

# Návrh relokačního zařízení

Bc. Karel Machálka

---

Diplomová práce  
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Karel MACHÁLKA**

Osobní číslo: **T10380**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Návrh relokačního zařízení**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Provedte konstrukční návrh relokačního zařízení
3. Provedte zajištění výroby
4. Ověřte polohování
5. Vyhotovení uživatelské příručky



Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. CHUDÝ, Vladimír, et al. **Meranie technických veličín. Bratislava, Vazovova 5 : Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve STU, 1999. 678 s. ISBN 80-227-1275-2.**

2. HRUŠKA, Karel; BRADÍK, Josef. **Stanovení nejistot při měření parametrů jakosti. první. Brno : Tisk Reprocentrum, a.s., Blansko, 2001. 113 s. ISBN 80-214-1656-1.**

3. **Dle doporučení vedoucího diplomové práce**

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Martin Řezníček**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**13. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce:

**18. května 2012**

Ve Zlíně dne 2. února 2012



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



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

## 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 14.4.2012



.....

---

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

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

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

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

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

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

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení 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, aby jim autor 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá návrhem relokačního zařízení. V teoretické části jsou popsány druhy měřidel, chyby měření a norma ISO 230-2. V praktické části práce jsou navrženy varianty zařízení a zvolena nejvhodnější konstrukce. Následně je ověřena přesnost jednotlivých mikrometrů a zvolený postup relokace.

Klíčová slova: relokační zařízení, laser, mikroskop, polohování, opakovatelnost.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the proposal of the relocation device. In the theoretical part the types of gauges, measurement errors and the norm ISO 230-2 are described. In the practical part of the thesis variants of the device are designed and the best construction is chosen. Afterwards, the accuracy of individual micrometers is verified and the relocation procedure is chosen.

Keywords: relocation device, laser, microscope, positioning, repeatability.

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Řezníčkovi za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady a soustavnou pozornost, kterou mi věnoval při vypracování diplomové práce.

„ Non scholae, sed vitae discimus “

Neučíme se pro školu, ale pro život.

Seneca

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

Ve Zlíně 14.4.2012



.....

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 MĚŘENÍ DÉLKY A ROZMĚRŮ</b> .....	<b>12</b>
<b>2 DĚLENÍ MĚŘIDEL DÉLKY</b> .....	<b>13</b>
2.1 MĚŘIDLA DÉLKY .....	14
2.2 MECHANICKÉ MĚŘENÍ DÉLKY.....	14
2.2.1 Posuvné měřidlo.....	15
2.2.2 Hloubkoměr.....	16
2.2.3 Výškoměr .....	16
2.2.4 Třmenový mikrometr .....	17
2.2.5 Číselníkové úchylkoměry.....	18
<b>3 OPTICKÉ MĚŘIDLA</b> .....	<b>20</b>
3.1 MĚŘÍCÍ LUPY .....	20
3.2 MĚŘÍCÍ MIKROSKOP.....	20
3.3 MĚŘÍCÍ PROJEKTOR .....	21
3.4 INTERFERENČNÍ KOMPARÁTOR.....	24
3.5 INTERFERENČNÍ ODCHYLKOMĚRY .....	25
<b>4 LASERY</b> .....	<b>26</b>
4.1 PEVNOLÁTKOVÉ LASERY .....	26
4.2 LASERY KAPALINOVÉ.....	27
4.3 LASERY PLYNOVÉ .....	28
4.4 LASER OD FIRMY RENISHAW .....	29
<b>5 PŘESNOST A NEPŘESNOST MĚŘENÍ</b> .....	<b>31</b>
5.1 PŘESNOST MĚŘENÍ.....	31
5.2 ROZDĚLENÍ CHYB .....	31
5.2.1 Podle způsobu vyjádření na absolutní a relativní.....	31
5.2.2 Podle charakteru výskytu .....	32
5.3 NEJISTOTA MĚŘENÍ.....	34
5.3.1 Standardní nejistota Typu A.....	36
5.3.2 Standardní nejistota Typu B.....	36
5.3.3 Kombinovaná standardní nejistota.....	37
5.3.4 Rozšířená standardní nejistota.....	37
<b>6 ZÁSADY ZKOUŠEK DLE NORMY ISO 230-2</b> .....	<b>38</b>
6.1 PODMÍNKY ZKOUŠKY .....	38
6.1.1 Environment.....	38
6.1.2 Zkušební stroj.....	38
6.1.3 Ohřátí stroje.....	39
6.2 MĚŘENÍ.....	39
6.2.1 Uspořádání měření .....	39
6.2.2 Zkoušky v lineárních osách do 2000mm .....	39
6.2.3 Zkoušky v lineárních osách přes 2000mm.....	40
6.2.4 Zkoušky v otočných osách do 360° .....	40



6.2.5	Zkoušky v otočných osách přes 360° .....	40
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>NÁVRH RELOKAČNÍHO ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>43</b>
8.1	NÁVRH I. ŘEŠENÍ .....	44
8.2	NÁVRH II. ŘEŠENÍ.....	45
8.3	ROZDÍLY JEDNOTLIVÝCH NÁVRHŮ .....	46
8.3.1	Způsob rotace .....	46
8.3.2	Pohyb v ose X a Y.....	47
8.3.3	Způsob otáčení .....	48
8.3.4	Způsob vedení .....	49
8.4	VÝBĚR NÁVRHU .....	50
<b>9</b>	<b>MONTÁŽ A SESTAVENÍ .....</b>	<b>51</b>
<b>10</b>	<b>KONTROLA MIKROMETRŮ POMOCÍ LASERU XL-80 .....</b>	<b>54</b>
10.1	NASTAVENÍ ZAŘÍZENÍ.....	54
10.2	POSTUP KALIBRACE.....	55
10.3	MĚŘENÍ .....	57
10.4	NAMĚŘENA DATA OSA X.....	58
10.5	NAMĚŘENA DATA OSA Y .....	60
10.6	RELOKACE .....	62
<b>11</b>	<b>NÁVRH ÚDRŽBY .....</b>	<b>66</b>
<b>12</b>	<b>POROVNÁNÍ CEN.....</b>	<b>68</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>78</b>

## ÚVOD

V dnešní době je kladen důraz na přesnost a rychlost u relokačního zařízení. Proto se snaží někteří výrobci o modernizaci těchto zařízení. Na trhu je velmi málo výrobců, kteří navrhli varianty, ať už jednoosé, dvouosé popřípadě kombinace s rotačním pohybem, které se výrazně liší cenou, hmotností, přesností a opakovatelností. Relokace zajišťuje opakované najetí do stejného místa. Relokační zařízení je možné použít na více přístrojích. Výrobci se snaží splnit požadavky zákazníků při navrhování konstrukce.

Tyto polohovací zařízení mají své uplatnění hlavně v metrologických laboratořích, kde slouží jako pomocné přípravky při vyhodnocování měřeného dílce. Výhodou je, že jsou kompaktní, přenosné a umožňují dodržet opakovatelnost a přesnost zařízení.

Teoretická část diplomové práce popisuje měřicí přístroje pro měření délky, které se v současné době používají. Dále je popsána problematika chyb a nejistot, které mohou vzniknout při měření. Následně v této části jsou teoretické základy normy ČSN ISO 230-2, kdy tato norma se používá při kalibraci zařízení.

V praktické části je prováděn návrh relokačního zařízení. Následovat bude kontrola posuvu mikrometru v ose „X“ a „Y“ pomocí laseru XL 80 od firmy Renishaw. Výsledky budou zpracovány a vyhodnoceny. Poslední krok je ekonomické zhodnocení při výrobě relokačního zařízení.

Na závěr je ověřena přesnost a opakovatelnost použitých mikrometrických hlavic. A dále je provedeno celkové zhodnocení naměřených dat, popřípadě zvolen návrh na úpravu polohovacího zařízení.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 MĚŘENÍ DÉLKY A ROZMĚRŮ

Nejstarším metrologickým úkolem je měření délky. Hlavní oblast použití měřidel délky je měření rozměrů v prostoru definovaných těles.

Definice a jednotky:

Nyní se rozvíjí moderní technika a kladou se nové požadavky na měření délky. Zvyšuje se přesnost obráběcích strojů, takže se ve výrobě nyní využívá měření délky s chybou v mikrometrech. V dnešní době přichází pokrok v elektronice, a tím postavil kvalitativně novou úroveň i pro klasické měřicí prostředky (mikrometry, posuvné měřidla), které patří mezi běžnou výbavu strojírenských podniků. [1]

S měřením délky je úzce spjaté měření polohy, vzdálenosti, rozměrů a odchylek rozměrů. Délka je jednou ze základních veličin SI jednotek. Podle normy STN ISO 31-1 se délka značí písmenem  $L$  nebo  $l$ . Podle této normy je 1 metr definován jako dráha, kterou světlo urazí za časový interval  $1/299792458$  sekundy. [1]

V roce 1889 byl zaveden prototyp metru. Tento prototyp průřezu ve tvaru písmene H. Byl vyroben ze slitiny platiny a iridia. Prototypu metru je uložen v archívu Mezinárodního úřadu pro váhy a míry v Sévres u Paříže. Protože je uložen v archívu, říká se mu také někdy archivní metr. Tento prototyp slouží jako vzor pro výrobu národních kopií, ze kterých se pak odvozují všechna vyráběná měřidla. [1]

Tab. 1. SI jednotky [1]

Fyzikální veličina	Jednotka	Značka
Délka	mm	L
Hmotnost	Kg	m
Čas	s	t
Termodynamická teplota	K	T
Látkové množství	mol	M
Elektrický proud	A	I
Svítivost	cd	I

## 2 DĚLENÍ MĚŘIDEL DÉLKY

Měření délky, polohy, rozměrů lze určit podle množství kritérií. Dělí se podle zvolených metod, způsobu snímání, dle druhu odečítání naměřených hodnot apod.

a) Dle odečítání hodnot:

- přímé
- nepřímé

Při přímém měření se hledá délková veličina, která je určena přímo měřidlem například posuvným měřidlem, koncovou měrkou a podobně.

Nepřímou metodou se hledaný rozměr určí z měření jiného rozměru a z následujícího výpočtu. Tento způsob se využívá například na zjištění průměru hřídele po změření jeho obvodu. [1]

b) Podle způsobu snímání se měření délky dělí:

- dotykové
- bezdotykové

V případě měření dotykovou metodou je měřidlo v přímém styku s měřeným tělesem. Měřené těleso je namáháno přítlačnou silou dotykového měřidla. Většina měřidel jsou bezdotyková. U metody bezdotykového měření nedochází ke kontaktu měřidla a tělesa, kde nedochází k žádné deformaci přítlačnou silou. [1]

c) Dle získané hodnoty:

- absolutní
- komparační

U absolutní metody získáme naměřenou hodnotu přímo na měřidle. U komparační metody se určí rozměr z odchylky od stanoveného rozměru, který se před měřením sestaví.

d) Metody lze dělit dle výstupního signálu:

- analogové
- digitální

Signál může být buď spojitý, nebo diskrétní, tedy buď analogový, nebo digitální. Rozdíl mezi nimi je v počtu stavů signálu. Analogový signál má stav nekonečný (nazýván ně-

kdy spojitý) a digitální konečně mnoho (2, 4, 20, 50,... stavů). Digitální signál je často pouze binárním signálem, přenášené hodnoty jsou jen dvě — nula a jednička. [1]

e) Délkové měření se určuje také podle obsluhy:

- manuální
- automatické

Pro manuální měření je nutná obsluha, která ovládá měřidlo. Při automatickém měření nedochází ke kontaktu měřidla a člověka. [1]

f) Délkové měření se dělí na úroveň zpracování naměřených hodnot.

- pasivní
- aktivní

Rozdíl mezi hodnotami je takový, že pasivní hodnoty neovlivňují technologický proces. Slouží pouze jako podklad pro rozhodování. Aktivní měřidla se používají v technologických procesech na sledování délkových veličin. Tyto hodnoty se dále využívají pro řízení procesu. [1]

g) Délková měřidla můžeme rozdělit z hlediska měřeného rozsahu:

- jednohodnotové
- vícehodnotové

Při měření údajů, které mají jednu hodnotu je definován pouze jeden rozměr. Ten se porovnává s rozměrem objektu. U vícehodnotého měření umožňuje spojitě zjištění délkového rozměru. [1]

## 2.1 Měřidla délky

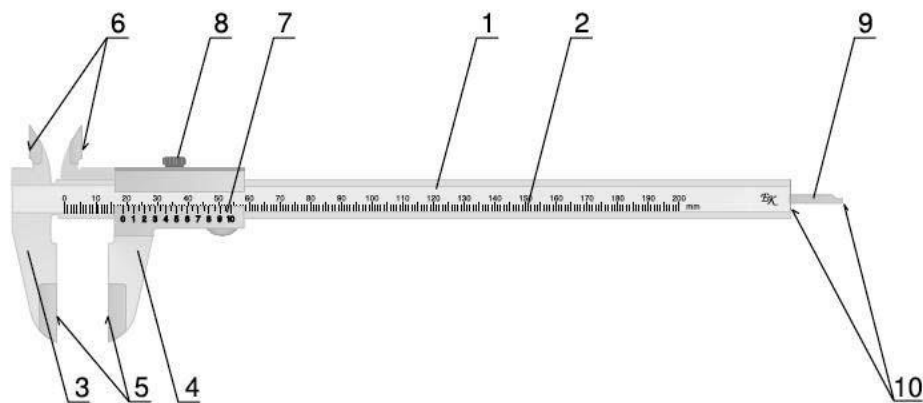
Měřidlo délky volíme podle toho, jak velký rozměr měříme a s jakou přesností máme měřit. Určující prvky délkového měřidla jsou: stupnice, rozsah stupnice a nejmenší dílek stupnice.

## 2.2 Mechanické měření délky

Mechanické systémy patří mezi jednosouřadnicové měřicí systémy. Do této kategorie patří například posuvné měřidla, mikrometry, hloubkoměry, výškoměry a odchytkoměry.

### 2.2.1 Posuvné měřidlo

Posuvné měřidlo patří mezi jednoduchá měřidla pro určení rozměrů součástí. Pomocí těchto měřidel se měří vnitřní a vnější rozměry, osazení a hloubky. Hodnoty se odečítají na stupnici nebo noniusu. Poloha počáteční noniové rysky ukazuje na hlavní stupnici počet celých milimetrů a ryska nonia, která je ztotožněná s některou ryskou hlavní stupnice, označuje počet desetin a setin milimetru. Podobné je to při použití nonia s dělením 1/20 nebo 1/50, které se používají nejčastěji. Z toho vyplývá, že posuvné měřidlo s desetinným noniem má hodnotu nejmenšího dílku 0,1 mm, při dvacetinovém je to 0,05 mm a při padesátinovém 0,02 mm. [2]



Obr. 1. Univerzální posuvné měřidlo [2]

- 1- tělo měřidla, 2- stupnice, 3- pevné rameno, 4- pohyblivé rameno,  
 5- měřící plochy, 6- měřící plochy vnitřních rozměrů, 7- stupnice,  
 8- aretace, 9 výsuvná tyč, 10- plochy pro měření hloubky

Rozměry měřidla jsou dány normami. Posuvné měřidlo se skládá z dvou hlavních částí:

- pevné části obdélníkového průřezu s hlavní milimetrovou stupnicí a pevnou čelistí
- pohyblivé části s čelistí a noniovou stupnicí.

Měřidla jsou vyrobena z ušlechtilých ocelí. Čelisti jsou povrchově upravené, aby odolávaly oděrům. Tolerance rovinnosti a přímosti dosahuje 10  $\mu\text{m}$ , rovnoběžnost je v toleranci 15  $\mu\text{m}$ . Na kalibraci se používají koncové měřky. [2]

Posuvné měřidlo může mít mnoho řešení:

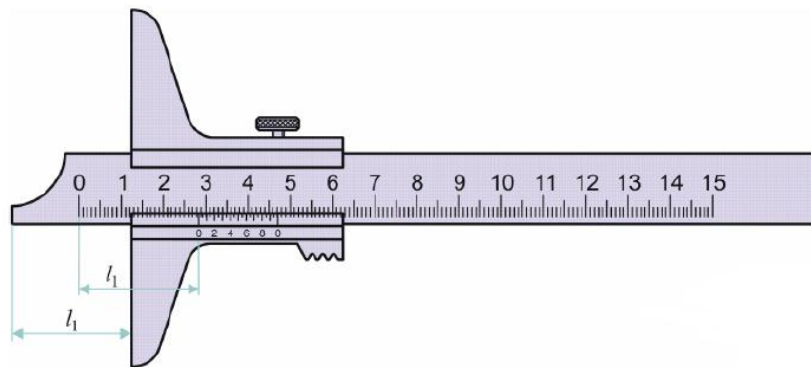
- univerzální posuvné měřidlo
- digitální měřidlo
- posuvné měřidlo s ručičkovým úchylkoměrem



Obr. 2. Digitální posuvné měřidlo [2]

### 2.2.2 Hloubkoměr

Slouží k měření hloubky nebo výšky drážek součástí. Konstrukce je velmi podobná jako u posuvných měřidel z kapitoly 2.1.1.[2]



Obr. 3. Posuvný hloubkoměr [2]

### 2.2.3 Výškoměr

Výškoměr má základní desku, na které je upevněno pevné měřidlo s milimetrovou stupnicí. Na tomto měřidle se pohybuje posuvná část, která je potřebná na měření výšky. Používají se také výškoměry s rameny upravenými jako hroty na orýsování. [2]

I výškoměry samozřejmě existují v digitálním provedení. Výhodou je jednoduché odčítání hodnot, nulování stupnice v libovolné poloze, propojení s PC a sběr naměřených dat.





Obr. 4. Posuvný digitální výškoměr [4]

#### 2.2.4 Třmenový mikrometr

Mikrometrická měřidla jsou měřidla, která využívají přesný šroub s malým stoupáním, tzv. mikrometrický šroub, který polohuje měřicí doteky. Díky tomuto principu je mikrometrické měřidlo přesnější než posuvné měřidlo. Standardně se vyrábějí mikrometrické šrouby v délkách 25 mm, z důvodu dosažení přesnosti stoupání. Proto jsou mikrometrická měřidla odstupňovaná po 25 mm v rozsazích (0-25 mm), (25-50 mm), (50-75 mm), atd. Existují speciální mikrometrická měřidla až do rozměru 1 metr. [2]



Obr. 5. Třmenový mikrometr [2]

Pro přesné nastavení se u mikrometrů nad 25 mm nachází kalibrační váleček. Mikrometr obsahuje standardně 2 stupnice. Hlavní milimetrovou, která je zpravidla na objímce mikrometru a rotační, která je na obvodě bubínku a je většinou dělená na 50 dílků. Bubínek slouží jako matice a stoupání závitu je 0,5 mm (stoupání se může lišit podle různých

tipů mikrometrů), tzn., že nejmenší dílek měřidla je 0,01 mm(0,001). Z toho plyne, že pro posuv o 1 mm, je potřebné otočit bubínkem o 2 otáčky. [2]

Většina mikrometrických měřidel obsahuje třecí spojku, která slouží na vyvození vhodné a stejnoměrné měřicí síly. Při otáčení bubínku bez třecí spojky může dojít k deformaci měřené součásti mezi dotyky, případně deformaci měřidla, což může mít za následek ovlivnění měření. [2]

Nejběžnějším mikrometrickým měřidlem je třmenový mikrometr na měření vnějších rozměrů. Existují však i provedení pro měření vnitřních rozměrů. Samozřejmostí jsou mikrometry v digitálním provedení a standardně měří s rozlišitelností až 0,001 mm. Mikrometry jsou konstruovány s vysokou tuhostí a jsou tepelně izolovány pro eliminaci vlivu teploty rukou obsluhy. [2]



Obr. 6. Třmenový digitální mikrometr [2]

### 2.2.5 Číselníkové úchylkoměry

Jsou to jednoduché přístroje, které slouží pro měření malých rozměrů. Měřený lineární pohyb je převeden transformačním mechanismem na rotační pohyb ručičky indikátoru. Existují různé typy převodu – ozubený, pákový, pružinový, kombinovaný. Číselníkové úchylkoměry mohou být jednootáčkové, víceotáčkové nebo méně než jednootáčkové. [2]



Obr. 7. Digitální úchylkoměr [2]

V dnešní době jsou nejvíce rozšířené digitální úchylkoměry, které lze propojit s jednotkou pro sběr dat. Nejčastěji se používají pro komparační měření z důvodu malého zdvihu.

Číselníkových úchylkoměrů je mnoho provedení, kdy se liší velikostí jednoho dílku. Vyrábí se od 0,1mm až 0,001mm velikosti dílku. Velkou výhodou je vyměnitelnost dotyků, které jsou různých velikostí a tvarů. [2]



Obr. 8. Univerzální úchylkoměr [2]

### 3 OPTICKÉ MĚŘIDLA

Tyto přístroje slouží k bezdotykovému měření délek. Patří mezi ně lupy, mikroskopy, projektory, optické dálkoměry, interferenční komparátory a odchylkoměry. [1]

#### 3.1 Měřicí lupy

Lupy se nejčastěji používají na měření průměrů, délek, stoupání závitů, úhlů apod. Celé zařízení se skládá z lupy, z měřících destiček a z držáku. Na měřících destičkách jsou naleptány mřížky, které pomáhají určit rozměr. Průměr destiček bývá 30 mm. [1]

#### 3.2 Měřicí mikroskop

Měřicí mikroskop se používá na měření malých součástek, kde uplatnění nachází v laboratořích a také při kontrole.

Každý mikroskop má dvě čočky, objektiv a okulár. Díky objektivu dochází k přetočení a zvětšení obrazu. Na pozorování obrazu slouží okulár. Modernější mikroskopy disponují s více čočkami, kde zajišťují čistý a jasný obraz. Dílenský mikroskop slouží na kontrolu tvarově složitějších součástek například závity, ozubená kola, šablony a jiné. U těchto mikroskopů je objekt zvětšen 10x až 50x. V obrazovém poli může být umístěna čarová měřicí destička s nitkovým křížem. Přesný měřicí stůl má rozměry 25x25 mm a rozlišovací schopnost je 0,01 až 0,001mm. [1]



Obr. 9. Měřicí mikroskop [1]

### 3.3 Měřicí projektor

Mezi objektivní optické přístroje patří též přístroje, které jsou určeny k (hromadnému) pozorování (většinou přímo okem) reálných optických obrazů na stínítku (projekčním plátnu). Předlohou může být diapozitiv, film, kreslený obrázek nebo skutečný předmět. Podle účelu jejich použití může být kladen zvýšený nárok na:

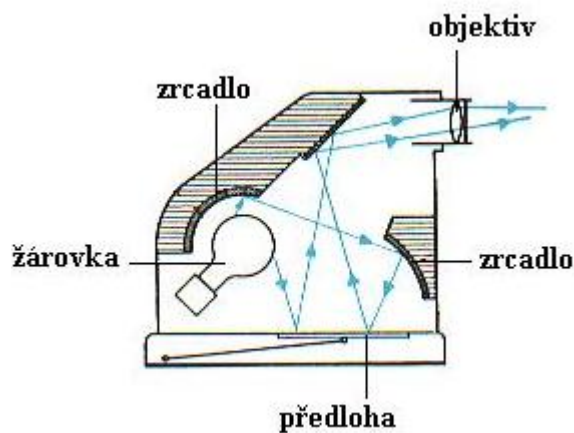
1. intenzitu světla - promítání diapozitivů
2. zobrazení bez zkreslení - měřicí projektory
3. rovnoměrnost osvětlení - reprodukční přístroje

Základní části projektoru tvoří osvětlovací soustava, která se skládá ze zdroje a kondenzoru, projekční optická soustava a projekční stěna (nejčastěji promítací plátno nebo matnice). [3]

Pozorovací projektory reálně zobrazují plochý předmět (diapozitiv, předlohu), přičemž plocha předmětu se může osvětlovat:

1. procházejícím světlem - diaprojektor, zpětný projektor
2. odraženým světlem - epiprojektor

Optický přístroj, který umožňuje zobrazovat jak procházejícím tak odraženým světlem se nazývá epidiaskop. [3]

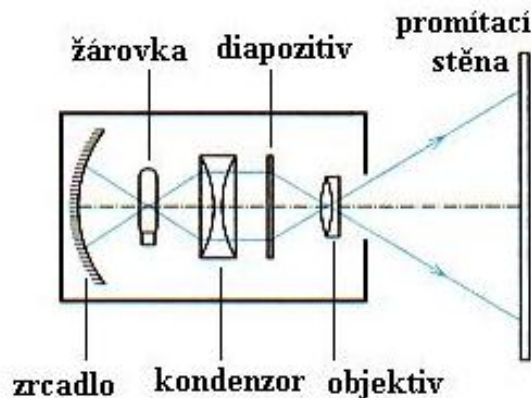


Obr. 10. Epiprojektor [3]

Dále je možné rozlišit:

1. přední projekci - pozorovatel i projektor jsou na stejné straně projekční plochy
2. zadní projekci - pozorovatel je na opačné straně projekční plochy než projektor (čtečky, prohlížečky, měřicí projektory). [3]

Návrh soustavy projektoru vychází z požadovaného zvětšení, potřebného zorného úhlu pozorovatele i potřebného jasů obrazu pro pohodlné pozorování. Zvětšení má být voleno s ohledem na rozlišovací schopnost lidského oka a požadované rozlišení detailů. Aby se snížilo značné tepelné namáhání v soustavě, používají se dnes často dielektrická, tzv. studená zrcadla, která tepelné záření propouštějí. Tím, že tepelné záření propouštějí, ale minimálně absorbují, se minimálně zahřívají. Jako zdroje světla se používá kromě žárovek i obloukové světlo nebo výbojky (rtuťové a xenonové). Xenonové výbojky mají tu výhodu, že jejich světlo má velmi podobné spektrální složení jako běžné denní světlo, což se uplatní při promítání hlavně barevných obrazů. Při střídavém napájení je nutná jeho synchronizace s clonou, přerušující světelný tok. Jinak by mohlo dojít k nežádoucímu kolísání světla. Při vhodné úpravě časového průběhu napájecího napětí není naopak v soustavě filmového projektoru clona určená k přerušování světelného toku při výměně obrázku vůbec potřeba. [3]



Obr. 11. Diaprojektor [3]

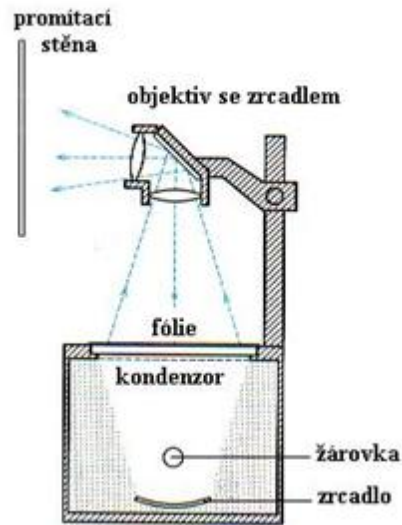
Vzhledem k tomu, že promítací vzdálenost je zpravidla větší než vzdálenost pozorovatele, jsou obrazové úhly menší než úhly při snímání. Projekční objektivy s proměnnou ohniskovou vzdáleností umožňují nastavení velikosti obrazu beze změny promítací vzdálenosti. [3]

Značné soustředění energie do objektivu může vést při použití silných zdrojů k změknutí tmelících vrstev vlivem tepelného záření. Proto se do osvětlovací soustavy umísťují tepelné filtry, které část tepelné energie absorbují. Tyto tepelné filtry také chrání promítanou předlohu před poškozením vlivem tepelného záření. [3]

Tepelné namáhání kondenzoru na straně přivrácené ke zdroji světla může být značné, proto se volí skla s velkou tepelnou odolností a malou tepelnou roztažností. Aby se zabránilo nežádoucímu pnutí, umísťují se čočky do objímek volně. [3]

Episkopické systémy mají menší světelnou účinnost díky nízké odrazivosti předlohy. Proto se zpravidla používají menší rozměry projekční plochy i menší zvětšení (maximálně 10). Objektivy jsou vysoce světelné při velké ohniskové vzdálenosti ( $f' > 100$  mm). Rozměrnější předměty vyžadují pro osvětlení několika zdrojů rozmístěných tak, aby světlo dopadalo do středu předlohy pod úhlem zhruba  $45^\circ$ . Tím se vyloučí vznik nežádoucích lesků v obraze.

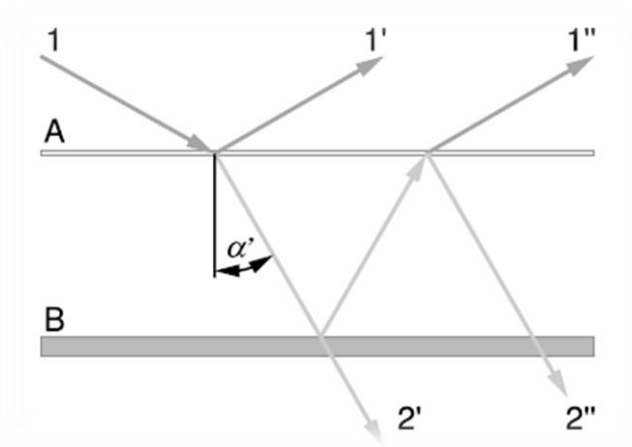
Jako projekční plochy při zadní projekci se nejčastěji používá matnice, při přední projekci projekční stěny nebo plátna. Důležité u nich je směrové rozlišení rozptýleného záření. Tam, kde je směr pozorování omezen na úzké pásmo, je vhodné použít soustředění světla do této oblasti na úkor oblastí ostatních. Rastr nebo skleněné perličky zvyšují v požadovaném směru množství odraženého světla 2 až 6krát oproti dokonale difúznímu obrazu. Za úhel užitečného rozptylu se považuje oblast, v níž intenzita odraženého světla neklesne pod 50 - 70 % své maximální hodnoty. [3]



Obr. 12. Zpětný projektor [3]

### 3.4 Interferenční komparátor

Tento komparátor patří mezi složité mechanicko-optické přístroje. Při své účinnosti využívá dvojici paprsků nebo virtuální klínové vrstvy. Interferenční vrstva je limitována dvěma rovnoběžnými vrstvami. Vrstva A je tvořena z polopropustného zrcadla a vrstva B z nepropustného zrcadla. Při dopadu monochromatického paprsku 1 na tuto plochu dochází k jeho částečnému odrazu na horní ploše ve směru 1', jako i k jeho lomu ve směru 2'. Paprsek 2' se částečně odrazí ve směru 2''. Paprsek 1' a 1'' jsou koherentní a můžou spolu interferovat. [1]



Obr. 13. Interferenční jev [1]



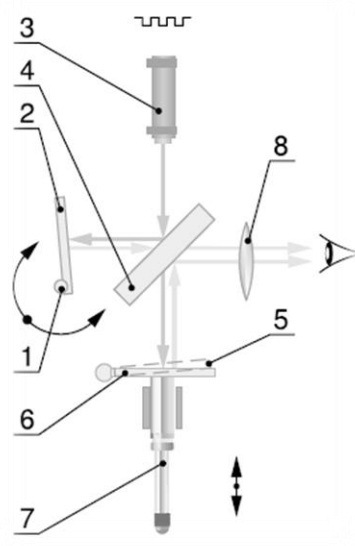
Měřicí rozsah interferenčního komparátoru je poměrně malý. Od jeho krajních poloh dosahuje 100mm. Měření má malou chybu  $10^{-7}$ mm. Využívá se na absolutní a relativní měření nejvyšší přesnosti. Přesnost tohoto měření závisí na jeho umístění. Pro nejpřesnější měření je umístěn v klimatizovaných laboratořích, kde je zajištěna stála teplota, vlhkost vzduchu, tlak. Ověřují se na přístroji koncové měrky, optické vlastnosti plynů atd. [1]

### 3.5 Interferenční odchylkoměry

Přístroj se používá v laboratořích na přesné měření odchylek. Využívá interferenci dvou koherentních světelných paprsků. [1]

Ze zdroje světla 3 přichází koherentní světlo na dělicí vrstvu 4. Tvoří ji polopropustné zrcadlo, které rozdělí dopadající světelné záření na dva svazky. Jeden paprsek se odrazí na otočném zrcadlu 2, které se ovládá mechanismem 1. Snímá se natočení zrcadla, které je přímo úměrné velikosti měřené odchylky. Druhý paprsek přechází přes dělicí vrstvu 4 na posuvné zrcadlo 6. Zrcadlo je mechanicky spojené s pohyblivým měřícím dotykem odchylkoměru 7. Paprsky odražené od zrcadla 6 se odráží přes spodní stranu dělicí vrstvy 4 do okuláru 8. Natáčením otočného zrcadla 2 se dá dosáhnout interferenci jeho obrazu 5 s odrazem z posuvného zrcadla 6.

Interferenční odchylkoměr má velmi malý měřicí rozsah, jen několik milimetrů. Chyba měření je  $0,08\mu\text{m}$ . Proto slouží jen na laboratorní měření. [1]



Obr. 14. Interferenční odchylkoměr [1]

## 4 LASERY

Lasery jsou stále více používány v technické praxi pro měření. Lasery se dělí především podle způsobu vzniku světelného paprsku na pevnolátkové, kapalně a plynové.

### 4.1 Pevnolátkové lasery

Do této skupiny patří lasery využívající rozptýlené ionty (aktivní, pracovní atomy) v krystalických látkách nebo amorfních látkách, polovodičové lasery a lasery s krystaly s barevnými centry. [5]

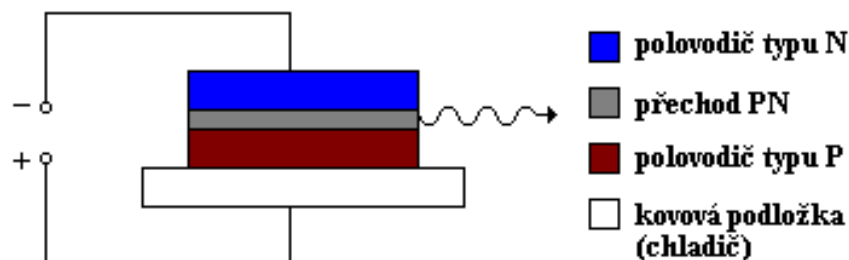
Nejstarším laserem je laser rubínový. Jako aktivní prostředí je použit krystal korundu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  s příměsí chromu (řádově desetiny procenta), který představuje aktivní látku. Laser vyzařuje červené světlo o vlnové délce 694,3 nm a pohlcuje energii světla výbojky (kratší vlnové délky, zelenou část spektra). Dříve se používalo výbojky tvaru šroubovice, která ovíjela krystal. Výroba takové výbojky ale činí potíže, proto se přešlo na lasery s eliptickými zrcadly. Světlo vydávané výbojkou umístěnou v jednom ohnisku zrcadla se soustřeďuje v druhém ohnisku, kde je umístěn krystal. Je to laser založen na tří hladinovém systému pracující v pulsním režimu. Pulsní režim je nutný, protože se krystal při čerpání energie silně zahřívá. [5]

Nejrozšířenější jsou lasery s neodymovým sklem, kde jsou ionty neodymu rozptýleny ve skleněné matici a lasery YAG s krystalem yttrio - hlinitého granátu dotovaného neodymem. Neodymové sklo může být vyráběno v prakticky neomezených rozměrech, a tak je dosahováno vysokých laserových energií. Atomy neodymu pracují jako čtyř hladinový systém. Laser vyzařuje infračervený paprsek o velké energii. Pokud jde o YAG laser, vyznačuje se vysokou účinností, stačí jej osvětlit pouhou žárovkou a může vydávat spojitě světlo o výkonu stovky wattů. Osvědčují i takzvané YAP lasery s krystalem yttrio - hlinitého perovskitu. [5]

Vedle korundu, skla a yttrio-hlinitého granátu se jako základní materiál používá také fluorit, wolframan vápenatý a jiné. Jako aktivní příměsi slouží většinou prvky vzácných zemin: chrom, kobalt, nikl nebo uran. Tyto prvky vydávají převážně červené a infračervené záření.

Vlastnosti polovodičových krystalů, zejména přechodu PN byly zkoumány již dříve, a tak se také brzy zrodila myšlenka využít elektroluminiscenční vlastnosti polovodičů k sestavení laseru. Polovodičové lasery lze také zařadit mezi lasery pevnolátkové, mají však své zvláštnosti a významné použití především v optoelektronice. [5]

První polovodičové lasery byly injekčního typu, využívaly tedy vlastností PN přechodu a jako nejvhodnější materiál se ukázal arsenid galitý. K nevýhodám tohoto laseru patří nutnost jeho chlazení na teplotu kolem 77 K kapalným dusíkem. Laser pracuje na vlnové délce 840 nm a jeho výkon a účinnost silně závisí na provozní teplotě. [5]



Obr. 15. Schéma polovodičového laseru [5]

## 4.2 Lasery kapalinové

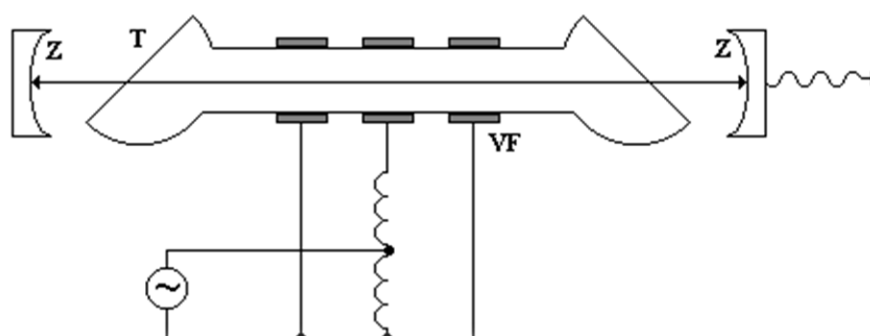
Kapalinové lasery pracující s cheláty různých prvků vzácných zemin se objevily již v roce 1963. Výhodou je, že můžou zabírat neomezeně velký objem a jsou dokonale homogenní. Nevýhodou je chemický rozklad. [4]

Důležitou skupinou jsou však zejména barvivové lasery, které využívají roztoků různých organických látek, například rhodaminu. K těmto kapalinovým laserům patří i lasery na barevných centrech, krystalech s různými defekty. Tyto defekty vyvolávají absorpci na různobarevných spektrálních čarách (krystal KCl s příměsí lithia). Barvivové lasery a lasery na barevných centrech mají společnou vlastnost, která je předurčuje k použití ve spektroskopii a v informační technice. Jsou přeladitelné a vlnovou délku laserového záření lze u nich plynule měnit. [4]

### 4.3 Lasery plynové

Z plynových laserů se stal nejznámějším laser helium - neonový generující jak červené světlo s vlnovou délkou 632,8 nm, tak infračervené záření. Helium-neonový laser tvoří dlouhá skleněná trubice ( $T$ ) naplněná směsí neonu a hélia, v níž se budí elektrický výboj pomocí vysokofrekvenčních prstencových budících elektrod ( $VF$ ). Konce trubice bývají uzavřeny okénky skloněnými pod Brewsterovým úhlem k vyloučení odrazu polarizovaného světla. Celá trubice je umístěná mezi (kulovými) zrcadly ( $Z$ ) vnějšího rezonátoru. [6]

Jako aktivní plyn je použit neon. Paprsek má vysokou stabilitu frekvence a malou rozbíhavost. Proto se helium-neonový laser používá v přesných hodinách, v přesných dálkoměrech a k účelům telekomunikačním a geodetickým. [6]



Obr. 16. Helium neonový laser [6]

Plynové lasery se ukázaly jako velmi perspektivní a mohutné zdroje infračerveného záření i ultrafialového záření a našly významné uplatnění v technice a technologii. Důvodem je, že objem plynu je možno podle potřeby zvětšovat, plynulým přítokem je možné dodávat stále nové aktivní prostředí a je možno je čerpat nejrůznějšími mechanismy (elektricky, chemicky). Plynové lasery mají vyšší účinnost, protože přeměna elektrické energie ve výboj je hospodárnější. Proto tyto lasery pracují v nepřetržitém režimu, ale jejich trvalý výkon není moc velký. [6]

Argonový laser vydává modrozelené světlo (zelené s vlnovou délkou 514 nm a modré s vlnovou délkou 488 nm). Je pro něj typická vysoká hustota elektrického proudu protékajícího výbojem a vysoká teplota. Výbojová trubice se většinou zhotovuje

z keramického materiálu a proud se izoluje od stěn magnetickým polem. Laser je schopen generovat výkon desítky wattů ve spojitém režimu a je vhodný i pro technologické účely. Podobné vlastnosti má i kryptonový a kadmiový laser a lasery s parami kovů (např. mědi). Hélium-kadmiový laser je zajímavý tím, že je třibarevný - vyzařuje světlo modré, zelené a červené.

Nejvýkonnějšími z plynových laserů se staly lasery s oxidem uhličitým a lasery chemické. Laser s oxidem uhličitým generuje infračervené záření s vlnovou délkou 10,6 $\mu$ m. Vzhledem k velikosti trubice může podávat vysoké výkony. [6]

#### 4.4 Laser od firmy Renishaw

Laser XL-80 vytváří mimořádně stabilní svazek laserového záření s vlnovou délkou odpovídající národním a mezinárodním normám.

Stabilita frekvence vyzařované vlnové délky je  $\pm 0,05$  ppm za 1 rok a 0,02 za 1 hodinu.

Těchto hodnot je dosaženo dynamickou teplotní stabilizací délky laserové trubice v řadu několika málo nanometrů. [10]

Zaručena přesnost lineárního měření je  $\pm 5$   $\mu$ m/m v celém rozsahu podmínek prostředí, tj. při teplotě 0 °C až 40 °C a tlaku 650 mbar až 1150 mbar. Systém čte hodnoty s frekvencí 50 kHz i při maximální rychlosti lineárního měření 4 m/s. Dosahovaná lineární rozlišitelnost 1 nm je zachovaná v celém rozsahu rychlosti měření (platí při použití kompenzační jednotky XC-80). [10]



Obr. 17. Laser XL-80 [10]

Laser XL-80 má zabudovaný USB port a nepotřebuje tedy samostatný interface laser – PC.

Laserová hlavice je standardně vybavena konektorem s výstupem pomocného analogového signálu. Z výroby je možno nastavit i výstup obdélníkového signálu. Také je možno připojit signál pro synchronizaci měření dat. [10]

Signalizační LED diody ukazují stav stabilizace laseru a sílu signálu. Tyto diody také slouží jako podpora softwarových informačních navěstí. Díky uvedenému vybavení, době stabilizace kratší než 6 minut a možnosti přepnutí do režimu velkého rozsahu (40 - 80 m) se systém XL-80 snadno a rychle používá. [10]

## 5 PŘESNOST A NEPŘESNOST MĚŘENÍ

Spekulace o naměřených hodnotách jsou vyjádřeny nejistotami. Přesnost měřících systémů i přístrojů lze určit podle dosažené přesnosti provedených měření.

Hlavním úkolem při vyhodnocení nepřesnosti, nejistot měření, je správně charakterizovat přesnost určitého provedeného souboru výsledků nebo jednotlivých měření.

Nepřesnost měření vyjadřuje souhrnnou chybu, která zahrnuje všechny chyby (soustavné i nahodilé). [8]

*„Krajní nahodilé chyby jsou dány násobkem střední kvadratické odchylky koeficientem, který je zvolen tak, aby se dosáhlo postačující pravděpodobnosti, že nahodilá chyba nepřesáhne hodnotu krajní chyby. (Tento koeficient se uvádí pro pravděpodobnost 99,73 % a vyjadřuje pravděpodobnost, že při normální Gaussovu rozdělení střední kvadratická odchylka jednoho měření tento koeficient nepřekročí).“ [8]*

### 5.1 Přesnost měření

Těsnost shody mezi výsledkem měření a (konvenčně) pravou hodnotou měřené veličiny.

Přesnost je kvalitativní pojem a nedá se přímo kvantifikovat. Při hodnocení jakosti konkrétního měřidla nás zajímá přesnost měřidla, která je definována pro určité konstantní podmínky (vnější prostředí - teplota, tlak, vlhkost, časový gradient teploty atd.), včetně kvalifikace pozorovatele. [8]

### 5.2 Rozdělení chyb

Praktická rozdělní chyb jsou prováděná:

#### 5.2.1 Podle způsobu vyjádření na absolutní a relativní

- a) Absolutní chyba měřené veličiny  $X$  se značí  $\Delta_{(X)}$  a rovná se:

$$\Delta_{(X)} = X_{(N)} - X_S \quad (1)$$

$X_N$  – údaj měřícího systému jediného měření

$X_S$  – konvenčně pravá hodnota

Konvenčně pravá hodnota (veličiny) je hodnota, která je přisuzována blíže určené veličině a přijata někdy konvencí jako hodnota, jejíž nejistota je vyhovující pro daný účel. Získá se například měřením měřidlem s 10 x vyšší rozlišitelností. [8]

b) Relativní chyba měřené veličiny X se značí  $\delta_{(x)}$  a rovná se:

$$\delta_{(x)} = \frac{\Delta_{(x)}}{X_s} \quad (2)$$

### 5.2.2 Podle charakteru výskytu

a) Systematická chyba

Systematická chyba je střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny, uskutečněných za podmínek opakovatelnosti, od které se odečte pravá hodnota měřené veličiny. [8]

$$\Delta = \Delta_s + \delta \quad (3)$$

$\Delta_s$  – systematická chyba

$\delta$  – náhodná chyba

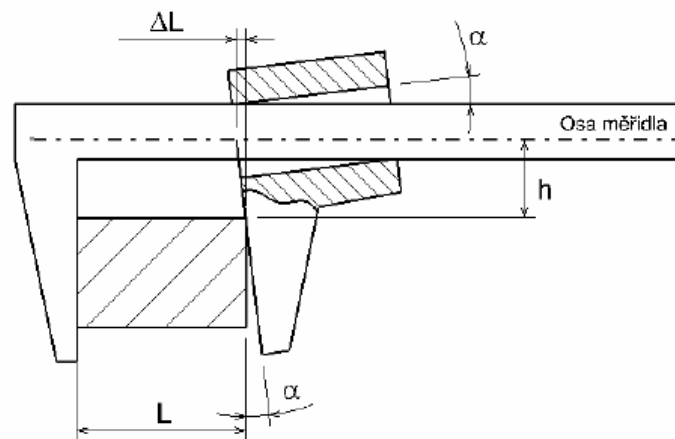
b) Nahodilé chyby

Vznikají zcela nepravidelně. K jejich určení je třeba opakovat v dostatečné míře jednotlivá měření. [8]

c) Chyba 1. řádu

Tato chyba se projeví, pokud není dodržen Abbeho princip. To znamená, že osa měřeného rozměru musí být rovnoběžná s osou měřidla. [9]





Obr. 18. Abbeho princip [9]

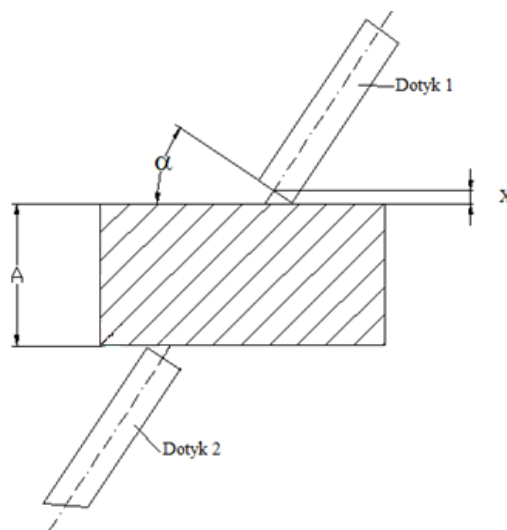
$\Delta L$  – chyba měření

$h$  – vzdálenost os

$\alpha$  – úhel naklonění

d) Chyba 2. Řádu

Vzniká při měření, kdy nejsou doteky měřidla kolmé na plochu měřeného objektu.



Obr. 19. Chyba 2. řádu

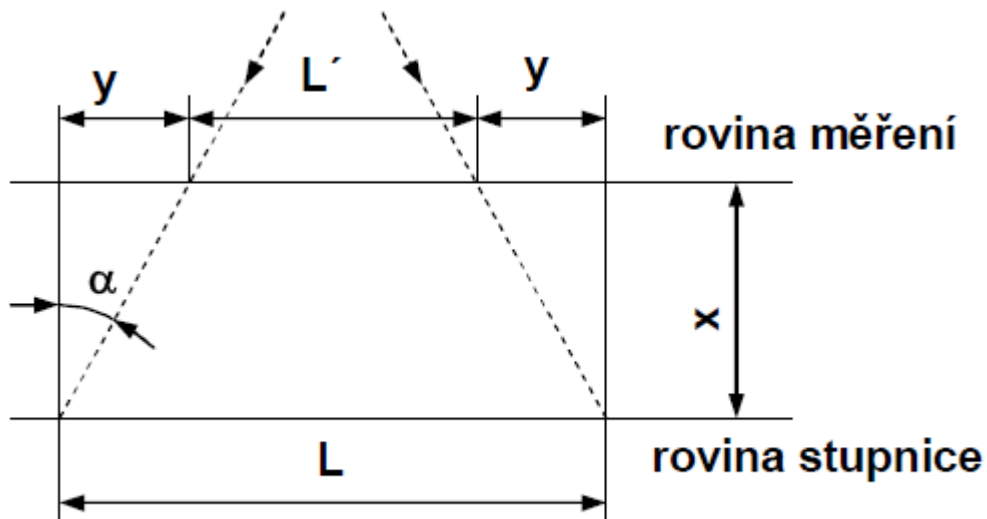
$\alpha$  – odchylka měřidla

$A$  – rozměr výrobku

$x$  – přírůstek k rozměru výrobku

## e) Paralakční chyba

„Při odečítání měřených hodnot ze stupnice dochází k chybě. Chyba paralaxou vzniká v případě, kdy rovina měření a rovina stupnice jsou od sebe vzdáleny a stupnice není pozorována ve směru kolmém na její rovinu.“ [9]



Obr. 20. Paralakční chyba [9]

Velikost paralakční chyby je dána vztahem:

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (4)$$

$x$  ... kolmá vzdálenost rovin stupnice a měřeného předmětu (měření),

$\alpha$ ... úhel směru pozorování (odchylka od kolmého směru).

### 5.3 Nejistota měření

Nejistotou se rozumí parametr charakterizující rozsah (interval) hodnot kolem výsledku měření, který můžeme odůvodněně přiřadit hodnotě měřené veličiny. Může se týkat výsledku měření, ale také hodnot odečtených na použitých přístrojích, hodnot použitých konstant, korekce atd., na kterých nejistota výsledku závisí.

Základem je pravděpodobnostní princip. Předpokládá se, že nejistota měření pokryje skutečnou hodnotu s předpokládanou pravděpodobností. Ke každé naměřené hodnotě se musí uvádět nejistota měření. [1]

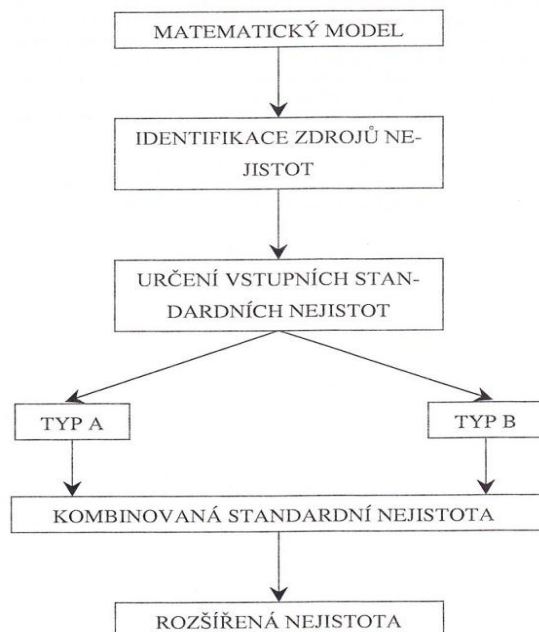
Zdroje nejistot měření:

Nedostatky měření se odráží v nejistotách výsledku. Úplné poznání nedostatků měření vyžaduje nekonečné množství měření. Proto byl zaveden pojem zdroje nejistot, kde tyto zdroje přiblíží jevy, které přispívají k nejistotě a skutečnosti, že výsledek nelze charakterizovat jednou hodnotou. [1]

Existuje mnoho druhů zdrojů nejistot měření, mezi které patří:

- špatná nebo neúplná definice měřené veličiny,
- nereprezentativní výběr vzorků – měřený vzorek nemusí reprezentovat měřenou veličinu,
- špatné odečítání z analogových přístrojů,
- omezená rozlišovací schopnost přístroje,
- nepřesnost referenčních materiálů,
- aproximace a předpoklady zahrnuté v metodě a postupu měření,
- změny při opakovaných měření měřených veličin při stejných podmínkách

Postup při vyjadřování nejistoty:



Obr. 21. Postup vyjadřování nejistot [8]

### 5.3.1 Standardní nejistota Typu A

Tato chyba je způsobena náhodnými chybami a příčiny nejsou známe. Jsou určeny normálním rozdělením. Obecně platí, čím větší počet měření, tím se nejistota zmenšuje. Označuje se „ $u_A$ “. [1]

Standardní nejistota typu A se vypočítá:

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

### 5.3.2 Standardní nejistota Typu B

Hodnota se stanovuje nestatisticky. Nejistoty vyhodnocované metodou B se vážou na známé, identifikovatelné a klasifikovatelné zdroje. Pro výpočet výsledné Standardní nejistoty Typu B se používá vektorový součet jednotlivých chyb měření. [1]

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} \quad (6)$$

$u_{B1}$  – chyba měřidla,

$u_{B2}$  – chyba metrologa.

Jsou známé dva druhy nejistot typu B:

- chyba měřidla „ $u_{B1}$ “, : Je dána typem měřidla a jeho rozlišitelností.

$$u_{B1} = \frac{z_j}{k} \quad (7)$$

$z_j$  – rozlišitelnost měřidla,

$k$  – koeficient pro rovnoměrné rozdělení  $k = \sqrt{3}$

- chyba obsluhy „ $u_{B2}$ “ : Je dána zkušenostmi, kvalifikací, odhadem obsluhy.

$$u_{B2} = \frac{z_M}{k} \quad (8)$$

$z_M$  – chyba metrologa,

$k$  – koeficient pro rovnoměrné rozdělení  $k = \sqrt{3}$

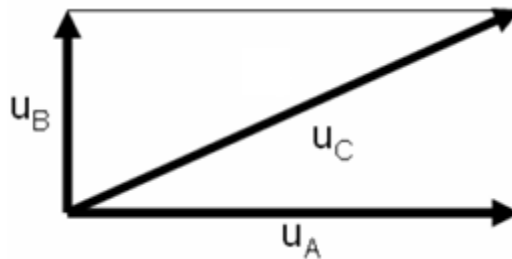
### 5.3.3 Kombinovaná standardní nejistota

Kombinovanou nejistotu  $u_C$  získáme součtem nejistot stanovených metodou A a metodou B pomocí vztahu:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (9)$$

$u_A$  – Standardní nejistota měření Typu A,

$u_B$  – Standardní nejistota měření Typu B.



Obr. 22. Vektorový součet nejistot

### 5.3.4 Rozšířená standardní nejistota

Rozšířená nejistota  $U$  je získána vynásobením kombinované standardní nejistoty  $u_C$  koeficientem  $k$ . Koeficient krytí se pohybuje v intervalu od 2 do 3, ale ve speciálních případech může ležet mimo tento interval. [8]

$$U = k \cdot u_C \quad (10)$$

$U$  – rozšířená standardní nejistota,

$u_C$  – kombinovaná standardní nejistota,

$k$  – rozšiřující koeficient.

## 6 ZÁSADY ZKOUŠEK DLE NORMY ISO 230-2

Tato norma se zabývá vyhodnocením přesnosti a opakovatelnosti nastavení polohy v osách strojů. Metody jsou totožné jak pro lineární měření, tak i pro otočné osy. Pokud se měření provádí pro více os, tak tato metoda se nepoužívá. Metody dle normy ISO 230 jsou založeny na opakovaném měření v každé poloze. [11]

### 6.1 Podmínky zkoušky

Pro uplatnění této normy musí být splněny podmínky, které prokazují přesnost měření.

#### 6.1.1 Environment

Dodavatel nebo výrobce by měl dodat pokyny, které se týkají teplotního environmentu. Podmínky musí obsahovat průměrné teploty místností, největší rozsah velikosti a frekvence odchylek od průměrné teploty. Uživatel musí zajistit teplotní environment pro provoz stroje a pro jeho zkoušky, kde je umístěn přístroj. Pokud uživatel splní podmínky, odpovědnost přechází na dodavatele nebo výrobce. [11]

V ideálním případě se všechna měření provádí, kdy je stroj umístěn v prostředí s teplotou 20°C. Pokud není podmínka splněna a teplota je jiná než 20°C musí se výsledky opravit. Je nutné použít korekci tepelné roztažnosti mezi systémem nastavování polohy v ose nebo obrobku zkušebního stroje a zkušebního zařízení. Korekce může být automatická, pokud se budou shodovat teploty části stroje a zkušebního zařízení. [11]

Jakákoliv odchylka od teploty 20°C může způsobit další nejistotu, která souvisí s nejistotou skutečného koeficientu roztažnosti použitého pro kompenzaci. Stroj musí být v zkušební prostředí dostatečně dlouho, aby se dosáhlo tepelně stabilních podmínek. [11]

#### 6.1.2 Zkušební stroj

Stroj musí být plně funkční a celý zkoušený. Před zahájením zkoušky přesnosti a opakovatelnosti je stroj vyrovnán na základě geometrické zkoušky.

Při měření přesnosti a opakovatelnosti stroj musí být nezátížen tj. bez obrobku. [11]

### 6.1.3 Ohřátí stroje

Aby byly zajištěny normální pracovní podmínky, je zvolen správný ohřívací postup. Postup upřesní výrobce nebo dodavatel. Ohřívací postup musí být zapsán ve zkušebním protokolu. Nestabilní podmínky vedou k růstu úchylek mezi následným najetím do zadané polohy. Při ohřátí stroje se tyto úchytky minimalizují. [11]

## 6.2 Měření

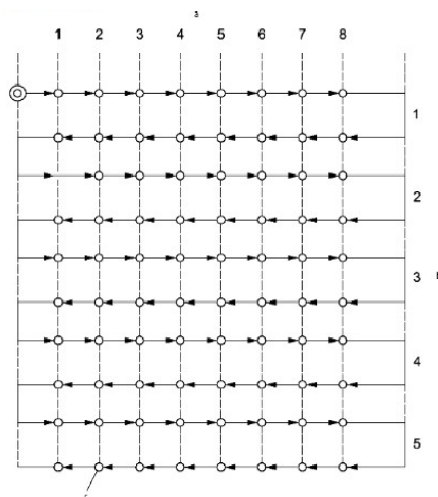
Měření podle normy ISO 230-2 má své náležitosti, které je nutné dodržet pro správnost měření. Podmínky jsou popsány v následujících částech.

### 6.2.1 Uspořádání měření

Uspořádání musí být takové, aby měřená poloha byla ve směru měřené osy. Poloha je zapsána v protokolu o měření. Pokud je volena korekce, tak musí být uvedena poloha snímače teploty ve zkušebním protokolu. [11]

### 6.2.2 Zkoušky v lineárních osách do 2000mm

Pokud má stroj rozsah os do 2000 mm zvolí se minimálně pět poloh na metr. Měření je provedeno ve všech polohách při zkušebním cyklu. Do každé zvolené polohy musí najet pětkrát. [11]



Obr. 23. Zkušební cyklus [11]

a – poloha  $i$  ( $m=8$ ),

b – nastavení  $j$  ( $n=5$ ),

c – zadané polohy.

### 6.2.3 Zkoušky v lineárních osách přes 2000mm

„V osách stroje s rozsahem přes 2000 mm musí být celý rozsah dráhy zkoušen při jednom jednosměrném nastavení do zadaných poloh, s průměrnou délkou intervalu  $p=200$  mm, v obou směrech pohybu. V případech, že měřicí snímač stroje sestává z více segmentů, budou možná muset být zvoleny další polohy tak, aby bylo zajištěno, že ke každému segmentu náleží alespoň jedna zadaná poloha.“ [11]

### 6.2.4 Zkoušky v otočných osách do 360°

Zkoušky se provádí dle tabulky 2. Musí splňovat základní polohy 0°, 90°, 180° a 270°, pokud jsou k dispozici. Každá poloha je změřena pětkrát v každém směru. [11]

Tab. 2. Polohy pro otočné osy [11]

Rozsah měřené dráhy	Minimální počet zadaných poloh
$\leq 90^\circ$	3
$>90^\circ$ a $\leq 180^\circ$	5
$> 180^\circ$	8

### 6.2.5 Zkoušky v otočných osách přes 360°

Vyhodnocení výsledků pro úhly přes 360° je po dohodě s dodavatelem a uživatelem. Pro každou zadanou polohu a pro jedno nastavení polohy ( $n=1$ ) v každém směru se vyhodnotí aplikované parametry (rozsah dráhy, zadaná poloha, skutečná poloha, úchylka polohy, rozšířená nejistota aj.). Neaplikovatelné jsou odhady pro jednosměrné opakovatelnosti osy nastavení polohy, opakovatelnosti nastavení polohy a přesnosti nastavení polohy. [11]



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Byly stanoveny následující zásady pro vypracování diplomové práce.

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Proved'te konstrukční návrh relokačního zařízení.
3. Proved'te zajištění výroby.
4. Ověřte polohování.
5. Vyhotovení uživatelské příručky.

Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout a vyrobit relokační zařízení, aby splňovalo podmínky, které vycházejí z následného použití na bezdotykovém drsnoměru.

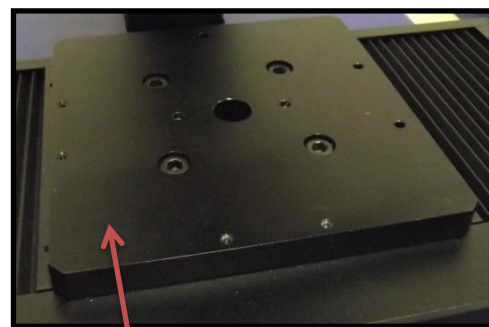
Bylo popsáno několik měřících přístrojů pro měření rozměrů a problematika chyb a nejistot, které mohou vzniknout při měření. V další části diplomové práce byla popsána norma ČSN ISO 230-2.

Praktická část je zaměřena na navržení a realizaci relokačního zařízení a následné kontroly posuvu mikrometrických hlavic. Při návrhu muselo být použito vhodného materiálu, aby byla zajištěna nízká hmotnost. Na závěr je zhodnocení naměřených dat a vyhotovení uživatelské příručky.

## 8 NÁVRH RELOKAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

Při návrhu byl kladen požadavek na plynulý posuv v ose „X“ a „Y“ a rotace horní části stolu. U jednotlivých návrhů je zařízení připevněno k bezdotykovému drsnoměru šrouby a vodícími kolíky. Plynulost pohybu v daných směrech byla realizována pomocí mikrometrů s jemným stoupáním a vodících tyčí, které byly uloženy v bočním vedení. Rotace byla zajištěna pomocí otočného čepu, který byl upevněn ve středu relokačního zařízení.

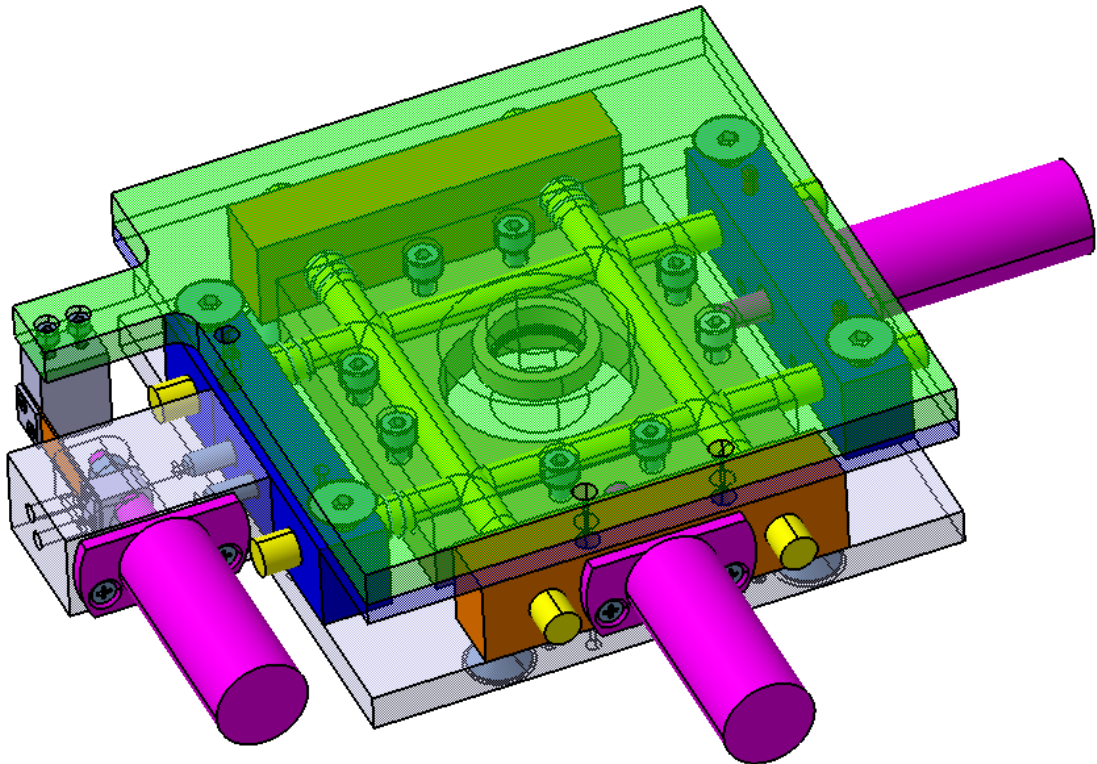
Hlavní požadavky na relokační zařízení byly: nízká hmotnost (max.4kg), ergonomie, variabilita aby rozměry vyhovovaly upínacímu prostoru přístroje Taylor and Hobson CLI 500.



Upínací plocha

Obr. 24. Bezdotykový drsnoměr

## 8.1 Návrh I. řešení

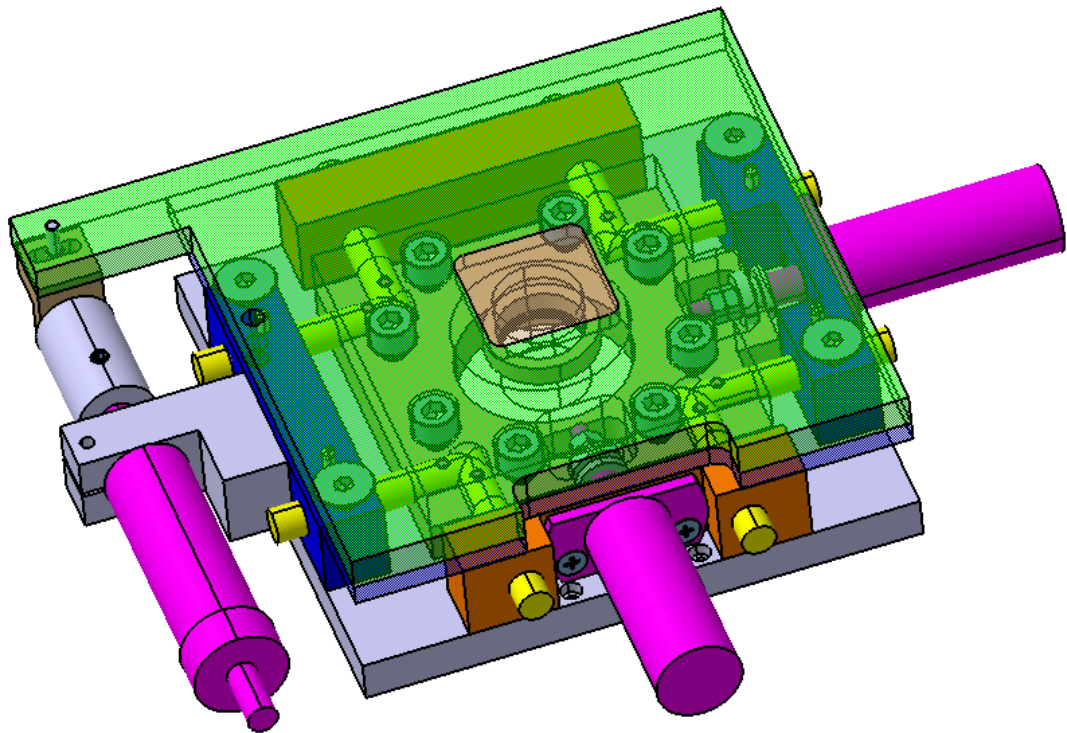


Obr. 25. Návrh I.

U tohoto návrhu relokačního zařízení je volen posuv pomocí mikrometrických hlavice. Mikrometrické hlavice jsou připevněny k vedení. Zachování směru pohybu je zajištěno pomocí vodících kolíků, které jsou připevněny ve středové kostce. Zpětný pohyb je umožněn pomocí tlačných pružin, které jsou uloženy mezi vedení a středovou kostku. Vedení středové kostky je zajištěno pomocí vodících tyčí.

Rotace je zajištěna pomocí otočného čepu. Rotační pohyb je prováděn pomocí mikrometrické hlavice a k natočení horní desky relokačního zařízení dochází pomocí pružinového plechu. Tento plech zajistí svými vlastnostmi natočení desky.

## 8.2 Návrh II. řešení



Obr. 26. Návrh II.

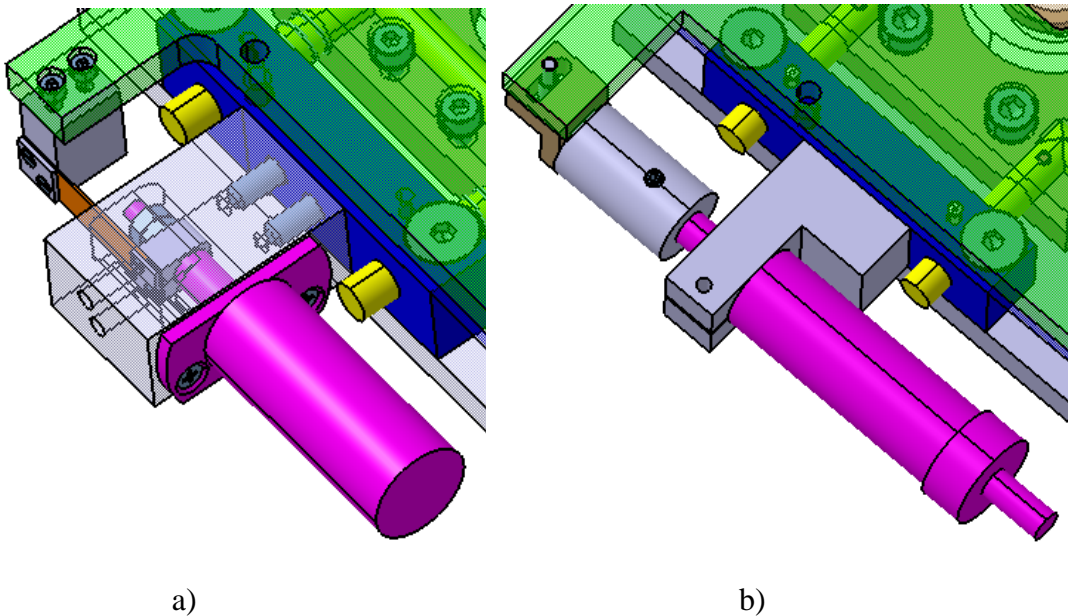
Tento návrh se středovou kostkou umožňuje pohyb v ose „X“ a „Y“ nezávisle na sobě. V kostce jsou připevněny mikrometrické hlavice tak, aby se konce protáčely a dovolily pouze pohyb v dané ose.

Rotace je zajištěna pomocí otočného čepu, který je uložen ve středu otočné desky. Rotační pohyb je uskutečněn mikrometrickou hlavicí. Je zde zajištěn převod přímočarého pohybu na rotační pomocí kloubu ve drážce.

### 8.3 Rozdíly jednotlivých návrhů

Jednotlivé návrhy relokačních zařízení jsou odlišné v pohybu otočné desky, pohybu středící kostky a vedení.

#### 8.3.1 Způsob rotace



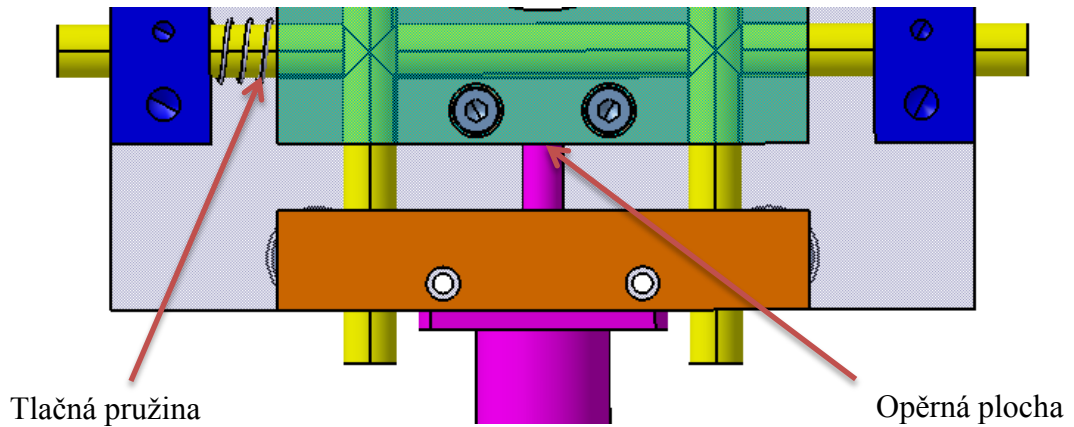
Obr. 27. Způsoby rotace

a) varianta I, b) varianta II

U varianty I. bylo použito na převod přímočarého pohybu na otáčivý pohyb pružinového plechu. Tento pružinový plech neumožní přesnou opakovatelnost při relokaci. Ve druhé variantě je použito válečku, který se protáčí a převádí pohyb.

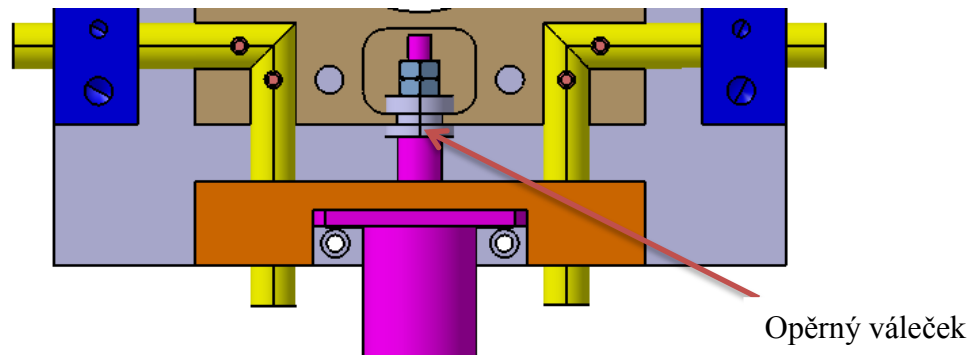


### 8.3.2 Pohyb v ose X a Y



Obr. 28. Pohyb v ose – varianta I.

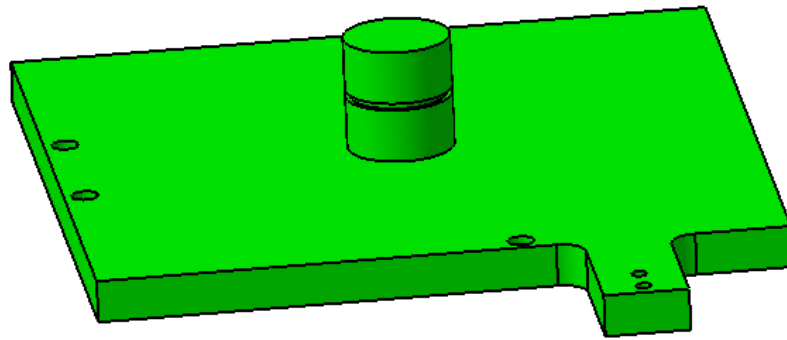
Pohyb v osách je řešen pomocí mikrometrických hlavic, které se opírají čelem šroubu o středovou kostku. Svým pohybem posouvají celou horní plochu zařízení. Zpětný pohyb je uskutečněn pomocí tlačné pružiny.



Obr. 29. Pohyb v ose – varianta II.

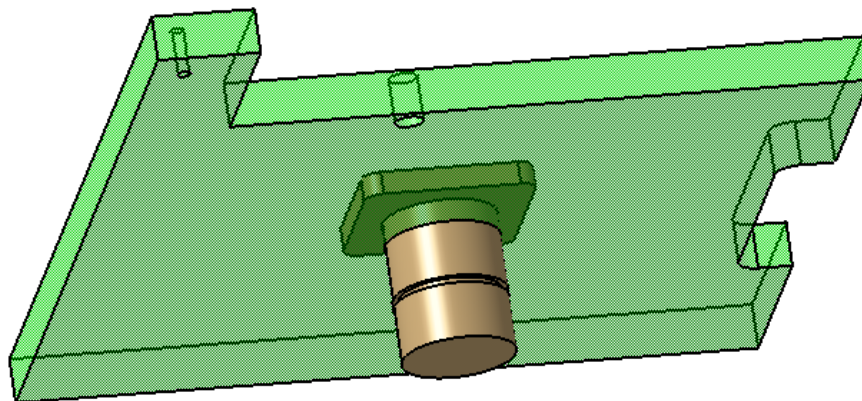
Pohyb je také řešen mikrometrickými hlavicemi, které se protáčí v opěrném válečku a tlačí středovou kostku. Stejně je řešen zpětný pohyb, který je určen mikrometrickou hlavicí.

### 8.3.3 Způsob otáčení



Obr. 30. Způsob otáčení – varianta I.

Otáčení je řešeno pomocí čepu, který je součástí otočné desky. Nevýhodou při obrábění je velké množství odebrané třísky a prodražení celé výroby relokačního zařízení.

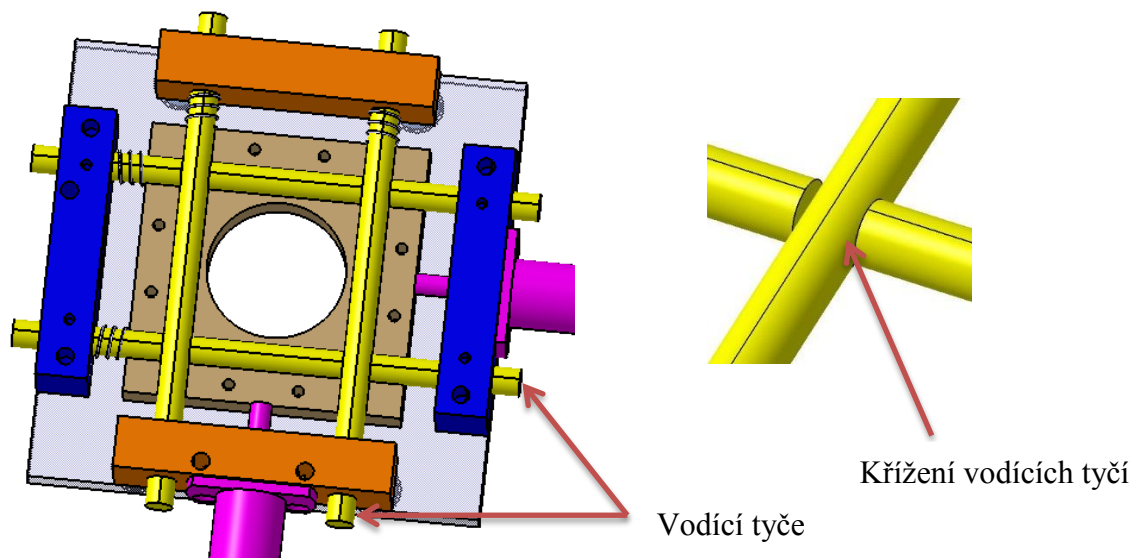


Obr. 31. Způsob otáčení – varianta II.

U varianty II. je do otočné desky za tepla nalisován čep a následně dobroušena celá horní plocha. Čep byl volen z důvodu ušetření materiálu a času. V případě poškození čepu je snadná výměna i výroba a nemusí se vyrábět celá deska jako u varianty I.

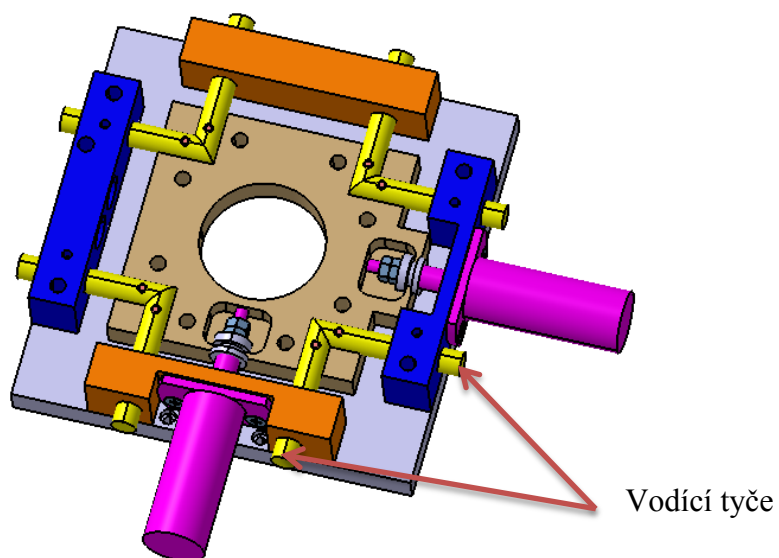


### 8.3.4 Způsob vedení



Obr. 32. Vedení I.

Zde jsou pouze čtyři vodící tyče, které jsou kříženy, aby nedošlo k posuvu. Tyče jsou stáhnuty pomocí středící kostky.

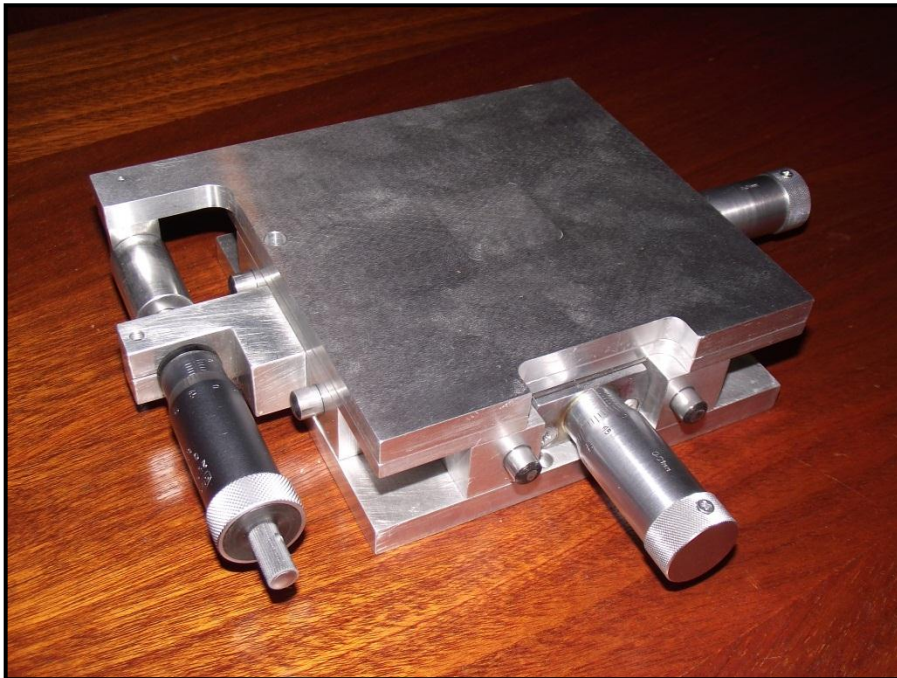


Obr. 33. Vedení II.

U varianty II z důvodu upevnění mikrometrických hlavic byly přemístěny šrouby na dotažení středící kostky. Následně byly upraveny vodící tyče a byly pojištěny proti pohybu kolíkem.

## 8.4 Výběr návrhu

Z předchozích návrhů byl vybrán návrh I. V tomto návrhu je lépe zajištěna rotace, kdy bude přesnější opakovatelnost. Je zde lépe zajištěn posuv v osách a zpětný pohyb. Oproti návrhu II. je zpětný pohyb zajištěn pružinami a může nastat únava materiálu pružin a nebude zaručeno přesné navrácení do polohy. Další nevýhodou je nutné vyvinutí větší síly, aby došlo k deformaci pružin.

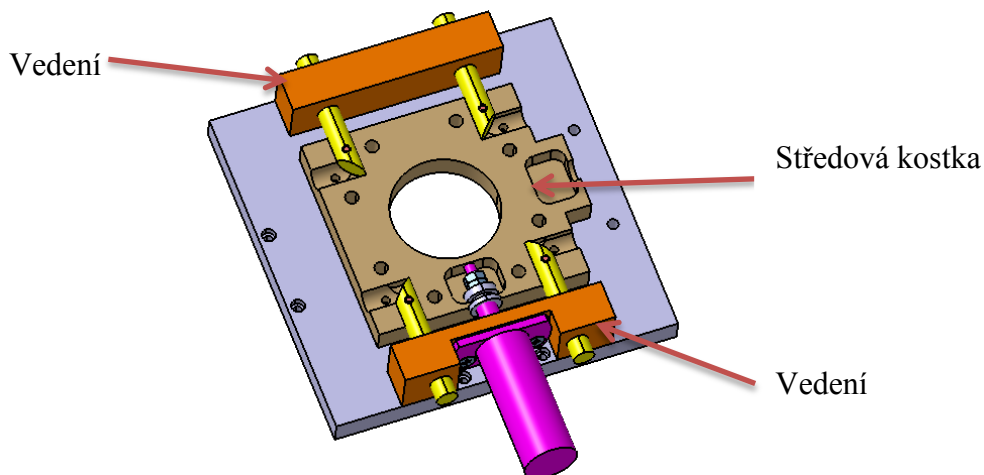


Obr. 34. Zhotovený II. návrh

## 9 MONTÁŽ A SESTAVENÍ

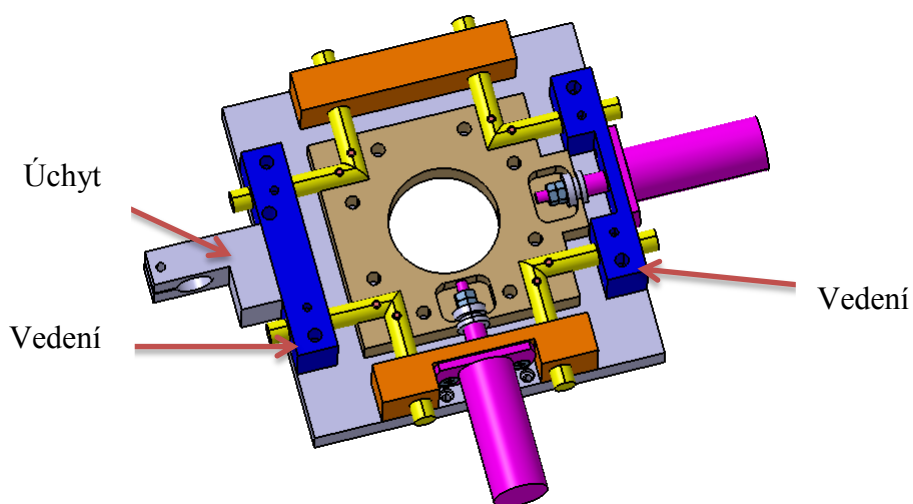
Při návrhu bylo nutné počítat se způsobem co nejjednodušší montáže a celé relokační zařízení vyhovovalo upevňovacímu prostotu bezdotykového drsnoměru.

Při montáži relokačního zařízení je důležitý postup sestavení. Součásti byly navrženy tak, aby byly sestavitelné a dalo se použít běžného nářadí.



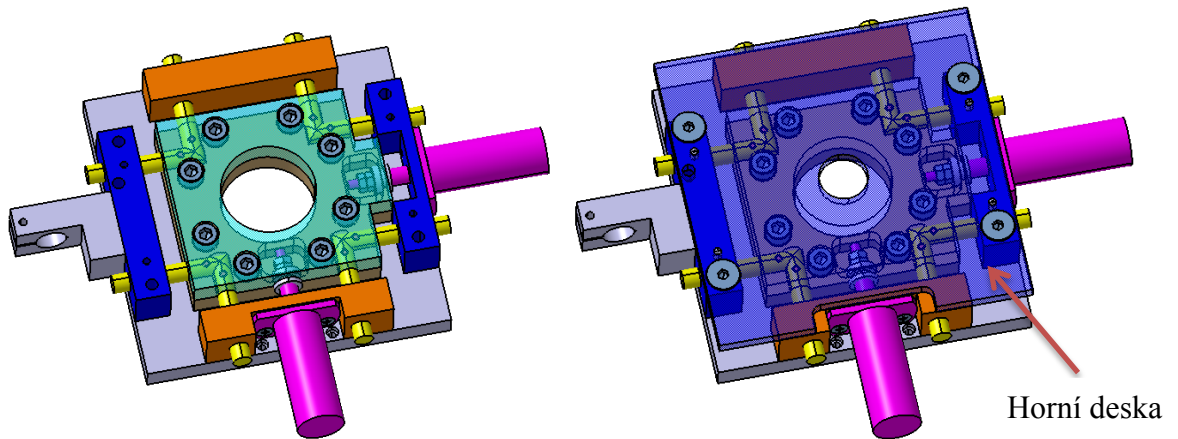
Obr. 35. Sestavení – část 1.

Jako první krok sestavení relokačního zařízení byla přišroubována mikrometrická hlavice k vedení a připevněn protáčeující se válec na jeho konci. Následně byla vložena vodící tyče a zajištěna kolíkem proti posunutí ve středové kostce. Vedení bylo přišroubováno k upínací desce.



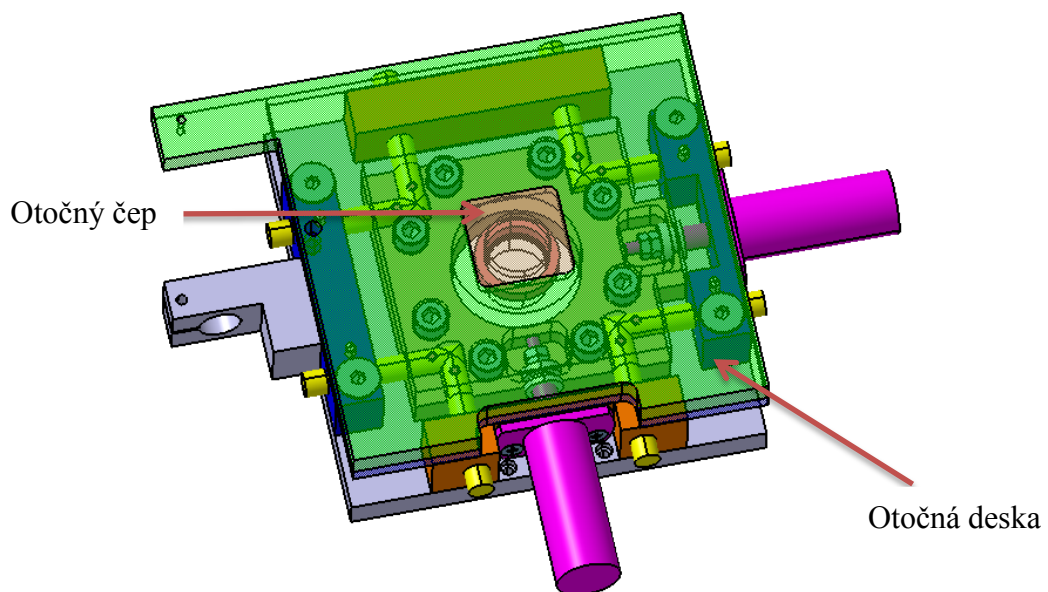
Obr. 36. Sestavení – část 2.

Ve druhém kroku byl přišroubován úchyt na třetí mikrometrickou hlavici. Druhá mikrometrická hlavice byla připevněna k vedení a na jeho konec byl připevněn váleček. Následně je vložena vodící tyče a je zajištěna ve středové kostce kolíky.



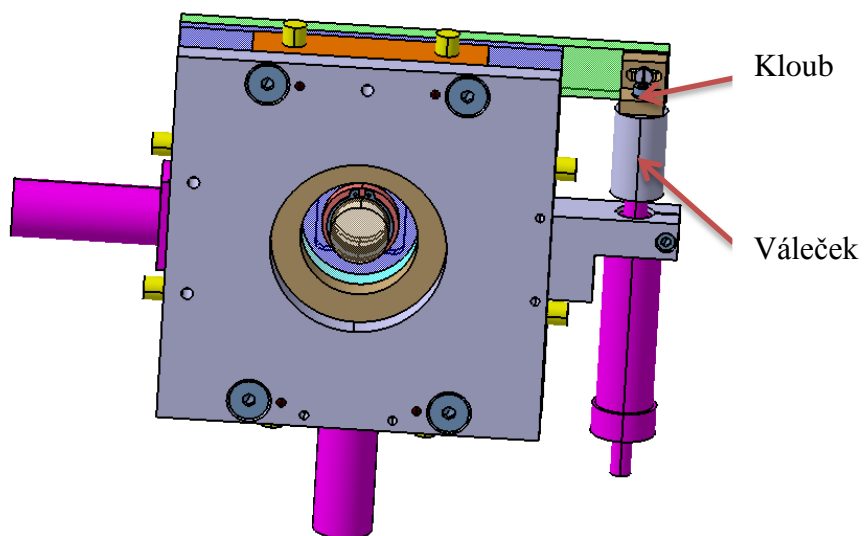
Obr. 37. Sestavení – část 3.

Po sestavení všech vodících částí byla stáhnuta druhá polovina středící kostky šrouby. Na vedení se připevnila horní deska.



Obr. 38. Sestavení – část 3.

Na horní desku připevníme otočnou desku, která se otáčí pomocí otočného čepu a je zajištěna vymezovacím kroužkem a pojistným kroužkem tak, aby nebylo možné otočnou desku vytáhnout.

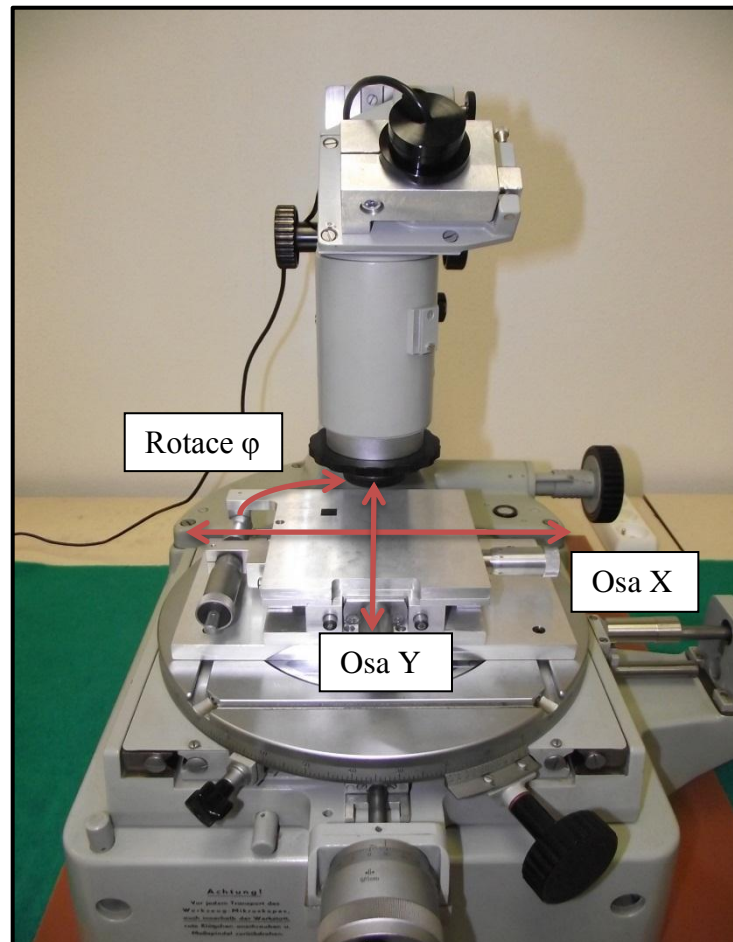


Obr. 39. Sestavení – část 4.

Na závěr připevníme vidličku pomocí čepu. Připevníme třetí mikrometrickou hlavičci s válečkem tak, aby bylo možné převést posuvný pohyb na rotační.

## 10 KONTROLA MIKROMETRŮ POMOCÍ LASERU XL-80

Kontrola mikrometrických hlavic relokačního zařízení se prováděla na dílenském mikroskopu CARL ZEISS.



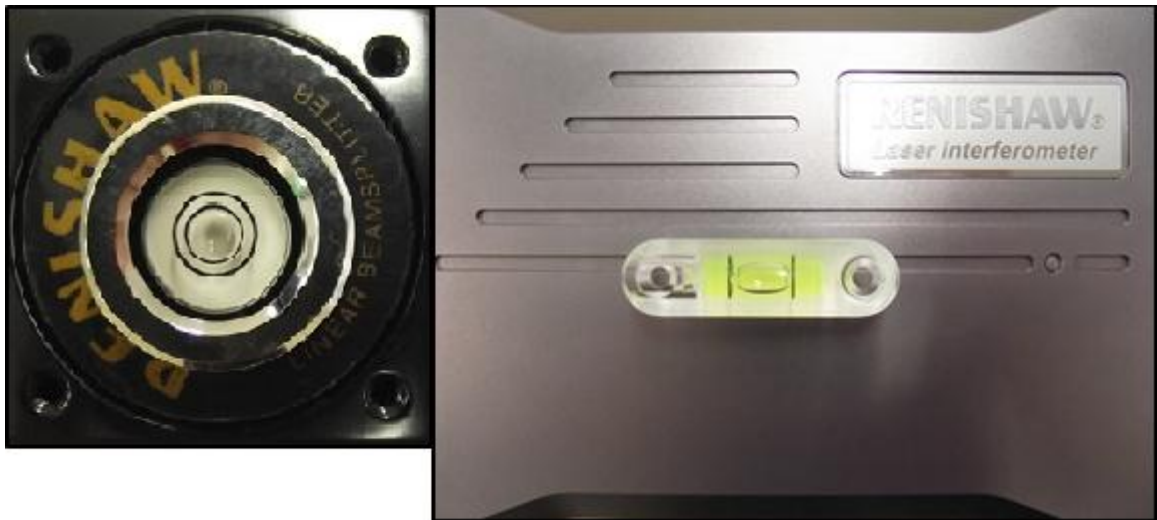
Obr. 40. Dílenský mikroskop s relokačním zařízením

Následně se sestaví komponenty pro měření s Laserem Renishaw XL-80, tak aby splňoval všechny podmínky měření.

### 10.1 Nastavení zařízení

Laser Renishaw XL-80 musí být v rovině s měřeným relokačním zařízením, tak aby nedocházelo k nežádoucím chybám, proto každý přístroj i sestava odražečů musí být zajištěna ve vodorovné poloze pomocí libel. Samotný dílenský mikroskop je vyrovnán do roviny pomocí stavitelných šroubů.

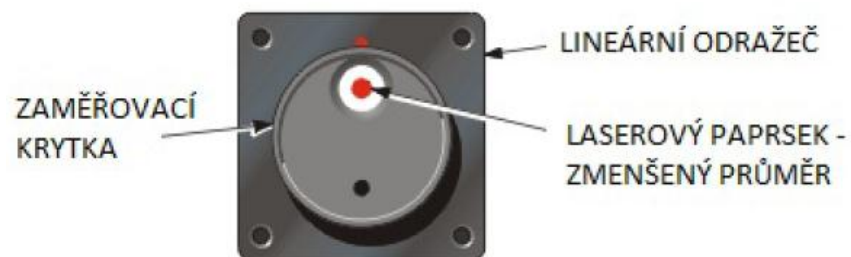




Obr. 41. Vyrovnání měřicí sestavy

## 10.2 Postup kalibrace

- Laser upevníme na stativ tak, aby paprsek směřoval do měřící optiky. Pomocí otočného závěru na čele Laser Renishaw XL-80 nastavíme menší paprsek pro jednodušší kalibraci. Na odražeč nasadíme krytku s bílým terčem. Nyní je nutné, aby směřoval paprsek do bílého terče na krytce.



Obr. 42. Paprsek na odražeči [10]

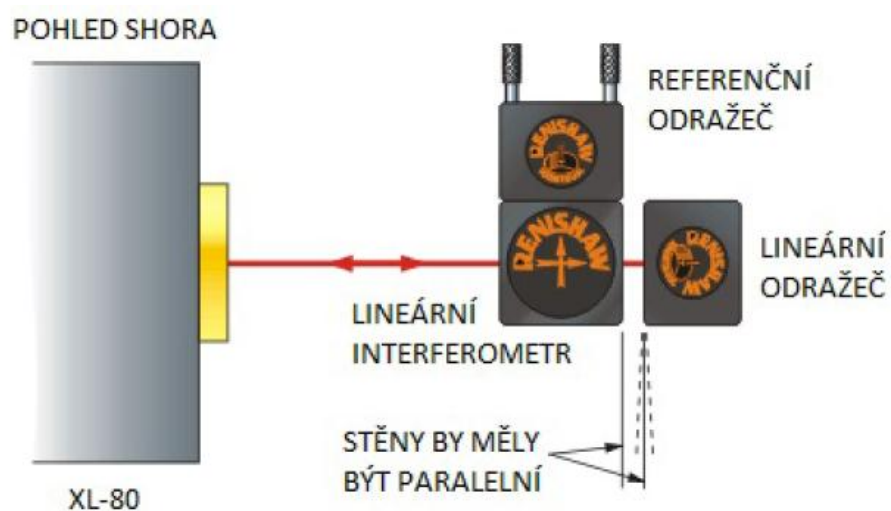
- Po odstranění krytu z odražeče musíme zkontrolovat, zda míří paprsek do středu zaměřovacího bodu na otočném závěru.



LASEROVÝ PAPERSEK MÍŘÍ NA  
STŘED ZAMĚŘOVACÍHO  
BODU NA ZÁVĚRCE

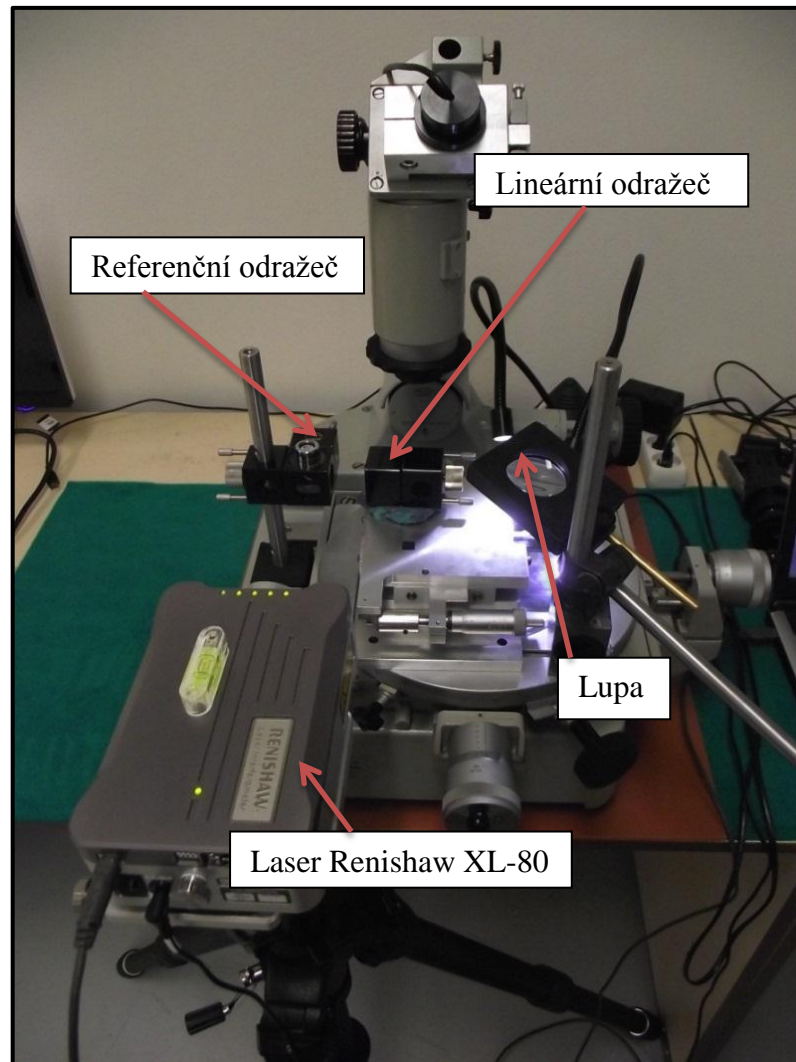
Obr. 43. Odražený paprsek [10]

- Jako poslední část je nutné zkontrolovat lineární odražeč a referenční odražeč, aby byly na sebe navzájem kolmé. Tím se zabrání snížení přesnosti naměřených dat.



Obr. 44. Nastavení optického zařízení [10]

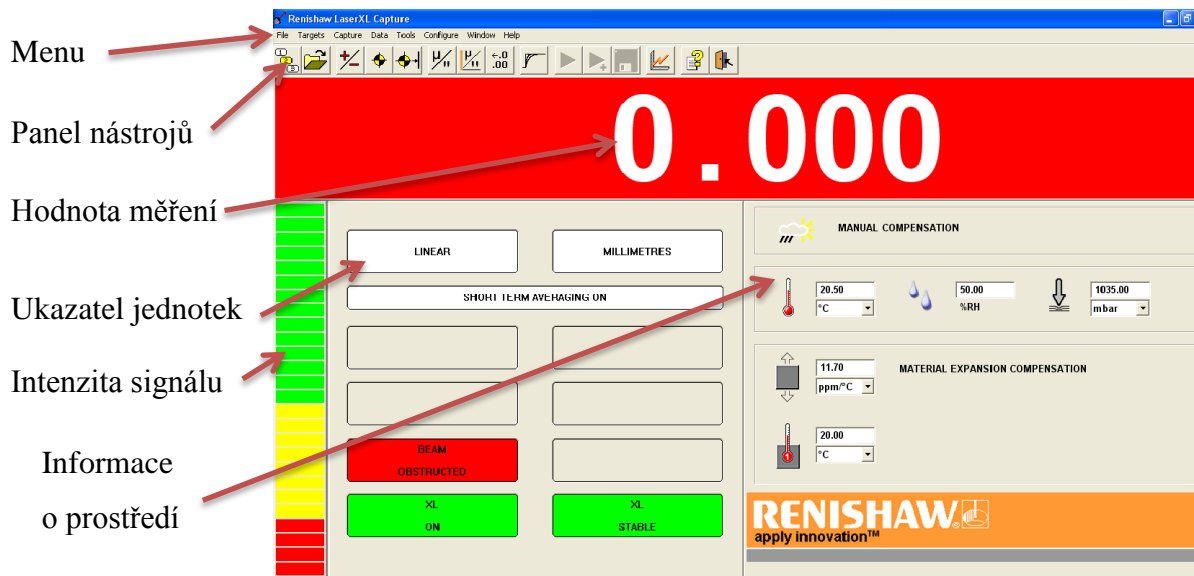




Obr. 45. Schéma měření

### 10.3 Měření

Na zaznamenání hodnot byl použit software Renishaw LaserXL Capture. Po sestavení a připojení laseru přes USB rozhraní můžeme spustit Laser XL-80. Je nutné počkat, než se laser vytemperuje, a poté je připraven k použití. Temperační cyklus je znázorněn diodami na horní straně zařízení.



Obr. 46. Prostředí programu Renishaw LaserXL Capture

Nyní je nutné najet mikrometrickou hlavicí do pozice, která bude počátkem měření. K rozsahu měření se musí ještě připočítat přeběh, aby bylo zajištěno najetí do počáteční pozice. Mikrometrická hlavice má rozsah měření od -5 mm do + 5 mm. Při měření laserem je brána počáteční pozice +4,5 mm a koncová pozice -4,5 mm.

Tab. 3. Nastavení

Kontrolovaná dráha	0-9 mm
Rozlišitelnost	0,001 mm
Krok	0,5 mm

Při měření bylo využito normy ČSN ISO 230-2. Vyhodnocení výsledků probíhalo v programu Renishaw LaserXL Capture, kde byly zobrazeny jak naměřené údaje v číselných hodnotách tak i graficky.

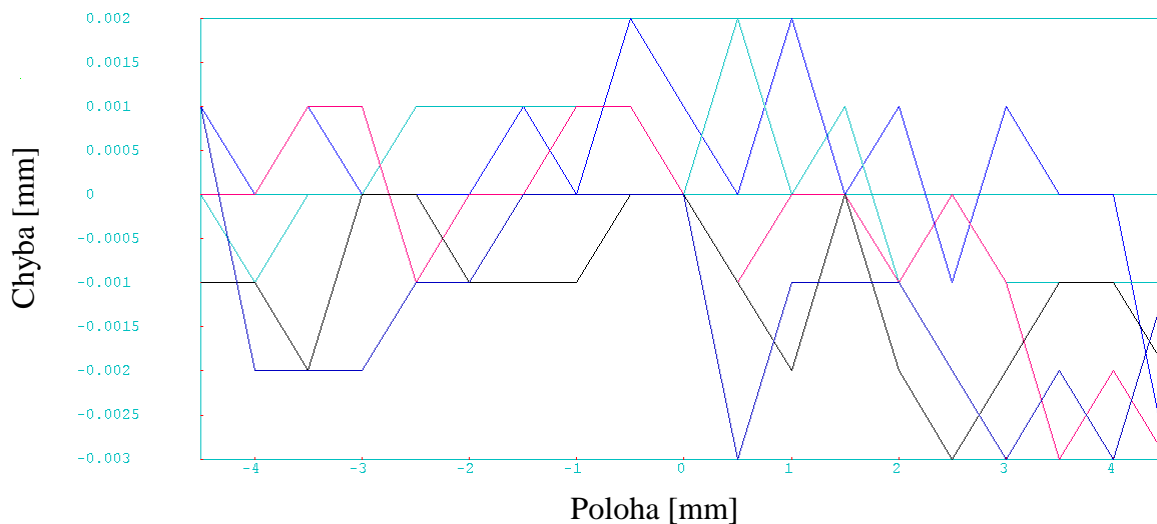
## 10.4 Naměřena data osa X

Tab. 4. Podmínky měření v ose X

<b>Teplota</b>	20,5°C
<b>Tlak</b>	1035 hPa
<b>Vlhkost</b>	50%

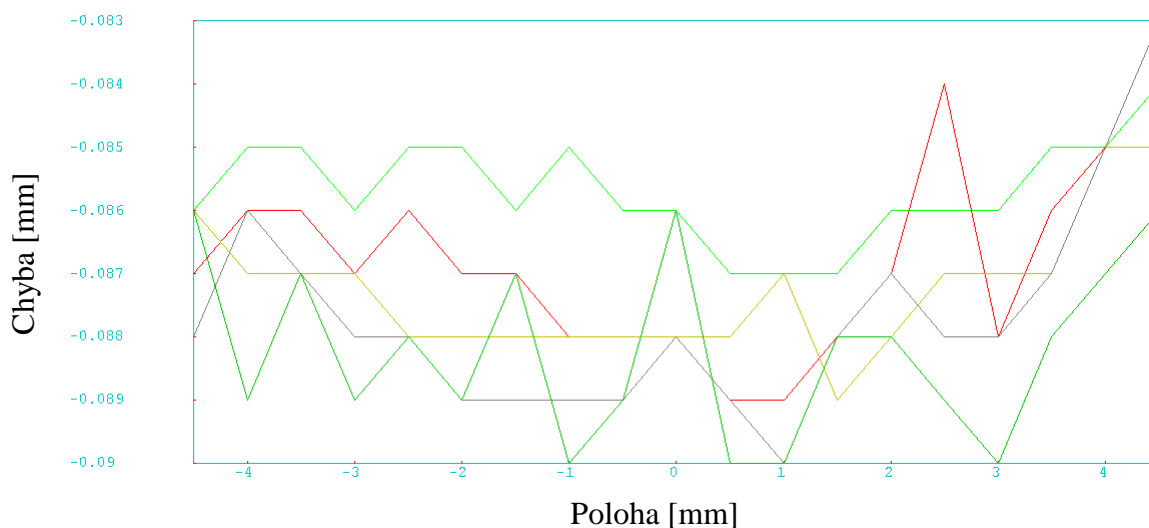
Tab. 5. Naměřená data v ose X

Zkratka	Název	Hodnota [mm]
M	Průměrná dvoustranná polohová úchylka v ose	0,0014
E	Dvoustranná systematická polohová úchylka v ose	0,0894
R	Dvoustranná opakovatelnost nastavení ose	0,0944
B	Necitlivost v ose	0,0888
A	Dvoustranná přesnost nastavení polohy v ose	0,0948



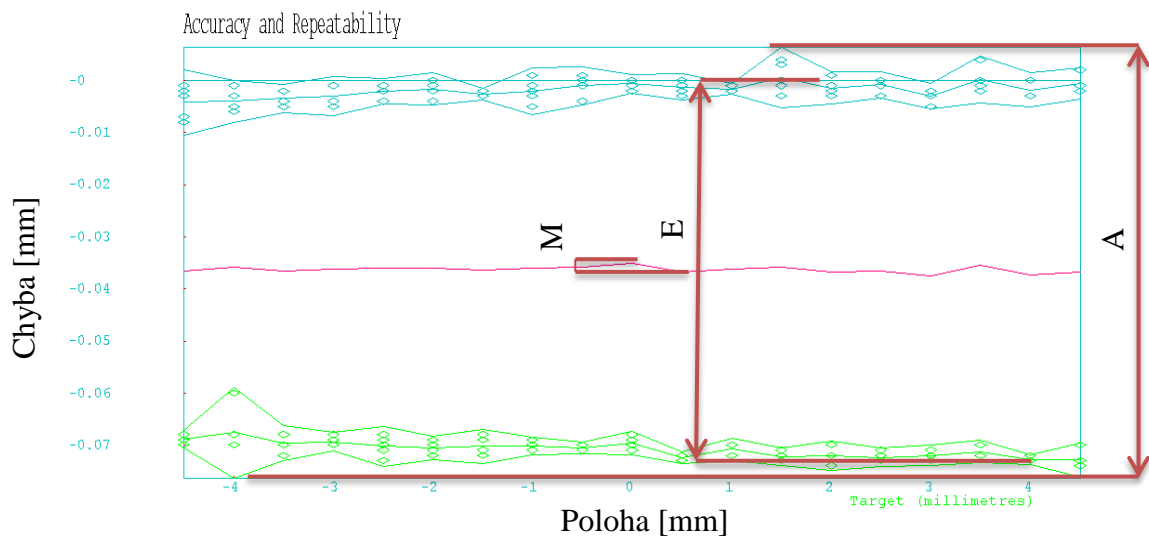
Obr. 47. Průměrné polohové úchylky ve směru X od +4,5 mm do -4,5mm

V tomto směru v ose X je patrné opotřebení šroubu v rozmezí od +4,5 mm od -1 mm, ale celková chyba těchto hodnot je 0,005 mm. Na tuto vzdálenost je chyba minimální.



Obr. 48. Průměrné polohové úchylky ve směru X od -4,5 mm do +4,5mm

V daném směru je patrné větší opotřebení šroubu než v přechozím směru. Největší je v rozmezí od +4,5 mm do -1 mm s celkovou chybou -0,007 mm.



Obr. 49. Zobrazení hodnot M,E,A v ose X

Z grafu je patrná největší dovolená chyba mikrometrické hlavičky, která je 0,0948 mm. S touto chybou musíme vždy počítat při měření. Pro dané laboratorní měření tato chyba vyhovuje a není nutné mikrometrickou hlavičku vyměňovat.

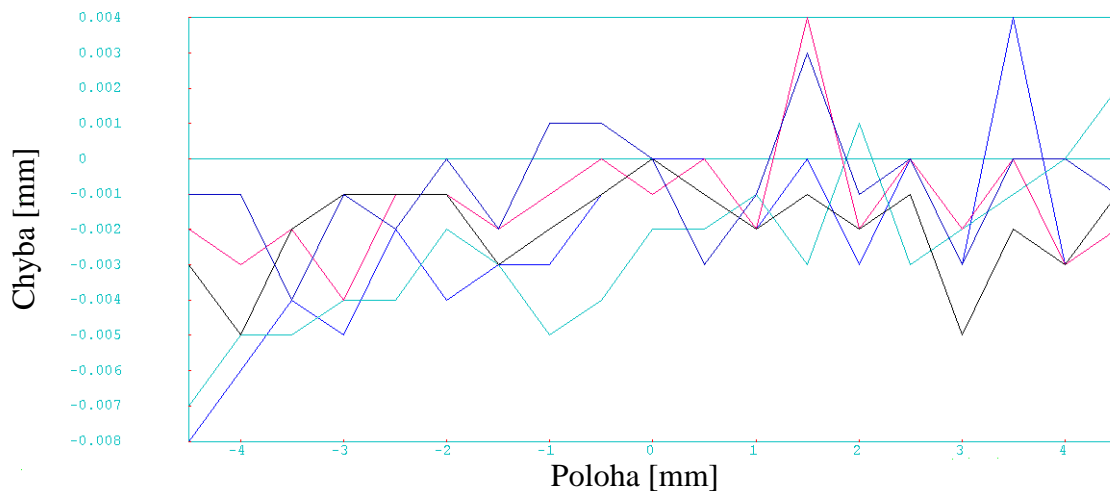
### 10.5 Naměřena data osa Y

Tab. 6. Podmínky měření v ose Y

<b>Teplota</b>	21,4°C
<b>Tlak</b>	1035 hPa
<b>Vlhkost</b>	49%

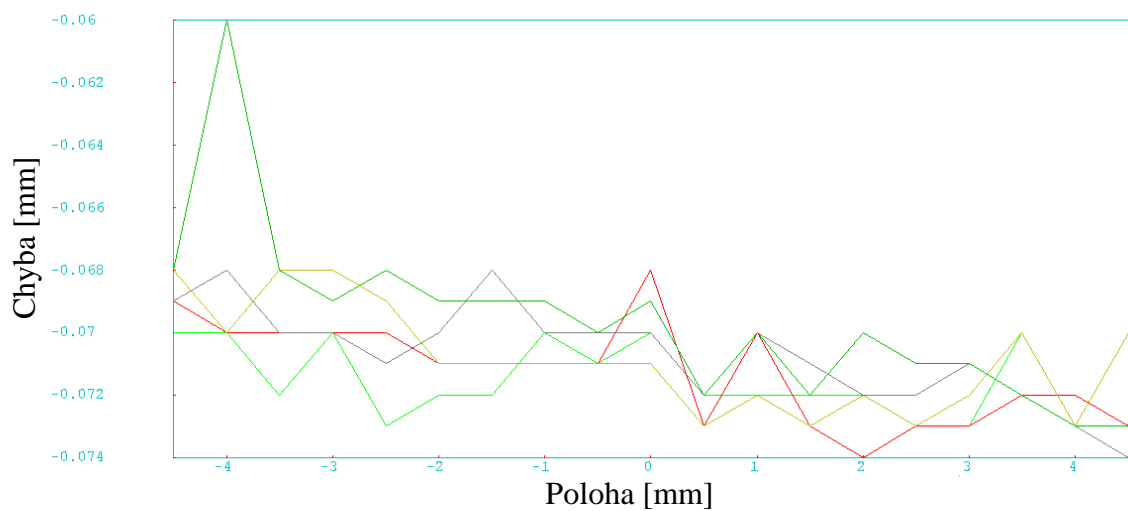
Tab. 7. Naměřená data v ose Y

Zkratka	Název	Hodnota [mm]
<b>M</b>	Průměrná dvoustranná polohová úchylka v ose	0,0024
<b>E</b>	Dvoustranná systematická polohová úchylka v ose	0,0734
<b>R</b>	Dvoustranná opakovatelnost nastavení ose	0,0802
<b>B</b>	Necitlivost v ose	0,0728
<b>A</b>	Dvoustranná přesnost nastavení polohy v ose	0,0827



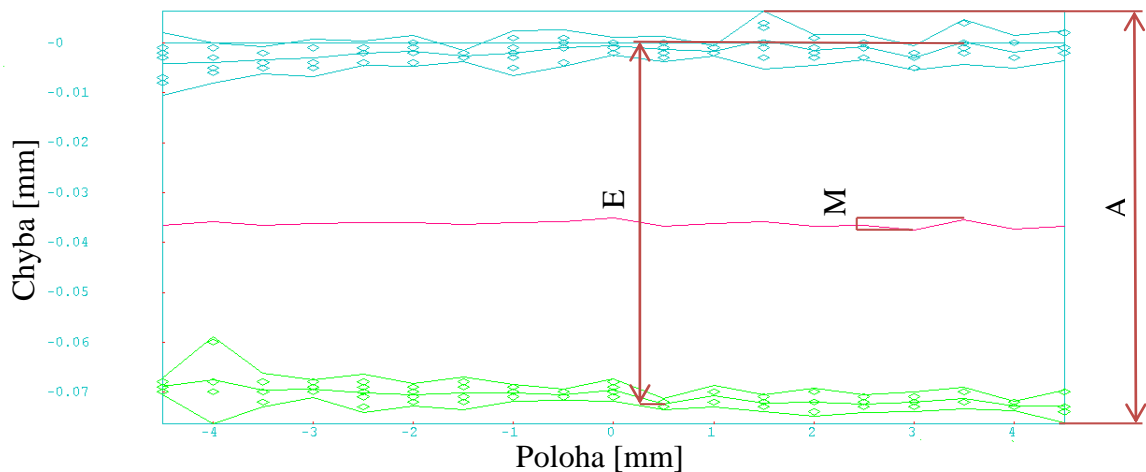
Obr. 50. Průměrné polohové úchytky ve směru Y od +4,5 mm do -4,5mm

V tomto směru v ose Y je parné opotřebení šroubu v rozmezí od +4 mm do +1,5 mm, ale celková chyba těchto hodnot je 0,008 mm.



Obr. 51. Průměrné polohové úchytky ve směru Y od -4,5 mm do +4,5mm

V daném směru je patrné menší opotřebení šroubu než v přechozím směru. Největší je v rozmezí od -4,5 mm do -3,5 mm s celkovou chybou -0,012 mm.



Obr. 52. Zobrazení hodnot M, E, A v ose Y

Z grafu je patrná největší dovolená chyba mikrometrické hlavičky, která je 0,0826 mm. S touto chybou musíme vždy počítat při měření. Pro dané laboratorní měření tato chyba vyhovuje a není nutné mikrometrickou hlavičku vyměňovat.

## 10.6 Relokace

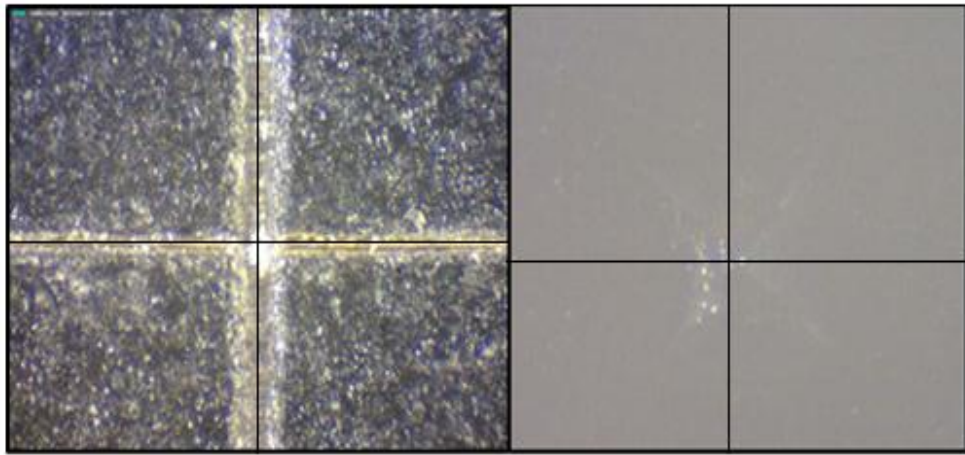
Při kontrole relokace byl zvolen postup:

1. Je nutné zaměřit referenční kříž na relokačním zařízení pomocí optického mikroskopu Carl Zeiss. Z tohoto naměřeného bodu se vychází při měření daného místa na vzorku.
2. Nyní pomocí mikroskopu nalezneme bod na vzorku.

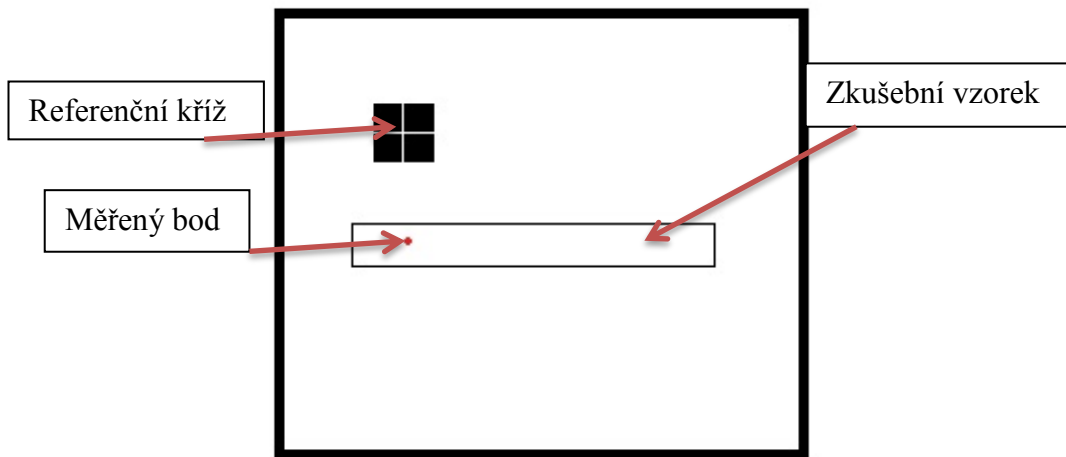
Souřadnice referenčního kříže [1; 21]

Souřadnice bodu na měřeném vzorku [1,38; 36,78]

Výpočet:  $[1-1,38; 36,78-21] = [0,38; 15,78]$  (11)

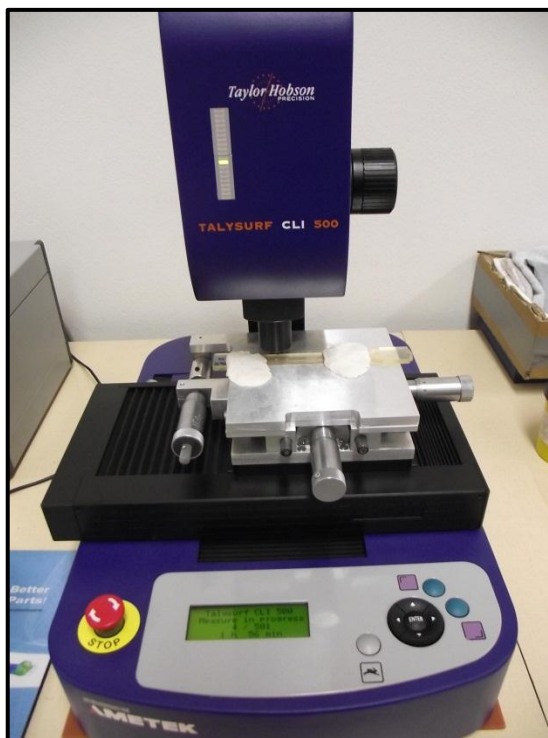


Obr. 53. Zaměření referenčního kříže (vlevo) a bodu na vzorku (vpravo)

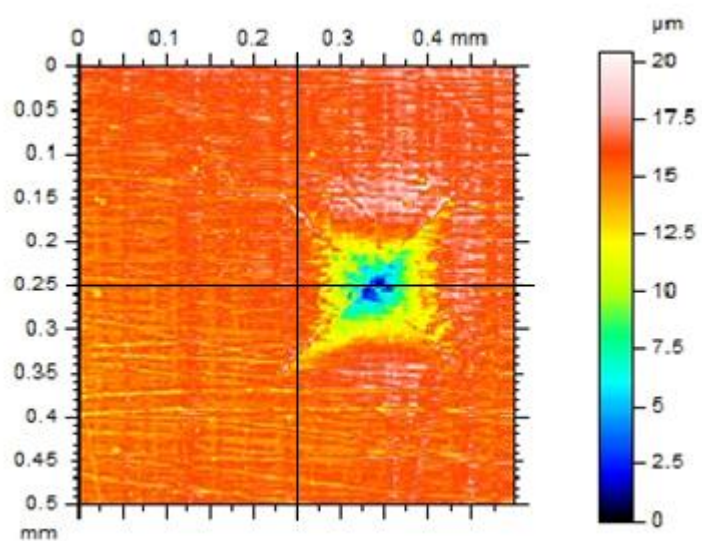


Obr. 54. Schéma měření

- Po zaměření bodu na zkušebním vzorku pomocí optického mikroskopu a odečtení souřadnic bylo relokační zařízení přeneseno na bezdotykový drsnoměr. Následně se zaměřil referenční kříž a byly zadány souřadnice měřeného bodu [0,38; 15,78]. Paprsek bezdotikového drsnoměru najel na zadané souřadnice. Do softwaru, který byl součástí drsnoměru se zadala rychlost posuvu  $50 \mu\text{m/s}$  a velikost snímané plochy  $0,5 \text{ mm}^2$ . Program určil přibližnou délku snímání 2,5 hodiny. Po zadání všech potřebných parametrů se spustilo měření.

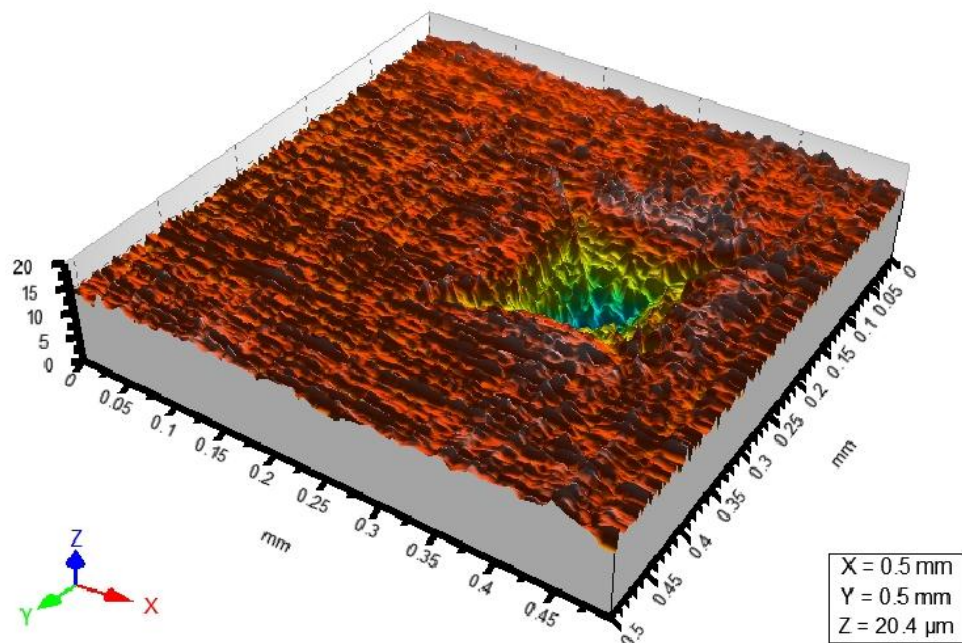


Obr. 55. Měření na drsnoměru



Obr. 56. Zaměřené místo bezdotykovým drsnoměrem





Obr. 57. 3D pohled na měřenou plochu

Z obrázků je patrné, že v ose Y je střed jehlanu v polovině snímané plochy, ale v ose X je jehlan vychýlen o 0,1 mm od středu měřené plochy. Tato chyba mohla vzniknout nezkušeností operátora nebo špatného zaměření referenčního kříže na bezdotykovém drsnoměru.

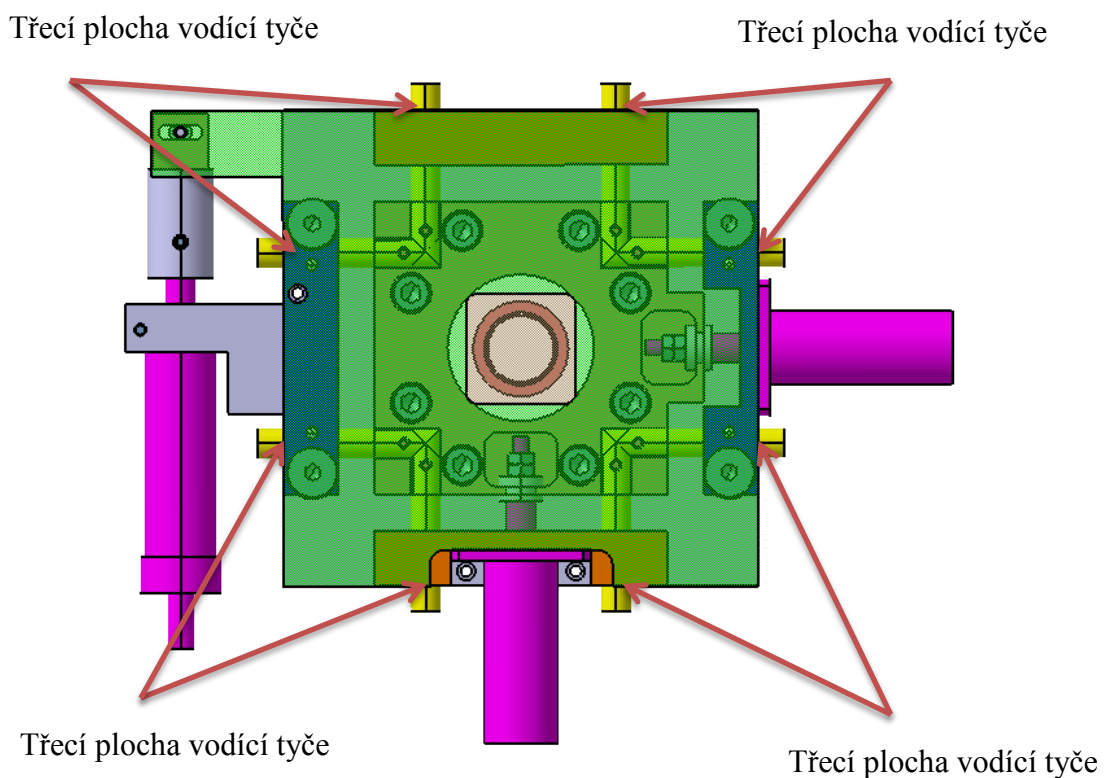
## 11 NÁVRH ÚDRŽBY

Údržbu můžeme rozdělit:

- servisní kontrola
- uživatelská kontrola

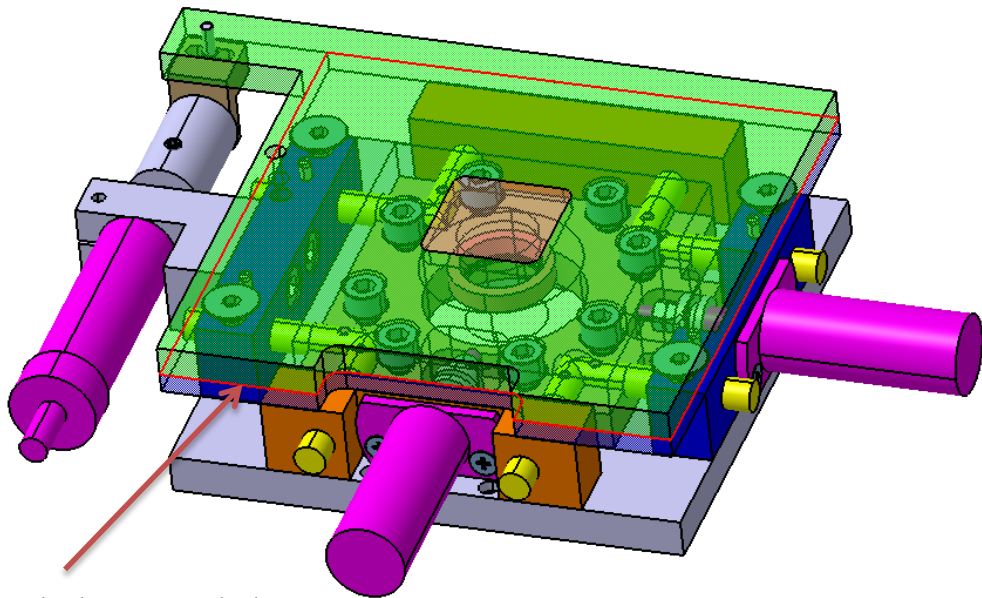
Servisní kontrola zahrnuje vizuální kontrolu a kontrolu funkčnosti mikrometrických hlavic. Zařízení je nutné cele rozmontovat tak, aby byl dobrý přístup k vodícím kolíkům, vedením, kde jsou tyče uloženy, a také k plochám, které se po sobě pohybují.

Důležité je všechny části pečlivě očistit od hrubých nečistot a předešlé mazací kapaliny. Následně je vhodné nanést dostatečné množství kapaliny. Mazací kapalinu je nutno nanést v takovém množství, aby se na ní neusazovaly nečistoty. Následovalo by poškození kluzných ploch. Na správném mazání závisí životnost většiny částí relokačního zařízení.



Obr. 58. Mazání vodících tyčí

Při údržbě je nutné mazat všechny pohyblivé části, které jsou v kontaktu. Při mazání dvou částí – vedení a vodících tyčí je vhodné použít mazací sprej WD-40. Přílnavost WD-40 ke kovům zabezpečí, aby se mazací složky široce rozprostřely a udržely na všech pohybujiících se částech ošetřovaného mechanismu. WD-40 neobsahuje žádné silikony ani jiné přísady přitahující prachové částice a způsobující tak vznik nánosů špíny a mastnoty.



Třecí plocha otočné desky

Obr. 59. Mazání třecí plochy otočné desky

Méně namáhanou částí je třecí plocha otočné desky. Nebude namáhána tak často jako vodící tyče, proto jako mazací kapalina je zvolen strojní olej Renolin MA 46. Slouží pro méně namáhané součásti, je odolný proti stárnutí a má ochranné vlastnosti.

Uživatelská kontrola zahrnuje tyto body údržby:

- Kontrola mikrometrů
- Kontrola vodících tyčí
- Kontrola vedení
- Kontrola otočného čepu
- Kontrola všech pohybů
- Očištění vedení od starého maziva
- Očištění vodících tyčí od starého maziva
- Mazání vodících tyčí
- Mazání třecí plochy otočné desky
- Kontrola dotažení šroubů

## 12 POROVNÁNÍ CEN

Po návrhu relokačního zařízení bylo důležité najít firmu, která zařízení vyrobí tak, aby splňovali požadavky. Nejdůležitějším faktorem byla cena, od které se samozřejmě bude odvíjet kvalita výrobku a použitá levná technologie.

Na doporučení byly zvoleny dvě firmy KZK Bojkovice a Kovoobráběčství Bajer. Tyto firmy splňovali požadavky strojního vybavení, kvality výroby, výrobní cenu a krátké dodací lhůty.

U první firmy KZK Bojkovice, s.r.o. byl termín dodání deset dnů. Delší termín dodání byl z důvodu čekání na požadovaný materiál. Celková cena výroby relokačního zařízení byla spočítána na 16 805Kč.

Druhá firma Kovoobráběčství Bajer určila dobu dodání do dvou týdnů. Důvodem delšího dodání je nemožnost kalení ve firmě což celkovou cenu navýší. U této firmy byla cena výrazně vyšší než u předchozí. Celková cena je 19 856 Kč.

Důležité bylo obrobit díly za co nejmenší náklady a použití levnějších technologií (soustružení a frézování).

Tab. 8. Srovnání cen

Firma	KZK Bojkovice [Kč]	Kovoobráběčství Bajer [Kč]
Název		
Kostka pravá	2325	3635
Kostka levá	2525	4025
Vodící tyč	700	1680
Vedení 1	725	480
Vedení 2	925	590
Vedení 3	925	530
Vedení 4	955	600
Upínací deska	1165	1380
Horní deska	950	965
Otočná deska	1370	930
Otočný čep	355	340
Středící kroužek	210	175
Úchyt mikro. hlav.	625	430
Váleček	230	385
Kloub	990	1496
Kolík	360	350
Opěrný váleček	170	215

<b>Sestavení</b>	1200	1500
<b>Spojovací materiál</b>	100	100
<b>Celkem</b>	<b>16 805</b>	<b>19 856</b>

Z tabulky 8. jsou patrné cenové rozdíly jednotlivých dílů. To nejvíce ovlivnila zvolená technologie obrábění a technologický postup. Výrazně se odlišují dva díly kostka pravá a kostka levá. Důvod je zvolená technologie výroby děr na vodící tyče viz příloha.

Tab. 9. Shrnutí cen jednotlivých technologií

<b>Technologie</b>	<b>Cena KZK [Kč]</b>	<b>Cena Kovoobráběčství Bajer [Kč]</b>
<b>Frézování</b>	9450	8707
<b>Broušení</b>	2870	4159
<b>Hloubení</b>	750	1200
<b>Drátovka</b>	900	640
<b>Soustružení</b>	745	1505
<b>Kalení</b>	140	690
<b>Celkem tech.</b>	<b>14 855</b>	<b>16 901</b>

V tabulce jsou shrnuty celkové ceny jednotlivých technologií. Výrazně se odlišuje broušení a kalení. Odlišnosti cen v kalení jsou zapříčiněny tím, že u firmy KZK se jednotlivé díly přidali ke větší zakázce, a tím se cena výrazně snížila. U firmy Kovoobráběčství Bajer se na kalení poslaly pouze díly určené pro relokační zařízení.

## ZÁVĚR

V teoretické části jsem se zabýval delkovými měřidly, ať už to jsou mechanická, optická nebo laser. Následně byly popsány chyby měření, které mohou nastat při měření a jak je lze minimalizovat. Zkoušení jednotlivých přístrojů probíhá podle normy ISO 230-2, která popisuje podmínky měření a samotný postup měření.

Cílem praktické části bylo navrhnout několik konstrukčních řešení relokačního zařízení a provést kontrolu mikrometrických hlavic. Při návrhu bylo nutné dodržet požadavky tak, aby zařízení bylo co nejlehčí a kompaktní.

Dále v praktické části byly navrženy a porovnány jednotlivé návrhy. A byly popsány jejich přednosti. Následně byla vybrána jedna varianta, která byla vyrobena. Vyrobené relokační zařízení má pohyby v ose X, Y a rotační pohyb, které zajišťují mikrometrické hlavice. Posuv v jednotlivých osách je od -5 do + 5 mm. Směr pohybu je zajištěn vodíci tyčemi, které jsou uloženy ve vedení. Celé zařízení bylo nutné vyrobit, co nejlehčí z důvodu menší nosnosti bezdotykového drsnoměru Taylor and Hobson CLI, pro které bylo zařízení určeno.

Po zkonstruování relokačního zařízení byla ověřena přesnost jednotlivých mikrometrických hlavic v daných osách. Měření se provádělo pomocí laseru Renishaw XL-80. V ose X byla hodnota chyby 0,0948 mm a v ose Y byla 0,0826 mm. S těmito chybami se musí vždy počítat při každém polohování.

Součástí praktické části bylo ověření přesnosti relokační. To bylo provedeno pomocí optického mikroskopu Carl Zeiss, kde byl zaměřen referenční kříž a následně od referenčního kříže byly zjištěny souřadnice měřeného bodu na zkušební vzorku. Relokační zařízení se přeneslo na bezdotykový drsnoměr Taylor and Hobson CLI a následně byly ověřeny souřadnice měřeného bodu. V ose X byl měřený bod vychýlen o 0,1 mm od středu měřené plochy a v ose Y byla poloha nevychýlena. Dále byla ověřena hmotnost relokačního zařízení, která je 2,5 Kg což dokazuje dodržení maximální hmotnosti 4 Kg. Rezerva hmotnosti slouží pro upínací zařízení nebo pro těžší vzorky.

V poslední části práce bylo relokační zařízení naceněno dvěma firmami. U první firmy KZK byla cena zařízení 16 805 Kč u druhé firmy Kovoobráběčství Bajer byla cena 19 856 Kč. Podle nejnižší ceny by byl zvolen výrobce zařízení.

Jako součást diplomové práce byla také výkresová dokumentace, která byla použita při výrobě relokačního zařízení. Po vyrobení, sestavení a odladění všech pohybů byly provedeny jednotlivá měření. Zařízení bylo následně předáno do laboratoře metrologie Ústavu výrobního inženýrství do užívání.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] CHUDÝ, Vladimír, a kolektiv. *Meranie technických veličín*. Bratislava, Vazovova 5 : Slovenská technická univerzita v Bratislave vo Vydavateľstve STU, 1999. 678 s. ISBN 80-227-1275-2.
- [2] PETŘKOVSKÁ, Lenka; ČEPOVÁ, Lenka. *Strojírenská metrologie : Studijní opora „Strojírenská metrologie“* [online]. první. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011 [cit. 2011-11-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.346.vsb.cz/Petrkovska,%20Cepova%20-%20strojirenska%20metrologie.pdf>
- [3] REICHEL, Jaroslav; VŠETIČKA, Martin. *Http://fyzika.jreichl.com* [online]. 2006 [cit. 2011-11-24]. Encyklopedie fyziky. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/524-projektory-pristroje-promitajici-nehybnu-predlohu>>.
- [4] REICHEL, Jaroslav; VŠETIČKA, Martin. *Http://fyzika.jreichl.com* [online]. 2006 [cit. 2011-11-24]. Encyklopedie fyziky. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/787-lasery-kapalinove>>.
- [5] REICHEL, Jaroslav; VŠETIČKA, Martin. *Http://fyzika.jreichl.com* [online]. 2006 [cit. 2011-10-20]. Encyklopedie fyziky. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/786-lasery-vyuzivajici-pevne-latky>>.
- [6] REICHEL, Jaroslav; VŠETIČKA, Martin. *Http://fyzika.jreichl.com* [online]. 2006 [cit. 2011-10-25]. Encyklopedie fyziky. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/788-lasery-plynove>>.
- [7] *Souřadnicové měřící stroje* [online]. první. [s.l.] : Katedra výrobních systémů, 2005 [cit. 2011-11-24]. Dostupné z WWW: <[http://www.kvs.tul.cz/download/rapid\\_prototyping/rp1\\_skripta.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf)>.
- [8] HRUŠKA, Karel; BRADÍK, Josef. *Stanovení nejistot při měření parametrů jakosti*. první. Brno : Tisk Reprocentrum, a.s., Blansko, 2001. 113 s. ISBN 80-214-1656-1.
- [9] TICHÁ, Šárka ; ADAMEC, Jaromír . *NÁVODY DO CVIČENÍ Z PŘEDMĚTU STROJÍRENSKÁ METROLOGIE* [online]. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2008 [cit. 2011-10-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.fs.vsb.cz/books/StrojMetro/strojirenska-metrologie-cviceni.pdf>>.



[10] *Www.renishaw.cz* [online]. 2007 [cit. 2011-12-04]. XL-80 Laserový systém. Dostupné z WWW: <<http://www.renishaw.cz>>.

[11] ISO 230-2 Zásady zkoušek obráběcích strojů – Část 2: Stanovení přesnosti a opakovatelnosti nastavení polohy v číslicově řízených osách

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Jednotka	Název
$L, l$	[mm]	délka
$m$	[kg]	hmotnost
$t$	[s]	čas
$T$	[K]	teplota
$M$	[mol]	látkové množství
$I$	[A]	elektrický proud (strana 12)
$I$	[cd]	svítivost (strana 12)
$f$	[Hz]	frekvence
$p$	[Pa]	tlak
$\Delta_{(X)}$	[mm]	absolutní chyba
$X_N$	[-]	údaj měřicího systému
$X_S$	[-]	konvenčně pravá hodnota
$\delta_{(Y)}$	[-]	relativní chyba
$\Delta_s$	[mm]	systematická chyba
$\Delta_L$	[mm]	chyba měření
$X$	[mm]	vzdálenost rovin
$u_A$	[mm]	nejistota typu A
$u_B$	[mm]	nejistota typu B
$k$	[-]	koeficient poměrné rozdělení
$u_{B1}$	[mm]	chyba měřidla
$u_{B2}$	[mm]	chyba obsluhy
$u_C$	[mm]	kombinovaná chyba
$U$	[-]	rozšířená standartní nejistota

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Univerzální posuvné měřidlo [2] .....	15
Obr. 2. Digitální posuvné měřidlo [2] .....	16
Obr. 3. Posuvný hloubkoměr [2] .....	16
Obr. 4. Posuvný digitální výškoměr [4] .....	17
Obr. 5. Třmenový mikrometr [2] .....	17
Obr. 6. Třmenový digitální mikrometr [2] .....	18
Obr. 7. Digitální úchylkoměr [2] .....	19
Obr. 8. Univerzální úchylkoměr [2] .....	19
Obr. 9. Měřicí mikroskop [1] .....	20
Obr. 10. Epiprojektor [3] .....	21
Obr. 11. Diaprojektor [3] .....	22
Obr. 12. Zpětný projektor [3] .....	24
Obr. 13. Interferenční jev [1] .....	24
Obr. 14. Interferenční odchylkoměr [1] .....	25
Obr. 15. Schéma polovodičového laseru [5] .....	27
Obr. 16. Helium neonový laser [6] .....	28
Obr. 17. Laser XL-80 [10] .....	29
Obr. 18. Abbeho princip [9] .....	33
Obr. 19. Chyba 2. řádu .....	33
Obr. 20. Paralakční chyba [9] .....	34
Obr. 21. Postup vyjadřování nejistot [8] .....	35
Obr. 22. Vektorový součet nejistot .....	37
Obr. 23. Zkušební cyklus [11] .....	39
Obr. 24. Bezdotykový drsnoměr .....	43
Obr. 25. Návrh I. ....	44
Obr. 26. Návrh II. ....	45
Obr. 27. Způsoby rotace .....	46
Obr. 28. Pohyb v ose – varianta I. ....	47
Obr. 29. Pohyb v ose – varianta II. ....	47
Obr. 30. Způsob otáčení – varianta I. ....	48
Obr. 31. Způsob otáčení – varianta II. ....	48
Obr. 32. Vedení I. ....	49

Obr. 33. Vedení II. ....	49
Obr. 34. Zhotovený II. návrh .....	50
Obr. 35. Sestavení – část 1.....	51
Obr. 36. Sestavení – část 2.....	51
Obr. 37. Sestavení – část 3.....	52
Obr. 38. Sestavení – část 3.....	52
Obr. 39. Sestavení – část 4.....	53
Obr. 40. Dílenský mikroskop s relokačním zařízením .....	54
Obr. 41. Vyrovnání měřicí sestavy .....	55
Obr. 42. Paprsek na odražeči [10].....	55
Obr. 43. Odražený paprsek [10].....	56
Obr. 44. Nastavení optického zařízení [10] .....	56
Obr. 45. Schéma měření .....	57
Obr. 46. Prostředí programu Renishaw LaserXL Capture.....	58
Obr. 47. Průměrné polohové úchylky ve směru X od +4,5 mm do -4,5mm .....	59
Obr. 48. Průměrné polohové úchylky ve směru X od -4,5 mm do +4,5mm .....	59
Obr. 49. Zobrazení hodnot M,E,A v ose X.....	60
Obr. 50. Průměrné polohové úchylky ve směru Y od +4,5 mm do -4,5mm .....	61
Obr. 51. Průměrné polohové úchylky ve směru Y od -4,5 mm do +4,5mm .....	61
Obr. 52. Zobrazení hodnot M, E, A v ose Y .....	62
Obr. 53. Zaměření referenčního kříže (vlevo) a bodu na vzorku (vpravo).....	63
Obr. 54. Schéma měření .....	63
Obr. 55. Měření na drsnoměru.....	64
Obr. 56. Zaměřené místo bezdotykovým drsnoměrem .....	64
Obr. 57. 3D pohled na měřenou plochu.....	65
Obr. 58. Mazání vodících tyčí .....	66
Obr. 59. Mazání třecí plochy otočné desky .....	67

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1. SI jednotky [1] .....	12
Tab. 2. Polohy pro otočné osy [11] .....	40
Tab. 3. Nastavení .....	58
Tab. 4. Podmínky měření v ose X .....	58
Tab. 5. Naměřená data v ose X .....	59
Tab. 6. Podmínky měření v ose Y .....	60
Tab. 7. Naměřená data v ose Y .....	60
Tab. 8. Srovnání cen .....	68
Tab. 9. Shrnutí cen jednotlivých technologií .....	69

## SEZNAM PŘÍLOH

### Přílohy vázané:

Příloha PI: Tabulka cen firmy KZK

Příloha PII: Tabulka cen firmy Kovoobráběčství Bajer

### Přílohy volně vložené:

- DVD disk obsahující:
  - Diplomovou práci
  - Naměřená data
  - Modely návrhů

### Výkresy:

Příloha číslo IV	číslo výkresu 1.	Sestava
Příloha číslo V	číslo výkresu 2.	Kusovník
Příloha číslo V	číslo výkresu 3.	Vedení 1
Příloha číslo VI	číslo výkresu 4.	Vedení 2
Příloha číslo VII	číslo výkresu 5.	Vedení 3
Příloha číslo VIII	číslo výkresu 6.	Vedení 4
Příloha číslo VIV	číslo výkresu 7.	Upínací deska
Příloha číslo X	číslo výkresu 8.	Horní deska
Příloha číslo XI	číslo výkresu 9.	Otočná deska
Příloha číslo XII	číslo výkresu 10.	Otočný čep
Příloha číslo XIII	číslo výkresu 11.	Středící kroužek
Příloha číslo XIV	číslo výkresu 12.	Úchyt mik.hl.
Příloha číslo XV	číslo výkresu 13.	Váleček
Příloha číslo XVI	číslo výkresu 14.	Kloub
Příloha číslo XVII	číslo výkresu 15.	Kolík
Příloha číslo XVIII	číslo výkresu 16.	Opěrný váleček

Příloha číslo XIV	číslo výkresu 17.	Vodící tyč
Příloha číslo XX	číslo výkresu 18.	Kostka pravá
Příloha číslo XXI	číslo výkresu 19.	Kostka levá

## PŘÍLOHA P I:

Tabulka cen firmy KZK

Jednotlivý díl	Celková cena [Kč]	Materiál [Kč]	Frézování [Kč]	Broušení [Kč]	Hloubení [Kč]	Drátovka [Kč]	Soustružení [Kč]	Kalení [Kč]
Kostka pravá	2325	80	1600	250	375	0	0	20
Kostka levá	2525	80	1800	250	375	0	0	20
Vodící tyč	700	100	0	0	0	600	0	0
Vedení 1	725	25	600	100	0	0	0	0
Vedení 2	925	25	800	100	0	0	0	0
Vedení 3	925	25	800	100	0	0	0	0
Vedení 4	955	25	830	100	0	0	0	0
Upínací deska	1165	65	600	500	0	0	0	0
Horní deska	950	50	400	500	0	0	0	0
Otočná deska	1370	70	800	500	0	0	0	0
Otočný čep	355	20	150	10	0	0	175	0
Středící kroužek	210	10	0	80	0	0	100	20
Úchyt mik.hl.	625	25	600	0	0	0	0	0
Váleček	230	10	70	0	0	0	150	0
Kloub	990	20	400	250	0	300	0	20
Kolík	360	10	0	120	0	0	200	30
Opěrný váleček	170	10	0	10	0	0	120	30
Sestavení	1200	0	0	0	0	0	0	0
Spojovací materiál	100							
<b>Celkem [Kč]</b>	<b>16805</b>	<b>650</b>	<b>9450</b>	<b>2870</b>	<b>750</b>	<b>900</b>	<b>745</b>	<b>140</b>



## PŘÍLOHA P II:

Tabulka cen firmy Kovoobráběčství Bajer

Jednotlivý díl	Celková cena [Kč]	Materiál [Kč]	Frézování [Kč]	Broušení [Kč]	Hloubení [Kč]	Drátovka [Kč]	Soustružení [Kč]	Kalení [Kč]
Kostka pravá	3635	160	1500	1240	600	0	0	135
Kostka levá	4025	160	1700	1480	600	0	0	135
Vodící tyč	1680	80	280	400	0	0	640	280
Vedení 1	480	80	360	33	0	0	0	0
Vedení 2	590	80	460	48	0	0	0	0
Vedení 3	530	80	411	33	0	0	0	0
Vedení 4	600	80	475	40	0	0	0	0
Upínací deska	1380	130	1120	130	0	0	0	0
Horní deska	965	110	705	150	0	0	0	0
Otočná deska	930	160	670	100	0	0	0	0
Otočný čep	340	35	135	15	0	0	155	0
Středící kroužek	175	10	0	65	0	0	65	35
Úchyt mik.hl.	430	55	375	0	0	0	0	0
Váleček	385	25	70	0	0	0	290	0
Kloub	1496	50	446	320	0	640	0	40
Kolík	350	30	0	40	0	0	250	30
Opěrný váleček	215	10	0	65	0	0	105	35
Sestavení	1500	0	0	0	0	0	0	0
Spojovací materiál	100							
<b>Celkem [Kč]</b>	<b>19856</b>	<b>1335</b>	<b>8707</b>	<b>4159</b>	<b>1200</b>	<b>640</b>	<b>1505</b>	<b>690</b>