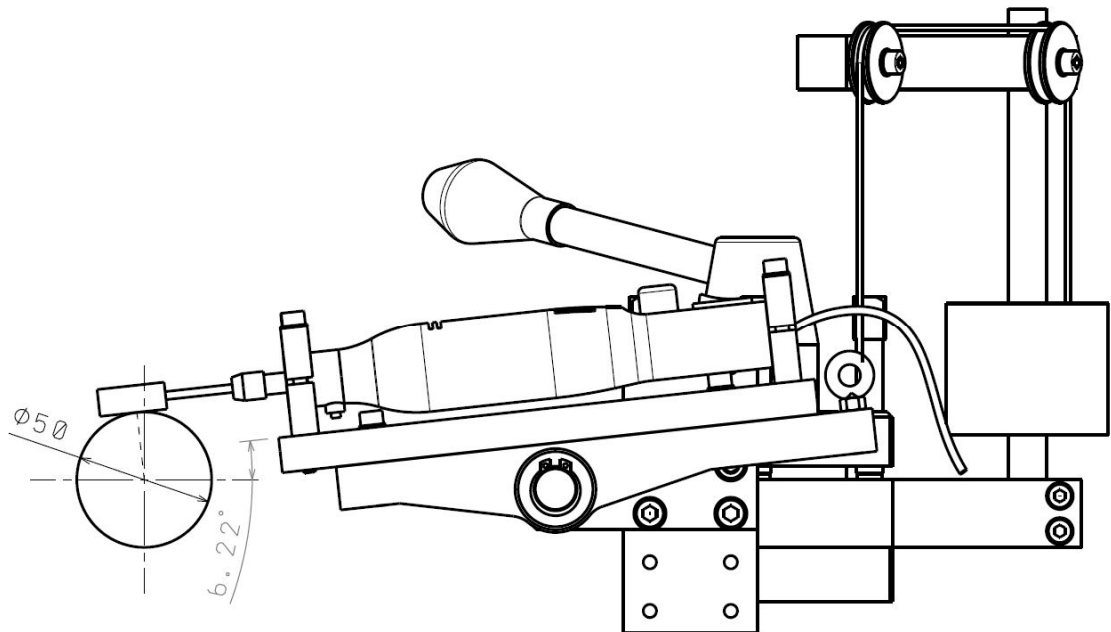


Obr. 67 Minimální průměr leštěného povrchu - poloha I

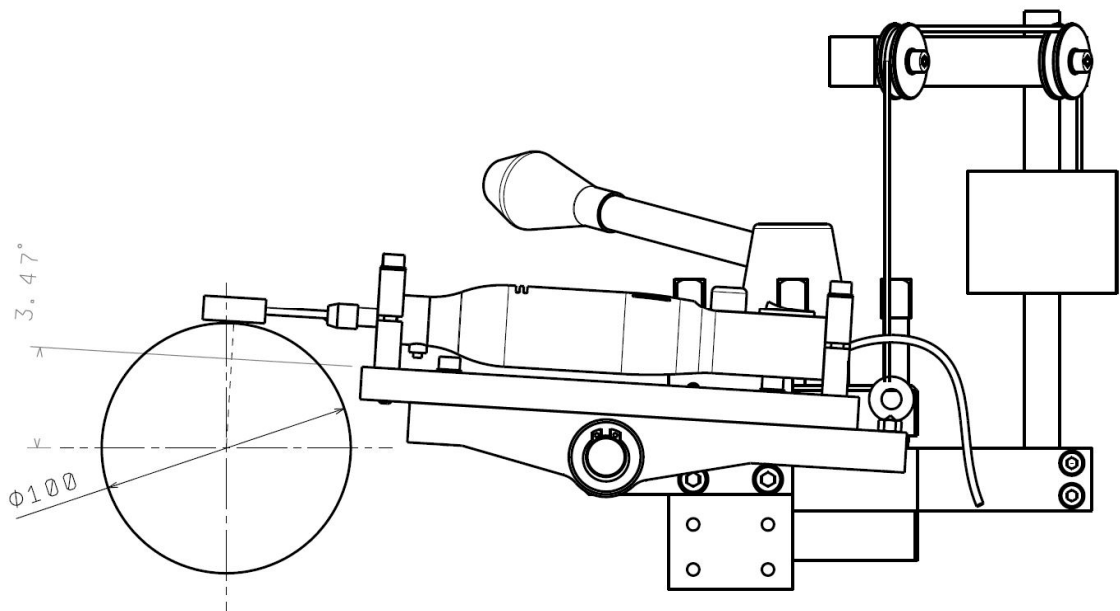


Obr. 68 Maximální průměr leštěného povrchu - poloha I

Minimální a maximální průměry obrobku při sestavení přípravku v poloze II je schematicky znázorněno na obrázku 69 a 70. S tímto sestavením lze leštit plochy o průměru minimálně 50 mm (obr. 69) a maximálně 100 mm (obr. 70).

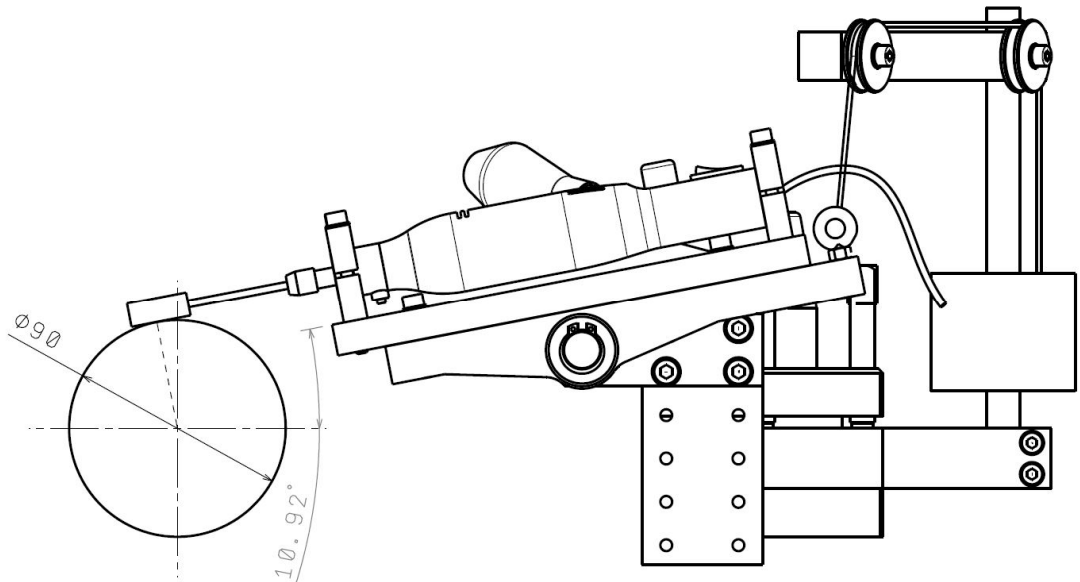


Obr. 69 Minimální průměr leštěného povrchu - poloha III

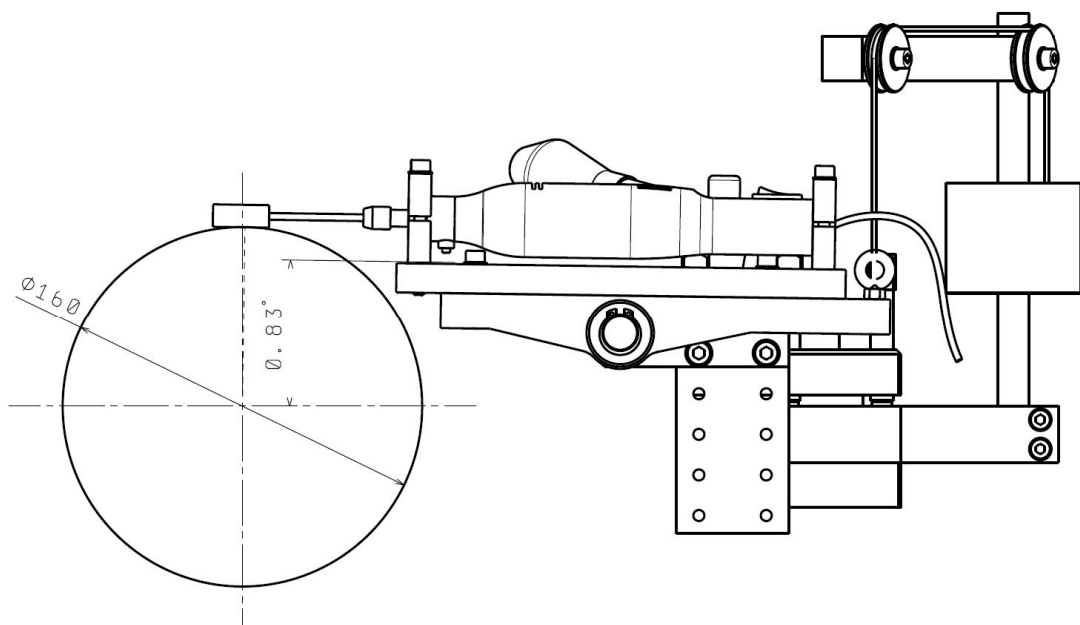


Obr. 70 Maximální průměr leštěného povrchu - poloha III

Leštění velkých průměrů obrobku se s vybraným nástrojem nedá dosáhnout z důvodu krátké stopky nástroje. Při sestavení přípravku v poloze V dokáže leštící kotouč opracovat maximální průměr 160 mm, aby nedošlo ke kolizi přípravku s obrobkem. Na obrázku 71 a 72 jsou znázorněny minimální a maximální průměry obrobku při sestavení v poloze V.



Obr. 71 Minimální průměr leštěného povrchu - poloha V

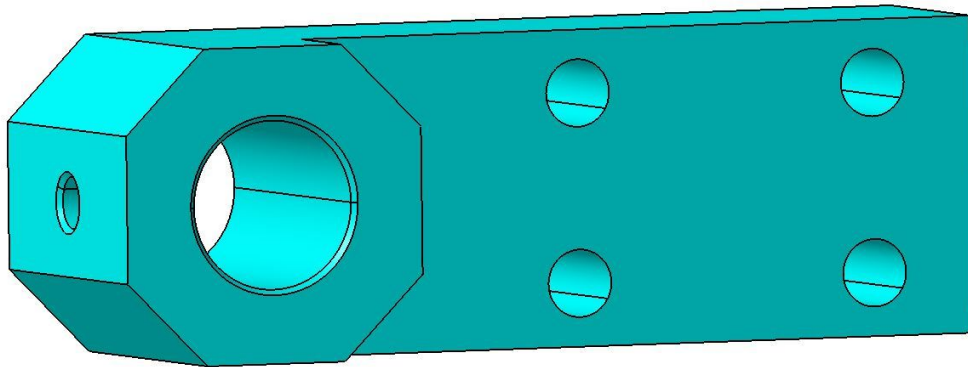


Obr. 72 Maximální průměr leštěného povrchu - poloha V

Pro opracování větších průměrů než 160 mm se musí nástroj vyměnit za nástroj s delší stopkou nebo nástroj s větším průměrem.

### 8.3.2 Stavitelná konzola a čep

Stavitelná konzola slouží jako pevná část kyvného mechanismu, do které je nalisován čep sloužící k otáčení vahadla. Stavitelná konzola je připevněna k základně přípravku pomocí čtyř šroubů M6. Čep je spojen se stavitelnou konzolou uložením s přesahem. Z tohoto důvodu je na konci čepu sražení, rovněž tak i u díry na stavitelné konzole. Materiálem pro stavitelnou konzolu byla zvolena nelegovaná ocel EN E335 (ČSN 11 600). Výkresová dokumentace stavitelné konzole je přiložena v příloze P II.



Obr. 73 Model stavitelné konzole

Standardní tolerance pro uložení s přesahem jsou H7 pro díru a s6 pro hřídel.

Průměr díry, resp. hřídele je  $\varnothing = 16 \text{ mm}$ .

Výpočet uložení s přesahem:

16H7 => horní mezní úchylka +18  $\mu\text{m}$

dolní mezní úchylka +0  $\mu\text{m}$

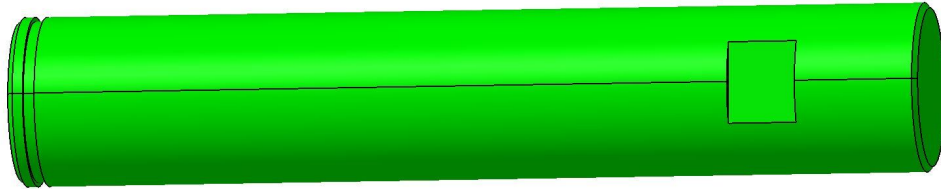
16s6 => horní mezní úchylka +39  $\mu\text{m}$

dolní mezní úchylka +28  $\mu\text{m}$

Maximální přesah v uložení je tedy 39  $\mu\text{m}$ . Minimální přesah v uložení je 10  $\mu\text{m}$ .

V závislosti na výrobních možnostech a přesnosti výroba byla poloha čepu ve stavitelné konzole zajištěna stavěcím šroubem a na čepu byla vyfrézována drážka to pro tento šroub. Materiálem pro čep byl zvolen EN C45E (ČSN 12 050), který se hodí pro výrobu čepů

a hřídelí a je vhodný v povrchovému kalení. Výkresová dokumentace čepu je přiložena v příloze P III.



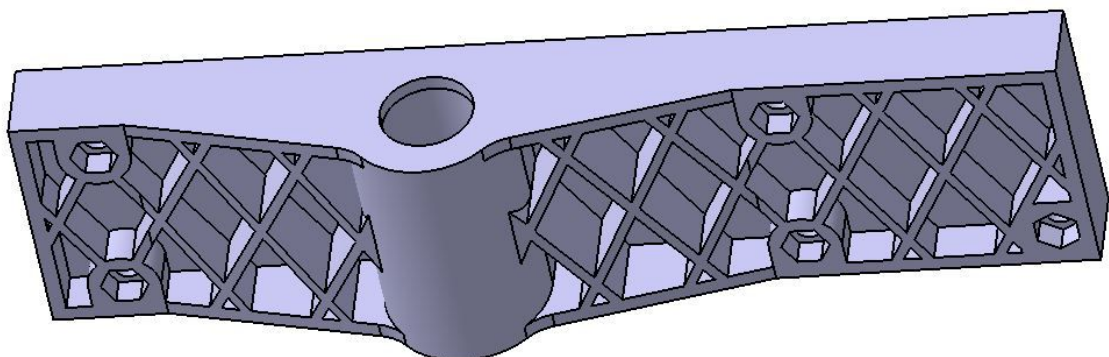
Obr. 74 Model čepu

### 8.3.3 Vahadlo

Vahadlo je součást přípravku, které přenáší sílu vyvolanou závažím na sílu přítlačnou pomocí páky. Požadavkem na tento díl byla výroba pomocí FDM technologie s použitím materiálu ABS-P430, který je určen pro tuto technologii. V tabulce 3 je srovnání mechanických vlastností materiálu ABS s materiálem ABS-P430 při FDM technologii.

Tab. 3 Mechanické vlastnosti materiálu ABS a ABS-P430

		ABS	ABS-P430
pevnost v tahu	[MPa]	45	37
napětí v ohybu	[MPa]	70	53
modul pružnosti	[MPa]	2200	2320
hustota	[Kg.m <sup>-3</sup> ]	1040	1040



Obr. 75 Konečný model vahadla

Na vahadle je navrženo žebrování z důvodu úspory materiálu a to tak, aby byla zachována tuhost konstrukce. Pro hladné otáčení vahadla na čepu jsou do díry vlisovány kluzné pouz-



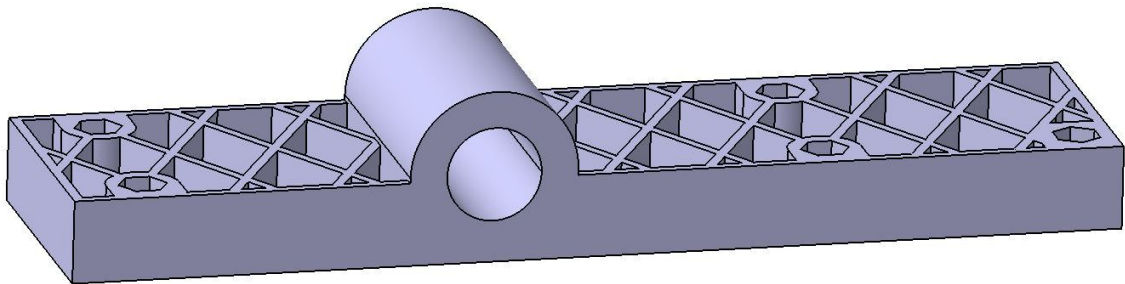
dra. Vahadlo bude pevně spojeno s příložkou pomocí šroubových spojení. Pro snazší manipulaci při sestavování, popřípadě výměny příložky, jsou namodelovány otvory pro šestihranné matice, které jsou do vahadla vsazeny a zalepeny.

### 8.3.3.1 FEM analýza vahadla

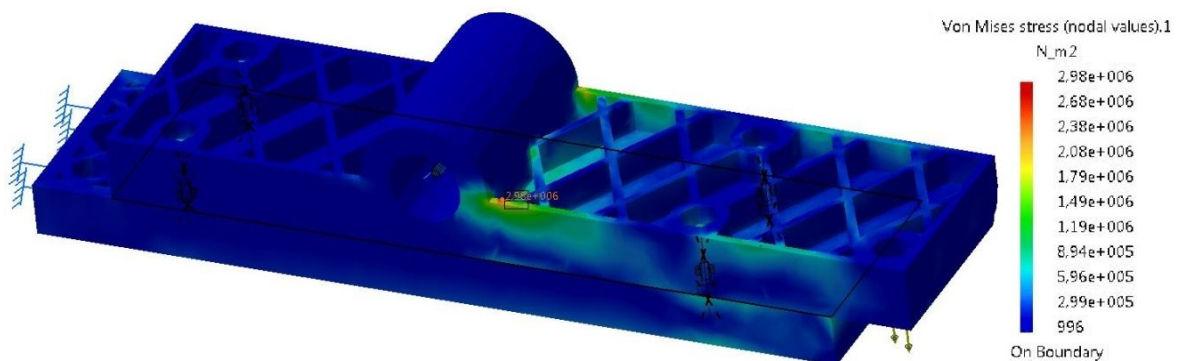
Pro zjištění kritických míst s koncentrací napětí byla použita FEM analýza v softwaru Catia V5. Simulace výpočtu probíhala se závažími o hmotnostech 1, 2 a 5 Kg. Pro přesnější hodnoty byla analýza simulována na sestavě vahadla i s příložkou. Příložka je vyrobena ze stejného materiálu jako vahadlo. Dovolené napětí v tahu je u materiálu ABS-P430 37 MPa.

#### 1. Návrh vahadla č. 1

Návrh vahadla č. 1 se skládá z rovné plochy, vyztužené žebry a otvorem pro kluzné pouzdro (obr. 76). Jak lze sledovat na obrázku 77, kritické místo koncentrace napětí je v rozích přechodu rovné plochy do zaoblení pro výztuhu kolem kluzného pouzdra.



Obr. 76 Model návrhu vahadla č.1

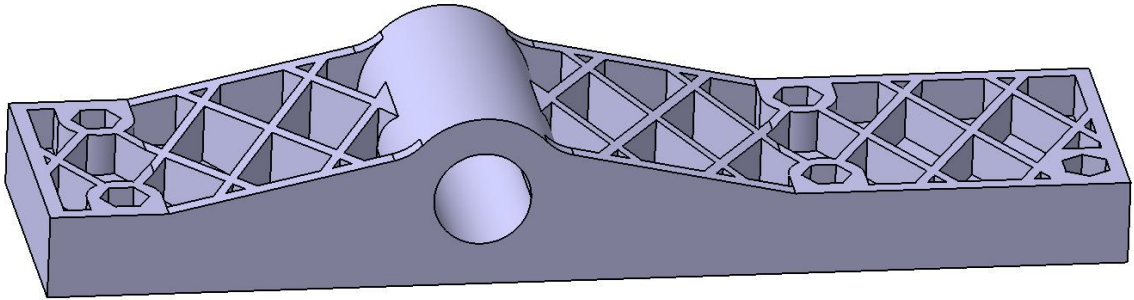


Obr. 77 Hodnoty napětí u návrhu vahadla č. 1 při zatížení 20 N

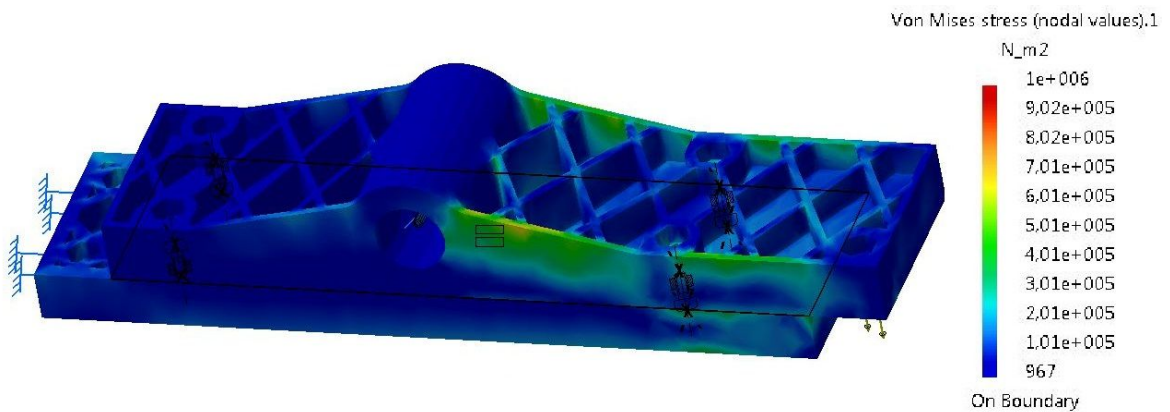
Nejvyšší hodnota napětí u návrhu vahadla č.1 při zatížení 20 N dosahuje hodnoty 2,98 MPa.

## 2. Návrh vahadla č. 2

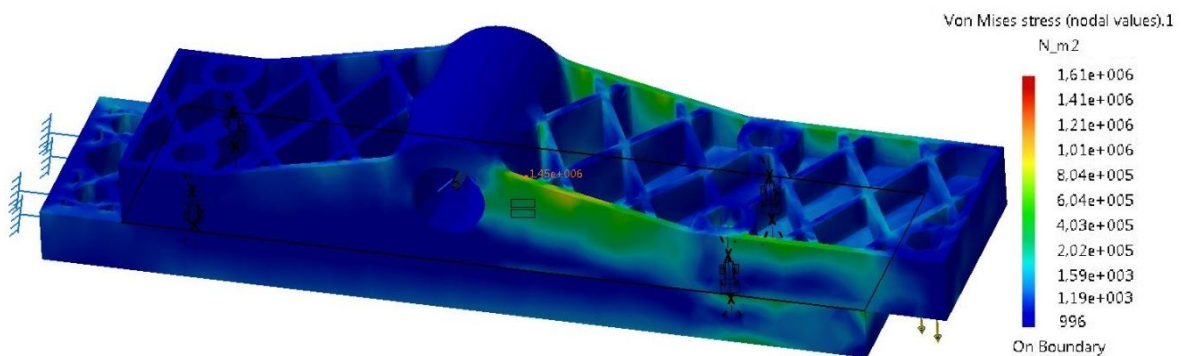
U návrh vahadla č. 2 se tyto kritická místa odstranili a boční plochy a žebra vahadla protáhly do ústí rádiusu výztuhy pro kluzné pouzdro (obr. 78). Touto malou úpravou tvaru se eliminovalo napětí v rozích a hodnota se snížila na polovinu.



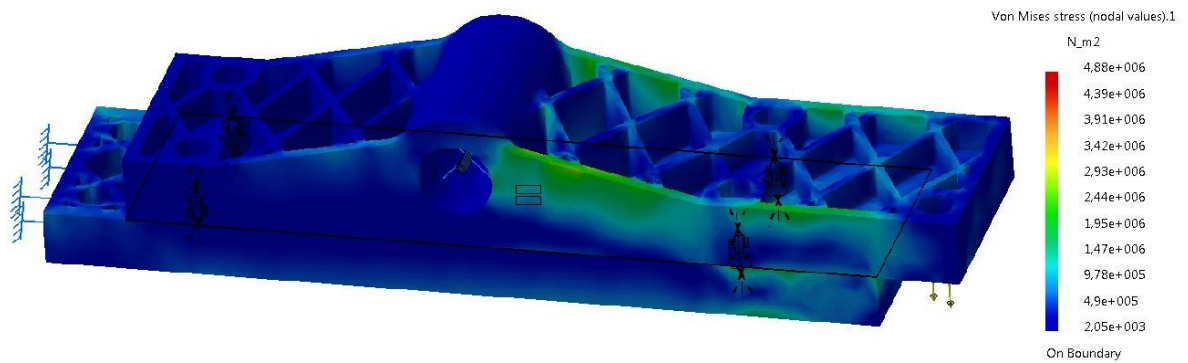
Obr. 78 Návrh vahadla č. 2



Obr. 79 Hodnoty napětí u návrhu vahadla č. 2 při zatížení 10 N



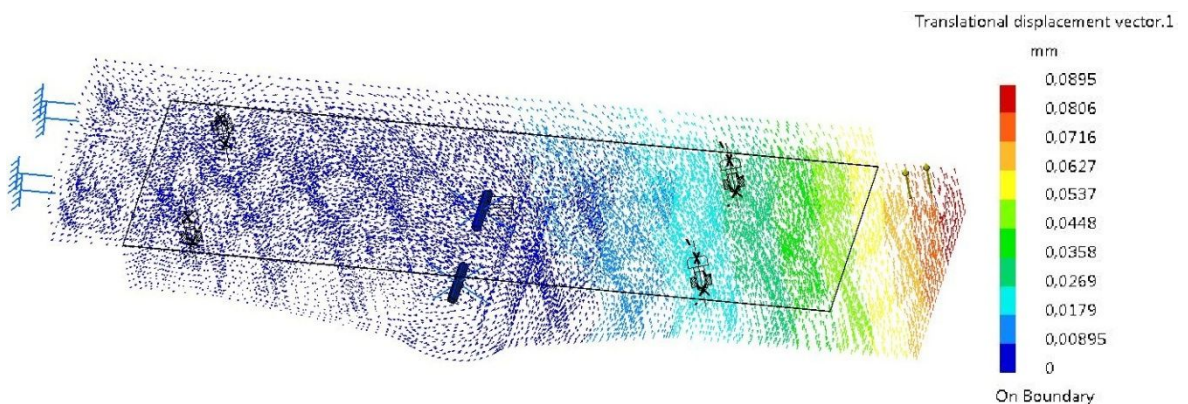
Obr. 80 Hodnoty napětí u návrhu vahadla č. 2 při zatížení 20 N



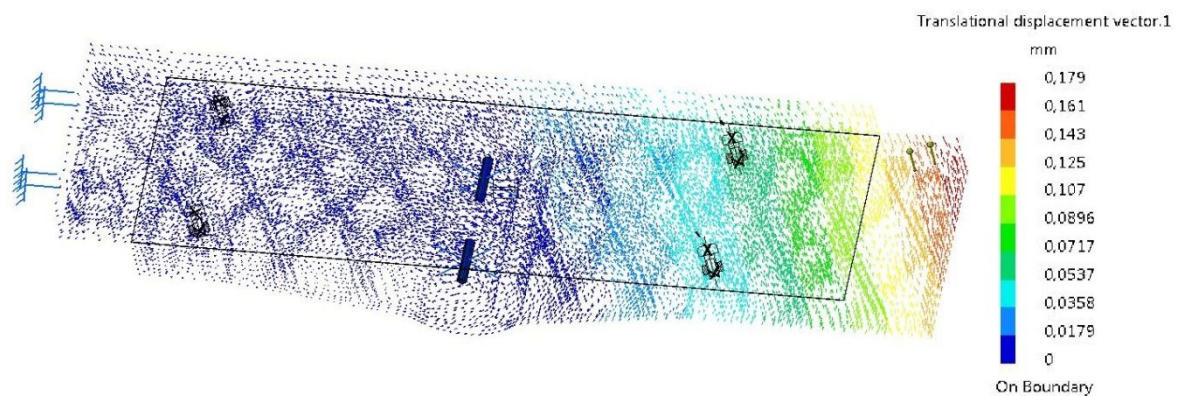
Obr. 81 Hodnoty napětí u návrhu vahadla č. 2 při zatížení 50 N

Při zatížení návrhu vahadla č. 2 silou 10 N je nejvyšší hodnota napětí 1 MPa, při zatížení 20 N je nejvyšší napětí 1,61 MPa a při 50 N je 4,88 MPa. Tyto hodnoty splňují požadavek, že nejvyšší hodnota napětí musí být menší než dovolená hodnota. Dovolené napětí pro materiál ABS při technologii FDM má hodnotu 37 MPa.

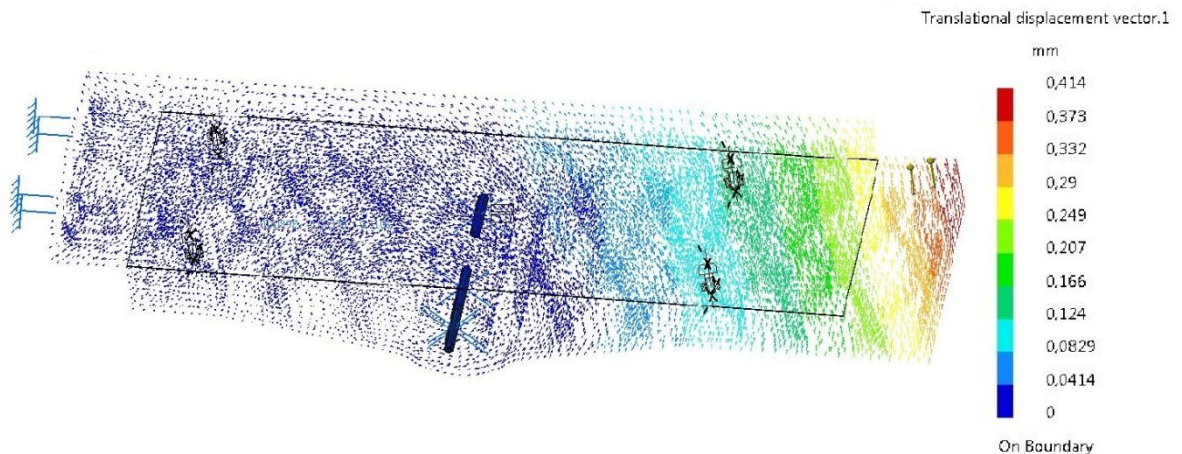
Nejvyšší hodnota vektorového posunutí leží ve všech případech v bodu uchycení ocelového lanka. Nejvyšší hodnota posunutí při zatížení 10 N je 0,089 mm, při zatížení 20 N je hodnota 0,179 mm a při zatížení 50 N posunutí dosahuje hodnoty 0,414 mm.



Obr. 82 Hodnoty vektorového posunutí u návrhu č. 2 při zatížení 10 N



Obr. 83 Hodnoty vektorového posunutí u návrhu č. 2 při zatížení 20 N

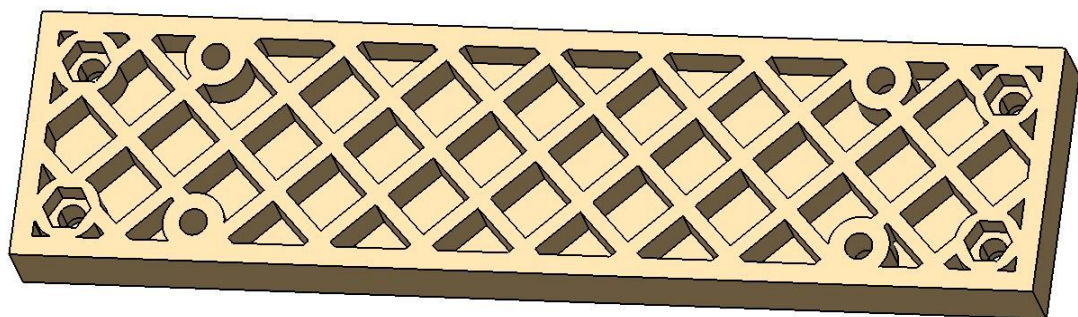


Obr. 84 Hodnoty vektorového posunutí u návrhu č. 2 při zatížení 50 N

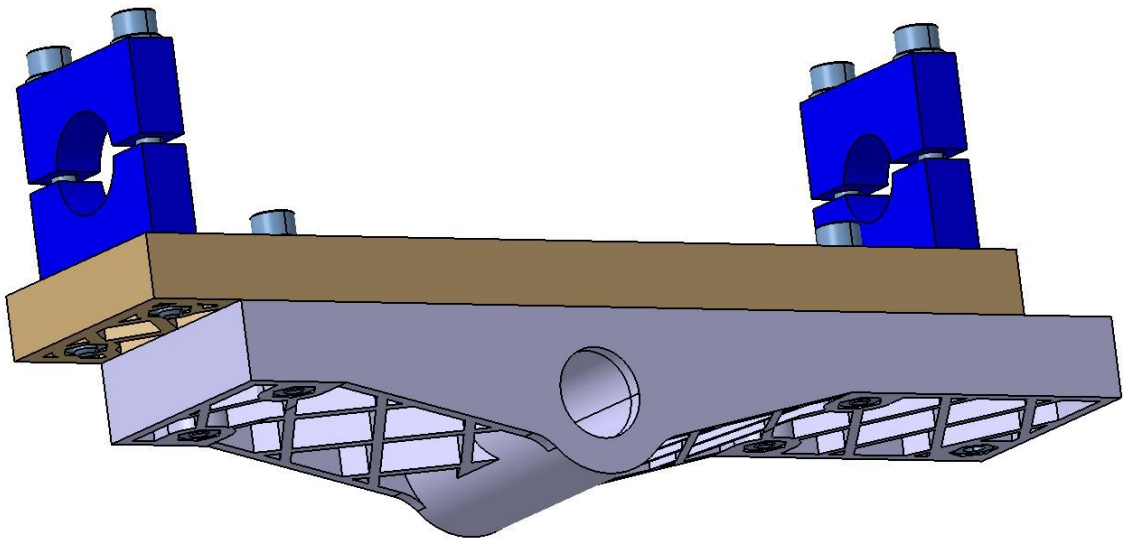
Výkresová dokumentace vahadla je přiložena v příloze P IV.

#### 8.3.4 Příložka s držáky vřetene

Pomocí příložky lze zajistit, aby se stal přípravek univerzální nejen pro kterýkoliv soustruh, ale ji pro více vysokoobrátkových vřeten. Příložka je díl, který za pomoci předních a zadních držáků vřetene umožňuje upevnit vysokoobrátkové vřeteno k vahadlu. Tento díl je určen pouze pro vřeteno Extol Craft. Výhodou tohoto řešení s příložkou je jednoduchá výměna vysokootáčkového vřetene za jiný typ bez zásahu do konstrukce. Malou nevýhodou je nutnost výroby nové příložky pro jiný typ vřetene, ovšem bez zásahu do žádné části přípravku. Požadavky na konstrukci příložky i držáků vřetene byly stejné jako u vahadla, tedy výroba pomocí FDM technologie. Pomocí žebrování je snížen objem použitého materiálu. Výkresová dokumentace příložky je přiložena v příloze P V.

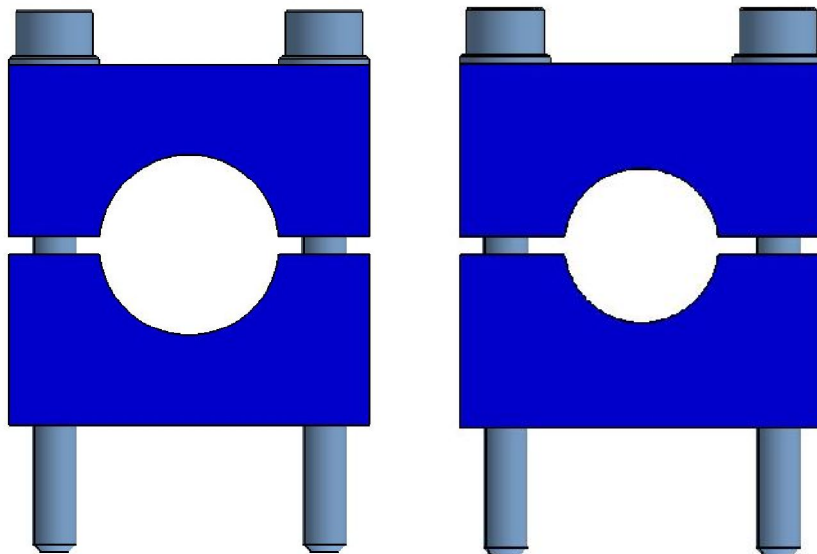


Obr. 85 Model příložky



Obr. 86 Sestavení držáků vřetene s příložkou a vahadlem

Přední a zadní držáky vřetene jsou k příložce připevněny pomocí šroubů a to tak, že matice pro šrouby jsou vsazeny a zalepeny do příložky. Držáky pro vřeteno jsou namodelovány podle upínacích částí vysokootáčkového vřetene Extol Craft.

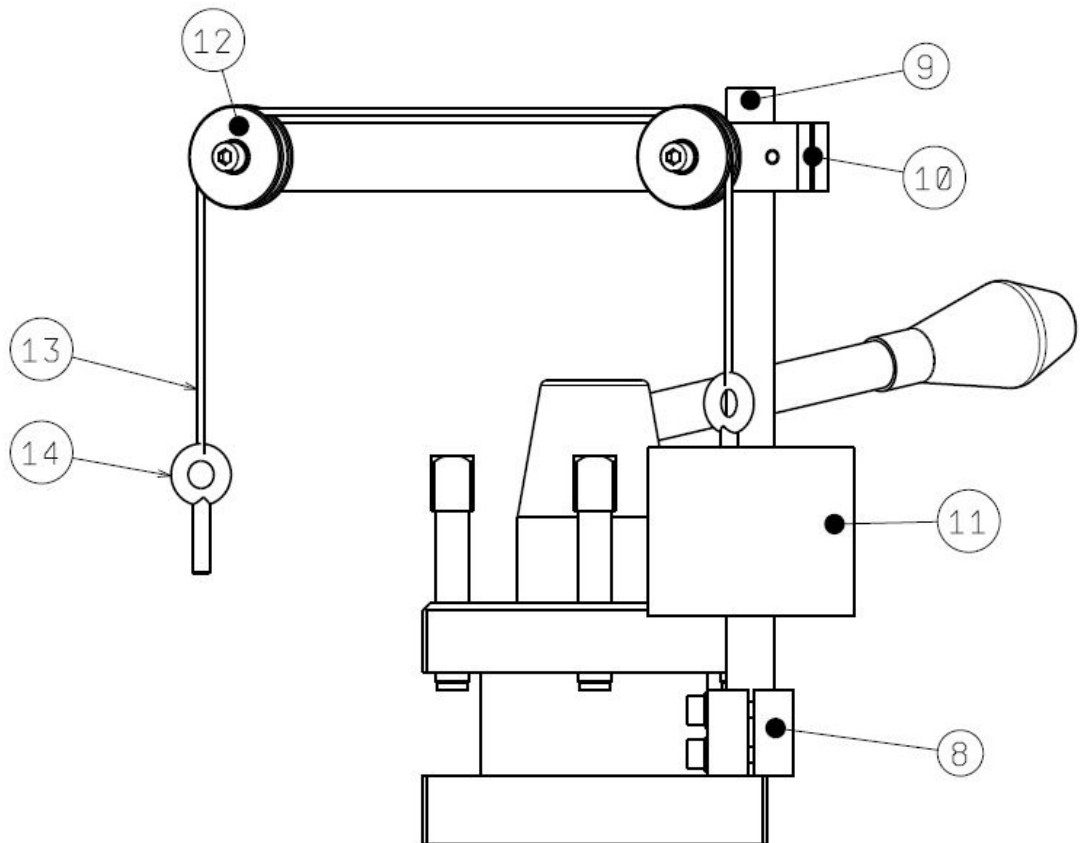


Obr. 87 Model předního a zadního držáku vřetene

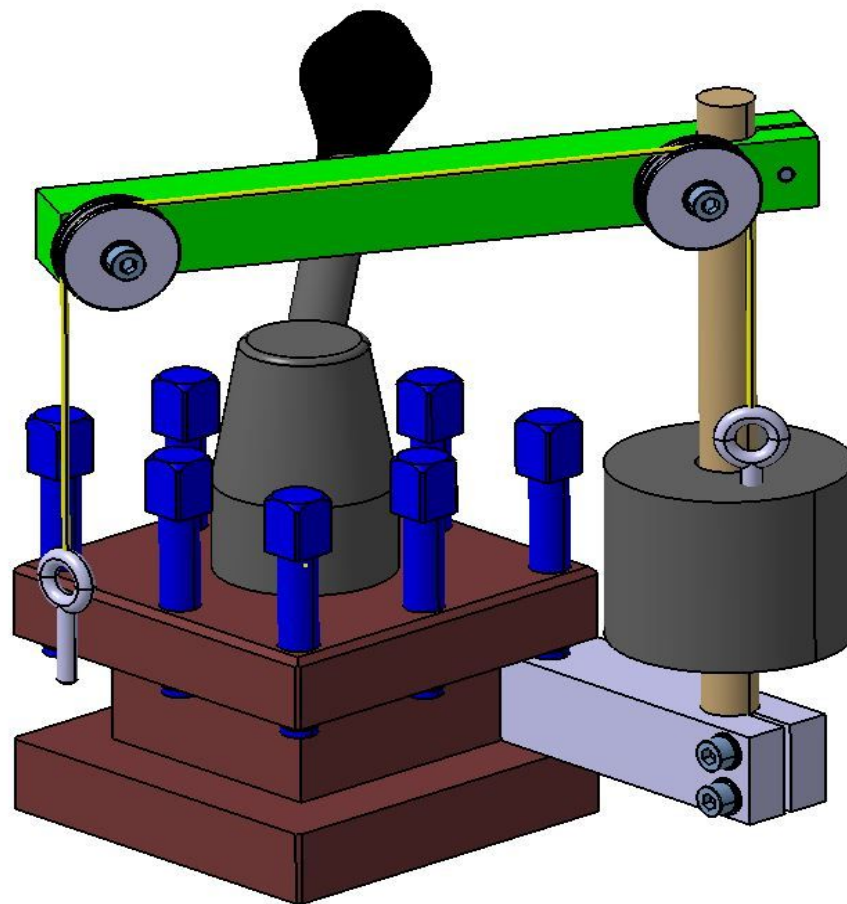
Přední a zadní držák vřetene se liší pouze v průměru svěrné části. Každý držák se skládá ze dvou stejných částí. Sevření vřetene je zajištěno mezerou mezi každou částí držáku. Výkresová dokumentace jednotlivých držáku je přiložena v příloze P VI a v příloze P VII.

### 8.3.5 Napínací mechanismus

Druhá část přípravku se skládá z mechanismu pro zajištění konstantního přítlaku na obrobek. Je to základní mechanismus sestavy kladek, který se skládá ze základny závěsu (poz. 8), vodící tyče (poz. 9), závěsu (poz. 10), kladek (poz. 12), ocelového lanka (poz. 13), upínacích ok (poz.14) a závaží (poz. 11). Tento mechanismus se upíná do nožové hlavy samostatně za základnu závěsu.



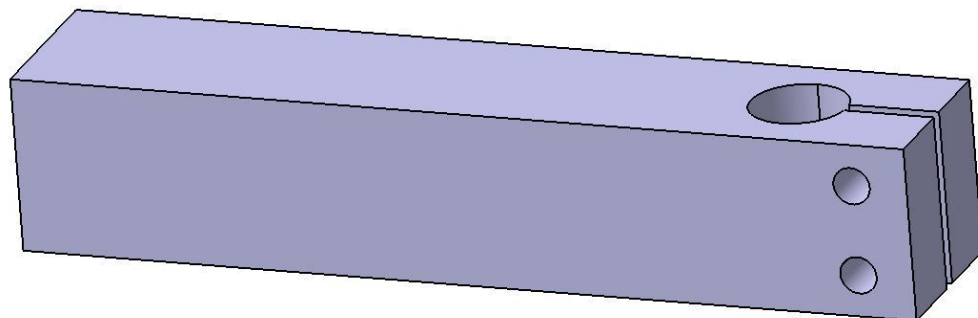
Obr. 88 Schéma napínacího mechanismu 8) základna závěsu, 9) vodící tyč, 10) závěs, 11) závaží, 12) kladka, 13) ocelové lanko, 14) upínací oko



Obr. 89 Model napínacího mechanismu

### 8.3.5.1 Základna závěsu

Základna závěsu je nosnou částí celého napínacího mechanismu a je upínána do nožové hlavy soustruhu pomocí upínacích šroubů nožové hlavy a hrozí brzké opotřebování styčné plochy základny závěsu. Z tohoto důvodu je zvolen jako materiál ocel EN E335 (ČSN 11 600). Výkresová dokumentace základny závěsu je přiložena v příloze P VIII.



Obr. 90 Model základny závěsu

### 8.3.5.2 *Vodící tyč*

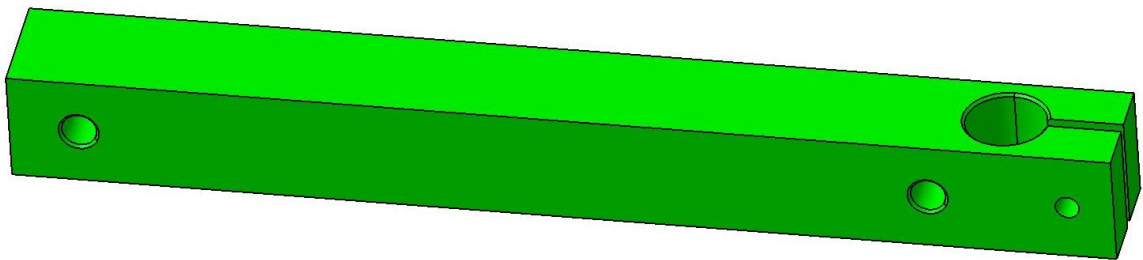
Vodící tyč plní dvě funkce napínacího mechanismu. První funkcí je nosná část pro samotný závěs, druhou funkcí pak jako vodící element pro závaží. Vodící tyč je namáhána hlavně na ohyb, proto je zvolen materiál pro středně namáhané součásti a tím je automatová ocel EN E335 (ČSN 11 600). Vodící tyč má tvar kruhového průřezu a nedoplňuje ho žádná drážka, proto jde o kruhovou tyč taženou za studena podle ČSN EN 10278 s tolerancí h9. Pro snazší manipulaci při sestavování přípravku je na obou koncích sražení hran. Výkresová dokumentace vodící tyče je přiložena v příloze P IX.



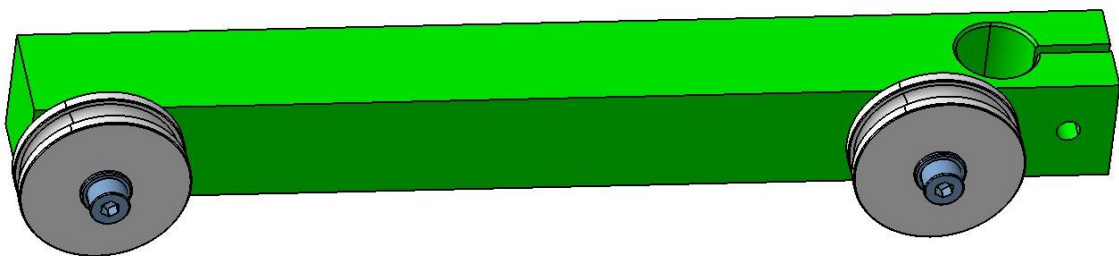
Obr. 91 Model vodící tyče

### 8.3.5.3 *Závěs s kladkami*

Závěs tvoří nosnou konstrukci pro upevnění kladek. Závěs je upevněn na vodící tyči a zajištění polohy je řešeno svorným spojením. Materiálem pro tuto součást je automatová ocel EN E335 (ČSN 11 600) a jde o čtvercovou tyč taženou za studena podle ČSN EN 10278 s tolerancí h9. Výkresová dokumentace závěsu je přiložena v příloze P X.



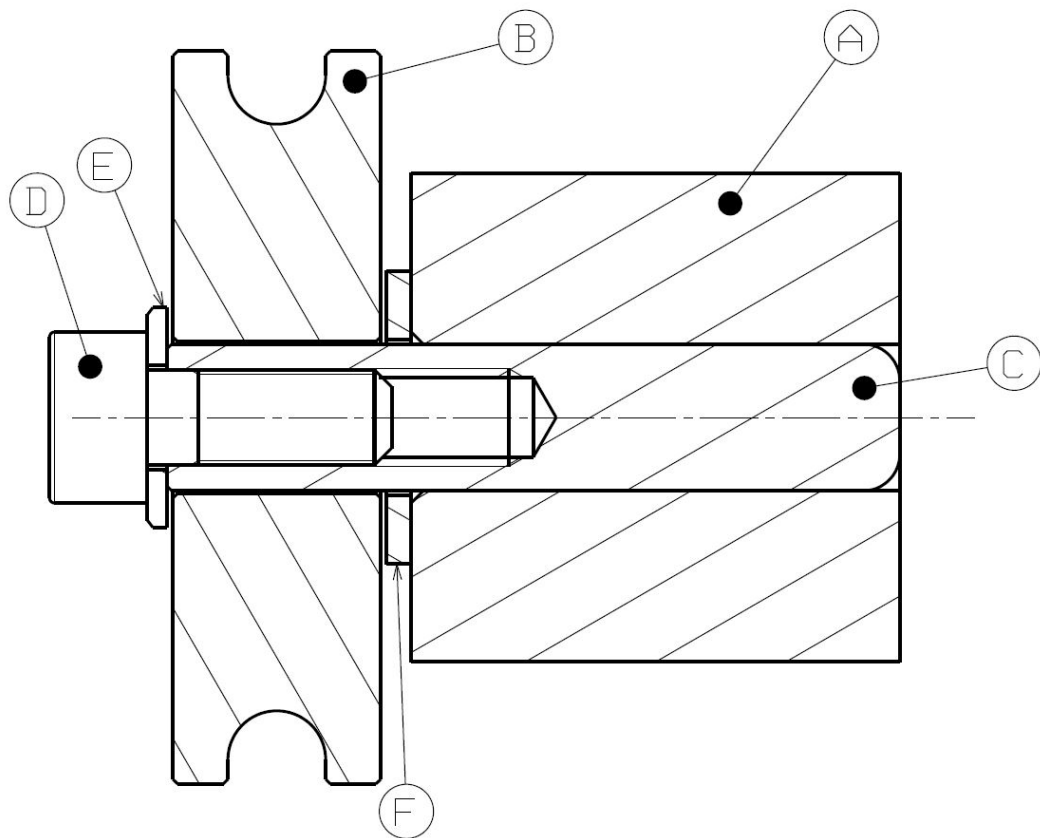
Obr. 92 Model závěsu



Obr. 93 Model sestavy upevnění kladek na závěsu



Do závěsu (obr. 94 A) jsou nalisovány a zalepeny válcové kolíky s vnitřním závitem (obr. 94 C) s označením DIN 7979, které slouží jako hřídele pro otáčení kladek (obr. 94 B). Pro plynulý chod a zamezení kontaktu kladky se závěsem je mezi tyto součásti vložen axiální kroužek (obr. 94 F). Zajištění axiálního pohybu kladek je řešeno podložkou (obr. 94 E) a šroubem (obr. 94 D) zašroubován do válcového kolíku. Toto řešení je zvoleno kvůli malému vnitřnímu průměru kladky. Druhá varianta upevnění kladky je pomocí lícovaného šroubu s vnitřním šestihranem ČSN 7379 (obr. 95). Tento návrh byl zavrhnut z důvodu nenormalizované požadující délce válcové plochy a nelze tak upravovat vůle mezi jednotlivými díly.



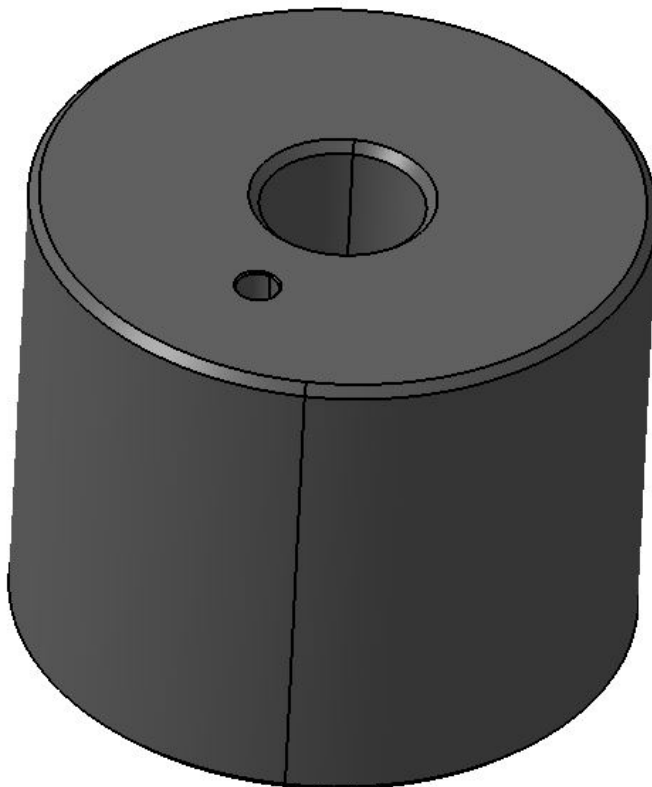
Obr. 94 Řez osou sestavy kladky A) závěs, B) kladka, C) válcový kolík s vnitřním závitem, D) šroub, E) podložka, F) axiální kroužek



Obr. 95 Lícovaný šroub s vnitřním šestihranem

#### 8.3.5.4 Závaží

Hmotnost závaží je přímo úměrná s výslednou přitlačnou silou. Hmotnost závaží je zvolena o velikosti 1 Kg a materiál zvolen automatová ocel EN S185 (ČSN 10 000). V závaží je průchozí díra pro vodící tyč a závit pro oko k upnutí ocelového lanka. Výkresová dokumentace závaží je přiložena v příloze P XI.



Obr. 96 Model závaží

### 8.3.6 Příkladná síla lešticího kotouče

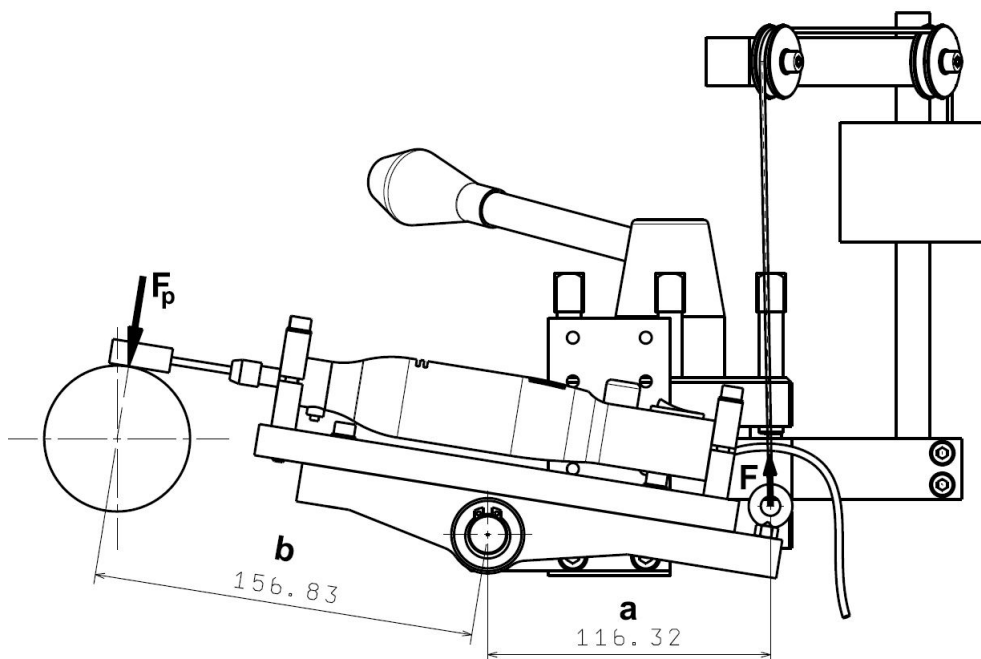
Aby byla splněna podmínka konstantního přitlaku, musí se tato skutečnost ověřit. Přípravek je v kinematickém uložení páky, přitlačnou sílu lze tedy odvodit z momentové věty:

$$M_1 = M_2$$

$$F \cdot a = F_p \cdot b$$

$F$  - síla působící ve vzdálenosti  $a$  od osy otáčení

$F_p$  - síla působící ve vzdálenosti  $b$  od osy otáčení



Obr. 97 Ukázkový model výpočtu přitlačné síly

Tab. 4 Procentuální rozdíl mezi minimální a maximální přitlačnou silou

	$F$ [N]	$a$ [m]	$b$ [m]	$F_p$ [N]	rozdíl v %
sestavění I min	10	0,112	0,153	7,334	1,1
sestavění I max	10	0,116	0,157	7,417	
sestavění III min	10	0,108	0,151	7,134	1,9
sestavění III max	10	0,111	0,152	7,275	
sestavění V min	10	0,116	0,158	7,322	1,5
sestavění V max	10	0,119	0,160	7,438	

Rozdíl velikostí přitlačné síly v minimální a maximální hodnotě jednotlivých poloh je do 2 %, což se dá považovat za zanedbatelné.

## 8.4 Základní technické parametry

### Přípravek:

Celkové rozměry (při použití vřetene Extol Craft) Š x D x V : 238 x 370 x 232 mm

Hmotnost přípravku (bez vřetene): 5,3 Kg

Leštěné průměry obrobku (v pěti polohách):  $\emptyset 0$  –  $\emptyset 160$  mm

### Vysokoobrátkové vřeteno Extol Craft:

Otáčky vřetene: 0 - 22 000 ot/min

Max. průměr stopky nástroje:  $\emptyset 3$  mm

Napájení: 230 V

Přípravek může být používán pouze zaškolenou obsluhou. Rovnoměrné leštění by mělo probíhat za předpokladu nízkých záporných otáček leštěného obrobku (vřetena soustruhu), nejnižším podélným posuvem suportu směrem od sklíčidla, vysokými otáčkami vřetena přípravku a rovnoměrné nanesení leštící pasty.

Při leštění kuželových ploch musí být obrobek upnut do sklíčidla tak, aby větší průměr obrobku byl na levé straně, v opačném případě hrozí vzpříčení přípravku.

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byl návrh konstrukce přípravku pro leštění rotačních ploch.

Teoretická část je rozdělena do pěti částí. První část popisuje teorii třískového obrábění, ve které jsou popsány metody obrábění s definovanou a nedefinovanou geometrií břitu. V následující části je popsána teorie beztřískového obrábění. Do třetí části je zahrnuta teorie leštění, která obsahuje metody mechanické a nové metody leštění, jakožto leštění chemické a elektrochemické. Čtvrtá část teorie se věnuje základům jakosti povrchu a hodnocení textury povrchu. Poslední teoretickou částí je teorie pevnosti a pružnosti.

V praktické části je navržen přípravek pro leštění rotačních ploch. Bylo vybíráno ze 7 kinematických variant, přičemž bylo vybráno kinematické uložení pákové. Důvodem tohoto výběru byla jednoduchá, ale plně funkční konstrukce, která nepotřebuje velké síly pro vytvoření přitlaku na leštěný povrch a přitom je splněn požadavek konstantního přitlaku. Přípravkem lze leštit válcové i kuželové plochy a to od nulového průměru, až po průměr 160 mm. Tento rozsah leštěných průměrů zajišťuje 5 poloh pro sestavení přípravku. Konstantní přitlak lešticího elementu na leštěnou plochu obrobku je vyřešen pomocí soustavy kladek a závaží na ocelovém lanku. Velikosti přitlaku se od leštění minimálního průměru po průměr maximální liší o 1,9 %, což je zanedbatelná hodnota. Nevýhodou přípravku je neschopnost leštit čelní plochy obrobku.

Dosažení rovnoměrně vyleštěného povrchu je ovlivněno řadou faktorů. Mezi ně patří materiál a geometrie leštěného povrchu, otáčky, průměr a materiál lešticího elementu, volba lešticí pasty, rychlost otáčení obrobku, rychlost podélného posuvu soustruhu, přitlačná síla lešticího elementu na obrobek a mnoho dalších faktorů, které mohou ovlivnit výsledek. Vzájemný vliv těchto faktorů lze ujistit pouze experimentálně při používání přípravku.

Přípravek se skládá ze 14 specifických částí, pro které byly navrženy výrobní technologie. Základní a jednoduché části přípravku jsou zhotoveny z oceli třískovým obráběním a svařováním. Žebrované a tvarově náročné prvky jsou vyrobeny pomocí technologie FDM. Dále byly použity normalizované součásti dle norem ISO.

Pro jednotlivé části přípravku byla vypracována potřebná výkresová dokumentace, včetně sestavy přípravku s kusovníkem. Veškerá výkresová dokumentace je součástí příloh. Součástí práce jsou soubory s 3D modely jednotlivých dílů a sestavy.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOCMAN, K. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [2] VELIČKOVÁ, E. *Rozměrová a tvarová přesnost, přesnost polohy, drsnost povrchu*. [online]. [cit.2014-20-10]. Dostupné z WWW: <<https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/040/.content/systems/resource/PDF/presnost.pdf>>
- [3] BRYCHTA J.; ČEP R.; NOVÁKOVÁ J.; PETŘÍKOVSKÁ L.; *Technologie II*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007-2008, 2 sv. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [4] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. 1. vyd. Brno: VUT, 1992, 273 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0399-3.
- [5] ŘASA, J.; GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 - 1.díl*. 2.vyd. Praha : Scientea, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [6] HAMERNÍK, J. *Dokončovací operace*. [online]. [cit.2014-12-11]. Dostupné z WWW: <<http://jhamernik.sweb.cz/Dokoper.htm>>
- [7] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [8] GAŠPÁREK, J. *Dokončovacie spôsoby obrábania*. Bratislava : Alfa, 1979. 360 s.
- [9] BUMBÁLEK, L. *Kontrola a měření*. Vyd. 1. Praha: Informatorium, 2009, 206 s. ISBN 978-80-7333-072-9.
- [10] DILLINGER, J. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [11] ČSN EN ISO 4287 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) Struktura povrchu Profilová metoda – Termíny, definice, a parametry struktury povrchu*. Český normalizační institut, Březen 1999
- [12] VOLEK, František. *Základy pružnosti a pevnosti*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2004, 157 s. ISBN 80-7318-200-9.
- [13] VYBÍRAL, B. *Mechanika pružného tělesa*. [online]. [cit.2015-28-01]. Dostupné z WWW: <<http://fyzikalniolympiada.cz/texty/pruznost.pdf>>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Ra	Střední aritmetická úchylka profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rt	Celková výška profilu drsnosti [ $\mu\text{m}$ ]
Rp	Největší výška výstupků profilu drsnosti [ $\mu\text{m}$ ]
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu drsnosti [ $\mu\text{m}$ ]
Rz	Největší výška profilu drsnosti [ $\mu\text{m}$ ]
Rq	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu drsnosti [ $\mu\text{m}$ ]
sm	Průměrná šířka prvků profilu drsnosti [ $\mu\text{m}$ ]
Rmr	Materiálový poměr profilu drsnosti [%]
lt	Délka zdvíhu [mm]
ln	Vyhodnocovaná délka [mm]
lr	Základní délka [mm]
m	Střední čára profilu [-]
IT	Stupeň přesnosti obrábění [-]
Zp	Hodnota výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Zt	Výška prvku profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Zv	Hodnota prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Xs	Šířka prvku profilu [ $\mu\text{m}$ ]
MI	Nosná délka profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rc	Střední výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rsk	Koeficient posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]
Rku	Koeficient špičatosti posuzovaného profilu [ $\mu\text{m}$ ]
RSm	Střední šířka prvků profilu [ $\mu\text{m}$ ]
$\xi$	Rovina řezu [-]
dF	Elementární síla [N]

---

$dS$	Elementární plocha průřezu [ $\text{mm}^2$ ]
$\sigma$	Normálové napětí [Pa]
$\tau$	Smykové napětí [Pa]
$T_\sigma$	Tenzor napětí [Pa]
$T_\varepsilon$	Tenzor přetvoření [Pa]
$E$	Youngův modul pružnosti [Pa]
$S$	Plocha průřezu [ $\text{mm}^2$ ]
$\varepsilon$	Relativní prodloužení [-]
$\Delta l$	Hodnota prodloužení [mm]
$l$	Základní délka [mm]
$F$	Zatěžující síla [N]
$M_0$	Kroutící moment [Nm]
$T$	Posouvající síla [N]
ČSN	Česká technická norma [-]
EN	Evropská norma [-]
ISO	International Organization of Standardization [-]
FDM	Fused Deposition Modeling [-]



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Střední aritmetická úchylka $R_a$ [2].....	14
Obr. 2 Vektory pohybů při soustružení [1].....	15
Obr. 3 Univerzální hrotový soustruh a jeho části [3] .....	16
Obr. 4 Válcové frézování, a) sousledné, b) nesousledné [3] .....	17
Obr. 5 Čelní frézování [3].....	17
Obr. 6 Svislá konzolová frézka .....	18
Obr. 7 Otočná vrtačka VR4A [3] .....	19
Obr. 8 a) výhrubník, b) strojní výstružník, c) ruční výstružník .....	20
Obr. 9 Způsoby zahlubování a) válcové, b) kuželové [3] .....	21
Obr. 10 a) hoblování, b) obrážení [1].....	21
Obr. 11 Schéma svislé obražečky [3].....	22
Obr. 12 Princip protahování a protlačování [1] .....	22
Obr. 13 Model záběru brousícího zrna [1].....	24
Obr. 14 Broušení a) čelem kotouče, b) obvodem kotouče .....	25
Obr. 15 Princip honování [5] .....	26
Obr. 16 Princip lapování [7] .....	27
Obr. 17 Princip superfinišování [1].....	27
Obr. 18 Diamantový vyhlazovací nástroj [1].....	29
Obr. 19 Leštící kotouče [5].....	31
Obr. 20 Výsledek chemického leštění.....	32
Obr. 21 Princip elektrochemického obrábění (leštění).....	33
Obr. 22 Základní druhy rotujících kartáčů .....	34
Obr. 23 Šestihranný omílací buben.....	34
Obr. 24 Principy leštění pásy [5] .....	35
Obr. 25 Charakter textury povrchu [11] .....	37
Obr. 26 Drsnosti povrchu u některých způsobů obrábění [10].....	38
Obr. 27 Příčný a podélný profil drsnosti [9].....	39
Obr. 28 Měřicí dráha snímače.....	40
Obr. 29 Základní čára profilu [11] .....	41
Obr. 30 Nosná délka profilu [11] .....	41
Obr. 31 Největší hodnota nerovnosti povrchu $R_z$ [10] .....	42
Obr. 32 Střední hodnoty prvků profilu $Z_t$ [11] .....	42

Obr. 33 Celková výška profilu drsnosti $R_t$ [11].....	43
Obr. 34 Střední aritmetická odchylka profilu $R_a$ [11].....	43
Obr. 35 Průměrná šířka prvků profilu $R_{sm}$ [11].....	44
Obr. 36 Materiálový poměr profilu drsnosti $R_{mr}$ [11].....	44
Obr. 37 Rozdělení hustoty odchylek profilu [11] .....	45
Obr. 38 Základní druhy deformací a) tah, b) tlak, c) smyk, d) krut, e) ohyb [13] .....	47
Obr. 39 Metoda řezu [12] .....	48
Obr. 40 Deformace tělesa [12].....	48
Obr. 41 Tahová deformace a) určení napětí metodou řezu, .....	49
Obr. 42 Pracovní diagram houževnaté oceli [13] .....	50
Obr. 43 Úplný pracovní diagram s porovnáním houževnatého .....	51
Obr. 44 Prostý smyk .....	51
Obr. 45 Prostý krut [13].....	52
Obr. 46 Zatížení prostého nosníku .....	53
Obr. 47 Fotografie školního univerzálního soustruhu TOS S32.....	57
Obr. 48 Model a základní rozměry nožové hlavy soustruhu TOS S32.....	57
Obr. 49 Přímá bruska Extol Craft 404122 .....	58
Obr. 50 Filcový leštící válcový kotouč na stopce .....	58
Obr. 51 Model filcového leštícího válcového kotouče na stopce .....	58
Obr. 52 Přítlak leštícího elementu a) shora, b) zespodu obrobku.....	59
Obr. 53 Uložení s tlačnou pružinou .....	59
Obr. 54 Uložení s tažnou pružinou.....	60
Obr. 55 Uložení se závažím na kladce .....	60
Obr. 56 Pákové uložení s a) tažnou, b) tlačnou pružinou.....	61
Obr. 57 Pákové uložení se závažím na kladce .....	61
Obr. 58 Paralelogram se závažím na kladce .....	62
Obr. 59 Sestava návrhu přípravku č.1 pro leštění rotačních ploch .....	62
Obr. 60 Pohled shora na návrh přípravku č.1 .....	63
Obr. 61 Sestava návrhu přípravku č.2 .....	64
Obr. 62 Pohled shora na návrh přípravku č.2 .....	64
Obr. 63 Schéma přípravku pro leštění rotačních ploch .....	65
Obr. 64 Model základny přípravku .....	66
Obr. 65 Jednotlivé díly pro svařenec základny přípravku .....	66

Obr. 66 Polohy sestavení přípravku a) základní, b) mezipolohy .....	67
Obr. 67 Minimální průměr leštěného povrchu - poloha I.....	68
Obr. 68 Maximální průměr leštěného povrchu - poloha I.....	68
Obr. 69 Minimální průměr leštěného povrchu - poloha III .....	69
Obr. 70 Maximální průměr leštěného povrchu - poloha III .....	69
Obr. 71 Minimální průměr leštěného povrchu - poloha V .....	70
Obr. 72 Maximální průměr leštěného povrchu - poloha V.....	70
Obr. 73 Model stavitelné konzole .....	71
Obr. 74 Model čepu.....	72
Obr. 75 Konečný model vahadla.....	72
Obr. 76 Model návrhu vahadla č.1 .....	73
Obr. 77 Hodnoty napětí u návrhu vahadla č. 1 při zatížení 20 N.....	73
Obr. 78 Návrh vahadla č. 2.....	74
Obr. 79 Hodnoty napětí u návrhu vahadla č. 2 při zatížení 10 N.....	74
Obr. 80 Hodnoty napětí u návrhu vahadla č. 2 při zatížení 20 N.....	74
Obr. 81 Hodnoty napětí u návrhu vahadla č. 2 při zatížení 50 N.....	75
Obr. 82 Hodnoty vektorového posunutí u návrhu č. 2 při zatížení 10 N .....	75
Obr. 83 Hodnoty vektorového posunutí u návrhu č. 2 při zatížení 20 N .....	75
Obr. 84 Hodnoty vektorového posunutí u návrhu č. 2 při zatížení 50 N .....	76
Obr. 85 Model příložky .....	76
Obr. 86 Sestavení držáků vřetene s příložkou a vahadlem.....	77
Obr. 87 Model předního a zadního držáku vřetene.....	77
Obr. 88 Schéma napínacího mechanismu 8) základna závěsu, 9) vodící tyč, 10) závěs, 11) závaží, 12) kladka, 13) ocelové lanko, 14) upínací oko .....	78
Obr. 89 Model napínacího mechanismu.....	79
Obr. 90 Model základny závěsu.....	79
Obr. 91 Model vodící tyče .....	80
Obr. 92 Model závěsu.....	80
Obr. 93 Model sestavy upevnění kladek na závěsu .....	80
Obr. 94 Řez osou sestavy kladky A) závěs, B) kladka, C) válcový kolík .....	81
Obr. 95 Lícovaný šroub s vnitřním šestihranem.....	82
Obr. 96 Model závaží .....	82
Obr. 97 Ukázkový model výpočtu přítláčné síly .....	83

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Dosahované parametry přesnosti obrobených ploch pro základní metody obrábění [1].....	13
Tab. 2 Dosahované parametry obrobených ploch pro metody obrábění nástroji s nedefinovanou geometrií [3].....	23
Tab. 3 Mechanické vlastnosti materiálu ABS a ABS-P430 .....	72
Tab. 4 Procentuální rozdíl mezi minimální a maximální přítláčnou silou .....	83

**SEZNAM PŘÍLOH**

PŘÍLOHA P I: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - ZÁKLADNA PŘÍPRAVKU

PŘÍLOHA P II: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - STAVITELNÁ KONZOLA

PŘÍLOHA P III: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - ČEP

PŘÍLOHA P IV: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - VAHADLO

PŘÍLOHA P V: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - PŘÍLOŽKA

PŘÍLOHA P VI: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - DRŽÁK VŘETENE PŘEDNÍ

PŘÍLOHA P VII: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - DRŽÁK VŘETENE ZADNÍ

PŘÍLOHA P VIII: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - ZÁKLADNA ZÁVĚSU

PŘÍLOHA P IX: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - VODÍCÍ TYČ

PŘÍLOHA P X: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - ZÁVĚS

PŘÍLOHA P XI: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - ZÁVAŽÍ

PŘÍLOHA P XII: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - SESTAVA PŘÍPRAVKU

PŘÍLOHA P XIII: VÝROBNÍ DOKUMENTACE - KUSOVNÍK SESTAVY