

# **Optické měření dlouhých štíhlých strojních součástí**

Jiří Gergel

---

Bakalářská práce  
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Jiří GERGEL  
Osobní číslo: T08592  
Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství  
Studijní obor: Technologická zařízení  
  
Téma práce: Optické měření dlouhých štíhlých strojních součástí

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešerši na dané téma.
2. Vypracujte návrh přístroje pro měření daných strojních součástí.
3. Proveďte zpracování technické dokumentace jednotlivých částí přístroje.
4. Zhodnoťte zvolené metody použité při měření.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího bakalářské práce**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. František Volek, CSc.**  
Ústav výrobního inženýrství

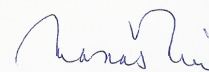
Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2011**

Ve Zlíně dne 12. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: GERGEL JIRÍObor: PI**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 užit 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 18. 8. 2011



<sup>41</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 nahlázení 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>42</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>43</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). Odporují-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 výdělků 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 výdělků dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Práce se v první části zabývá popisem délkového měření obecně, dále měřidly přímými, pevnými a nepřímými. Druhá část popisuje návrh a realizaci měřícího zařízení využívající optický kamerový systém.

Klíčová slova: měření, optika, kamera, objektiv, strojní součásti, zařízení

## **ABSTRACT**

Labour in the first part deals with the description of longitudinal measurements in general and direct gauges, indirect and hard. The second part describes the design and implementation of the measuring device that uses an optical camera system.

Keywords: measurent, optics, camera, lens, machinery parts, mechanism

Za pomoc při realizaci této práce bych rád poděkoval mému otci Ing. Jiřímu Gergelovi, zaměstnancům firmy Gergel s.r.o. a také mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Františku Volekovi, CSc.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem citoval(a). V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden(a) jako spoluautor(ka).

Ve Zlíně

.....

Podpis studenta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 MĚŘIDLA</b> .....	<b>12</b>
1.1 MĚŘENÍ DÉLEK .....	12
1.1.1 Měřidla používaná k měření délek .....	12
1.1.2 Zásady správného měření.....	12
1.2 MĚŘIDLA PŘÍMA .....	13
1.2.1 Měření rozměrů s přesností 0,02 až 0,1 mm .....	13
1.2.1.1 Posuvná měřítka.....	13
1.2.1.2 Hloubkoměry .....	14
1.2.1.3 Výškoměry .....	15
1.2.2 Měření rozměrů s přesností 0,01 .....	16
1.2.2.1 Třmenový mikrometr .....	16
1.2.2.2 Mikrometry pro měření vnitřních rozměrů a hloubky .....	17
1.2.2.3 Mikrometrické hloubkoměry .....	18
1.3 MĚŘIDLA PEVNÁ .....	19
1.3.1 Základní měrky rovnoběžné.....	19
1.3.2 Mezní měřidla .....	20
1.3.2.1 Kalibry pro měření děr.....	20
1.3.2.2 Kalibry pro měření hřidelí .....	20
1.4 MĚŘIDLA NEPŘÍMÁ.....	22
1.4.1 Mechanické komparátory .....	22
1.4.1.1 Přístroje s pákovým převodem .....	23
1.4.1.2 Přístroje s pružinovým převodem .....	23
1.4.1.3 Přístroje s převodem ozubených kol.....	24
1.4.1.4 Přístroje s kombinovaným převodem .....	26
1.4.2 Elektrické komparátory .....	27
1.4.2.1 Elektrokontaktní snímače.....	27
1.4.2.2 Kapacitní .....	28
1.4.3 Pneumatické komparátory.....	29
1.4.3.1 Tlakové pneumatické přístroje.....	29
1.4.3.2 Průtocné pneumatické přístroje .....	30
1.4.3.3 Rychlostní pneumatické přístroje .....	30
1.4.4 Optické komparátory.....	31
1.4.4.1 Měřidla s opticko – mechanickým převodem.....	31
1.4.4.2 Průmyslové CCD kamery .....	32
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>35</b>
<b>2 NÁVRH ZAŘÍZENÍ</b> .....	<b>36</b>
2.1 VÝCHOZÍ PARAMETRY PRO KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ ZAŘÍZENÍ.....	37
2.2 NÁVRCH USPOŘÁDÁNÍ KAMEROVÉHO SYSTÉMU .....	38
<b>3 POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ</b> .....	<b>41</b>
3.1 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ V SOFTWARE AUTODESK INVENTOR 2009.....	41
3.2 POPIS JEDNOTLIVÝCH KOMPONENT .....	42
3.2.1 Nosná deska .....	42



3.2.2	Kamerový suport .....	43
3.2.2.1	Kamery .....	43
3.2.2.2	Objektiv .....	44
3.2.2.3	Osvětlovací jednotka .....	46
3.2.2.4	Lineární vedení .....	47
3.2.3	Pohybový šroub .....	48
3.2.4	Krokový motor se sklíčidlem .....	49
3.2.4.1	Sklíčidlo .....	49
3.2.4.2	Pohon sklíčidla .....	50
3.2.5	Koník .....	51
3.2.6	Kryt .....	52
3.2.7	Ovládací systém .....	52
<b>4</b>	<b>FINAČNÍ ZHODNOCENÍ PROJEKTU .....</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>VÝSTUPNÍ PROTOKOL MĚŘENÍ .....</b>	<b>57</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>62</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>65</b>

## ÚVOD

V dnešní době je kladen velký důraz na výstupní jakost výrobků. Zákazníci mají stále více složitější technologické požadavky s minimální tolerancí chyb. Abychom mohli takové výsledky zaručit, potřebujeme měřicí přístroje, které nám pomohou odhalit případné nedostatky při výrobě a hlavně mohou deklarovat zákazníkovi přesnost našeho výrobku.

Svojí prací jsem chtěl přispět a hlavně porozumět problematice měření pomocí optického kamerového systému, při návrhu měřicího zařízení na daný problém. Cílem bylo vytvoření zařízení, schopné optickou metodou měřit dlouhé štíhlé strojní součásti a které by bylo automatizované a říditelné pomocí počítače.

Nejprve se musel provést návrh vhodné metody snímání, způsob, jakým bude snímání probíhat a hlavně vše zakomponovat v jeden funkční celek. Dále bylo nutné provést návrh dle požadovaných podmínek na přesnost a rozsah měření, konstrukční návrh v PC softwaru, výrobu a nákup potřebných komponentů. Následovala montáž zařízení a finanční vyhodnocení.

## I. TEORETICKÁ ČÁST

## 1 MĚŘIDLA

Základním požadavkem strojírenské výroby je dosažení určitého stupně nahraditelnosti součástí, případně nějakých celků či skupin součástí jednotlivých strojů nebo přístrojů. Z hlediska nahraditelnosti je nutné dodržet všechny tolerance jednotlivých rozměrů vyráběných součástí, které jsou předepsané na výkrese. Musí být teda možné uvedené rozměry s dostatečnou přesností určit – změřit. [1]

### 1.1 Měření délek

Délkové rozměry součástí je možné měřit přímou nebo nepřímou metodou. U přímého měření se odečítá číselná hodnota rozměru přímo pomocí měřidel nebo měřících přístrojů. Přímé měření se používá převážně v kusové výrobě, kde je například potřeba změřit více rozměrů za pomoci pouze jednoho měřidla. Nepřímá metoda je metoda porovnávací neboli komparační. Při nepřímém nepřímém měření je porovnáván rozměr součástky s neměnným nebo nastavitelným rozměrem měřidla nebo přístroje. Výsledkem takového měření pak není číselná hodnota kontrolovaného rozměru, ale zjištění, zda je výrobek dobrý nebo zmetkový, to znamená, že odchylka je v dovolených mezích. Nepřímé měření najde využití zejména v hromadné výrobě. Při nepřímém měření je možné kontrolovat pouze jeden rozměr. [1]

#### 1.1.1 Měřidla používaná k měření délek

- měřidla přímá: pravítka, posuvná měřidla, mikrometry
- měřidla pevná: základní měrky, kalibry
- měřidla nepřímá: komparátory

#### 1.1.2 Zásady správného měření

- Pro měření volíme vhodné měřidlo podle požadované přesnosti měření
- Měřená součástka i měřidlo musí mít stejnou teplotu (měřidla jsou nejčastěji cejkována při pokojové teplotě 20°C)
- Při měření většího počtu součástek jsou měřidla upínány do vhodného přípravku
- Při používání měřidel je zapotřebí pracovat s citem, ne násilím
- Měřená součástka i dotykové plochy měřidla musí být čisté
- Při měření musí dotykové plochy měřidla správně přiléhat k měřené součástce



- Osa měření má být přímým pokračováním osy měřidla, tam kde to není možné, musí být zvolena co nejmenší vzdálenost mezi součástkou a měřidlem
- Ruční přenosná měřidla pokládáme na měkkou podložku oddělené od jiných předmětů
- Po použití měřidlo očistíme, podle potřeby nakonzervujeme a uložíme do pouzdra
- Přesnost měřidel pravidelně kontrolujeme základními rovnoběžnými měrkami
- Kontrolujeme a nastavujeme také nulovou hodnotu

## 1.2 Měřidla přímá

K určení rozměrů délek s přesností 0,2 až 0,5 mm se používají tyčová ocelová měřidla, ohebná pásková měřítka a pro součástky větších rozměrů ocelová měřící pásma. Stupnice těchto měřidel je dělena po celých milimetrech nebo po 0,5 mm. Délkové rozdíly menší než 0,5 mm lze proto jen odhadnout. Výhodou ohebných měřítek je bezesporu možnost měřit také délky oblouků [1]

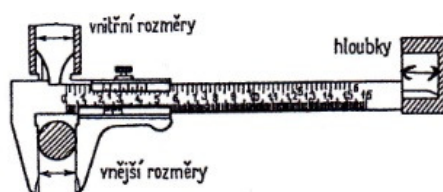
### 1.2.1 Měření rozměrů s přesností 0,02 až 0,1 mm

Často je zapotřebí měřit věci s větší přesností, než umožňují běžné svinovací metry nebo pravítka. Této přesnosti se dosahuje při měření rozměrů posuvným měřítkem. Posuvná měřítka jsou nejrozšířenější měřidla ve výrobě a jsou normalizována ČSN 25 1230 jako

- Dílenská – s noniovou diferencí 0,1 a 0,05 mm
- Kontrolní – s noniovou diferencí 0,02 mm

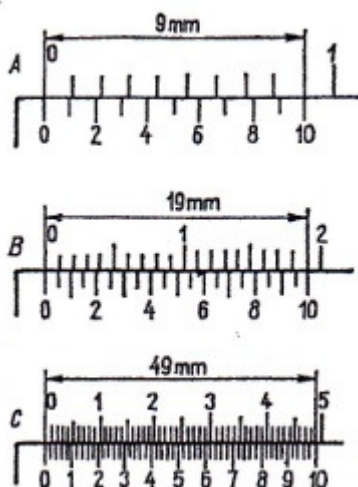
#### 1.2.1.1 Posuvná měřítka

Jsou délková měřidla s rovnoběžnými rovinnými měřícími plochami na hlavním (pevném) měřítku s milimetrovou stupnicí a pomocném (posuvném) měřítku s noniem. Mezi nimi je možno v určitém měřícím rozsahu měřit délky vně i uvnitř součástky. Přesnost měření je pak dána noniovou diferencí. [1]



Obr. 1 – Posuvné měřítko [1]

Noniová diference je dána poměrem velikosti jednoho dílku hlavního měřítka k celkovému počtu dílků noniové stupnice a je 0,1, 0,5 a 0,02 mm [1]



Obr. 2 – Vytvoření nonia s diferencí 0,1, 0,5 a 0,02 mm [1]

Přesnost čtení 0,1 mm vznikne tím, že 9 mm na pevném měřítku je rozděleno na 10 dílků (Obr. 2A). To znamená, že každý dílek nonia je o noniovou diferenci 0,1 mm kratší než dílky na hlavní stupnici. [1]

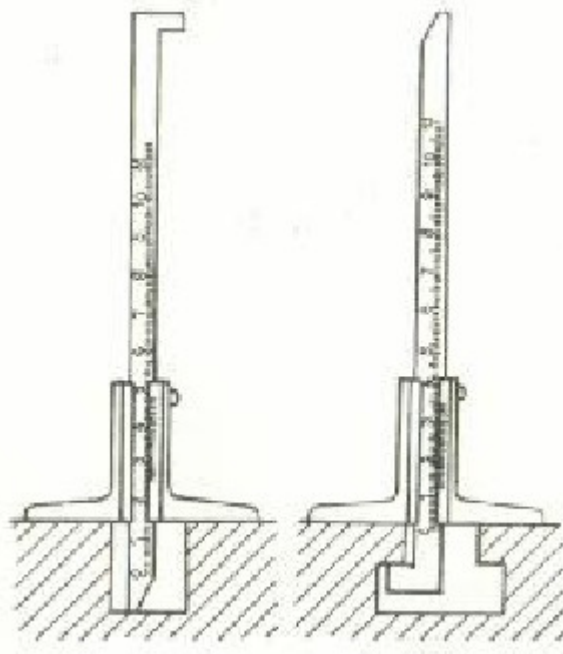
Při měření rozměrů se nejprve odečte velikost rozměru v celých milimetrech k počátku nonia a dále se zjistí, který dílek nonia se kryje s dílkem na hlavní stupnici. Tento dílek pak udává zbývající část měřeného rozměru, například v desetinách milimetru. Skutečný rozměr je pak součtem obou údajů. Přesnost čtení 0,05 nebo 0,02 mm se získá vytvořením nonia podle Obr. 2B, C. [1]

Vnější rozměry součástek se měří posuvným měřítkem tak, že součást se sevře mezi pevný a posuvný dotyk. Po odečtení rozměru se dotyky oddálí a součástka se vyjme. Má-li pevný i posuvný dotyk zkosení, je možné měřit snadno například průměr zápichu.

Pro měření hloubek mají některá posuvná měřítka též hloubkoměr. [1]

### 1.2.1.2 Hloubkoměry

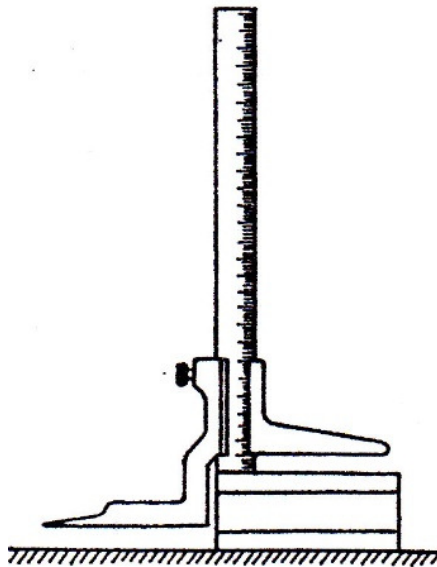
Jsou určeny pro měření drážek, hloubky děr, vybraní apod. Jsou to vlastně upravená posuvná měřítka. Při měření se hloubkoměr svou pevnou částí přiloží na měřenou součástku a jeho posuvná část se vysouvá, až se dotkne dna otvoru. Na noniu se odečte příslušný rozměr. Je-li výsuvná část hloubkoměru s výstupkem, je tak možné měřit i osazené otvory. [1]



Obr. 3 – Hloubkoměry [1]

### 1.2.1.3 Výškoměry

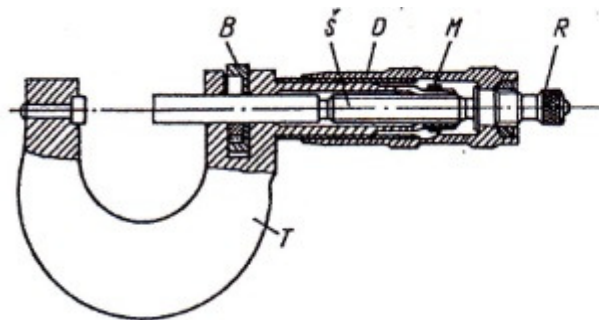
Měří výšku součástky položené na kontrolní desce. Držák výškoměru má pevné měřítko se stupnicí, po kterém se posouvá měřící dotyk. Jako výškoměr lze také použít upraveného posuvného měřítka upevněného do zvláštního stojánu. [1]



Obr. 4 – Výškoměr [1]

### 1.2.2 Měření rozměrů s přesností 0,01

Této přesnosti se dosáhne při měření rozměrů mikrometrickými měřidly, úchylkoměry a měřicími přístroji s pákovým nebo pružinovým převodem. Mikrometrická měřidla měří absolutní údaj rozměru na stupnici (přímé měření), ostatní jmenované měřicí přístroje měří odchylky od předem nastaveného rozměru (porovnávací měření). [1]



Obr. 51. Třmenový mikrometr  
*T* – třmen,  
*S* – mikrometrický šroub,  
*M* – kuželová matice,  
*D* – bubínek, *B* – brzda,  
*R* – řehčatačka

Obr. 5 – Mikrometr [1]

#### 1.2.2.1 Třmenový mikrometr

Jeho hlavní části jsou: třmen s pevným měřicím dotykem, mikrometrický šroub (posuvný dotyk) a matice o stoupání 0,5 mm, dělicí bubínek, brzda a třecí spojka (řehčatačka),

Při měření mikrometrem se měřená součást opře o pevný dotyk a otáčením bubínku se dotyk šroubu posouvá tak, až dosedne na měřenou součást. Stálá přítlačná síla při měření ( $7 \pm 2$ ) N se zajišťuje třecí spojkou, jejíž pružinka dovoluje pouze vznik síly této velikosti. Velikost rozměru se určuje z délky vyšroubování mikrometrického šroubu a úhlu jeho pootočení. Stupnice mikrometru je dělena po 0,5 mm a obvod měřicího bubínku je dělen na 50 dílků. Pootočí-li se bubínkem o jeden dílek (o jednu padesátinu jeho obvodu, posune se měřicí dotyk o 0,01 mm. Při odečítání rozměru se musí uvážit, zda se údaj nachází v první nebo druhé polovině milimetru stupnice, a počet setin mm odečtený na bubínku správně přičíst k základnímu údaji stupnice. [1]

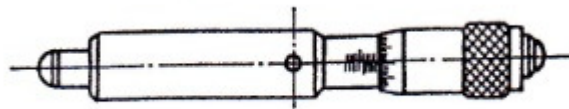
Z výrobních důvodů se rozsah mikrometrů odstupňován po 25 mm, tj. 0 až 25 mm, 25 až 50 mm atd. Pro dosažení většího rozsahu měřených délek je u větších mikrometrů využito vyměnitelného dotyku místo pevného.



V poslední době se vyrábějí mikrometry s digitálním odečítáním hodnot. Pro měření součástí v hromadné výrobě se používá mikrometrů s upravenými měřícími dotyky, někdy i s upraveným tvarem třmenu. Mikrometrický šroub i ostatní části mikrometru se po delším používání opotřebují a proto je možné mikrometry seřizovat. [1]

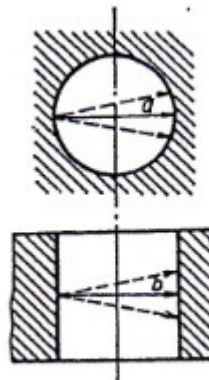
### 1.2.2.2 Mikrometry pro měření vnitřních rozměrů a hloubky

Pro měření vnitřních rozměrů, které se pohybují v rozsahu od 5 do 50 mm, se používá mikrometru připomínající tvarem a provedením posuvné měřítko.



Obr. 6 – Mikrometrotrický odpich [1]

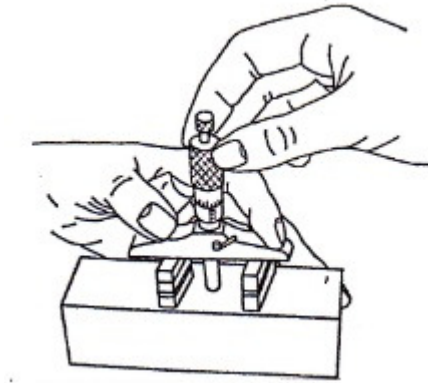
K měření větších vnitřních rozměrů se většinou používá mikrometrických odpichů, což jsou vlastně mikrometrické šrouby s nástavcem určité délky. Mikrometrický odpich má obě koncové dotykové plochy upraveny jako kulové, o poloměru menším, než je poloměr měřeného otvoru. Při měření se otáčí mikrometrickým šroubem a oddalují či přibližují se koncové dotyky. Jde-li o měření průměru válcového otvoru, hledá se největší údaj  $a$  v rovině kolmé na osu a nejmenší rozměr  $b$  v rovině, ve které leží osa otvoru. [1]



Obr. 7 – Měření válcové díry mikrometrickým odpichem [1]

### 1.2.2.3 Mikrometrické hloubkoměry

Jsou určeny pro přesné měření hloubek drážek, otvorů apod. Mikrometrická hlavice je totožná s hlavicí třmenového mikrometru. Pevnou měřicí čelist zde nahrazuje příčník, který má rovnou a zároveň kolmou pevnou plochu k ose pohyblivé čelisti. Na podobném principu jsou též konstruovány mikrometrické výškoměry. [1]



Obr. 8 – Měření mikrometrickým hloubkoměrem [1]

## 1.3 Měřidla pevná

### 1.3.1 Základní měrky rovnoběžné

Používají se pro měření v laboratořích, pro nastavování měřicích přístrojů nebo pro kontrolu měřidel a pro dílenská měření s většími nároky na přesnost. Tyto měrky mají přesnost rozměru až 0,0005 mm. Každá měrka má tvar destičky nebo hranolku s přesnou hodnotou tloušťky nebo výšky. Vyrábějí se z oceli, indukčně se kalí a nechávají se uměle stárnout. Mají malou tepelnou roztažnost, velkou odolnost proti opotřebení a korozi. Přesnost měrek závisí na přesnosti jejich rozměrů, na rovnoběžnosti, rovinnosti a jakosti povrchu měřicích ploch.[1]



Obr. 9 – Základní měrky rovnoběžné [1]

Jsou sestaveny do souprav a vyrábějí se ve čtyřech stupních přesnosti: 0, 1, 2, 3  
0 – nejpreciznější, používají se pro kontrolu a základní měření, mají značku roku výroby a pořadové číslo soupravy měrek.

1 – slouží pro přesné měření v laboratoři výrobního podniku, nemají označený stupeň přesnosti

2 – používají se v oddělení technické kontroly a při výrobě přesných nástrojů, označují se dvěma svislými čarami.

3 – jsou určeny pro dílenské použití, přesnost mají určenou třemi svislými čarami.

V dílenském provozu se používají jako doplňkové příslušenství příložené měrky, kde je jejich cílem zvyšovat životnost základních měrek, vyrábějí se ze slinutých karbidů a mají čtyřicetinasobnou životnost proti nástrojové oceli.

Příklad sestavení rozměru 179,535 mm ze základních měrek:

$$1,005 + 1,03 + 2,5 + 75 + 100 = 179,535 \text{ mm}$$

Rozměr je nutné sestavovat z co nejmenšího počtu měrek (nejvíce 5 měrek). Sestavené měrky smějí zůstat spojeny maximálně jednu hodinu, jinak hrozí nebezpečí, že se svaří za studena. S měrkami se nepracuje na magnetických upínacích deskách, musí být chráněny je před vlhkostí, nárazem, brusným prachem. Složené měrky se oddělují odsunutím stykových ploch, po skončení měření je musí znovu nakonzervovat vazelínou. [1]

### 1.3.2 Mezní měřidla

Používají se v hromadné i sériové výrobě. Jejich pomocí se zjišťuje, zda je rozměr součástky v dovolených mezích. Ve výrobě je předem stanoven rozsah dovolené nepřesnosti neboli tolerance určitého rozměru výrobku. Skutečný rozměr vyrobené součásti se musí nacházet mezi dvěma určitými mezemi. Jako mezní měřidla se používají kalibry na měření děr nebo hřídelí, měřicí šablony a další speciální měřidla. [1]

Kalibry mají dobrou a zmetkovou stranu. Dobrá strana musí projít otvorem nebo přes hřídel, zmetková strana přes ně projít nesmí, může se pouze zachytit. Když neprojde dobrá strana otvorem nebo hřídelem, dá se součástka opravit, když projde otvorem nebo hřídelí zmetková strana, je součástka neopravitelná a vyhodnocena jako zmetek. Zmetková strana se označuje červenou barvou a odlišuje se od dobré strany vyhotovením. Dobrá strana kalibru je delší než zmetková. [1]

#### 1.3.2.1 Kalibry pro měření děr

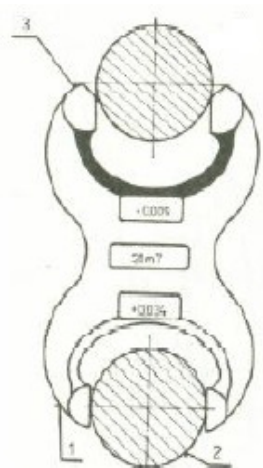
Válečkové oboustranné kalibry se používají pro měření malých průměrů. Větší průměry děr se měří jednostrannými válečkovými kalibry s vyměnitelnou měřicí částí. Pro měření musí být takové kalibry dva - dobrý a zmetkový. Pro měření velkých průměrů se používají ploché kalibry oboustranné nebo jednostranné. K měření děr průměru většího než je 250 mm se používá mezních odpichů s kulovými koncovými dotyky. Pro každý je sada 2 kusů - dobrý a zmetkový.



Obr. 10 – Válcový kalibr (1 – dobrá strana, 2- zmetková strana, 3 – držák s údajem o průměru a toleranci)

### 1.3.2.2 Kalibry pro měření hřídelí

Pro měření hřídelí se používají normalizované kalibry - oboustranný třmenový kalibr, jednostranný třmenový kalibr s dobrou a zmetkovou stranou a jednoúčelový třmenový kalibr s dobrou nebo zmetkovou stranou. Malé průměry hřídelí se měří oboustranným třmenovým kalibrem, kde dobrá strana musí projít přes měřený rozměr, zmetková strana, červeně označená, jej zachytí. [1]



Obr. 11 – Třmenový kalibr (1 – dobrá strana, 2- zmetková strana, 3 – měřená součástka) [1]

Mezní měřidla se používáním opotřebovávají, musí být proto v pravidelných lhůtách kontrolována

pomocí kontrolních (porovnávacích) kalibrů - např. porovnávací kalibry pro závitové kalibry (troužky), základními měrkami rovnoběžnými nebo komparačními měřidly. Nevýhoda opotřebení se nevztahuje na kalibry stavitelné. Používají se pro kontrolu otvorů i hřídelů. Dobrá i zmetková strana se musí na požadovaný rozměr nastavit na nastavovacím kalibru nebo na základních měrkách. [1]

## 1.4 Měřidla nepřímá

Pro měření se používají kalibry, komparační měřicí přístroje (porovnávací přístroje) a délkové měřicí stroje s vyhodnocením pro porovnávací měření. Měří pouze odchylky od jmenovitého rozměru a vyznačují se velkou přesností.

Komparátory mohou být:

- Mechanické
- Elektrické
- Pneumatické
- Optické

### 1.4.1 Mechanické komparátory

Měřené hodnoty se přenášejí pákovým převodem, ozubeným převodem, pružnou páskou nebo kombinovaně na stupnici. Při měření se upevňují do upínacího přípravku (měřicího stojánu) [1]

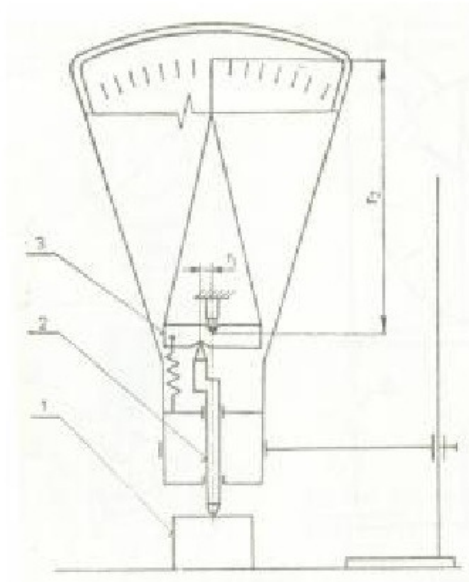


Obr. 12 – Upínací přípravek pro komparační přístroje [1]

#### 1.4.1.1 *Přístroje s pákovým převodem*

Pracuje na principu dvojranné páky. Delší rameno přenáší pohyb na stupnici. Na tomto

principu pracují minimetry [1]

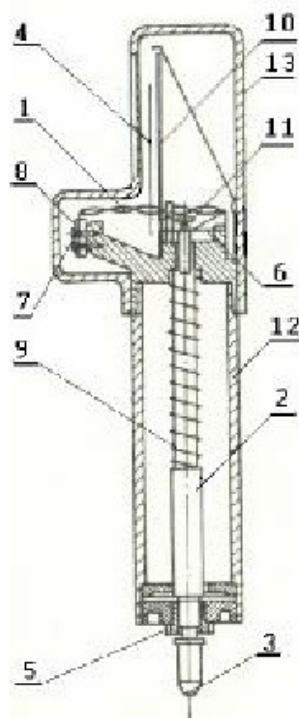


Obr. 13 – Pákový převod minimetru (1 – kontrolovaná součástka, 2 – měřicí dotyk, 3 – páka,  $r_1$  – malé rameno páky,  $r_2$  – velké rameno páky) [1]

#### 1.4.1.2 *Přístroje s pružinovým převodem*

Tyto přístroje jsou jednoduché konstrukce a pracují na principu deformace pružiny. Deformace je vyvolána pohybem měřicího dotyku. Pružinu tvoří kovový torzní pásek obdélníkového průřezu, oboustranně vinutý (jedna polovina je stočena doprava, druhá doleva), v jehož středu je upevněn ukazatel. Jeden konec pásku je uchycen pevně, druhý je napínán v závislosti na pohybu měřicího dotyku. Pohyb měřicího dotyku přenáší pákový mechanismus na torzní pružinu, kterou natahuje nebo stlačuje. To vyvolá otáčivý pohyb

ukazatele (při změně napětí se střední část pásku s ručičkou otáčí). Do této skupiny přístrojů patří Somkátor (mikrokátor) [1]

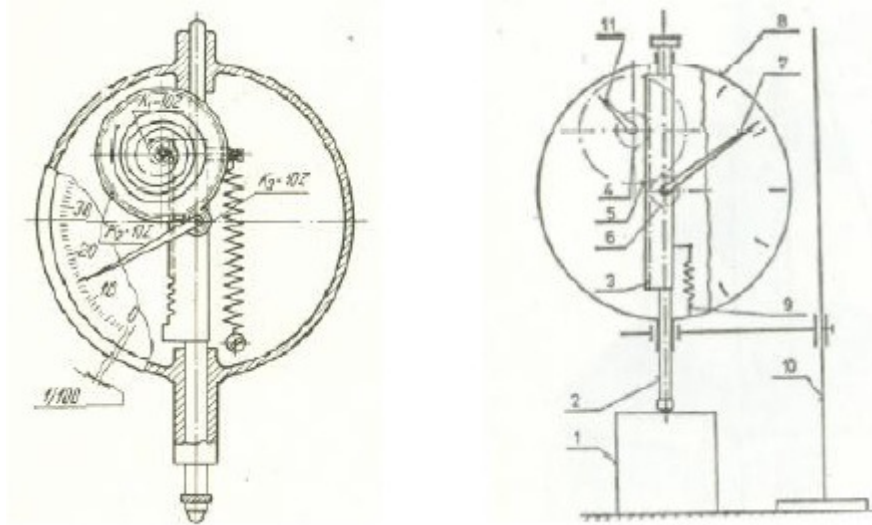


Obr. 14 – Somkátor (1 – pásek, 2 – tyčinka, 3 – dotyk, 4 – ukazatel, 5 – seřizovací kroužek, 6 – převod, 7 – napínací šroub, 8 – uchycení pásku, 9 – pružina, 10 – stupnice, 11 – doraz, 12 – stopka, 13 – kryt) [1]

#### 1.4.1.3 Přístroje s převodem ozubených kol

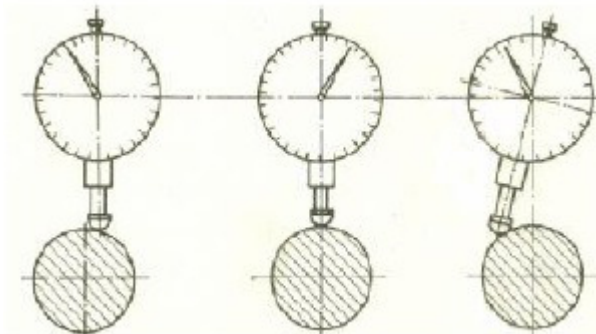
Do této skupiny patří číselníkové úchylkoměry. Mají tvar hodinek s ručičkou a číselníkem. Jsou to délková měřidla s převodem, která zjišťují v určitém rozsahu přesnosti, zda rozměr měřené součásti leží v mezích dovolených úchylek. Přímocharý pohyb dotyku se přenáší ozubeným převodem na ručičku, která ukazuje odchylku od nastaveného rozměru na stupnici. Hlavní stupnice má dělení obvykle v setinách nebo tisícinách milimetru, vedlejší stupnice má dělení v milimetrech a udává počet otáček ručičky hlavní stupnice. Nulová poloha se nastavuje pootočením stupnice nebo ručičky, a to podle konstrukce úchylkoměru. Měřicí dotyk je vyměnitelný podle účelu měření. Měřicí dotyk musí mít kolmou polohu k ploše, které se dotýká. [1]





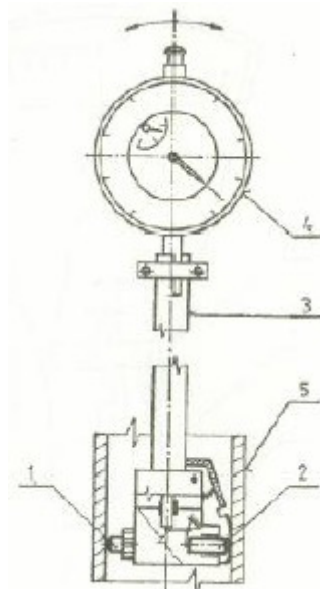
Obr. 15 – Číselníkový uchylkoměr (1 – kontrovaná součást, 2 – tyčka, 3 – ozubená, 4, 5, 6 – ozubená kolečka, 7 – ručička, 8 – číselník, 9 – pružina, 10 – stojan, 11 – ručička vedlejší stupnice) [1]

Při měření rotačního výrobku musí osa měřicího dotyku procházet středem výrobku



Obr. 16 – Chyby při měření úchylkoměrem [1]

Na měření vnitřních rozměrů ve větších hloubkách se používá dutinoměr s číselníkovým úchylkoměrem. Při měření se přístroj vykyvuje v rovině, která prochází osou měřeného otvoru a pozoruje se údaj úchylkoměrem. Nejmenší údaj představuje odchylku od nastavené hodnoty.

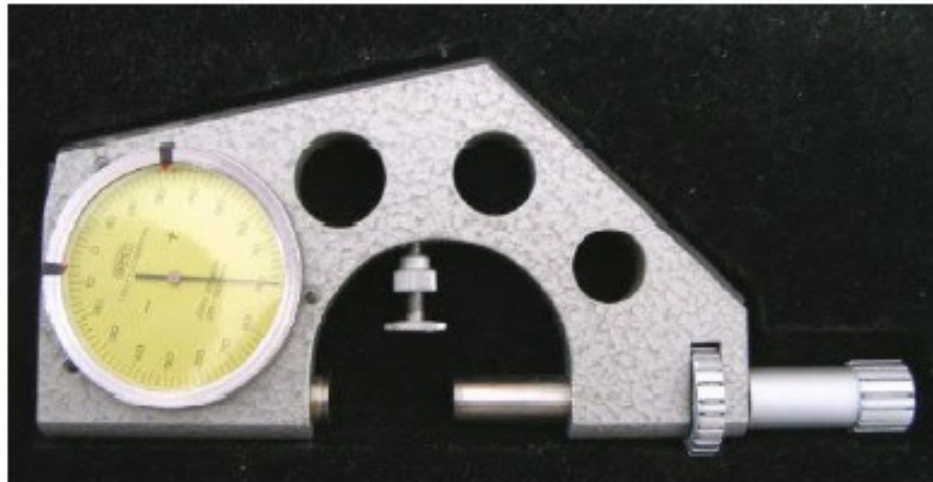


Obr. 17 – Dutinkoměr (1 – pevný dotyk, 2 – pohyblivý dotyk, 3 – držák, 4 – číselníkový úchylkoměr, 5 – měřeny objekt) [1]

#### 1.4.1.4 Přístroje s kombinovaným převodem

Zde se nejčastěji používá kombinace pákového a ozubeného převodu. Do této skupiny patří páčkové číselníkové úchylkoměry. Používají se pro náročné měření v nářadovněch, při kontrole přípravků a při středění součástek. Na rozdíl od číselníkových úchylkoměrů musí být osa měřicí páčky rovnoběžná s měřenou plochou, jinak se musí měřená hodnota násobit opravným součinitelem. Při vychýlení páčky do  $9^\circ$  je chyba zanedbatelná. Výchylka měřicí páčky se přenáší dvojramennou pákou s ozubeným segmentem na pastorek. Na jmenovitou hodnotu se nastavuje základními měrkami. [1]

K dalším používaným přístrojům s kombinovaným převodem patří pasometr a mikropasometr. Na jmenovitý rozměr se nastavují základními měrkami rovnoběžnými nebo vzorky. Pasometry se vyrábějí s měřicím rozsahem 0 až 25 mm, 25 až 50 mm, 50 až 75 mm a 75 až 100 mm. Měřicí rozsah úchylkoměru mají  $\pm 0,08$  mm a dělení stupnice úchylkoměru 0,002 mm. [1]



Obr. 18 – Mikropasometr

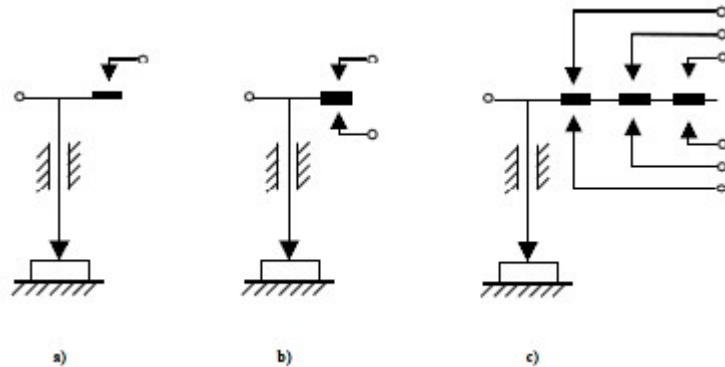
#### 1.4.2 Elektrické komparátory

U snímačů s převody elektrickými se měřená odchylka mění v elektrickou veličinu, která se po zesílení převádí v údaj na stupnici, signál popř. v záznam na registrační papír. Přístroje s převody elektrickými se vyznačují poměrně vysokou přesností a jednoduchostí. Používají se pro přesná měření v laboratorních i dílenských podmínkách, sledovacích měřidlech, třídících systémech atd.

##### 1.4.2.1 Elektrokontakní snímače

Slouží k rozměrové kontrole v sériové, popř. hromadné výrobě, pracuje se s nimi jako s mezními měřidly, zjišťují zda rozměr měřené součásti leží ve stanovených tolerančních mezích. Princip je založen na rozsvěcování světla určité barvy v případě, že rozměr součásti překročí některou s předem nastavených tolerančních mezí,

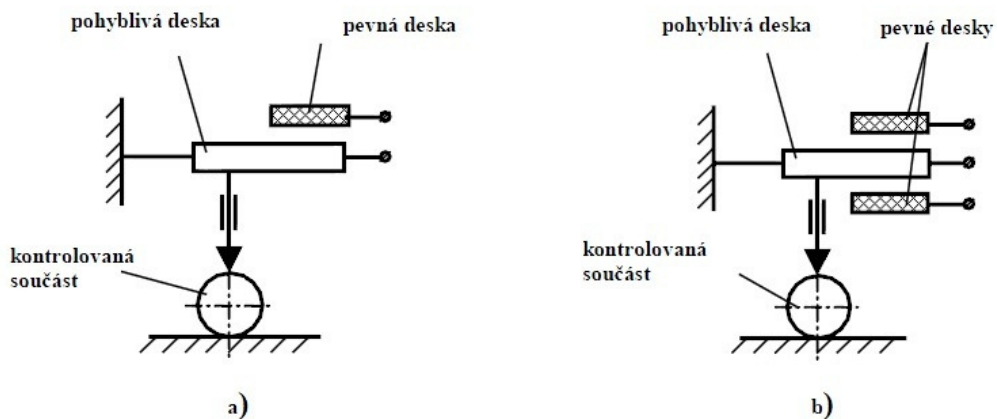
Pomocí koncových měrek se nastaví polohy stavitelných kontaktů, tj. příslušná tolerance rozměru. Mohou vymezovat jednu mez, dvě meze i více mezí. [2]



Obr. 19 – Schéma elektromagnetických snímačů (a – vymezující jednu mez, b – vymezující dvě meze, c – vymezující více mezí) [2]

#### 1.4.2.2 Kapacitní

Základem je kapacitní snímací hlavice a elektronický zesilovač. Princip měření spočívá ve změně kapacity kondenzátoru, způsobené změnou měřené délky. Kapacitní způsob může být dotykový nebo bezdotykový. Kapacitní snímače mohou být jednoduché (jedna pevná a jedna pohyblivá deska) nebo diferenciální (dvě pevné desky a jedna pohyblivá – zvětšení citlivosti). [2]



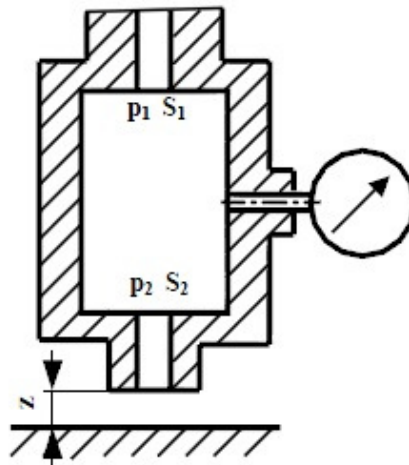
Obr. 20 – Schéma kapacitních snímačů (a – jednoduchý, b – diferenciální) [2]

### 1.4.3 Pneumatické komparátory

U pneumatických snímačů změna rozměru způsobí změnu parametrů stlačeného vzduchu a to buď tlaku nebo průtočného množství popř. rychlosti. Dle toho, který z těchto parametrů se využívá pro měření rozlišují se snímače tlakové, průtočné a rychlostní. Tyto přístroje pracují s tlakem do 0,6 Mpa

#### 1.4.3.1 Tlakové pneumatické přístroje

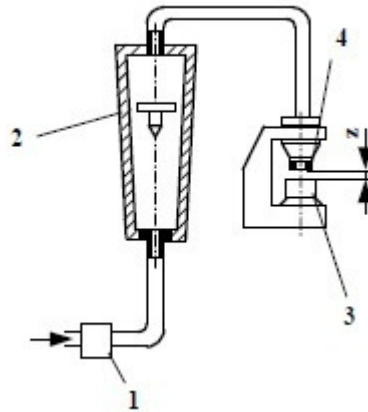
Nejčastěji používané pneumatické přístroje. Při měření se sleduje změna tlaku stlačeného vzduchu. Tlak se nejčastěji měří přímo manometrem, který je ocejchován v délkových jednotkách. Stlačený vzduch o konstantním tlaku  $p_1$  vstupuje do komory průřezem  $S_1$ , z komory vystupuje průřezem  $S_2$  a naráží na povrch měřené součásti vzdálené od výstupní dýzy o hodnotu  $z$ . Zjišťuje se změna tlaku  $p_2$  v tlakové komoře, která je vyvolaná změnou vzdálenosti  $z$  dýzy od měřené součásti. [2]



Obr. 21 – Schéma tlakového snímače [2]

### 1.4.3.2 Průtokové pneumatické přístroje

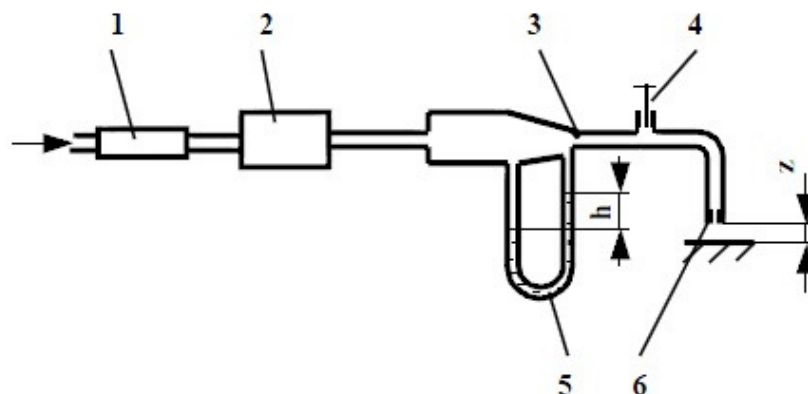
Obsahují pružinový regulátor pro regulaci konstantního vstupního tlaku vzduchu. Změna průtokového množství vzduchu se určuje podle výšky plováku, který rotuje v kuželové skleněné trubici. Plovák se ustálí při měření v poloze, která odpovídá okamžitému průtokovému množství, které závisí na vzdálenosti dýzy a měřené součásti.



Obr. 22 – Schéma průtokového snímače (1 – regulátor tlaku, 2 – kuželová trubice, 3 – měřené součást, 4 – výstupní dýza) [2]

### 1.4.3.3 Rychlostní pneumatické přístroje

U rychlostních pneumatických přístrojů se průřez výstupní dýzy udržuje konstantní (na rozdíl od průtokových přístrojů). V tomto průřezu se měří rychlost vzduchu, která se určuje ve dvou různých příčných průřezech. [2]



Obr. 23 – Schéma rychlostního přístroje (1 – filtr vzduchu, 2 – regulátor vzduchu, 3 – Venturiho trubice, 4 – regulační ventil, 5 – diferenciální tlakový manometr, 6 – měřicí dýza) [2]

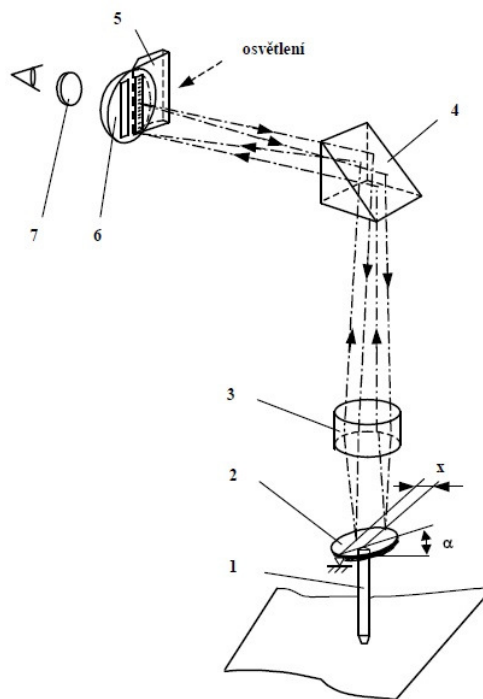
## 1.4.4 Optické komparátory

### 1.4.4.1 Měřidla s opticko – mechanickým převodem

U měřidel s opticko-mechanickým převodem se přenos pohybu snímacího doteku na stupnici realizuje společným působením mechanických prvků (páky) a optických prvků (soustava čoček, hranolů, zrcátek, zdrojů světla). Využívá se vlastnosti objektivu a výkyvného zrcátka. Potřebného zvětšení se dosahuje opakovaným odrazem na zrcadlech.

Princip optimetru je založen na odrazu světelných paprsků od zrcadla nakláněného měřicím dotykem. Axiálně přesuvný měřicí dotyk naklápí otočné zrcátko, světelné paprsky procházejí od zdroje světla a procházejí přes skleněnou destičku s vyrytým převráceným obrazem stupnice. Po odrazu prochází paprsky hranolem, objektivem a dopadají na zrcátko, od kterého se odráží a procházejí přes objektiv a hranol zpět na pevnou destičku s pevnou čárkovou značkou. Obraz stupnice oproti pevné čárce je možno sledovat okulárem nebo u projekčních optimetrů na matnici.

Měřicí síla je cca 1,2 N. Rozsah optimetrů:  $\pm 20\mu\text{m}$  nebo  $\pm 100\mu\text{m}$ . Dělení stupnice:  $1\mu\text{m}$  nebo  $0,2\mu\text{m}$ , popř.  $0,1\mu\text{m}$ . [2]



Obr. 24 – Schéma optimetru (1 – snímací dotyk, 2 – zrcátko, 3 – objektiv, 4 – hranol, 5 – destička se stupnicí, 6 – destička se pevnou ryskou, 7 – okulár) [2]

Optimetry se používají hlavně pro komparační (porovnávací) měření - kontrola kalibrů, pracovních koncových měrek atd.)

#### 1.4.4.2 Průmyslové CCD kamery

Kamery nalézají uplatnění všude tam, kde je požadována nejlepší dosažitelná kvalita obrazu. Jsou dobrou volbou tehdy, potřebujeme-li naprosto stabilní, přesný a nezašuměný obraz. Kamery přenášejí RAW data v maximální dosažitelné kvalitě přímo do počítače po rychlé sběrnici USB 2.0. Zde mohou být tato data zpracována např. systémem pro strojové vidění popřípadě výkonným obrazovým procesorem grafického adaptéru bez jakýchkoliv kompromisů mezi kvalitou a datovým tokem.



Obr. 25 – Průmyslová CCD kamera [3]

Samotný princip digitálního připojení kamer (USB či Ethernet) zdaleka není zárukou kvality obrazu. Dokonce lze říci, že digitální rozhraní není ani tím nejdůležitějším kritériem. Kamery jsou si vesměs svou konstrukcí velice podobné. Naprostá většina běžných digitálních CCD kamer obsahuje podobný integrovaný kamerový řadič, který digitalizuje data z CCD čipu, vyvažuje barevnost, interpoluje barvy z Bayerovy masky a ztrátově komprimuje data (v lepším případě) do MPEG4 datového proudu. Kvalita těchto operací je vzhledem ke kompromisně omezeným vlastnostem integrovaného obrazového procesoru vždy viditelně limitována a výsledný obraz je tak zatížen četnými nežádoucími artefakty. Pro účely hlídání areálů a dozoru bývá tato kvalita dostatečná, ale i zde se příliš často stává, že např. bankovní lupič projde dva metry pod kamerou a na výsledném záznamu není v podobě několika barevných skvrn k poznání. Jiná je ale situace v oblasti



strojového vidění a inspekčních systémů. Zde je kvalita obrazu určující pro výslednou přesnost systému. [3]

Vlastnosti jako rozměry těla, komunikační rozhraní, konektory, napájení a spotřeba, hmotnost, expozice a rozsah pracovních teplot jsou společné pro všechny řady kamer. To, v čem se kamery od sebe liší, je především rozlišení CCD snímače (počet obrazových bodů), rozlišení A/D převodníku pro digitalizaci signálu z CCD snímače (8 nebo 16 bitů) a barevná hloubka (barevný nebo monochromní obraz). Důležitým parametrem kamer je frekvence snímků, tzv. frame rate, neboli FPS. Tento parametr udává, kolik snímků za sekundu je schopna kamera poskytnout. Je ovlivněn především počtem obrazových bodů a dynamikou (8 nebo 16 bitů na jeden vzorek). [3]

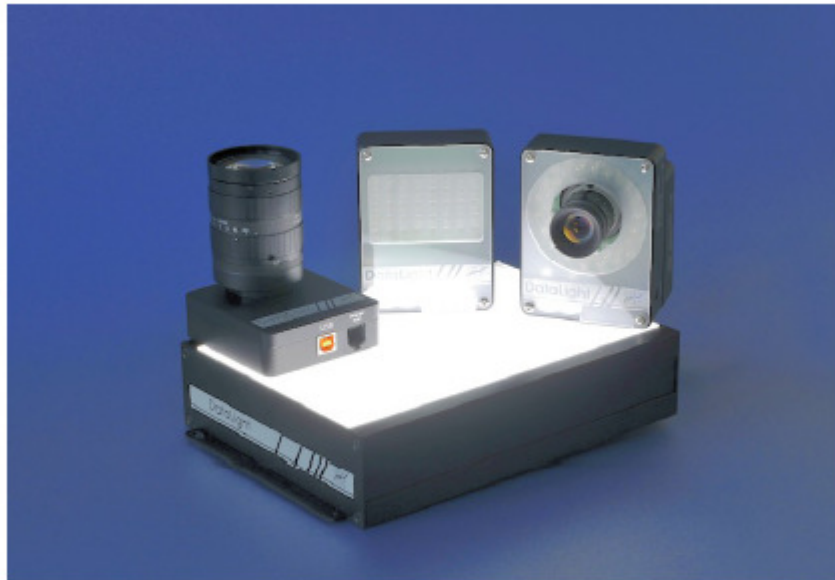
#### Hlavní znaky CCD kamer jsou:

- vysoce citlivé CCD snímače
- barevné i monochromní verze
- 16 nebo 8 bitová digitalizace
- velmi nízký obrazový šum
- rozhraní USB 2.0
- napájení přes USB
- kompaktní a pevné hliníkové tělo
- široký výběr objektivů

#### 1.4.4.2.1 Osvětlovací jednotky

Volba správného osvětlení může být v některých případech důležitější než volba správné kamery. Užitečným doplňkem ke kamerám mohou být osvětlovací jednotky, které je možno prostřednictvím těchto kamer přímo ovládat. Některé úlohy strojového vidění mohou být velmi nenáročné na kvalitu osvětlení scény. Zvláště při použití kamer, které dokáží při slabém osvětlení dostatečně prodloužit expoziční dobu bez podstatného nárůstu šumu v obraze, si můžeme vystačit i s běžným osvětlením místnosti či stolní lampou. Často lze levné osvětlení řešit pomocí zářivkových trubic, které poskytují intenzivní a barevně stabilní světlo. U velkorozměrových osvětlovačů mohou být zářivkové trubice dokonce jediným rozumným řešením.

V praxi ale převažují takové aplikace, kde správné parametry osvětlení, jako je intenzita, barva a směrování, jsou rozhodujícím faktorem pro viditelnost sledovaných objektů ve scéně. Zde nalézají uplatnění osvětlovače se svítivými diodami. Tyto osvětlovače se vyznačují nízkým příkonem a dlouhodobou stabilitou parametrů. [3]

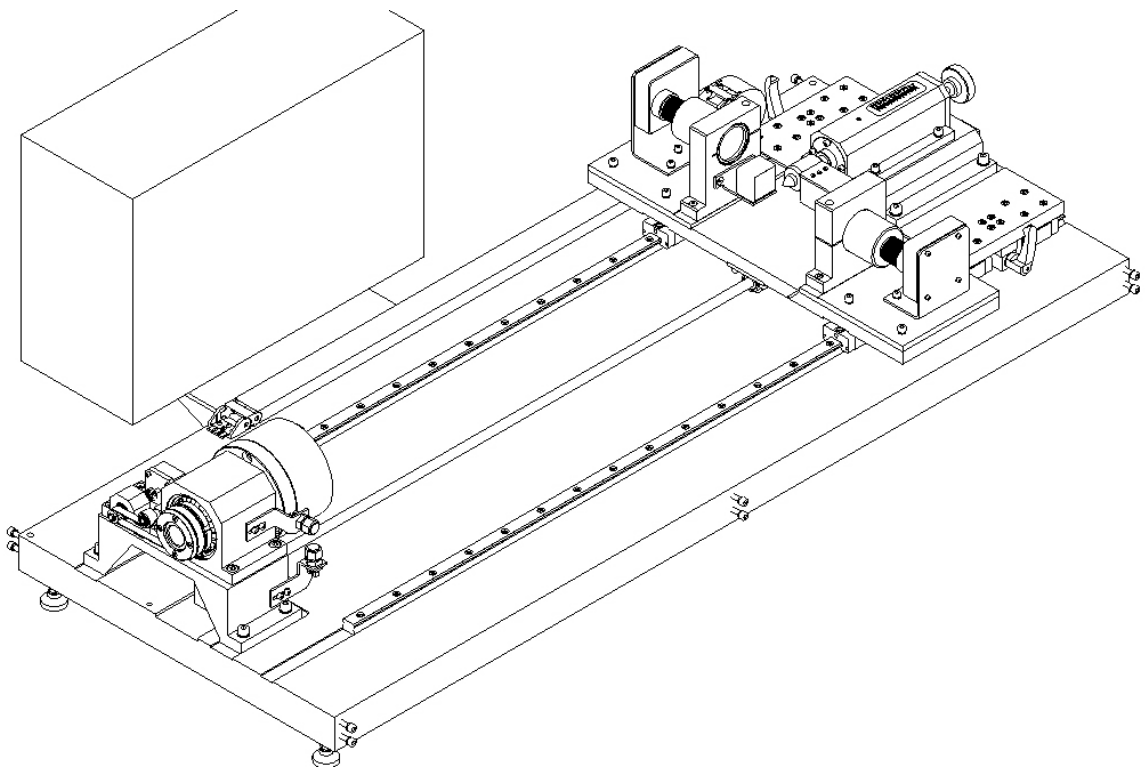


Obr. 26 – Osvětlovací jednotka [3]

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

## 2 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Základní požadavek této práce bylo skonstruovat měřicí zařízení, vhodné pro měření dlouhých štíhlých rotačních součástí, většinou kuželového tvaru. Jelikož je měření kuželovitosti v celém průřezu součásti v řádu setin milimetru za běžných provozních podmínek velmi obtížné, bylo zapotřebí automatizované zařízení ovládané pomocí počítače jedním pracovníkem v laboratorních podmínkách. Nabízely se dvě možnosti. Snímání pomocí laseru nebo strojního vidění. Výhody laserové metody pro tuto aplikaci byly: jednoduchá instalace a obsluha, měřené průměry 1-60 mm bez nutnosti seřízení, v případě automatizace procesu rychlejší změření součásti. Bylo ovšem nutné navrhnout řídicí aplikaci, která by synchronizovala krokový motor s jednotlivými sekvencemi snímání laserem. Zato u strojního vidění se naskytovalo výhod daleko více. Hlavní bylo, že dodavatel nabízel ucelený automatizovaný systém i s PC se softwarem, určeného přímo pro měření kuželových součástí včetně grafických výstupů. Dále teoreticky neomezený měřený průměr při seřízení kamer vůči sobě. Vzhledem k možnosti rozšíření samotného zařízení na další funkční měření a možnosti aplikace kamerového systému do jiných měřicích zařízeních, je vhodnější realizace pomocí strojního vidění.



Obr. 27 – Měřicí zařízení

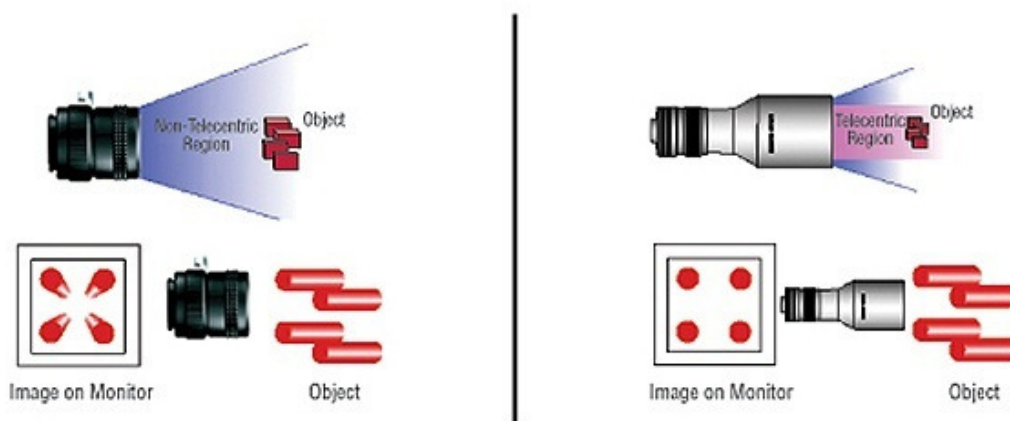
## 2.1 Výchozí parametry pro konstrukční řešení zařízení

Zařízení bylo primárně určeno k měření kuželových trnů. Požadavky na toto zařízení byly následující:

- rozsah průměrů součástí 8-32 mm s leštěným povrchem do drsnosti Ra 0,2
- maximální délka součástí 1000 mm
- určení roviny měření dle natočení měřené součásti
- opakovatelnost měření – (maximální odchylka 10 měření) – 0,005 mm
- přesnost měření reálného průměru – 0,008 mm
- výstupy měření:
  - zobrazení - zobrazení reálného obrazu kamery
    - postupý zápis naměřených hodnot do tabulky měření + grafické zobrazení s určením neshodných bodů pro hodnocení válcovitosti a kuželovitosti
    - aktuální měřená pozice (x,y = „měřená pozice/ celkový počet měření“)
    - zobrazení roviny měření
    - zobrazení délky času měření
  - tisk - tabulkový výpis naměřených hodnot pro měřenou součást s určením součásti (číslo výkresu) a doby měření (datum + čas) s určením neshodných bodů pro hodnocení válcovitosti a kuželovitosti
    - grafické vyhodnocení naměřených hodnot s určením neshodných bodů pro hodnocení válcovitosti a kuželovitosti s možností grafické úpravy vzhledu tištěného protokolu

## 2.2 Návrh uspořádání kamerového systému

Při hledání řešení měřicí stanice vstupuje do rozhodovacího procesu mnoho aspektů, které ovlivňují parametry cílového zařízení od rozměrů až po cenu komponent. Výber objektivu a kamery spolu úzce souvisí. Po prvních pokusech s dodaným vzorkem bylo zřejmé, že jediný vhodný objektiv je telecentrický. Jedná se o specializovaný objektiv, který eliminuje perspektivní zkreslení.



Obr. 28 – Normální a telecentrický objektiv

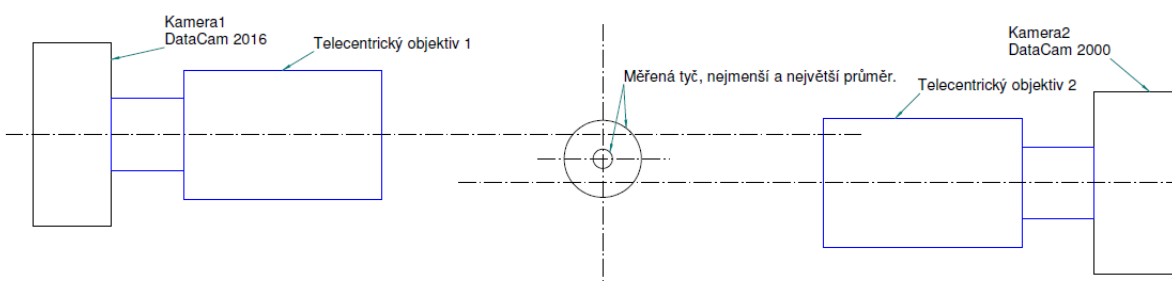
Kamera, která připadá do úvahy je DataCam 2016 s čipem o velikosti 1/2" a rozlišením 1600x1200 pixelů.



Obr. 29 – Kamera DataCam [3]

Aby bylo možné splnit požadavky, bylo použito dvou objektivů se dvěma kamerami. Jedna kamera zpracovává horní profil tyče, druhá kamera spodní profil ve stejném místě. Každý objektiv zpracovává rozsah cca 12mm, což umožňuje dodržet požadované rozlišení 0,005 až 0,008mm. K eliminování vlivu případného prohnutí tyče, bylo nejvýhodnější protilehlé uspořádání objektivů. Kamery jsou připevněny na společné nosné desce supportu. Vzájemná pozice kamer je elektronicky kalibrována s pomocí mechanického kalibru. Každá kamera má svůj osvětlovač **DataLight**, který je kamerou řízen. Kamera si osvětlovač rozsvítí na dobu potřebnou pro snímání obrazu. Kamery pracují v protitaktu. Návrh lépe objasní následující obrázky:

### *O1 Uspořádání měřicí stanice – optika a měřený objekt.*

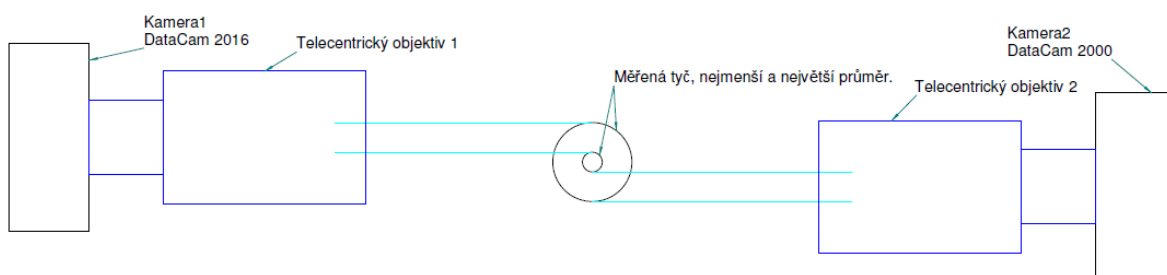


Obr. 30 – Schéma – optika a měřený objekt

Vyosení objektivů je právě to uspořádání, které umožňuje měřit tyče malého i velkého průměru se stejným rozlišením 0,005mm.

Na dalším obrázku je znázorněna oblast vymezená světlemodrými linkami u každého objektivu. V těchto oblastech se pohybují horní a dolní profily tyčí o průměru 8 až 32mm. Každý objektiv zpracovává oblast o rozsahu 12mm.

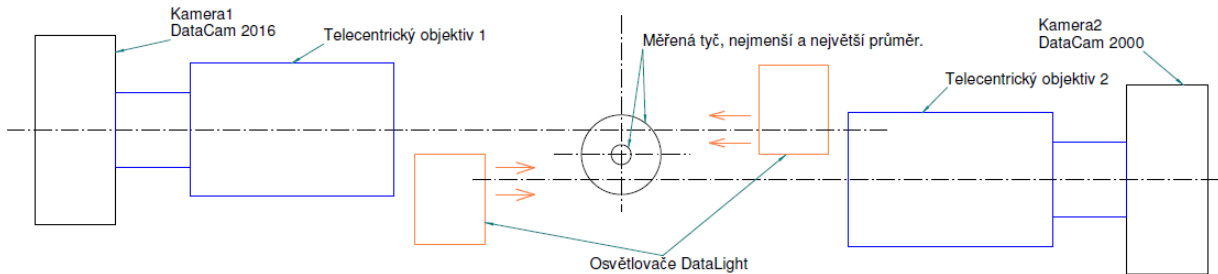
### *O2 Uspořádání měřicí stanice – pracovní oblasti objektivů.*



Obr. 31 – Schéma – pracovní oblasti objektivů

Důležité je také řešení vhodného osvětlení. K tomu je použito modifikovaného osvětlovače **DataLight LT-40S**.

### *O3 Uspořádání měřicí stanice – umístění osvětlovačů.*

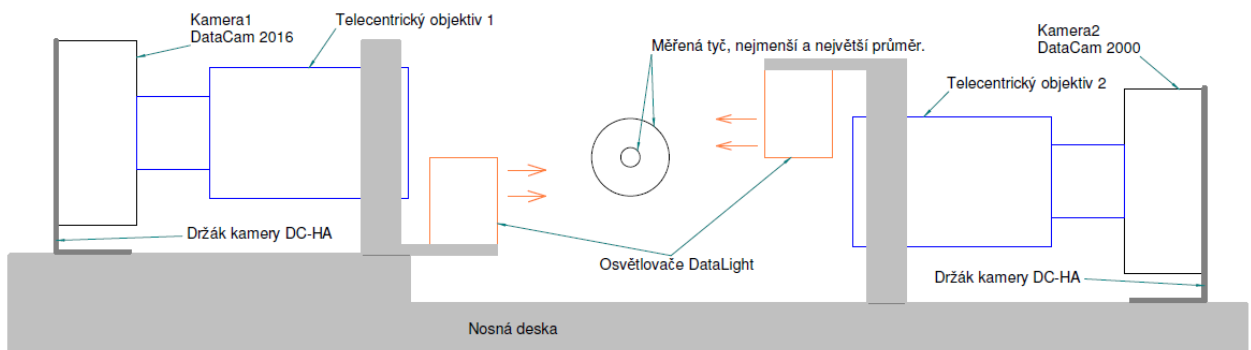


Obr. 32 – Schéma – umístění osvětlovačů

Osvětlovače jsou inteligentní zařízení řízené kamerami přes komunikační sběrnici. Každá kamera ovládá svůj osvětlovač a pracují v protitaktu.

Celá optická sestava je připevněna k nosné desce - supportu. Bylo nutno robustně vyřešit nosnou desku, aby nedocházelo k mikropohybům objektivů.

### *O4 Uspořádání měřicí stanice – sestava na nosné desce.*



Obr. 33 – Schéma – sestava na nosné desce

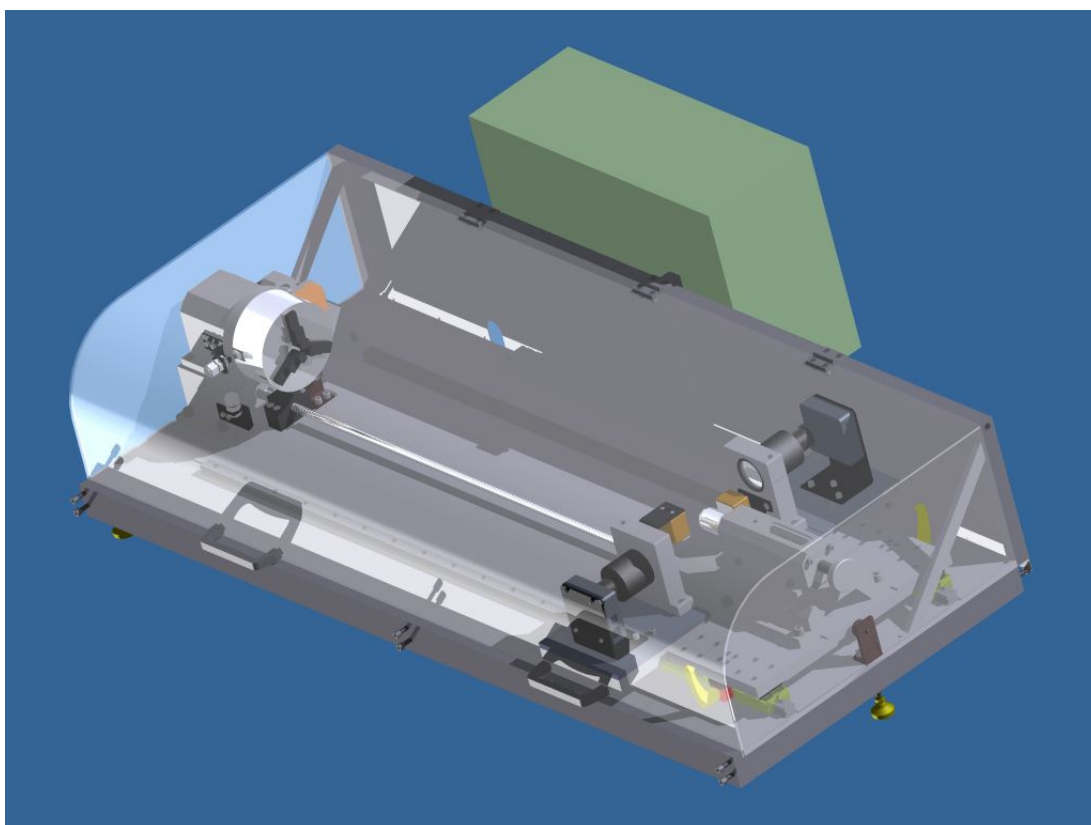
Uvedené řešení dokáže splnit požadavky na rozlišení a přesnost měření. Všechny měřicí komponenty pocházejí od firmy Moravské přístroje a.s.



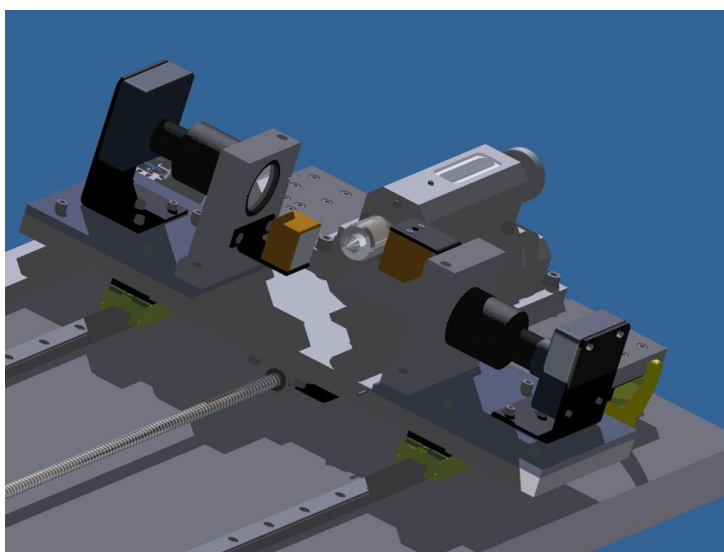
### 3 POPIS KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

#### 3.1 Konstrukční řešení v softwaru Autodesk Inventor 2009

Celý návrh konstrukčního řešení byl nejdříve před realizací kompletně zkonstruován v softwaru Autodesk Inventor.



Obr. 34 – Návrh konstrukčního řešení v programu Autodesk Inventor



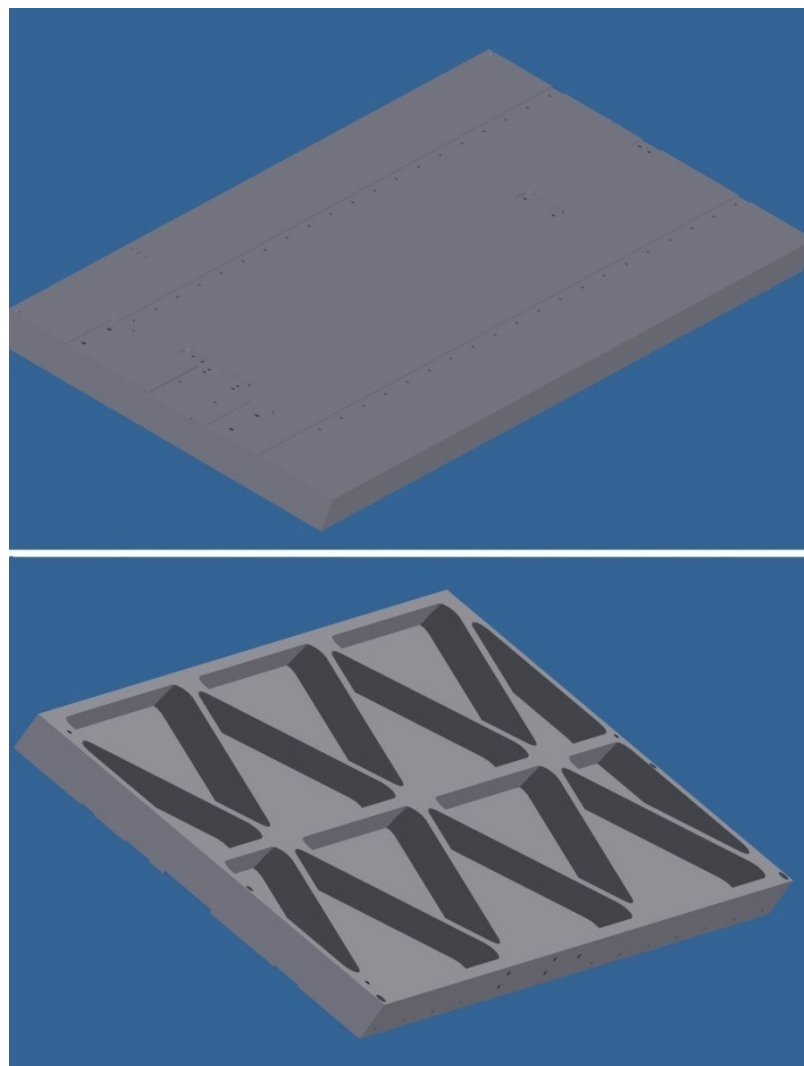
Obr. 35 – Detail kamerového suportu

## 3.2 Popis jednotlivých komponent

### 3.2.1 Nosná deska

Nosná deska tvoří základní část zařízení. Je na ní umístěn suport s kamerovým systémem pohybující se na dvou lineárních vedeních a ovládán kuličkovým pohybovým šroubem. Krokový motor, který otáčí měřenou součástí. Dále pak ručně posuvný koník s aretací a nakonec plastový kryt celého zařízení.

Deska musí být dostatečně tuhá a robustní, aby nedocházelo k mikropohybům kamer a tak k znehodnocení měření. Tvoří ji 50 mm tlustá duralová deska s vybráním a žebrováním na spodní straně pro odlehčení a zvýšení tuhosti. Na horní straně má frézované drážky pro přesné uložení kolejnic vedení suportu a ustavení krokového motoru. Do desky jsou zašrubovány 3 podperné nožky, aby bylo možné její vyrovnání.

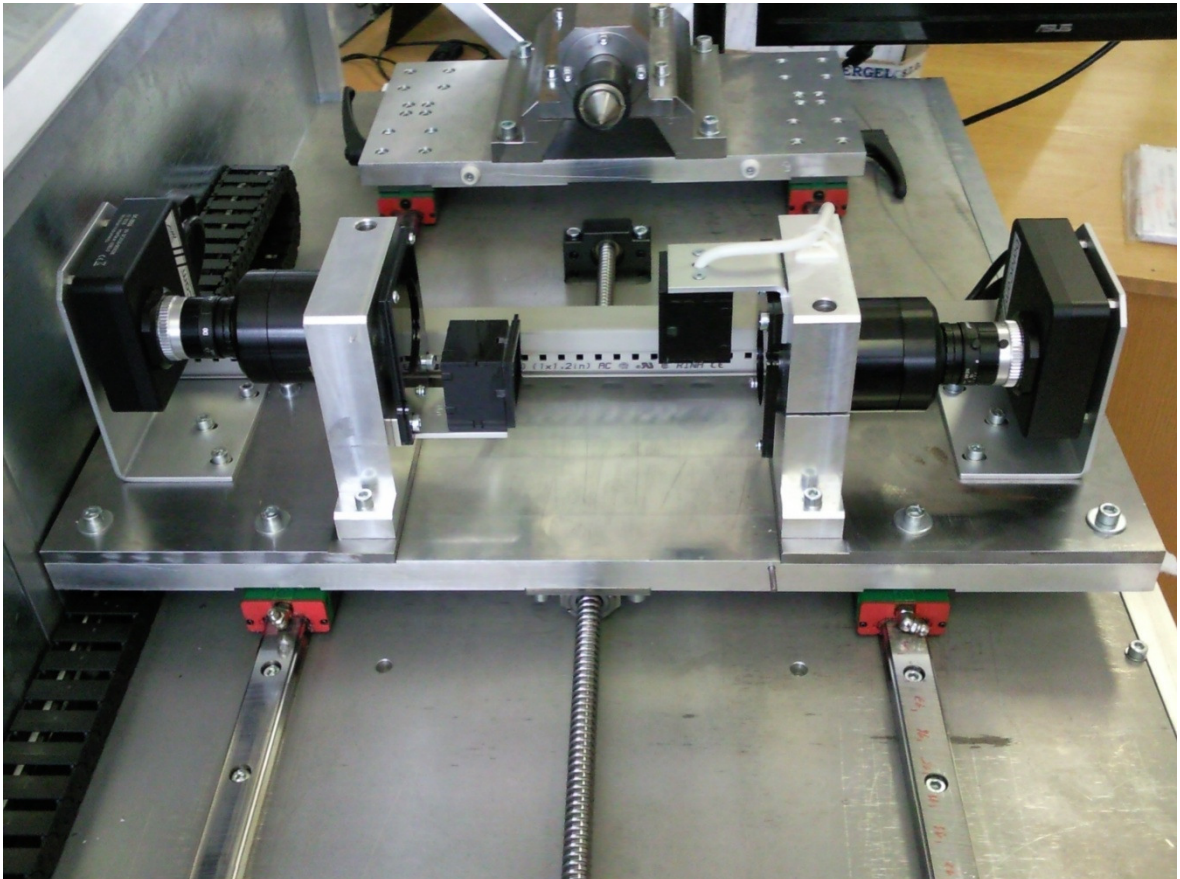


Obr. 36 – Nosná deska

### 3.2.2 Kamerový suport

Na suportu se pohybují kamery, což umožňuje měření součástí v celé její délce. Jedná se o hliníkovou desku, na jejíž spodní straně jsou připevněny 4 vozíky lineárního vedení

Na horní straně jsou pak na ocelových základnách umístěny kamery s objektivy a osvětlovači

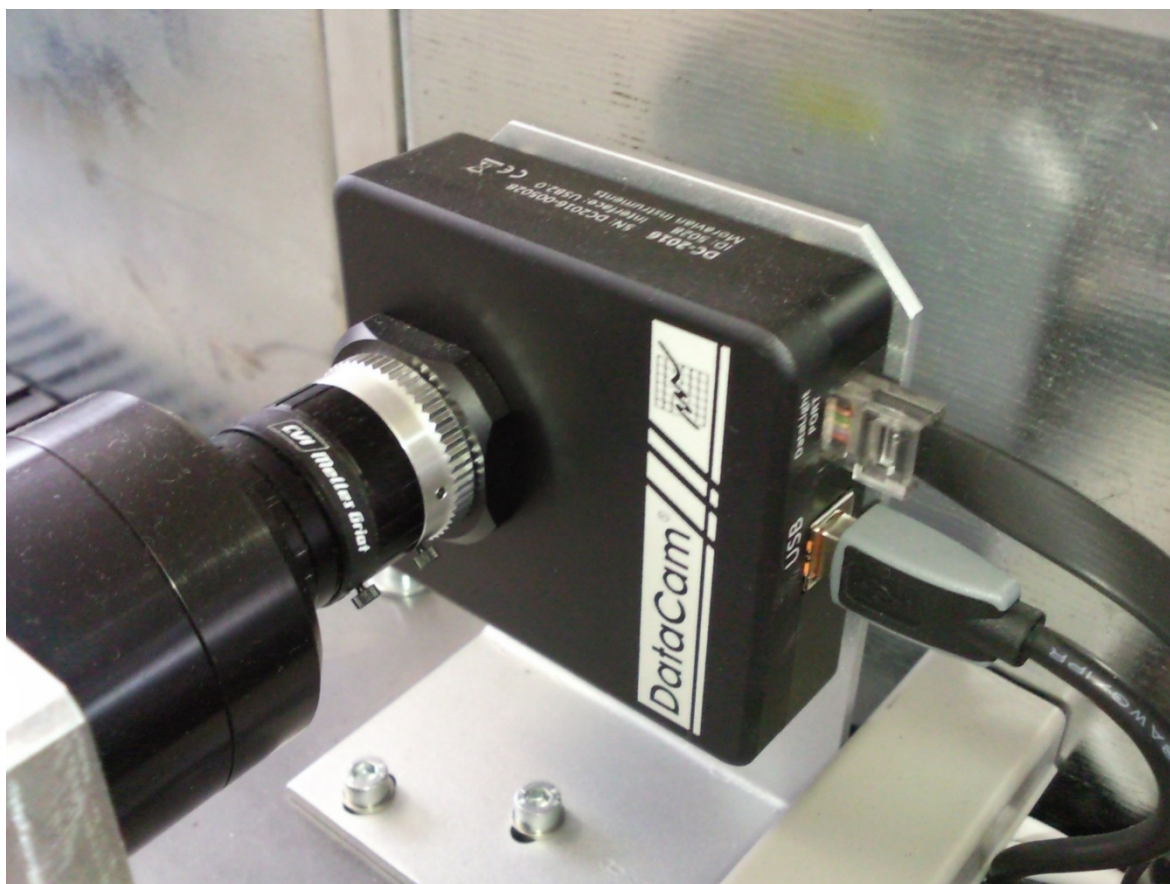


Obr. 37 – Kamerový suport

#### 3.2.2.1 Kamery

Kamery DataCam jsou vestavěny do robustního hliníkového těla s kvalitní povrchovou úpravou. Pouzdro a rozměry kamer jsou shodné pro všechny modely. Zde je použit model DC-2016 - monochromní s 16 bitovým A/D převodníkem. Kamery s 16 bitovou digitalizací obrazu a nižší snímkovou frekvencí se vyznačují velmi vysokou dynamikou a kvalitou obrazu. Hodí se pro aplikace s nízkou úrovní osvětlení a vysokými požadavky na přesnost a reprodukovatelnost měření.

Monochromní kamery používají CCD čip SONY ICX274AL. Kamery se vyznačují vysokou citlivostí CCD snímače a poskytují vysoce kvalitní nekomprimovaný obraz s nízkým šumem. Frekvence snímků se liší podle toho, jestli používají 8 bitový nebo 16 bitový A/D převodník a pohybuje se kolem 8 FPS (8 bitů) resp. 2,5 FPS (16 bitů).



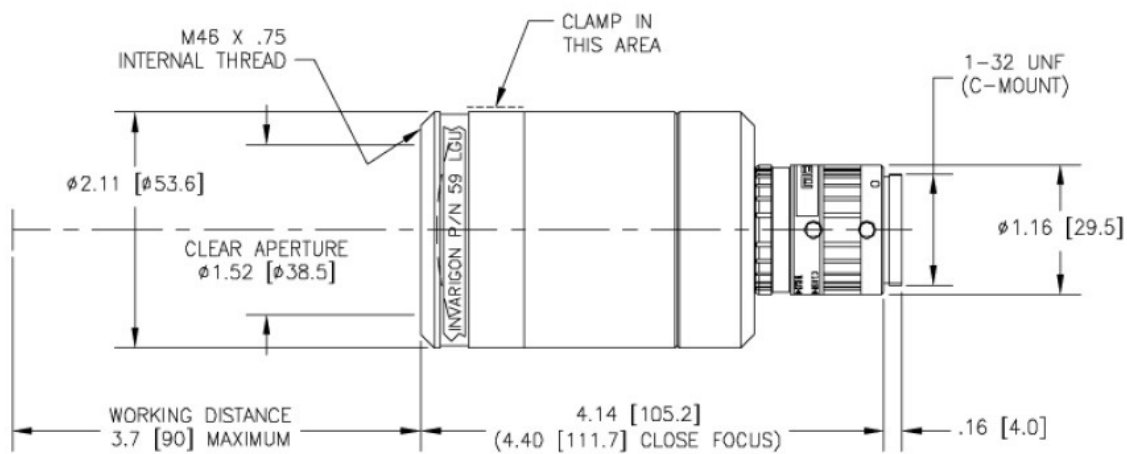
Obr. 38 – Monochromní CCD kamera

### 3.2.2.2 Objektiv

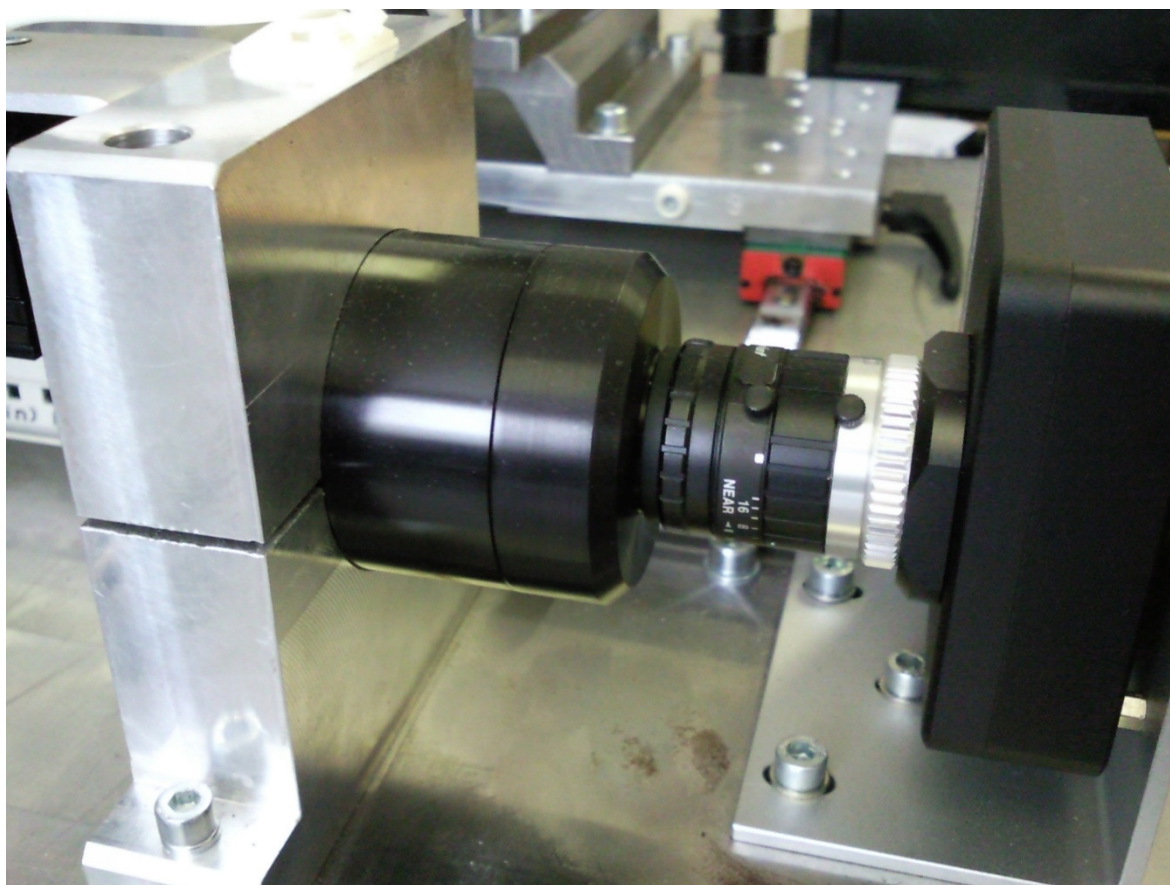
Velký vliv na dosažitelnou přesnost měření má použitá optika. Při měření prostorových objektů se uplatňuje perspektivní zkreslení – vzdálenější část objektu se jeví menší než ta, která je kameře blíže. Perspektivní zkreslení koriguje tzv. telecentrický objektiv, kterým se úsečka stejného rozměru promítne na čip kamery stejně dlouhá bez ohledu na to, jak je od kamery daleko. Telecentrický objektiv má průměr vstupní čočky větší než úhlopříčka zorného pole.



Použitý objektiv je od firmy NAVITAR



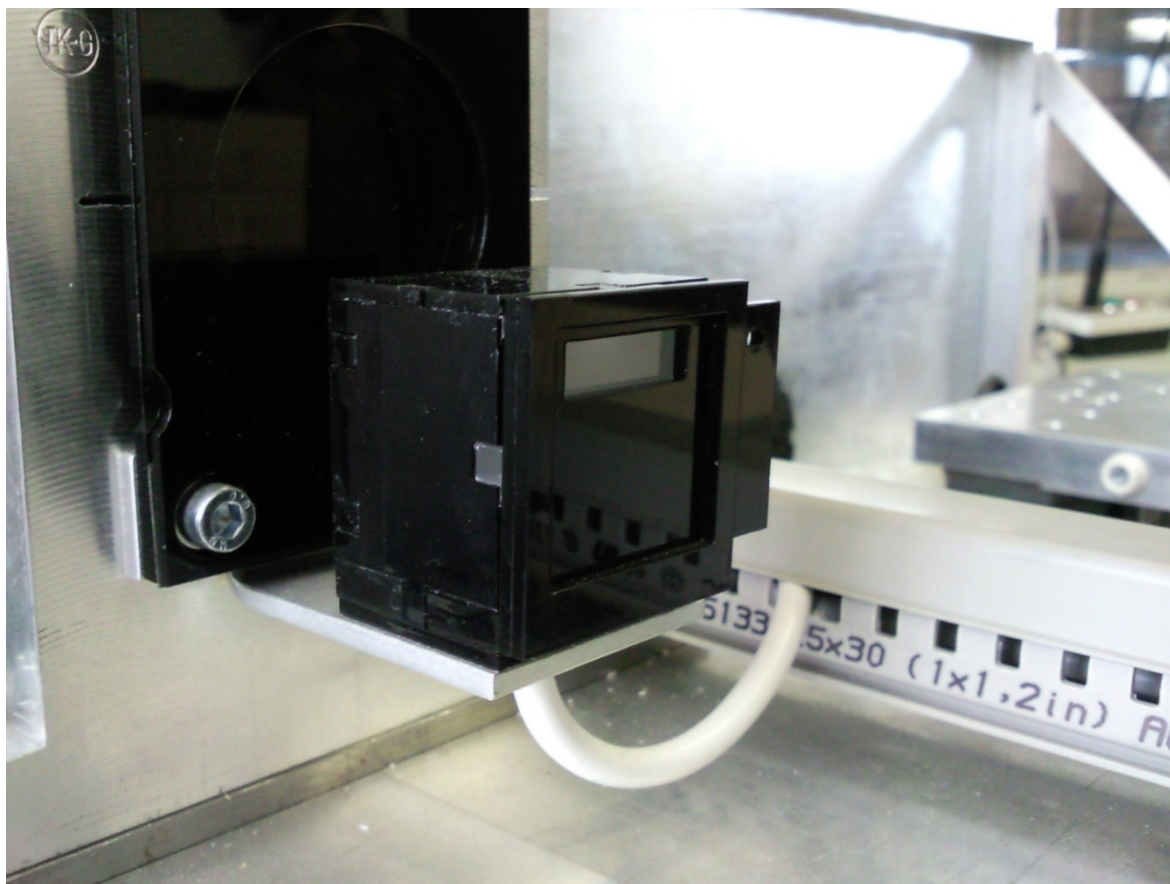
Obr. 39 – Rozměry objektivu



Obr. 40 – Telecentrický objektiv

### 3.2.2.3 Osvětlovací jednotka

Reflektor DataLight LT-40S je velmi všestranným osvětlovačem pro řešení úloh v oblasti strojového vidění. Tvoří ho matice svítivých diod, které jsou uspořádány do obdélníku o rozměru 60 x 40 mm. Vyznačuje se možností volby od číré čelní plochy až po několik druhů difuzorů pro dosažení požadované měkkosti osvětlení. Přímé řízení osvětlovací jednotky je zaručeno prostřednictvím kamer DataCam. K jedné kameře lze připojit až čtyři osvětlovací jednotky. Kamera může osvětlovač zapínat, vypínat a nastavovat intenzitu svitu. Pomocí řízení jasu a několika osvětlovacích jednotek lze např. automaticky sekvenčně kombinovat několik způsobů osvětlení jedné scény. Bez řízení se jednotka po připojení napájecího napětí měkce rozsvítí svým plným jasnem. Napájení spínanými zdroji malým napětím 12 VDC a velmi malým příkonem cca 3 W. Napájení lze mezi jednotlivými osvětlovači smyčkovat a jedním zdrojem tak může být napájeno několik osvětlovacích jednotek.

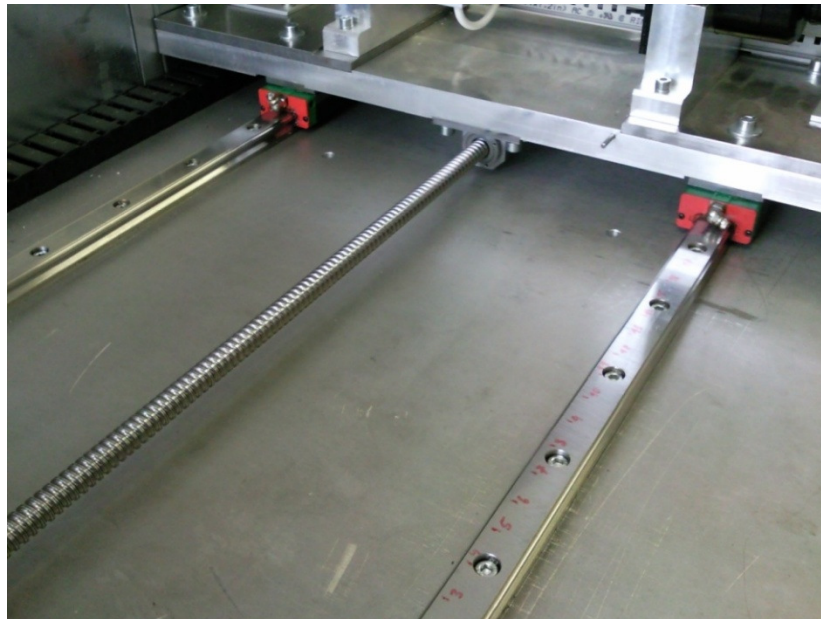


Obr. 41 – Osvětlovací jednotka se clonou

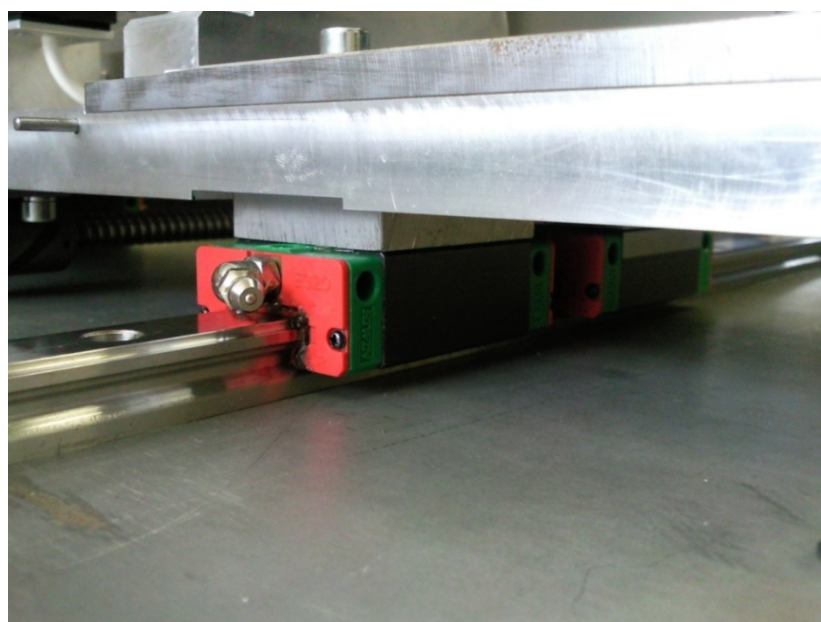
### 3.2.2.4 Lineární vedení

Lineární vedení je od firmy HIWIN. Skládá se ze dvou kolejnic a 4 vozíků. Je použita řada s označením EG. Jedná se o lehčí variantu kuličkového provedení s menší zástavbovou výškou a je určena pro méně namáhané aplikace. Kolejnice mají celkovou délku 1000 mm. Ve vozících slouží jako valivé elementy kuličky.

Důležité bylo dokonalé vyrovnání kolejnic, aby nedocházelo k vyosení kamer vůči měřené součásti.



Obr. 42 – Kolejnice lineárního vedení

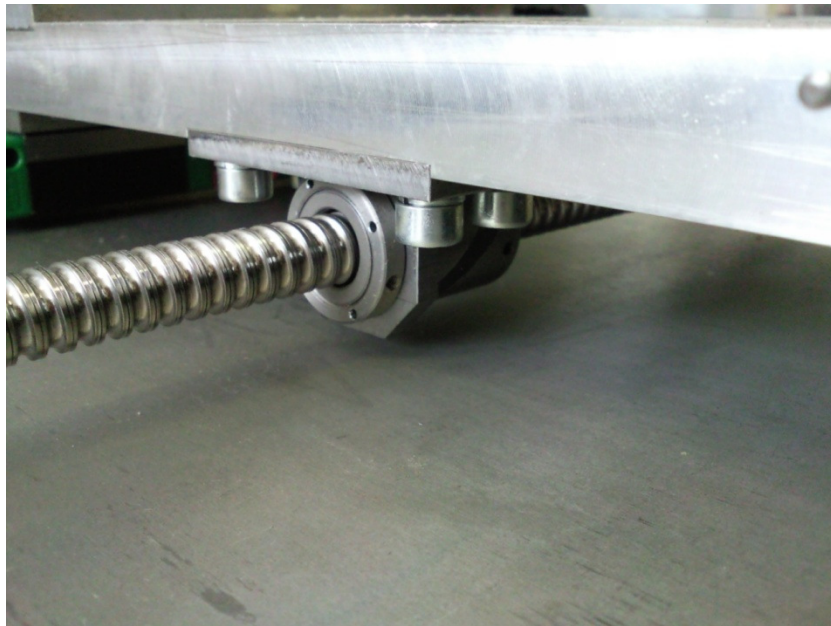


Obr. 43 – Vozík

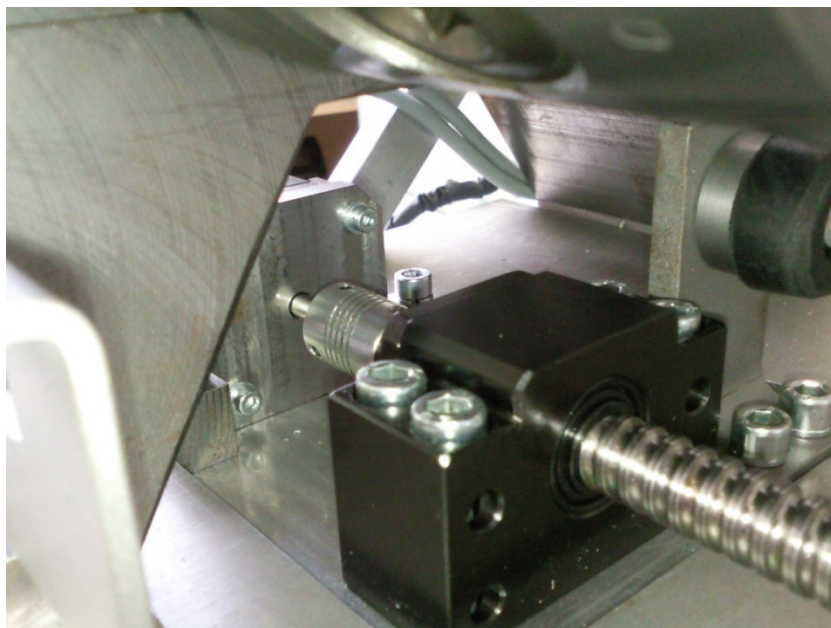


### 3.2.3 Pohybový šroub

Pohyb suportu zajišťuje válcový kuličkový šroub HIWIN s válcovou maticí se závitem. Maticce je na našrubovaná na přírubě a tím spojená pevně s deskou suportu. Kuličkový šroub o délce 720 mm je upevněn v ložiskových domcích a na jednom konci je přes spirálovou spojku, která zaručuje bezvúlové přenášení otáčivého pohybu, napojen na krokový motor MICROCON. Jedná se hybridní doufázový krokový motor. Dosahuje kroutícího momentu 0,8 Nm a délka krouku je  $1,8^\circ$  s tolerancí kroku  $0,1^\circ$ .



Obr. 44 – Matice kuličkového šroubu

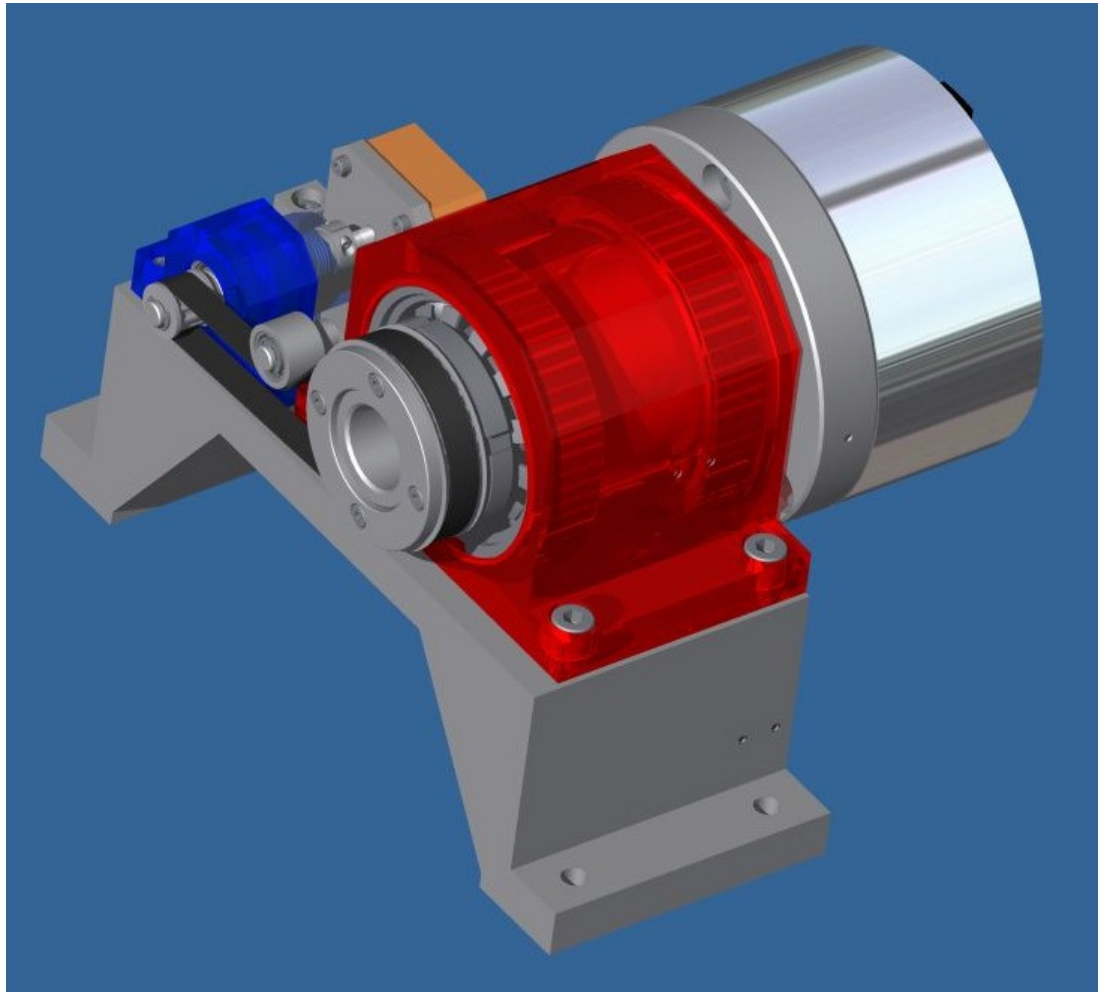


Obr. 45 – Ložiskový domek šroubu a spirálová spojka



### 3.2.4 Krokový motor se sklíčidlem

Představuje pohon pro rotaci součástí při měření. Celek je postaven na robustní ocelové základně, která je připevněna k nosné desce. Soubežnost i rovnoběžnost osy rotace s osou kolejnice je vystředěna a dostatečně zajištěna, by nedocházelo k chybám měření.

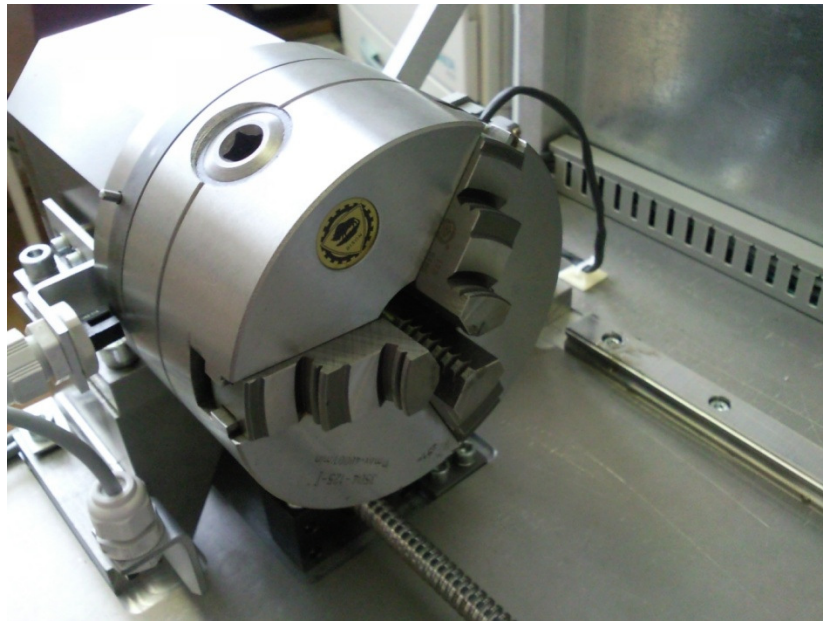


Obr. 46 – Krokový motor se sklíčidlem

#### 3.2.4.1 Sklíčidlo

Přesné univerzální ocelové 3-čelistní sklíčidlo typu 3504-I. Jeho čelisti jsou jednoduté a dle normy DIN 6350. Sklíčidlo má indukčnw kalené vedení čelistí a náboj ocelového tělesa. Jeho předností je vysoká trvanlivost všech součástí, přesnost upínání a

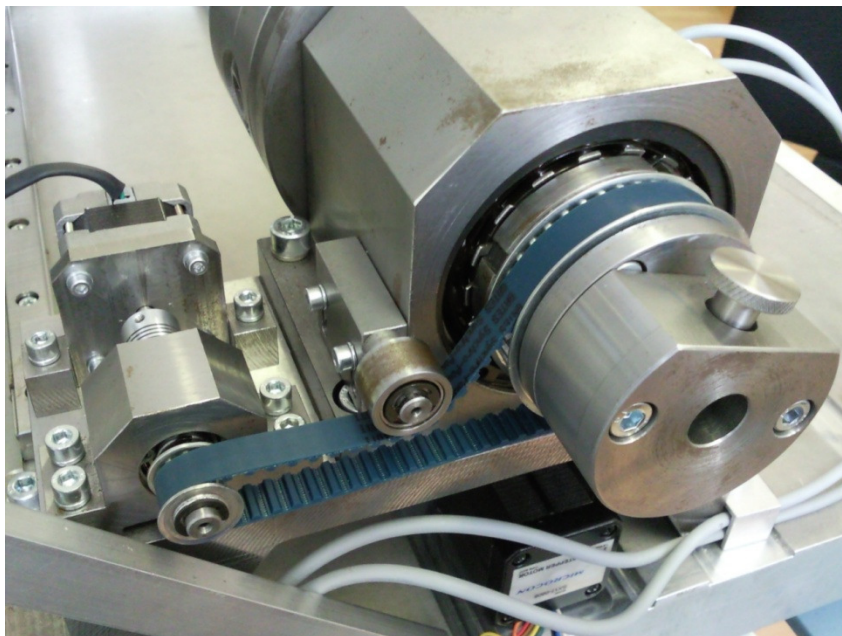
velká tuhost. Rozsah upínání činí 3-125 mm. Sklíčidlo je usazenou v ložiskovém domku se dvěma kuličkovými ložisky a zajištěno KM maticí. Za maticí je potom ozubená řemenice.



Obr. 47 – Sklíčidlo

#### 3.2.4.2 *Pohon sklíčidla*

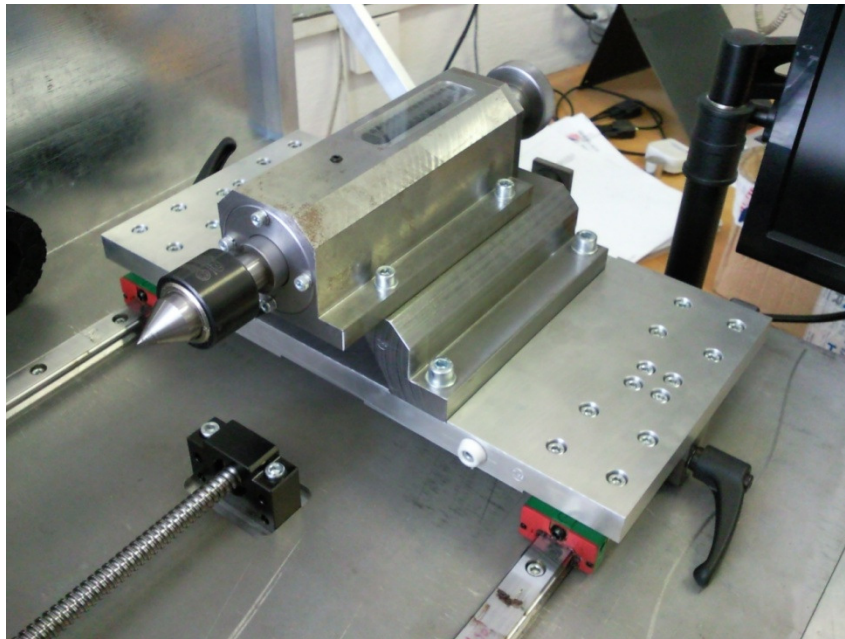
Ten zajišťuje krokový motor MICROCON a jeho otáčivý pohyb je na sklíčidlo převáděn pomocí ozubeného řemene. Řemen je napínám kladkou bez odpružení. Sklíčidlo je opatřeno koncovými spínači. Řemen i ozubené řemenic jsou od firmy ULMER.



Obr. 48 – Poho sklíčidla

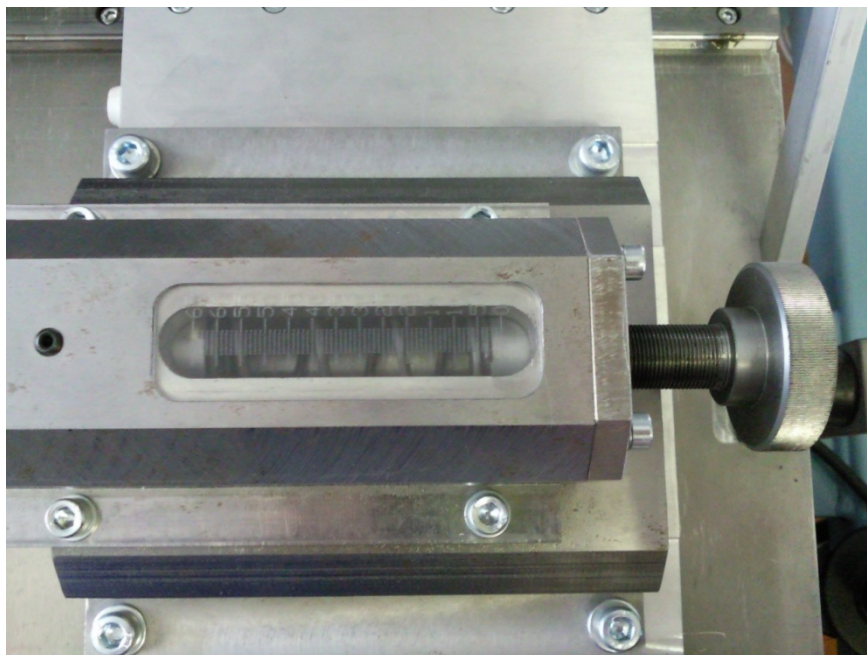
### 3.2.5 Koník

Koník slouží k upnutí druhého konce součásti pomocí kuželového hrotu. Pohybuje se po stejných kolejnicích jako suport s kamerami. Má vlastní aretaci, takže je možné ho nastavit pro součásti libovolné délky v měřeném rozsahu.



Obr. 49 – Koník

Jelikož je nežádoucí prohnutí měřené součásti, je hrot koníku odpružen tlačnou pružinou, jejíž tlak se dá nastavovat pomocí šroubu.



Obr. 50 – Nastavování přtlaku hrotu



### 3.2.6 Kryt

Kryt z plexiskla chrání zařízení před prachem a také zamezuje zásahu pracovníka do zařízení, když je zařízení v chodu. Hliníkovou konstrukcí je připevněn k nosné desce třemi panty. K otevírání slouží dvojice madel. Celý kryt je ještě vystužen několika hliníkovými profily, aby nedocházelo k jeho deformaci.



Obr. 51 – Kryt zařízení

### 3.2.7 Ovládací systém

Zařízení má vlastní řídicí systém. Počítač dodaný s kamerami, obsahuje software, do kterého se zadávají předepsané ideální parametry součásti a jejich odchylky. Při spuštění měření program řídí chod kamer a rotaci součásti, aby byla změřena v celém rozsahu. Veškeré změřené hodnoty se zobrazují v tabulce a také v grafickém průběhu hodnot. Zamožřejmostí je tisknutelnost veškerých výsledků.



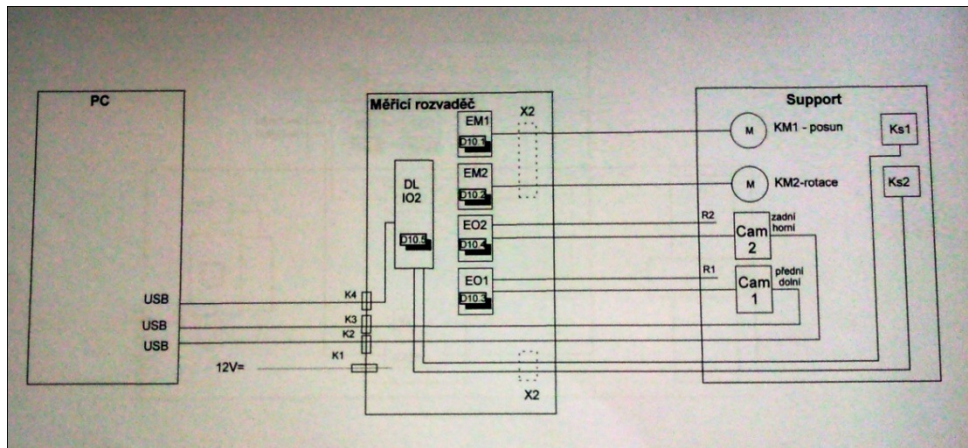
Obr. 52 – Počítač



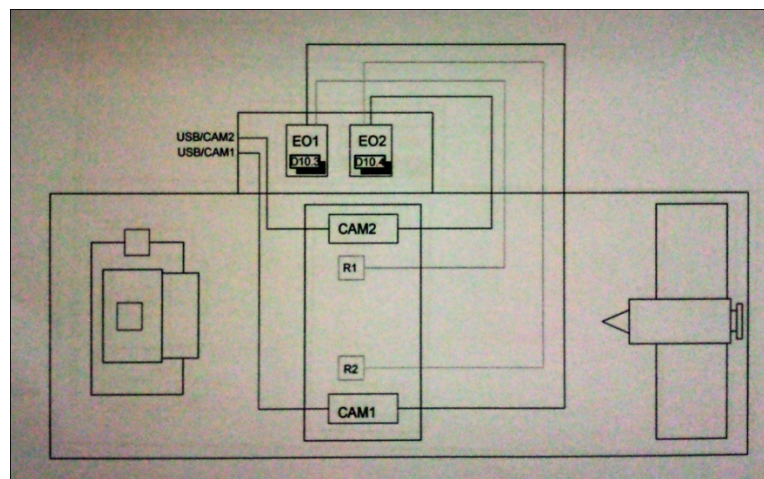
Obr. 53 – Monitor pro zobrazení hodnot



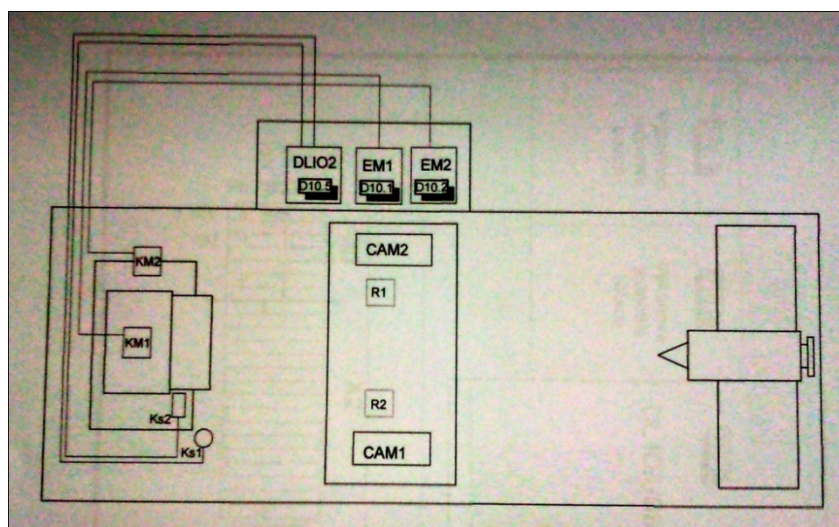
Počítač je se zařízením propojen přes rozhraní USB. Na následujících obrázcích jsou jednoduchá schémata zapojených okruhů.



Obr. 54 – Schéma zapojení



Obr. 55 – Schéma zapojení snímacích kamer



Obr. 56 – Schéma zapojení pohonu lineárního vedení a sklícidla

## 4 FINAČNÍ ZHODNOCENÍ PROJEKTU

V tabulce jsou uvedené orientační ceny jednotlivých vykonaných operací. Znázorněné ceny se týkají pouze kamerového systému, jeho vývoje, nákupu součástí a jejich zapojení a zprovoznění. To činí cca 270 000 Kč. Výsledná cena celého zařízení je daleko vyšší. Z obchodních podmínek zadavatele tuto cenu neuvádím.

Tab. 1 Finanční vyhodnocení

### 1. Cena vývojových prací

položka	název	cena za 1 hod [Kč]	počet hod	cena celkem [Kč]
1.	Ověření činnosti objektivů ve spolupráci s kamerami	900,-	6	5 400,-
2.	Optimalizace osvětlení	900,-	8	7 200,-
	<b>Cena celkem bez DPH</b>			<b>12 600,-</b>

### 2. Cena komponent včetně zprovoznění

položka	název	cena za 1 ks [Kč]	počet ks	cena celkem [Kč]
1.	Kamera DataCam 2016	23 900,-	2	47 800,-
2.	Objektiv Telecentrický	20 000,-	2	40 000,-
3.	Osvětlovač LT 40F modifikovaný	6 000,-	2	12 000,-
4.	Osvětlovací pole k osvětlovači	770,-	2	1 540,-
5.	Držák úhlový pro kameru DataCam	350,-	2	700,-
6.	Vyhodnocovací PC v průmyslovém šasi, OS Windows 7 Pro, LCD 22", klávesnice, myš	17 700,-	1	17 700,-
7.	Kabeláž včetně montáže kabelů	2 700,-	1	2 700,-
8.	SW Control Web Runtime, systémová komponenta	6 500,-	1	6 500,-
9.	SW Vision Lab, systémová komponenta	21 700,-	1	21 700,-
10.	SW Řídící aplikace	55 000,-	1	55 000,-
11.	SW instalace a zprovoznění	15 000,-	1	15 000,-
	<b>Cena celkem bez DPH</b>			<b>220 640,-</b>

## 3. Cena komponent a montáže pohonů

položka	název	cena za 1 ks [Kč]	počet ks	cena celkem [Kč]
1.	DataLab IO, DL-CPU2	2 150,-	1	2 150,-
2.	DataLab IO, DL DO3	1 500,-	1	1 500,-
3.	DataLab IO, DL DI2	1 500,-	1	1 500,-
4.	Výkonový modul pro řízení 2 krokových motorů včetně DC/DC měniče 24V/12V	2 700,-	2	5 400,-
5.	Napájecí zdroj 12V DC, stabilizovaný, provedení adaptér do zásuvky	600,-	1	600,-
6.	Krokový motor	500,-	2	1 000,-
7.	Koncový spínač indukční, nebo optická závora	500,-	2	1 000,-
8.	Plastová skříňka 40x30cm pro umístění modulů	2 000,-	1	2 000,-
9.	Elektroinstalační materiál (DIN lišta, svorky, vodiče)	500,-	1	500,-
10.	Montáž a zapojení elektro komponent	5 000,-	1	5 000,-
<b>Cena celkem bez DPH</b>				<b>20 650,-</b>

## Cena Celkem


položka	název	cena celkem [Kč]
1.	Vývojové práce	12 600,-
2.	Komponenty včetně zprovoznění	220 640,-
2.	Komponenty a montáž pohonů	20 650,-
2.	Technická příprava, dokumentace	17 000,-
<b>Cena celkem bez DPH</b>		<b>270 890,-</b>



## 5 VÝSTUPNÍ PROTOKOL MĚŘENÍ

Příslušný software generuje protokol ke každému měření. Ten je možné získat v elektronické podobě ve formě souboru PDF a nebo ho rovnou vytisknout na tiskárně, která je součástí zařízení. Skládá se ze tří stran. Na první straně jsou základní údaje o měřeném dílci, jako název součásti, číslo výkresu, jeho základní parametry. Dále se zde nacházejí údaje, kdy byla zkouška provedena a kdo ji prováděl. A nejpodstatnějším jsou zjištěné toleranční pole součásti a hodnota válcovitosti.

**GERGEL, s.r.o.**



konstrukce, výroba a opravy  
jednoúčelových strojů  
a zařízení

KONTROLNÍ PROTOKOL NAMĚŘENÝCH HODNOT

Datum:	12.3.2011
Název kontrolovaného dílce:	SHIRRING MANDREL – MEDIUM
Číslo výkresu:	00-10-650-M-002
Označení součásti:	DLL
Identifikační číslo:	270
Revize:	Rev. 14
Číslo zakázky:	211043/1
Kontrolu provedl:	Planava
Absolutní číslo zkoušky:	0000000204
Délka výrobku [mm]:	690
Průměr A výrobku [mm]:	11.6205
Průměr B výrobku [mm]:	11.1125
Tolerance [mm]:	-
Čas spuštění zkoušky:	7:16:46
Toleranční pole průměru v bodě 0 [mm]:	A min = 11.582    A max = 11.659
Toleranční pole průměru na konci trnu [mm]:	B min = 11.074    B max = 11.151
Vzdálenostní krok měření [mm]:	10
Válcovitost [mm]:	0.0011

legenda tabulkového výstupu:

	měřená hodnota OK
	měřená hodnota mimo toleranc
	měřená hodnota překročila toleranci vyhodnocení monotónicity

Obr. 57 – Vystupní protokol 1. strana

Na další straně jsou potom vyobrazeny naměřené hodnoty. Jsou seřazené do sloupečků podle kroků, po kterých jsou měřeny (0, 10, 20 mm atd.) Nacházejí se zde maximální a minimální hodnoty pro daný úsek a také hodnoty pro 0° a 90°. Hodnoty označené žlutou barvou jsou mimo povolené tolerační polo součásti.

úsek	0 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm	110 mm	120 mm	130 mm	140 mm	150 mm	160 mm	170 mm	180 mm
MAX	11.659	11.6516	11.6443	11.6369	11.6296	11.6222	11.6148	11.6075	11.6001	11.5927	11.5854	11.578	11.5707	11.5633	11.5559	11.5486	11.5412	11.5338	11.5265
MIN	11.582	11.5746	11.5673	11.5599	11.5526	11.5452	11.5378	11.5305	11.5231	11.5157	11.5084	11.501	11.4937	11.4863	11.4789	11.4716	11.4642	11.4568	11.4495
0°	11.6191	11.622	11.6184	11.6073	11.6004	11.5949	11.5824	11.5789	11.5702	11.5648	11.5565	11.5512	11.5452	11.5371	11.5292	11.5231	11.5131	11.5042	11.4957
90°	11.6189	11.6225	11.6166	11.6075	11.6001	11.5946	11.5823	11.5789	11.5713	11.5639	11.5574	11.5513	11.5448	11.5366	11.53	11.5239	11.5127	11.5043	11.4961

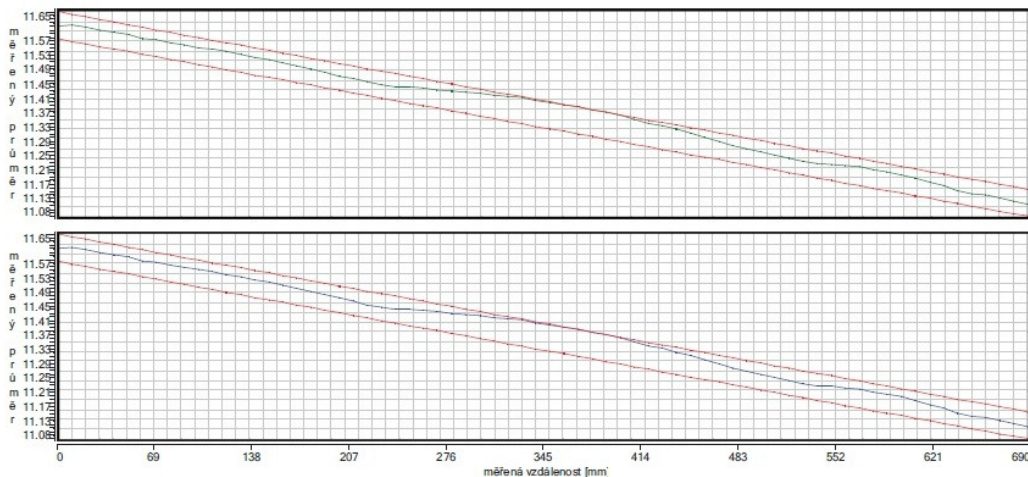
úsek	190 mm	200 mm	210 mm	220 mm	230 mm	240 mm	250 mm	260 mm	270 mm	280 mm	290 mm	300 mm	310 mm	320 mm	330 mm	340 mm	350 mm	360 mm	370 mm
MAX	11.5191	11.5117	11.5044	11.497	11.4896	11.4823	11.4749	11.4675	11.4602	11.4529	11.4454	11.4381	11.4308	11.4234	11.416	11.4087	11.4013	11.394	11.3866
MIN	11.4421	11.4347	11.4274	11.42	11.4126	11.4053	11.3979	11.3905	11.3832	11.3759	11.3684	11.3611	11.3538	11.3463	11.339	11.3317	11.3242	11.317	11.3096
0°	11.4854	11.4757	11.4682	11.4588	11.4507	11.4446	11.4334	11.4414	11.4389	11.4336	11.4309	11.4251	11.4202	11.4163	11.4132	11.4068	11.4003	11.3936	11.3877
90°	11.4857	11.4768	11.4685	11.4577	11.4514	11.4444	11.4336	11.4412	11.4372	11.4338	11.4303	11.4253	11.4196	11.4171	11.4131	11.4064	11.4006	11.3941	11.3875

úsek	380 mm	390 mm	400 mm	410 mm	420 mm	430 mm	440 mm	450 mm	460 mm	470 mm	480 mm	490 mm	500 mm	510 mm	520 mm	530 mm	540 mm	550 mm	560 mm
MAX	11.3792	11.3719	11.3645	11.3571	11.3498	11.3424	11.3351	11.3277	11.3203	11.313	11.3056	11.2982	11.2909	11.2835	11.2762	11.2688	11.2614	11.2541	11.2467
MIN	11.3021	11.2949	11.2875	11.28	11.2728	11.2654	11.2581	11.2507	11.2433	11.236	11.2286	11.2212	11.2139	11.2065	11.1992	11.1918	11.1844	11.1771	11.1697
0°	11.3796	11.3719	11.3626	11.351	11.34	11.3325	11.323	11.3137	11.3005	11.2897	11.2761	11.2684	11.2562	11.2508	11.2396	11.2315	11.2246	11.2234	11.2194
90°	11.3795	11.3722	11.3629	11.351	11.3402	11.3325	11.3228	11.3135	11.3006	11.2897	11.2761	11.2685	11.2586	11.2508	11.2395	11.2322	11.2249	11.2241	11.219

úsek	570 mm	580 mm	590 mm	600 mm	610 mm	620 mm	630 mm	640 mm	650 mm	660 mm	670 mm	680 mm	690 mm
MAX	11.2363	11.232	11.2246	11.2173	11.2099	11.2025	11.1952	11.1878	11.1804	11.1731	11.1657	11.1584	11.151
MIN	11.1623	11.155	11.1476	11.1403	11.1329	11.1255	11.1182	11.1108	11.1034	11.0961	11.0887	11.0814	11.074
0°	11.2156	11.2087	11.2024	11.1939	11.1838	11.1725	11.1611	11.1481	11.1362	11.1342	11.1259	11.1167	11.1081
90°	11.2152	11.2083	11.2015	11.1941	11.1846	11.1725	11.1613	11.1479	11.1365	11.1346	11.1263	11.1165	11.1075

Obr. 58 – Vystupní protokol 2. strana

Na poslední straně je znázorněn průběh hodnot v grafech. Na Y ose jsou hodnoty průměru v a na X vyznačené měřené úseky. Červené čáry vymezují toleranci součásti, modrá tam pak znázorňuje průběh měřeného průměru.



Obr. 59 – Vystupní protokol 3. strana

## ZÁVĚR

Zařízení pro optické měření dlouhých štíhlých strojních součástí, jehož návrhem a realizací se zabývá tato bakalářská práce, splňuje všechny zadané kritéria pro měření. Zařízení využívá dvojici monochromatických CCD kamer s telecentrickými objektivy a osvětlovacími jednotkami. Telecentrický objektiv zamezuje možnému zkreslení snímanému obrazu, díky usměrnění procházejících paprsků přes soustavu čoček. Osvětlovací jednotky se svítivými diodami jsou důležitou součástí pro dosažení kontrastního obrazu bez šumu. Celý kamerový systém se pohybuje na suportu na lineární vedení. Do pohybu ho uvádí kuličkový šroub, který je poháněn krokovým motorem. Součást je pevně a přesně upnutá pomocí sklíčidla a koníku, který se také pohybuje po lineárním vedení, s odpruženým hrotem. Ve sklíčidle se měřená součást otáčí, aby bylo možné ji změřit v celém rozsahu. Pohon sklíčidla je řešen pomocí ozubeného řemene, který je napínán pevnou kladkou, a ozubených řemenic. Celá soustava je řízena pomocí počítače a softwaru dodaného s kamerovým systémem. Díky tomu je obsluha velmi jednoduchá a rychlá. Výsledky jsou přístupné v elektronické formě ve vygenerovaném protokolu, který lze také tisknout na tiskárně, která je součástí zařízení.

Cena za vývoj měřícího systému, nákup součástí a jejich zprovoznění činila 270 000 Kč. Suma nezahrnuje další díly vyvinuté a vyrobené firmou Gergel s.r.o., ani sestavení celého zařízení a jeho zprovoznění. Z obchodních podmínek zadavatele tuto cenu neuvádím.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Strojní a technologická měření [online]. 2005 [cit. 2011-02-02]  
<[http://www.spskarvina.cz/www/Ict2005/manual/data/odborne/mereni/Strojni\\_a\\_technologicka\\_mereni.pdf](http://www.spskarvina.cz/www/Ict2005/manual/data/odborne/mereni/Strojni_a_technologicka_mereni.pdf)>
- [2] Strojírenská metrologie [online]. 2004 [cit. 2011-02-02]  
<<http://www.fs.vsb.cz/books/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>>
- [3] Strojové vidění, kamery DataLight [online]. 2010 [cit. 2011-02-02]  
<<http://www.mii.cz/download/magazine/mag%202010%2001%20screen.pdf>>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

D	průměr součásti [mm]
n	otáčky vřetena [ $\text{min}^{-1}$ ]
l	měřená délka [mm]
s	posuvová rychlost [ $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ ]

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 – Posuvné měřítko [1].....	13
Obr. 2 – Vytvoření nonia s diferencí 0,1, 0,5 a 0,02 mm [1].....	14
Obr. 3 – Hloubkoměry [1] .....	15
Obr. 4 – Výškoměr [1].....	15
Obr. 5 – Mikrometr [1] .....	16
Obr. 6 – Mikrometrotický odpich [1].....	17
Obr. 7 – Měření válcové díry mikrometrickým odpichem [1] .....	17
Obr. 8 – Měření mikrometrickým hloubkoměrem [1].....	18
Obr. 9 – Základní měrky rovnoběžné [1] .....	19
Obr. 10 – Válcový kalibr .....	21
Obr. 11 – Třmenový kalibr [1].....	21
Obr. 12 – Upínací přípravek pro komparační přístroje [1] .....	22
Obr. 13 – Pákový převod minimetru [1].....	23
Obr. 14 – Somkátor [1] .....	24
Obr. 15 – Číselníkový uchylkoměr [1] .....	25
Obr. 16 – Chyby při měření úchylkoměrem [1] .....	25
Obr. 17 – Dutinkoměr [1] .....	26
Obr. 18 – Mikropasametr.....	27
Obr. 19 – Schéma elektromagnetických snímačů [2].....	28
Obr. 20 – Schéma kapacitních snímačů (a – jednoduchý, b – diferenciální) [2] .....	28
Obr. 21 – Schéma tlakového snímače [2] .....	29
Obr. 22 – Schéma průtokového snímače [2].....	30
Obr. 23 – Schéma rychlostního přístroje [2].....	30
Obr. 24 – Schéma optimetru [2] .....	31
Obr. 25 – Průmyslová CCD kamera [3] .....	32
Obr. 26 – Osvětlovací jednotka [3].....	34
Obr. 27 – Měřící zařízení .....	36
Obr. 28 – Normální a telecentrický objektiv .....	38
Obr. 29 – Kamera DataCam [3].....	38
Obr. 30 – Schéma – optika a měřený objekt.....	39
Obr. 31 – Schéma – pracovní oblasti objektivů.....	39
Obr. 32 – Schéma – umístění osvětlováčů.....	40

Obr. 33 – Schéma – sestava na nosné desce .....	40
Obr. 34 – Návrh konstrukčního řešení v programu Autodesk Inventor .....	41
Obr. 35 – Detail kamerového suportu .....	41
Obr. 36 – Nosná deska .....	42
Obr. 37 – Kamerový suport .....	43
Obr. 38 – Monochromní CCD kamera .....	44
Obr. 39 – Rozměry objektivu .....	45
Obr. 40 – Telecentrický objektiv .....	45
Obr. 41 – Osvětlovací jednotka se clonou .....	46
Obr. 42 – Kolejnice lineárního vedení .....	47
Obr. 43 – Vozík .....	47
Obr. 44 – Matice kuličkového šroubu .....	48
Obr. 45 – Ložiskový domek šroubu a spirálová spojka .....	48
Obr. 46 – Krokový motor se sklíčidlem .....	49
Obr. 47 – Sklíčidlo .....	50
Obr. 48 – Poho sklíčidla .....	50
Obr. 49 – Koník .....	51
Obr. 50 – Nastavování přítlaku hrotu .....	51
Obr. 51 – Kryt zařízení .....	52
Obr. 52 – Počítač .....	53
Obr. 53 – Monitor pro zobrazení hodnot .....	53
Obr. 54 – Schéma zapojení .....	54
Obr. 55 – Schéma zapojení snímacích kamer .....	54
Obr. 56 – Schéma zapojení pohonu lineárního vedení a sklíčidla .....	54
Obr. 57 – Vystupní protokol 1. strana .....	57
Obr. 58 – Vystupní protokol 2. strana .....	58
Obr. 59 – Vystupní protokol 3. strana .....	58

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Finanční vyhodnocení.....</i>	<i>55</i>
---	-----------



## SEZNAM PŘÍLOH

P1 - CD data