

Metody měření geometrických rozměrů a tvarů gumárenských výrobků

Pavel Zobaník

Bakalářská práce
2007

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel ZOBANÍK**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Metody měření geometrických rozměrů a tvarů
gumárenských výrobků**

Zásady pro vypracování:

- 1. Teoretická východiska měření geometrických rozměrů a tvarů**
- 2. Studium problematiky videometrie a bezdotykového měření**
- 3. Přehled současných metodik a zařízení pro měření**
- 4. Návrh metod pro měření geometrických rozměrů a tvarů gumárenských výrobků**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Josef Hrdina

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2007

Termín odevzdání bakalářské práce:

31. května 2007

Ve Zlíně dne 17. ledna 2007


prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

V bakalářské práci se zabývám metodami pro měření geometrických rozměrů a tvarů gumárenských výrobků. Úvodem seznámím čtenáře s pojmem metrologie a vyzvednu z této problematiky měření délek. Dále představím různé typy měřidel vhodné pro měření těchto výrobků. Zaměřím se na studium problematiky v oblasti videometrie a bezdotykového měření a v neposlední řadě podám přehled současných metodik a technických prostředků pro měření. Cílem mé práce je navrhnout a vybrat z těchto metod nejvhodnější způsob pro měření geometrických rozměrů a tvarů gumárenských výrobků.

Klíčová slova: metrologie, videometrie, bezdotykové měření

S ABSTRAKTUM

In der Bakkalaureat-Arbeit beschäftige ich mich mit der Methode für das Messen geometrischer Maße und der Gummiprodukten. Am Anfang bekanntmache ich die Leser mit dem Begriff Metrologie und gebe ich die Problematik der Längenmessung hervor. Weiter stelle ich verschiedene Typen der Messgeräte vor, die für die Messung dieser Produkte geeignet sind. Ich orientiere mich ans Studium der Problematik im Bereich Videometrie und des berührungslosen Messens und nicht zu letzt gebe ich den Überblick gegenwärtiger Methodik und e Maschinenausrüstung für die Messung. Das Ziel meiner Arbeit ist vorschlagen und auswählen aus dieser Methoden passendste Form für die Messung geometrischer Maße und der Gummiprodukten.

e Schlüsselwörter: metrologie, videometrie, kontaktlose Messung

Poděkování:

Ing. Josefu Hrdinovi a firmě Prima Bilavčík, s.r.o. za spolupráci a podporu při realizaci
Bakalářské práce.

Motto:

„Měření je základ. Co nemůžeme změřit, nemůžeme regulovat. Co nelze regulovat, to nelze zlepšovat“

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 METROLOGIE	10
1.1 HISTORIE METROLOGIE	10
1.1.1 Svět.....	10
1.1.2 České země.....	11
1.2 SOUSTAVA SI	11
1.2.1 Metr jako jednotka SI.....	12
1.2.1.1 Historie metru	12
1.2.1.2 Historický vývoj metru	13
1.2.1.3 Nejnovější definice metru.....	14
1.3 ZÁKLADNÍ POJMY METROLOGIE.....	15
1.4 KATEGORIE METROLOGIE.....	16
1.4.1 Návaznost.....	17
1.5 DŮLEŽITÉ SUBJEKTY SE VZTAHEM K METROLOGII V ČR.....	18
2 VYHODNOCOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	19
2.1 CHYBY MĚŘENÍ	19
2.2 ROZDĚLENÍ CHYB	19
2.3 TYPY NEJISTOT	22
3 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ	23
3.1 ZÁKLADNÍ POJMY	23
3.2 ROZDĚLENÍ MĚŘÍCÍCH PŘÍSTROJŮ	23
3.2.1 Základní pojmy měřících přístrojů.....	25
3.3 MĚŘENÍ DÉLEK.....	27
4 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ DÉLEK	28
4.1 KONTAKTNÍ MĚŘENÍ.....	28
4.1.1 Posuvná měřidla	28
4.1.1.1 Rozlišitelnost čtení měřeného rozměru	29
4.1.2 Mikrometrická měřidla.....	30
4.1.2.1 Druhy mikrometrů	31
4.2 BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ.....	32
4.2.1 Profilprojektory	32
4.2.1.1 Digitální profilprojektor.....	32
4.2.2 Mikroskopy	34
4.2.2.1 Způsoby měření:	34
4.2.3 Scanner.....	35
4.2.4 Souřadnicové měřící přístroje (SMS)	36
4.2.4.1 Rentgenový měřící přístroj.....	37
4.2.5 Multisenzorové SMS.....	38

II	PRAKTICKÁ ČÁST	39
5	MĚŘENÝ VÝROBEK	40
5.1	VOLBA VÝROBKU	40
5.2	SPECIFIKACE VÝROBKU	40
5.3	MATERIÁL VÝROBKU	40
6	BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ VÝROBKU	41
6.1	MÍSTO MĚŘENÍ	41
6.2	MĚŘICÍ PŘÍSTROJ	41
6.2.1	Technické parametry přístroje.....	41
6.2.1.1	Přesnost přístroje :	41
6.2.1.2	Měřicí rozsah přístroje:.....	41
6.2.2	Software přístroje	42
6.2.3	Zpracování obrazu – přednosti přístroje	43
6.3	POSTUP MĚŘENÍ.....	45
6.4	VÝSTUPY Z PŘÍSTROJE	46
6.4.1	Informativní schéma měřených rozměrů na výrobku	46
6.4.2	Tabulky naměřených hodnot.....	47
6.4.2.1	Symbolika výrazů v tabulkách.....	48
6.5	DISKUZE VÝSLEDKŮ	48
	ZÁVĚR	49
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	50
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	51
	SEZNAM OBRÁZKŮ	53
	SEZNAM TABULEK	55
	SEZNAM PŘÍLOH	56

ÚVOD

Měření je neoddělitelnou složkou našeho každodenního života a jeho všudypřítomnost si již ani mnohdy ani neuvědomujeme. Historie měření sahá daleko do minulosti lidstva a velmi propracované měřivé systémy nalezneme již tisíce let před naším letopočtem v tehdejších vyspělých kulturách na Zemi. Rozvoj měření, měřicích metod a prostředků šel historií lidstva ruku v ruce spolu s délbou práce a obchodem až po dnešní dokonale organizovanou podobu.

Dnes se můžeme setkat s nesčtým množstvím různých měřidel, ale i celých měřicích přístrojů v různých typech odvětví.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 METROLOGIE

Metrologie je vědní a technická disciplína, zabývající se všemi poznatky a činnostmi, týkajícími se měření, je základem jednotného a přesného měření ve všech oblastech vědy, hospodářství, státní správy, obrany, ochrany zdraví a životního prostředí. Jednotné a přesné měření je předpokladem vzájemné důvěry při směně zboží, ale stále více i jednou z nutných podmínek jakékoliv efektivní výroby.[3]

Jak je z uvedeného patrné, zasahuje metrologie prakticky do všech oblastí lidské činnosti. Při vzájemné komunikaci v odborných kruzích je nezbytné používat správné terminologie, která je definována v platných normách a předpisech. Přednostně uveďme ČSN 01 0115 Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii a ČSN ISO 10012-1 Požadavky zabezpečování jakosti měřicího zařízení. 4.část 1 : Metrologický certifikační systém pro měřicí zařízení.[5]

1.1 Historie metrologie

1.1.1 Svět

Míry a váhy začaly vznikat v 4.-3. tisíciletí př. n. l. v oblastech, kde se rozvíjelo zemědělství a s tím i spojené zavlažování (povodí Nilu, Mezopotámie, Pandžáb). V 2. tisíciletí pak v Sumeru vznikly měnové jednotky. Znalosti nabyté v těchto oblastech pak přejali Řekové a Římané. V římské říši byla navíc vytvořena soustava vzájemně převoditelných měr. S rozpadem římské říše nastalo období diferencovanosti - různé regiony měly různé míry a váhy, ačkoli názvy měr a vah mnohdy zůstaly. S rozvojem feudalismu však vznikala potřeba objektivního vyměření měr. Další unifikační snahy probíhaly od 16. století, kdy byly potřeba stejné jednotky v důsledku rozvoje obchodu (v kapitalistických zemích - Anglie, Nizozemí), nebo v důsledku centralizace a kolonizace (v absolutistických státech). Míry tak byly sice sjednoceny v rámci jednotlivých států, rozdíly mezi státy však stále přetrvávaly.

Důležitým mezníkem se stala Velká francouzská revoluce, během které byla ve Francii zavedena metrická soustava - brzy sice byly znovu povoleny staré míry, nicméně byl položen základ moderních měr a vah. Velký technický rozvoj v 19. století pak stále

více potřeboval jednotné míry a váhy. Roku 1875 byl tedy zřízen Mezinárodní ústav pro míry a váhy, jednotky se dále zpřesňovaly a roku 1960 byla nakonec vytvořena Mezinárodní soustava jednotek - SI.

1.1.2 České země

V českých zemích jsou měrné a váhové jednotky námi známy až od 11. století, musely však existovat již mnohem dříve, protože stavba hradišť, opevnění, chrámů a dalších budov nutně nějaké jednotky potřebovala. V 11. století byly zaváděny míry, jejichž názvosloví navazovalo na římské míry. Mnohé z těchto jednotek byly do metrické soustavy nepřevoditelné, protože míry se odvozovaly od úrodnosti polí. Každé pole mělo samozřejmě jinou úrodnost. První ucelenější soustava byla vytvořena až v 16. století, měření však bylo mnohdy nepoctivé. Na přelomu 16. a 17. století proto zemský sněm přikázal užívat pražské míry (pražský loket, libra, lán). Tyto míry se však prosadily až po Třicetileté válce. Roku 1758 byla sice zavedena rakouská soustava, ta však byla nehomogenní (neexistovaly pravidelné intervaly měř a vah). Proto se stále častěji používalo metrické soustavy. Ta byla v Rakousku zákoně zavedena od roku 1876. Když pak vznikla ČSR, byla přijata metrická soustava zákonem. A konečně roku 1980 byla přijata soustava SI.[1]

1.2 Soustava SI

Soustava SI je mezinárodně domluvená soustava jednotek, která se skládá ze základních jednotek, odvozených jednotek, předpon a vedlejších jednotek. Mezinárodně garantuje definice jednotek a uchování etalonů Bureau International des Poids et Mesures v Sèvres (Francie)[2], v České republice Český metrologický institut v Brně.[3]

Soustava vznikla v roce 1960 ze soustavy metr-kilogram-sekunda (mks). Existoval také užívaný systém centimetr-gram-sekunda (soustava CGS).

V Česku vyplývá pro subjekty a orgány státní správy povinnost používat soustavu jednotek SI (Tab. 1) ze zákona č. 505/1990 Sb. ze dne 16. listopadu 1990 (Zákon o metrologii) (se změnami podle zákonů č. 4/1993, 20/1993, 119/2000, 137/2002, 13/2002 a 226/2003 Sb.) a souvisejících vyhlášek Ministerstva průmyslu a obchodu ČR.[1]

Veličina	Název jednotky	Značka
délka	metr	m
hmotnost	kilogram	kg
čas	sekunda	s
elektrický proud	ampér	A
termodynamická teplota	kelvin	K
svítivost	kandela	cd
látkové množství	mol	mol

Tab. 1. Základní jednotky SI soustavy



Obr. 1. Symboly značení jednotek SI

1.2.1 Metr jako jednotka SI

1.2.1.1 Historie metru

Ve strojírenské praxi nejčastěji uplatňované měření.

Měřicí jednotky byly historicky poplatné stavu poznání – jejich vznik si vynutila výroba a zejména obchod.

Jednotky délky byly zprvu stanovovány ve formě tyčí, uložených v královských palácích nebo chrámech. Problémem byla jejich nejednotnost a nestálost v čase. Odvozovány byly např. od délky ruky, nebo délky stopy.



Obr. 2. Určování délky stopy (Köbl, 1584)

- **Anglie měrová soustava:** yard, palec, unce, libra
- **České země měrová soustava:** pražský loket = 594mm, 1 loket = 10 palcům,
1 palec = 4 zrna ječmene

1.2.1.2 Historický vývoj metru

Původně byl metr odvozen od rozměrů zeměkoule a 1 metr byl definován jako délka jedné desetimilióntiny zemského kvadrantu (čtvrtky poledníku). Pozdější fyzikální definice odstranily závislost na prototypu tím, že délku metru vyjádřily pomocí fyzikálních konstant.

První taková definice byla schválena roku 1960 a zněla: Metr je délka, rovnající se 1 650 763,73 násobku vlnové délky záření šířícího se ve vakuu, které přísluší přechodu mezi energetickými hladinami $2p_{10}$ a $5d_5$ atomu kryptonu 86.

Druhá taková definice metru přijatá na 7. CGPM (1927) zněla takto: Jednotkou délky je metr, definovaný, při 0 stupních celsia, vzdáleností os dvou středních rysek na platino-iridiové tyči (Obr. 3) uložené v BIPM, prohlášené za Prototyp metru 1. CGPM, přičemž toto pravidlo platí za normálního atmosférického tlaku při podložení dvěma válečky o průměru alespoň a centimetr, umístěnými symetricky v téže vodorovné rovině ve vzdálenosti 571 mm od sebe.[1]



Obr. 3. Platinum-Iridium meter

1.2.1.3 Nejnovější definice metru

Nejnovější definice z roku 1983 svázala délku metru s rychlostí světla ve vakuu, čímž hodnotu této rychlosti zafixovala na dané hodnotě. Z toho vyplývá, že případným zpřesňováním jejího měření se zpřesňuje velikost metru, nikoli číselná hodnota rychlosti světla.[1].

Metr je délka, kterou urazí světlo ve vakuu za $1/299\,792\,458$ s.



Obr. 4. Státní etalon délky ČR (stabilizované lasery 633 nm, 543 nm)

1.3 Základní pojmy metrologie

- **Metrologie** je definovaná jako souhrn znalostí souvisejících s měřením.
- **Měření** je soubor experimentálních úkonů, jejichž cílem je stanovit hodnotu měřené veličiny. Při měření se zjišťuje velikost měřené veličiny ve zvolených jednotkách.
- **Kontrola** je soubor operací, kterými se zjišťuje, zda kontrolovaný objekt odpovídá požadavkům.
- **Ověřování** je soubor operací, jehož cílem je zjistit, zda ověřovaný měřicí předmět vyhovuje podmínkám měření.
- **Kalibrace** je základním prostředkem při zajišťování návaznosti měření je kalibrace měřidel. Tato kalibrace zahrnuje určení metrologických charakteristik přístroje. To se provádí pomocí přímého srovnání s etalony. Vystavuje se kalibrační certifikát a (ve většině případů) připevňuje se štítek na kalibrované měřidlo. Na základě těchto informací může uživatel určit, zda je přístroj vhodný pro danou aplikaci.
- **Měřicí prostředky** jsou všechny technické prostředky k provádění měření.
- **Měřicí přístroj** je měřicí prostředek, který slouží na převod měřené veličiny, nebo některé veličiny s ní související na údaj nebo ekvivalentní informaci.
- **Měřidlo** je zařízení určené k měření, samotné nebo ve spojení s doplňkovým vybavením.
- **Etalon** je měřidlo (měřicí přístroj, míra) určené k definování, ztělesnění, uchování a reprodukování jednotky nebo více známých hodnot veličiny, aby mohly být přeneseny na jiná měřidla. (př. definice metru).
- **Etalon mezinárodní** je Etalon uznaný mezinárodní dohodou k tomu, aby sloužil v mezinárodním rozsahu, jako základ pro stanovení hodnot jiných etalonů dané veličiny.
- **Etalon státní** je Etalon uznaný národním rozhodnutím k tomu, aby sloužil v dané zemi jako základ pro stanovení hodnot jiných etalonů dané veličiny.

- **Etalon primární** je etalon, který je určen, nebo všeobecně považován za etalon s nejvyššími metrologickými vlastnostmi a jehož hodnota je uznávána bez navázání na jiné etalony téže veličiny.
- **Etalon Referenční** je všeobecně etalon nejvyšší metrologické kvality, který je dostupný na daném místě nebo v dané organizaci a z něhož jsou odvozena měření prováděná na daném místě.
- **Rozměr** je hodnota, která je předepsaná výkresem a kterou musí výroba dodržet.
- **Jmenovitý rozměr** je rozměr označený na výkrese, nelze jej však přesně vyrobit.
- **Skutečný rozměr** je rozměr vyrobený, zatížený chybami.
- **Referenční materiál** je materiál nebo látka, jejichž jedna nebo více vlastností jsou stanoveny s dostatečnou úrovní, aby mohly být použity ke kalibraci přístrojů, k vyhodnocování měřících metod a k určování hodnot příslušných materiálů.
- **Neshoda** je nesplnění požadavku (potřeba nebo očekávání, které jsou stanoveny, obecně se předpokládají nebo jsou závazné).
- **Neshodný výrobek** je výrobek nesplňující požadavky.
- **Návaznost** je vlastnost výsledku měření nebo hodnoty etalonu, kterou může být určen vztah k uvedeným referencím zpravidla státním nebo mezinárodním etalonům, přes nepřerušovaný řetězec porovnání (řetězec návaznosti), jejichž nejistoty jsou uvedeny.[9]

1.4 Kategorie metrologie

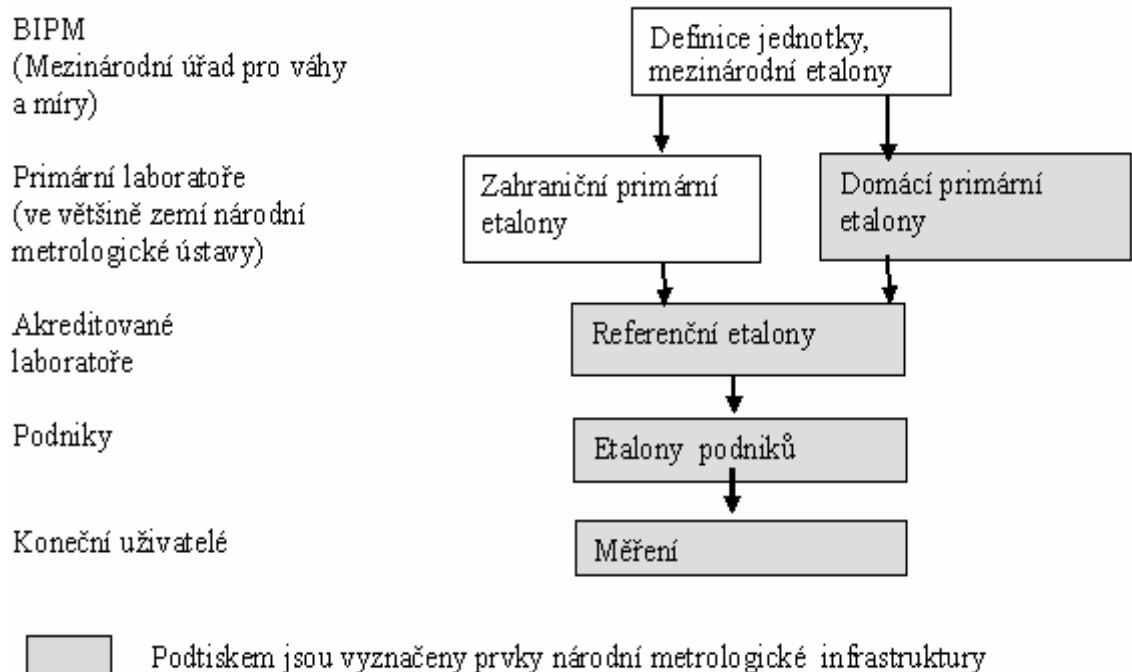
V Evropské unii se metrologie člení do tří kategorií s různým stupněm složitosti, oblasti užití a přesnosti:

- **Vědecká metrologie** se zabývá organizací a vývojem etalonů a jejich uchováváním (nejvyšší úroveň).
- **Průmyslová metrologie** zajišťuje náležité fungování měřidel používaných v průmyslu a ve výrobních a zkušebních procesech.

- **Legální metrologie** se zabývá přesností měření tam, kde tato měření mají vliv na průhlednost ekonomických transakcí, zdraví a bezpečnost.

Fundamentální metrologie není v mezinárodním měřítku definována, nicméně představuje nejvyšší úroveň přesnosti v rámci dané oblasti. Fundamentální metrologii lze proto popsat jako vědeckou metrologii doplněnou o ty části legální a průmyslové metrologie, které vyžadují vědeckou kompetenci.[4]

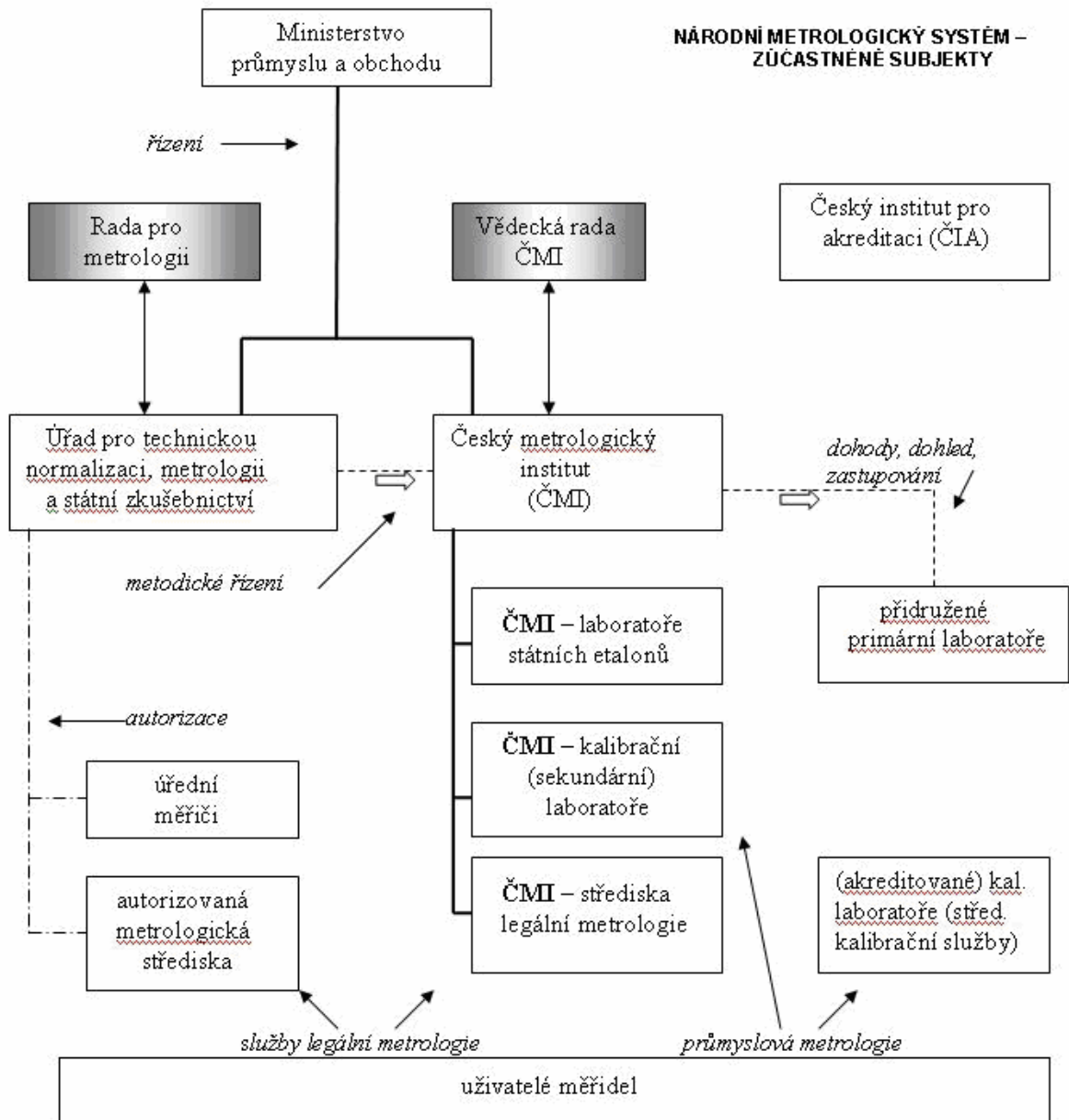
1.4.1 Návaznost



Obr. 5. Řetězec návaznosti (úroveň etalonu)

Definice jednotlivých etalonů jsou uvedeny v kapitole 1.3

1.5 Důležité subjekty se vztahem k metrologii v ČR



Obr. 6. Vztahy v národním metrologickém systému ČR.

Pro vybrané subjekty jsou zde uvedeny kontaktní adresy. Rada pro metrologii - www.unmz.cz, Český metrologický institut - www.cmi.cz, Český institut pro akreditaci - www.cai.cz, Česká metrologická společnost www.csvts.cz/cms, Ministerstvo průmyslu a obchodu www.mpo.cz

2 VYHODNOCOVÁNÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Vyhodnocení výsledků měření bylo dlouhá léta spojeno s klasickou analýzou chyb, která ale v dnešní době bývá doplněna novým přístupem. Tím jsou v souladu s nejnovějšími národními i mezinárodními předpisy z oblasti metrologie nejistoty měření.

2.1 Chyby měření

V praxi nejsou žádné měření, žádná měřicí metoda ani žádný přístroj absolutně přesné. Nejrůznější negativní vlivy, které se v reálném měřicím procesu vyskytují, se projeví odchylkou mezi naměřenou a skutečnou hodnotou měřené veličiny.

Výsledek měření se tak vždy pohybuje v určitém tolerančním poli kolem skutečné hodnoty, ale téměř nikdy nenastane ideální ztotožnění obou hodnot. Výsledný rozdíl mezi oběma hodnotami je někdy tvořen velmi složitou kombinací dílčích faktorů. Tento rozdíl se v minulosti nazýval chybou měření. Chyby se vyjadřují v absolutních nebo relativních hodnotách. Jako **chyba absolutní** $\Delta(x)$ se označuje rozdíl mezi hodnotou naměřenou x_m a skutečnou x_s .

$$\Delta(x) = x_m - x_s \quad (1)$$

Podělíme-li absolutní chybu skutečnou hodnotou, dostaneme poměrné vyjádření chyby, tj. **chybu relativní** $\delta(x)$.

$$\delta(x) = \frac{\Delta(x)}{x_s} = \frac{x_m - x_s}{x_s} \quad (2)$$

2.2 Rozdělení chyb

Chyby měření se podle jejich působení na výsledek měření rozdělují

- chyby systematické
- chyby náhodné
- chyby hrubé

Systematickou nazýváme chybu, jejichž hodnota se při stejných podmínkách při měření nemění, je konstantní co do velikosti a znaménka, nebo která se při změně podmínek měření mění podle určité (známé) závislosti a svým způsobem „systematicky“ ovlivňuje výsledek měření. Na rozdíl od náhodné chyby systematickou chybu nemůžeme charakterizovat na základě opakovaných měření. Ke stanovení jejich velikosti postačí zpravidla vztah pro výpočet absolutní chyby [1].

Náhodné chyby působí zcela nahodile, jsou těžko předvídatelné a nelze je vyloučit.

Při opakování měření se mění jejich velikost i znaménko, jak odpovídá předpokládanému zákonu rozdělení pravděpodobnosti. Pro určení jejich velikosti se vychází z opakovaného měření s použitím statistických metod odpovídajících patřičnému pravděpodobnostnímu modelu, reprezentovanému zákonem rozdělení příslušné náhodné chyby. V praxi velmi často jde o normální-Gaussovo, které se používá ve většině aplikací.

Při opakovaném měření nezávislé veličiny X za stejných podmínek, dostáváme v důsledku náhodných chyb různé hodnoty $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$. Výsledek měření je reprezentován aritmetickým průměrem získaným z naměřených hodnot tj.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

kde n je počet měření

Náhodnou chybu v klasické teorii chyb nejčastěji zastupuje směrodatná odchylka výběrového souboru $s(x)$, méně často směrodatná odchylka aritmetického průměru $s(\bar{x})$, získané z následujících vztahů

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^2(x_i)}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

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

Obě směrodatné odchylky charakterizují, jak jsou výsledky měření (náhodné chyby) rozptýlené. Hodnota směrodatné odchylky (nebo její některý násobek – dvounásobek, trojnásobek) není však hodnota chyby, jak se to často interpretuje. Směrodatná odchylka nebo její násobek vyjadřují jen hranici, kterou může náhodná chyba s určitou pravděpodobností překročit, nebo nepřekročit. To už ale souvisí s nejistotou měření. Náhodné chyby existují, neumíme je však v jednotlivých případech určit, ale víme z pravděpodobnostního hlediska popsat jejich chování a ve výsledku měření jich hodnotíme nejistotu.

Hrubé chyby jsou z předchozího pohledu zcela nevyzpytatelné. Měření zatížené hrubou chybou znehodnotí celý experiment, a proto naměřené hodnoty které výrazně „vybočují z řady“, což bývá velmi často projevem tohoto druhu chyb, se vyloučí z dalšího zpracování. Omezit riziko jejich výskytu lze důsledným dodržováním příslušných měřících postupů, podmínek měření a pozorností obsluhy.

Výsledná chyba měření je vyjadřována jako součet systematické e a náhodné složky ε což lze zapsat.

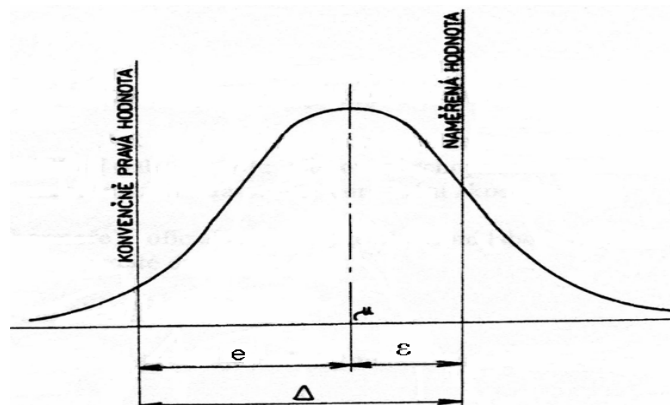
$$\Delta(x) = |e| + |\varepsilon| \quad (6)$$

a její maximální hodnotu je možné odhadnout jako

$$\Delta_{\max} = (\bar{x} - x_s) + 2s \quad (7)$$

kde systematická složka je $e = \bar{x} - x_s$ a náhodná složka je $\varepsilon = s$, popř. $\varepsilon = 2s$

Součinitel rozšíření směrodatné odchylky souvisí s pravděpodobností pokrytí intervalu a typem rozdělení. Dvojka u Gaussova rozdělení přísluší často užívané 95% pravděpodobnosti.[6]



Obr. 7. Grafické vyjádření chyby měření

2.3 Typy nejistot

Pojem nejistota (nejistota měření) je označením pro parametr související s výsledkem měření a charakterizující rozsah hodnot, které je možno racionálně přiřadit k měřené veličině. Nejistota se skládá z několika dílčích nejistot (složek). Ke stanovení jejich velikosti jsou k dispozici tyto dvě metody:

- **statistické zpracování naměřených údajů (metoda typu A),**
- **jiné než statistické zpracování naměřených údajů (metoda typu B).**

Někdy se nejistoty získané metodou A stručně označují jako nejistoty typu A, obdobně nejistoty získané metodou B jako nejistoty typu B. Z těchto základních typů nejistot se prostřednictvím součtu jejich čtverců určí výsledná nejistota kombinovaná.[6]

3 MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ

3.1 Základní pojmy

K popisu objektů, které jsou použity při měření, se používá mnoho rozdílných termínů. Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii (ČSN 01 0115) uvádí řadu termínů, které se vzájemně nevylučují :

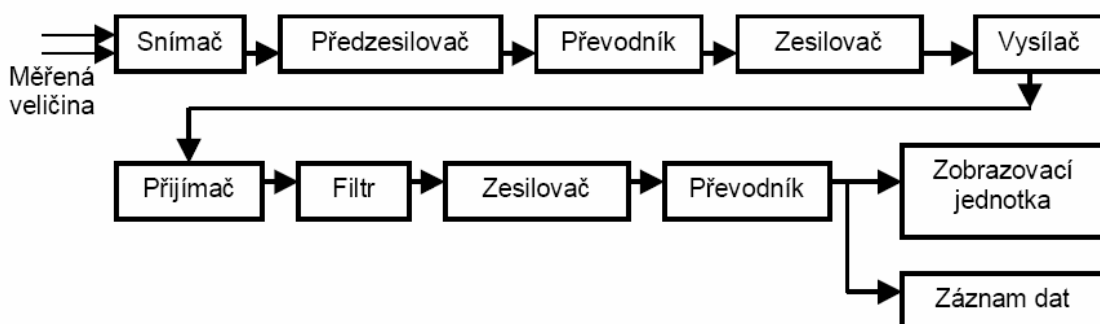
- **měřicí přístroj (měřidlo)** je zařízení určené k měření, samotné, nebo ve spojení s přidavným zařízením;
- **ztělesněná míra** je zařízení určené k reprodukování nebo dodávání jedné nebo více známých hodnot dané veličiny trvalým způsobem během používání.

Příklady : závaží, koncová měrka, etalon elektrického odporu, referenční materiál;

- **měřicí převodník** je zařízení, které poskytuje výstupní veličinu, jejíž vztah ke vstupní veličině je určen.

Příklady : termočlánek, tenzometr;

- **měřicí řetězec** (Obr. 8) je řada prvků měřicího přístroje nebo měřicího systému, která vytváří cestu pro měřicí signál od vstupu k výstupu.[5]



Obr. 8. Měřicí řetězec

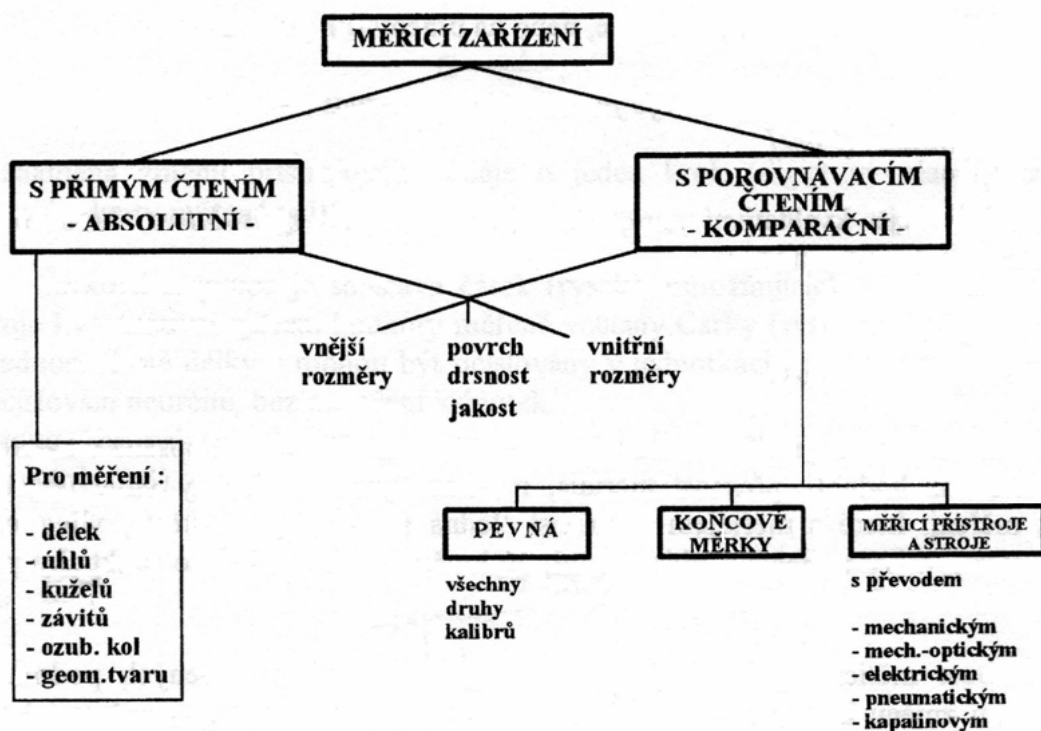
3.2 Rozdělení měřicích přístrojů

Rozdělení měřicích přístrojů může být definováno z různých hledisek. Základní rozdělení je na (Obr. 9).

Podle způsobu vyjádření měřené veličiny se dělí měřicí přístroje na:

- analogové
- digitální.

Analogový přístroj sleduje měřenou veličinu plynule a průběh jejího údaje v závislosti na čase je obdobný (analogický) průběhu měřené veličiny. Analogové přístroje jsou převážně výchylkové, mohou však být uspořádány jako číslicové, jestliže stupnici nahrazuje řada číslic, jako je tomu u průtokoměrů, elektroměrů a pod.



Obr. 9. Zjednodušené schéma dělení měřicích přístrojů

Digitální přístroj vytváří signál pomocí stejně velkých jednotek, tzv. digitů, na jaké se dá rozdělit hodnota měřené veličiny. Jeden krok odpovídá nejmenší změně měřené veličiny, kterou je schopen přístroj zaznamenat. Údaj přístroje se nemění plynule, ale vzniká po zmíněných krocích, tj. přetržitě, a to jako součet všech kroků, počínaje nulovou hodnotou, až do počtu odpovídajícího hodnotě měřené veličiny v okamžiku měření. Digitální údaj měřené veličiny se ponejvíce vyjadřuje skupinou číslic. Rozlišitelnost přístroje je tožná s hodnotou jednoho digitu.

Digitální signál může být přeměněn na výchylku ručičky, čímž vznikne výchylkový digitální přístroj.

3.2.1 Základní pojmy měřících přístrojů

- **Měřicí rozsah** je soubor hodnot měřených veličin, pro které se předpokládá, že chyba měřicího přístroje leží v rozsahu specifikovaných mezních hodnot.
- **Stanovené pracovní podmínky** jsou podmínky, pro které se předpokládá, že specifikované metrologické charakteristiky měřicího přístroje se nacházejí v rozsahu mezních hodnot.
- **Mezní podmínky** jsou krajní podmínky, kterým měřicí přístroj musí odolat bez poškození a bez degradace specifikovaných metrologických charakteristik, když je následně použit ve stanovených pracovních podmínkách.
- **Referenční podmínky** použití jsou předepsané pro funkční zkoušky provedení měřicího přístroje nebo pro vzájemné porovnání výsledků měření.
- **Citlivost** je podíl změny výstupního signálu měřicího přístroje a odpovídající změny vstupního signálu.

Citlivost může záviset na hodnotě vstupního signálu.

- **Fyzikální rozměr citlivosti** u výchylkových přístrojů je podíl délky vyjádřené v mm a rozměru měřené veličiny

$$[C] = \frac{\text{mm}}{[A]} \quad (8)$$

kde [C] je fyzikální rozměr citlivosti,

[A] je fyzikální rozměr měřené veličiny.

U digitálních přístrojů se vyjadřuje změna údaje vyvolaná požadovanou změnou měřené veličiny počtem číslicových kroků, odpovídajícím této změně, tady číslem bezrozměrným.

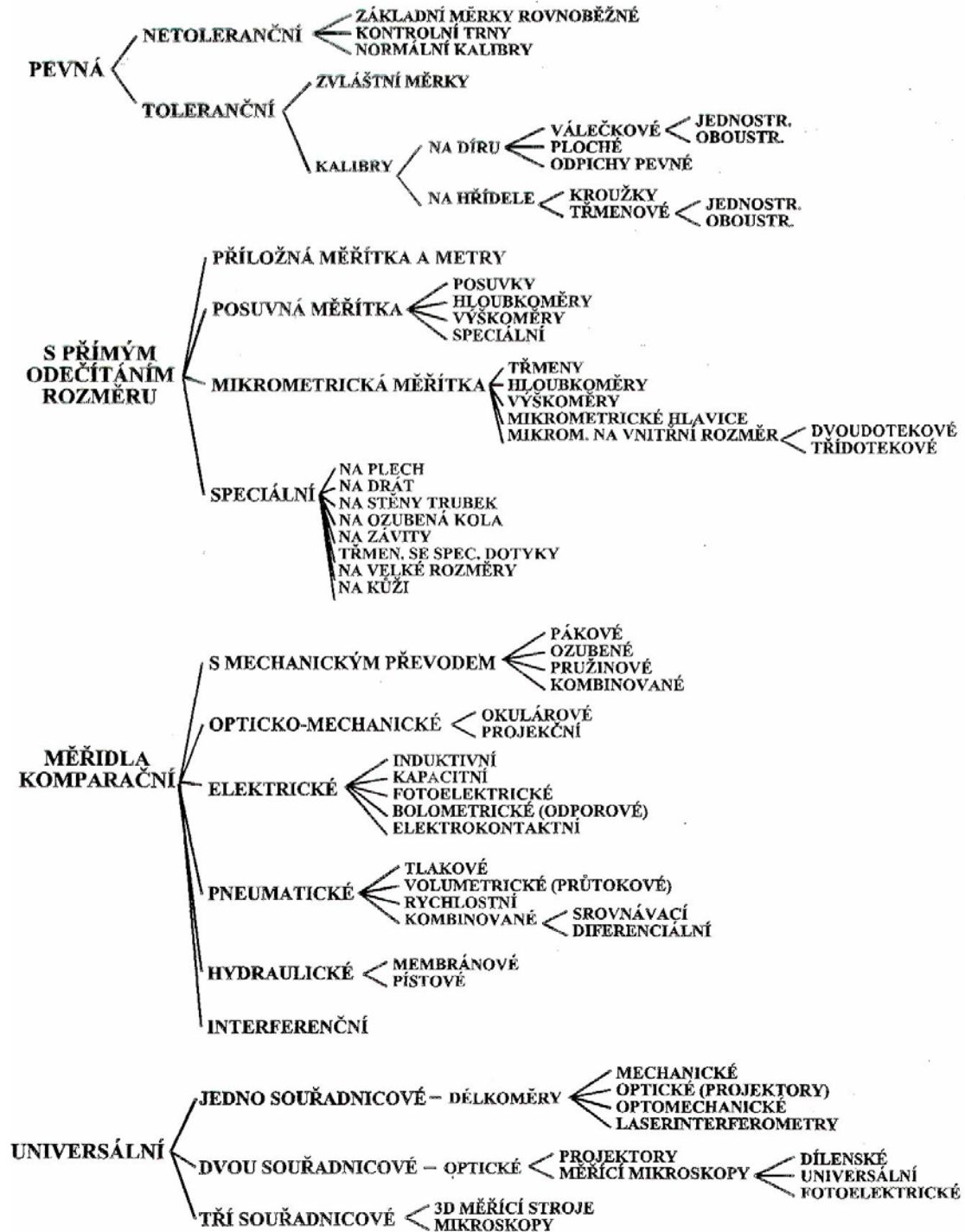
Rozměr citlivosti:

$$[C] = \frac{1}{[A]} \quad (9)$$

- **Práh pohyblivosti** (práh citlivosti) je největší změna vstupního signálu, která nezpůsobí žádnou pozorovatelnou změnu výstupního signálu měřicího přístroje.
- **Třída přesnosti** je třída měřicích přístrojů, které splňují určité metrologické požadavky stanovené k udržení chyb v rozsahu specifikovaných mezních hodnot.
- **Správnost** (měřicího přístroje) je schopnost poskytovat indikace bez systematické chyby.[5]

3.3 Měření délek

Měření délek patří k nejčastěji používaným metrologickým operacím ve strojírenských podnicích, kde představují až 70 % všech měření. Rozdělení měřidel je na (Obr. 10).



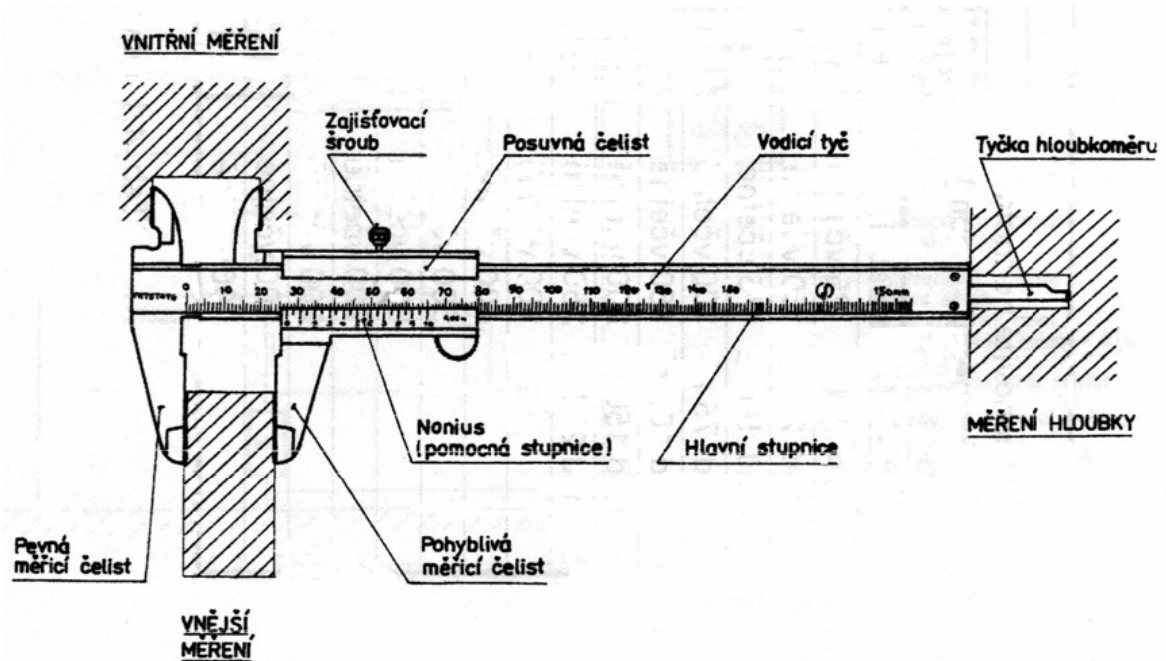
Obr. 10. Přehled délkových měřidel a měřících přístrojů

4 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ DÉLEK

4.1 Kontaktní měření

4.1.1 Posuvná měřidla

Klasické posuvné měřítko (Obr. 11) může měřit vnější, vnitřní rozměry a hloubky.



Obr. 11. Posuvné měřítko

Pro měření rozteče otvorů, nepřístupných drážek a pod. se vyrábí měřítka se speciálně upravenými měřicími čelistmi. Rozsah měření u běžných měřítek je $0 \div 150$ mm, $0 \div 200$ mm, $0 \div 300$ mm a více.

Stanovení nonia:

$$N = M(n - 1) \quad (10)$$

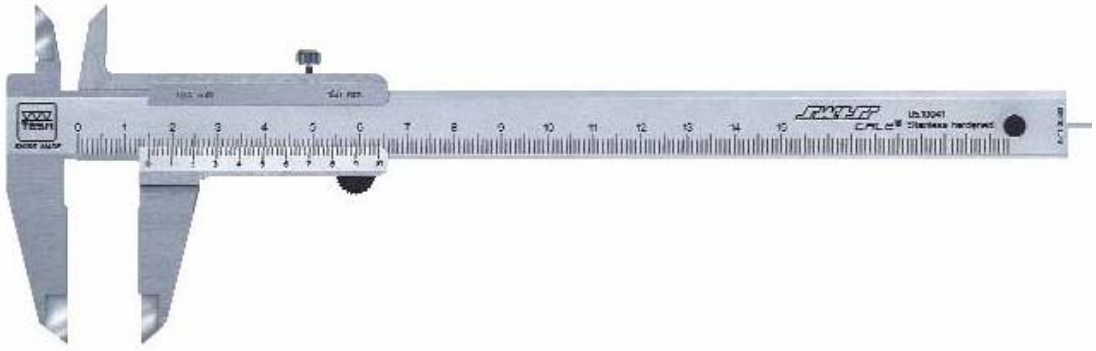
N – odstup rysek nonia [mm . n]

M – hodnota odstupu rysek [mm]

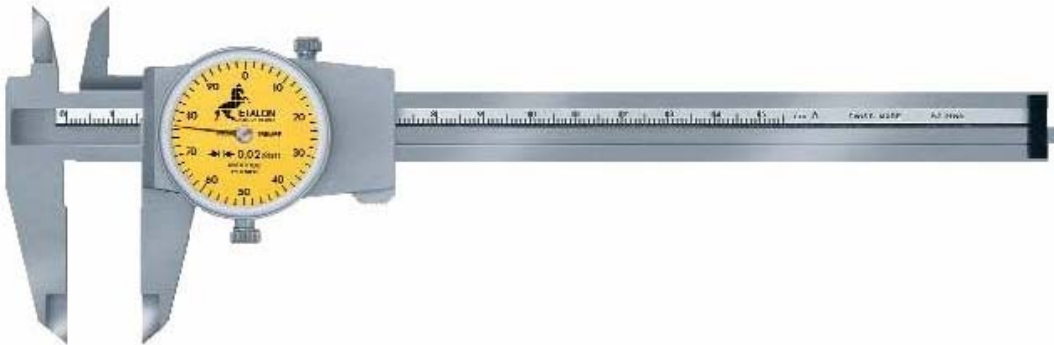
n – počet dílků nonia

4.1.1.1 Rozlišitelnost čtení měřeného rozměru

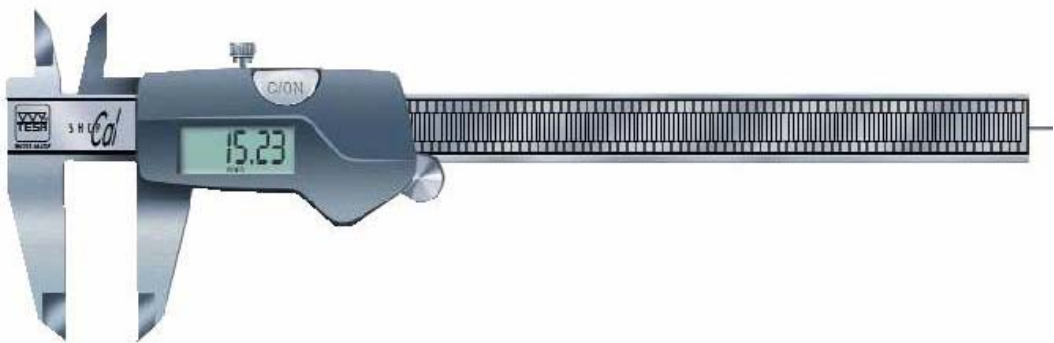
- stupnice s noniem 0,1 (0,05; 0,02) mm (Obr. 12)
- s kruhovým číselníkem 0,05 (0,01) mm (Obr. 13)
- s digitálním odměřováním 0,01 mm (Obr. 14)



Obr. 12. Stupnice s noniem



Obr. 13. Stupnice s kruhovým číselníkem

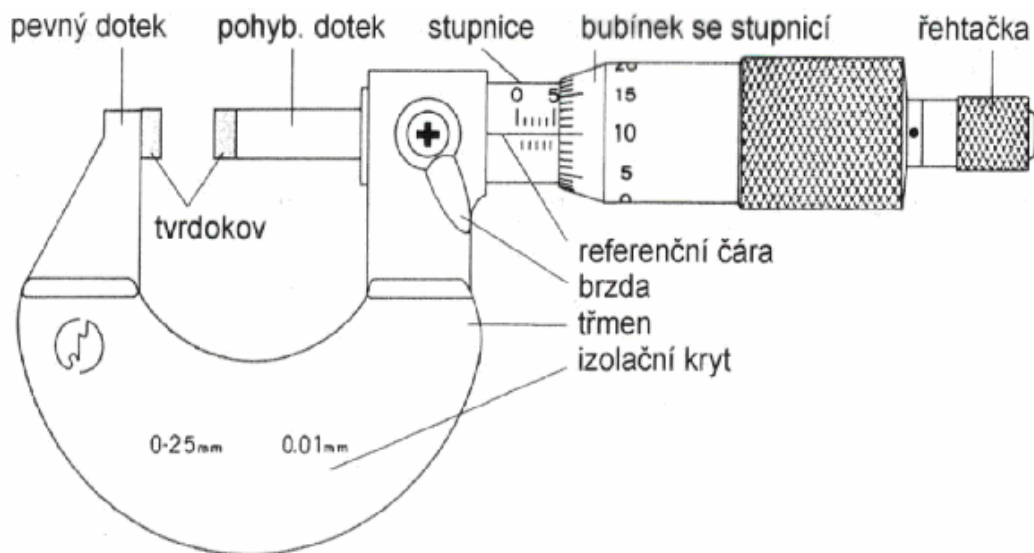


Obr. 14. Stupnice s digitálním číselníkem

4.1.2 Mikrometrická měřidla

Mikrometrických měřidel existuje velké množství druhů. Jsou zhruba o 1 řád přesnější než posuvná měřítka. Základní částí všech mikrometrických měřidel je mikrometrický šroub s maticí o stoupání 0,5 , případně 1 mm a délce 25 mm. Delší šrouby se nedělají z výrobních důvodů (dodržení přesného stoupání) a z důvodů praktických (časová náročnost při měření). Rozsah mikrometrických měřidel : 0 ÷ 25, 25 ÷ 50, 50 ÷ 75 (mm) atd.

Klasickým příkladem mikrometrického měřidla je třmenový mikrometr (Obr. 15).



Obr. 15. Třmenový mikrometr

Hodnota 1 dílku stupnice je 0,01 mm. Výjimečně se dělají stupnice doplněné noniem s přesností čtení až 0,001 mm.

Mikrometry s digitálním odměřováním (Obr. 17) mají přesnost odečítání 0,001 mm. Tyto mikrometry mají též možnost napojení na síť sběru dat k dalšímu zpracování.

Třmenový mikrometr s přesným úchylkoměrem (mikropasometr) může sloužit po nastavení jmenovité hodnoty jako komparační měřidlo.

4.1.2.1 Druhy mikrometrů



Obr. 16. Analogový třmenový mikrometr



Obr. 17. Digitální třmenový mikrometr



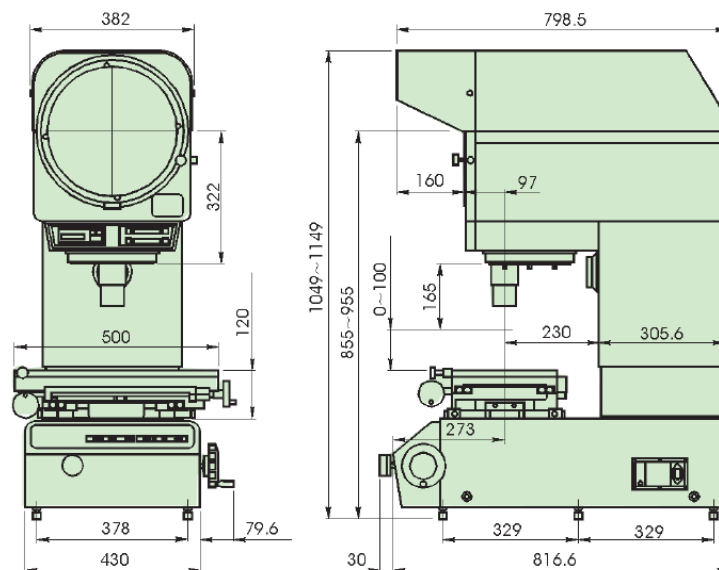
Obr. 18. Mikrometr s nastavitelnou přítlačnou silou

4.2 Bezkontaktní měření

4.2.1 Profilprojektory

Profilprojektory (Obr. 19) se používají k měření malých součástí. Jejich profil je pomocí soustavy čoček promítnut na matnici, kde je pak zobrazen zvětšený reálný obraz.

Odečítání probíhá pohybem měřícího stolku a ztotožňováním obrysu s pomocnými ryskami na matnici.



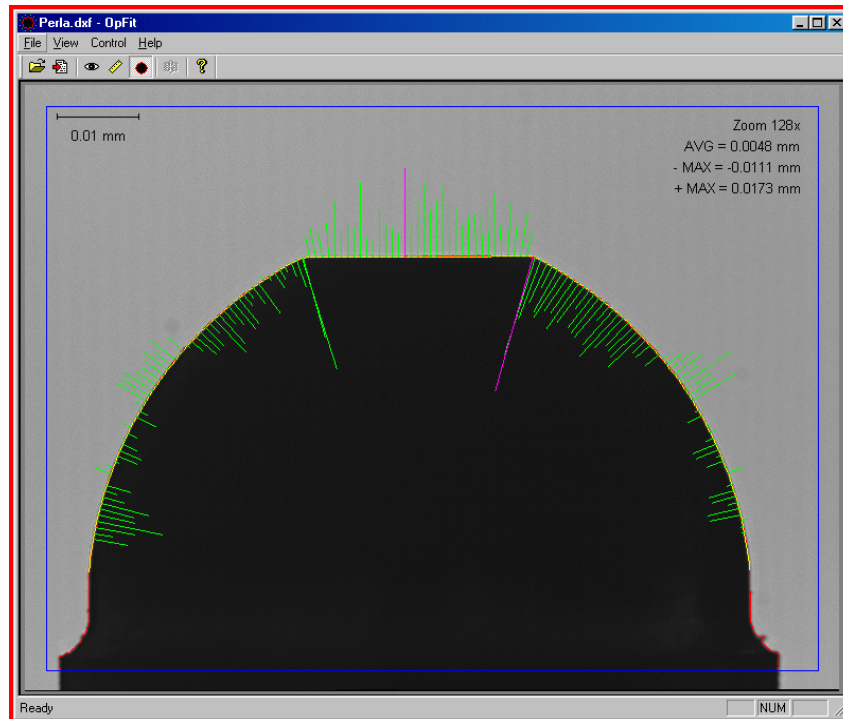
Obr. 19. Profilprojektor

4.2.1.1 Digitální profilprojektor

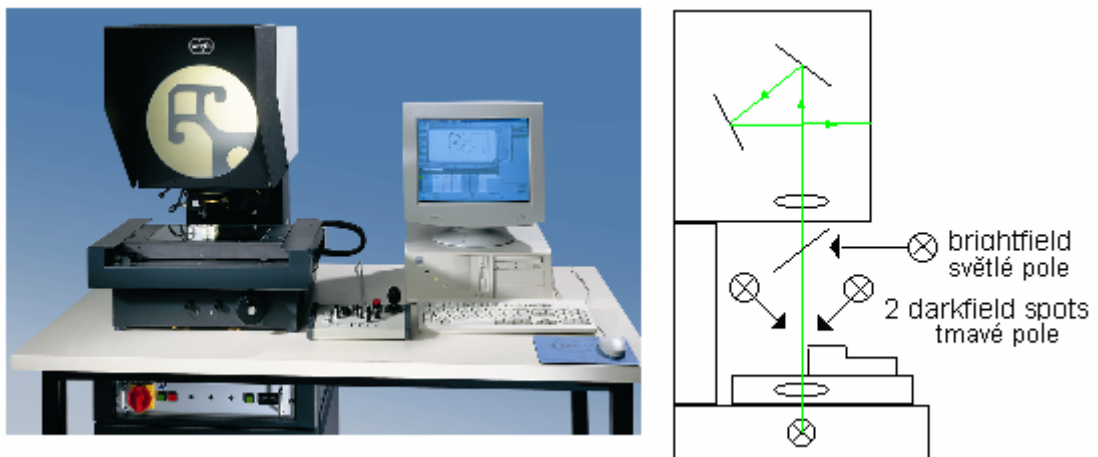
Přístroj nahrazující klasické profilprojektory, na kterých se srovnával obraz součásti s obrazem na průsvitce. Přístroj je řešen zcela nově - obraz měřené součásti je snímán CCD kamerou a zobrazován na monitoru PC podobně jako u klasického profilprojektoru, ale odpadá nutnost pracovat v šeru. Současně je na monitoru zobrazen ideální obrys součásti z CAD dat, který vlastně nahrazuje průsvitku. Na obrys součásti snímané CCD kamerou na monitoru PC je pak provedeno automatické přiložení CAD výkresu. Software vlastně provede automaticky takzvaný bestfit, tedy nejlepší možné umístění CAD dat na snímání obraz součásti. Odchyly profilu součásti jsou přímo změřeny a číselně i graficky vyznačeny v obraze. Měření je objektivní (bez vlivu obsluhy) a odpadá nutnost skladování

průsvitek. Naopak CAD data lze předávat z konstrukce například po síti, a tím je stále udržovat v aktualizované podobě.

Digitální profilprojektor je vhodné řešení zejména pro rychlé měření menších součástí.



Obr. 20. Zobrazení digitálního profilprojektor



Obr. 21. Možné sestavení profilprojektoru s PC výstupem

Může být dále doplněn o dotykový snímač, dynamický snímač či optické oko.

4.2.2 Mikroskopy

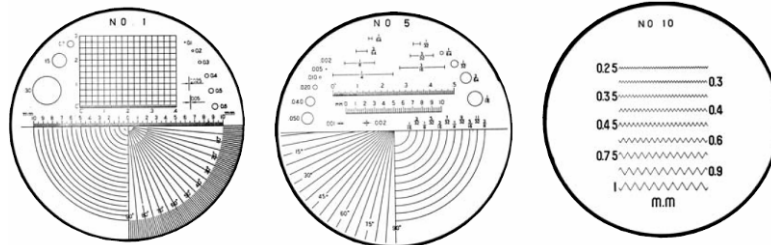
Měření mikroskopem se provádí bez dotyku součásti se zaměřením nitkového kříže.

4.2.2.1 Způsoby měření:

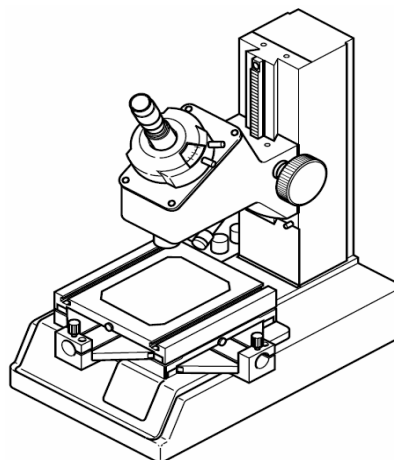
- **stínovým obrazem** – hrana měřené součásti je osvětlena paralelním svazkem paprsků a vzniká tak ostře ohraničený obraz měřící plochy.
- **světelným obrazem** – měřená plocha je „dobře čitelná“ a je osvětlena osvětlovacím zařízením.
- **světelnou šterbinou** – měřícím nožikem se na součásti vytvoří světelná šterbina, která slouží k zaměření nitkového kříže.

Odečítání probíhá mikrom. šroubem, nebo obdobně jako u délkoměrů, tedy :

Odečítání hodnoty rozměru je optické s hodnotou jednoho dílku 0,001 mm (pomocí Archimédovy spirály), nebo je odečítání digitalizováno a případně propojeno s PC.



Obr. 22. Matrice pro odečítání hodnoty



Obr. 23. Měřicí mikroskop

4.2.3 Scanner

Scanner je pro rychlou a spolehlivou sériovou inspekci 2D plochých dílů ve výrobě. Hlavní oblast využití je v komplexním měření profilů (např. guma, plasty nebo hliníkové profily), ale právě tak dobře lze kontrolovat folie, plošné spoje, laserem řezané profily a přesné vypalované součástky.

Měřené geometrické prvky jsou prezentovány graficky jako v technickém výkresu. Jednoduchým kliknutím na ně mohou být spojeny se vzdálenostmi. Měření je tedy jednoduché jako čtení výkresu. Uživatel musí pouze kliknutím na CAD výkres zvolit geometrický prvek, který má být kontrolován a ten bude automaticky přeměřen.[8]



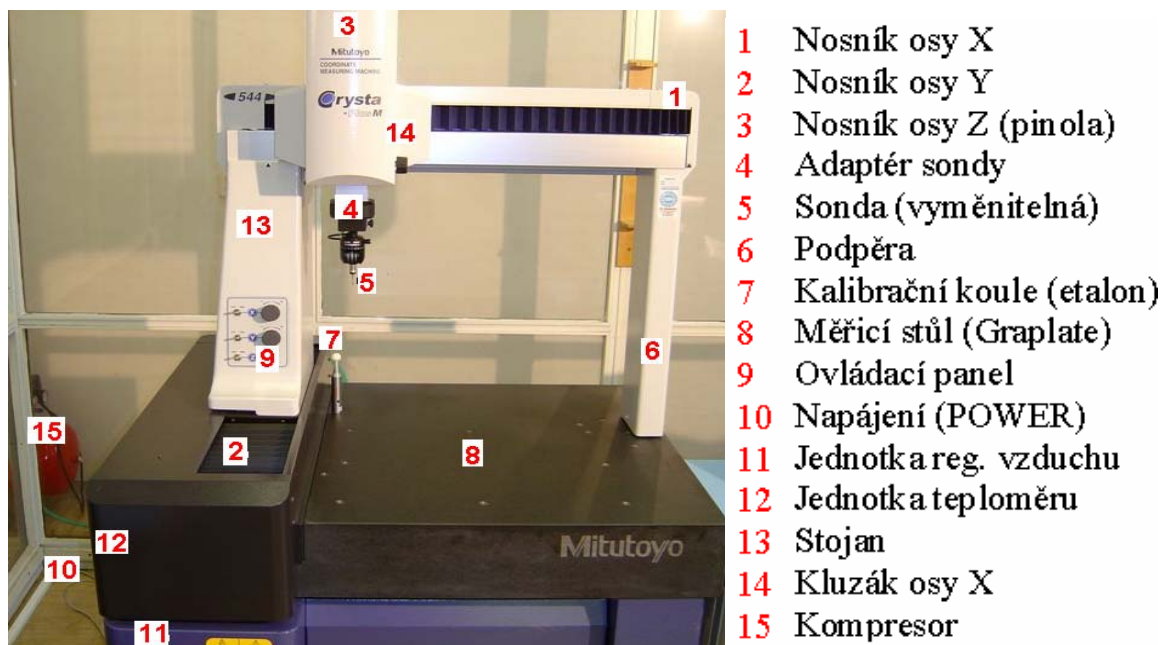
Obr. 24. Scanner firmy Werth s označením Flatscope

4.2.4 Souřadnicové měřicí přístroje (SMS)

Princip souřadnicového měřicího spočívá v tom, že se stanoví základní bod v prostoru a polohy dalších bodů na měřené součásti určují rozměry v prostoru.

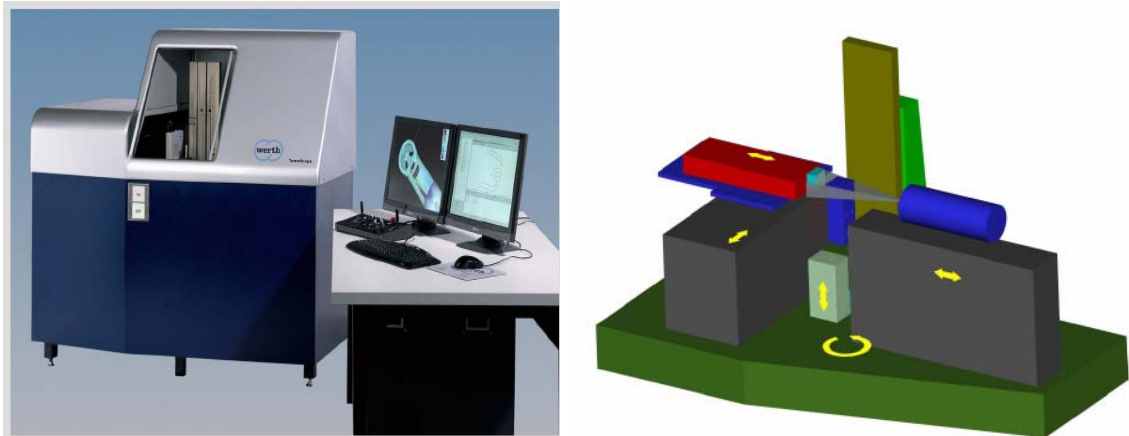
S ohledem na hmotnost výrobku se vyrábějí stroje: s pohyblivým stolem, s pevným stolem, s pevnou deskou na úrovni podlahy.

Konstrukce pohyblivých částí SMS je provedena tak, aby se pohyblivé části mohli lehce posouvat s maximální přesností a bez trhavých pohybů. Přístroje lze rozdělit podle snímací sondy. Sondy mohou být kontaktní nebo bezkontaktní (optické), laser měření.



Obr. 25. SMS přístroj - popis

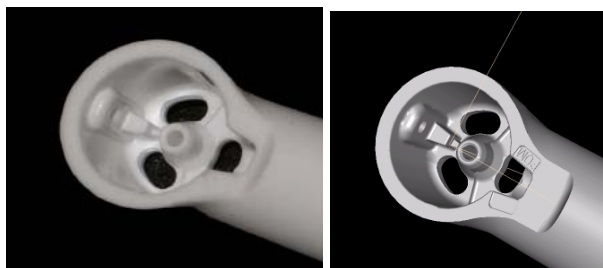
4.2.4.1 Rentgenový měřicí přístroj



Obr. 26. Rentgenový měřicí přístroj

System funguje tak, že se obrobek umístí na otočný stůl tak, aby ležel v paprsku vycházejícího z rentgenového zářiče. Jeho profil je detekován na detektoru, který jej přepočítá z rentgenového obrazu do digitálních 2D obrazů (formát *.TIFF) pro další zpracování. Objekt je po té otáčen o 360 stupňů a rentgenové obrazy jsou snímány v mnoha pozicích otáčení, následovně je zrekonstruována v síť 3D bodů a zobrazen jako ucelený dílec.

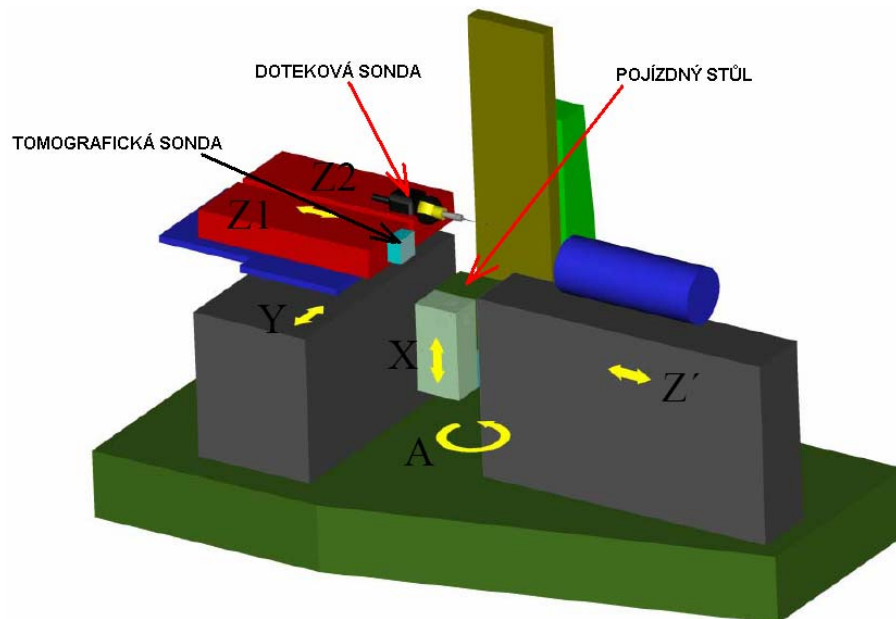
Tato aplikace může být rozšířena integrací dalších senzorů, lze zahrnout senzor pro zpracování obrazu, který umožní operátorům vytvořit plně automatická, vysoce přesná měření na komplikovaných, extrémně nízké kontrastních površích díky průsvitu a módu nasvícení tmavých a světlých ploch.[8]



Obr. 27. Vlevo měřená součást a vpravo CAD model

4.2.5 Multisenzorové SMS

Velikou škálu možností pro měření nabízejí multisenzorové měřicí přístroje. Pracují na principu SMS přístrojů, ale součástí snímání není jen jeden senzor, ale pracuje více senzorů najednou. Toto propojení nabízí kompletní měření měřené součásti.



Obr. 28. Multisenzorový SMS

Multisenzorový-SMS pro 3D-měření na bázi výpočtové tomografie v kombinaci s dalšími senzory (dotekový snímač, zpracování obrazu, laserový snímač). Výhody: Získávání kompletní geometrie dílce skrze výpočtovou tomografií, vysoce precizní měření se zpracováním obrazu kontaktním snímačem nebo laserovým senzorem, zlepšení přesnosti získaných dat skrze kalibraci výsledků tomografie přímo na dílci.[8]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 MĚŘENÝ VÝROBEK

5.1 Volba výrobku

Měření bylo provedeno na výrobku, jehož tvar a profil je stěží měřitelný obyčejným kontaktním měřicím přístrojem. Týká se to zejména součástí vyrobených z pryže. Při kontaktním měření by mohlo dojít, vlivem přítlačné síly, k deformaci jeho tvaru a k následnému chybnému odečtení měřené hodnoty.

5.2 Specifikace výrobku

Jako zkušební vzorek byl měřen hřídelový těsnicí kroužek firmy SALIX International a.s.. Měřený výrobek WAO 45x52x5 (Příloha I) je v podstatě rotační radiální těsnění (Gufero) bez pružinového kroužku. Tyto výrobky jsou hlavně určeny jen pro těsnění s menšími nároky na utěsnění, které výrobce uvádí pod označením WAO (Obr. 29).

Z výrobního výkresu měřeného výrobku je zřejmá jeho nepravidelnost tvaru. Funkční část výrobku je vyrobena z materiálu NBR 70Sh.



Obr. 29. Profil měřené výroby

5.3 Materiál výrobku

Měřený výrobek je z materiálu NBR.

Tento materiál s mezinárodní zkratkou NBR (butadienakrylonitrilový kaučuk) je vhodný zejména pro těsnicí vlastnosti. Odolnost vůči olejům, benzínům a látkám nepolárního a málo polárního typu, dobrá pevnost v tahu, odolnost vůči oděru, malá propustnost pro plyny.

6 BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ VÝROBKU

6.1 Místo měření

Měření bylo provedeno v akreditované kalibrační laboratoři dle mezinárodní normy ČSN EN ISO/IE4C 17 025 firmy PRIMA BILAVČÍK, s.r.o. v Uherském Brodě. Tato laboratoř má osvědčení o akreditaci.[8]

V laboratoři měla být udržovaná stálá teplota $\vartheta = 20^{\circ}\text{C} \pm 1\text{K}$. Skutečná teplota při měření byla $\vartheta = 19,4^{\circ}\text{C}$.

6.2 Měřicí přístroj

Měření bylo provedeno na Multisenzorovém měřicím přístroji od firmy WERTH s typovým označením **Werth Inspektor FQ** (Obr. 30).

Přístroj je portálového typu splňující nejpřísnější požadavky v rámci přesnosti a flexibility. Moderní technologie přístroje společně s rafinovaným řešením detailů v mechanické konstrukci dosahuje vynikajících vlastností v této oblasti měření.

6.2.1 Technické parametry přístroje

Portálové lože z granitu, valivá vedení všech os (nulové tření), konstantní předpětí, lineární motory, vysoká nosnost stolu, oddělené osy X a Y, spodní osvit, Čtyřsektorové světlo, Multisegmentové světlo, Dotykový snímač, Laser, Naklápěcí optická hlava, Rotační/naklápěcí osy.

6.2.1.1 Přesnost přístroje :

$E1 = (1,2+L/250) \mu\text{m}$; $E2 = (1,5+L/200) \mu\text{m}$; $E3 = (2,5+L/150) \mu\text{m}$

6.2.1.2 Měřicí rozsah přístroje:

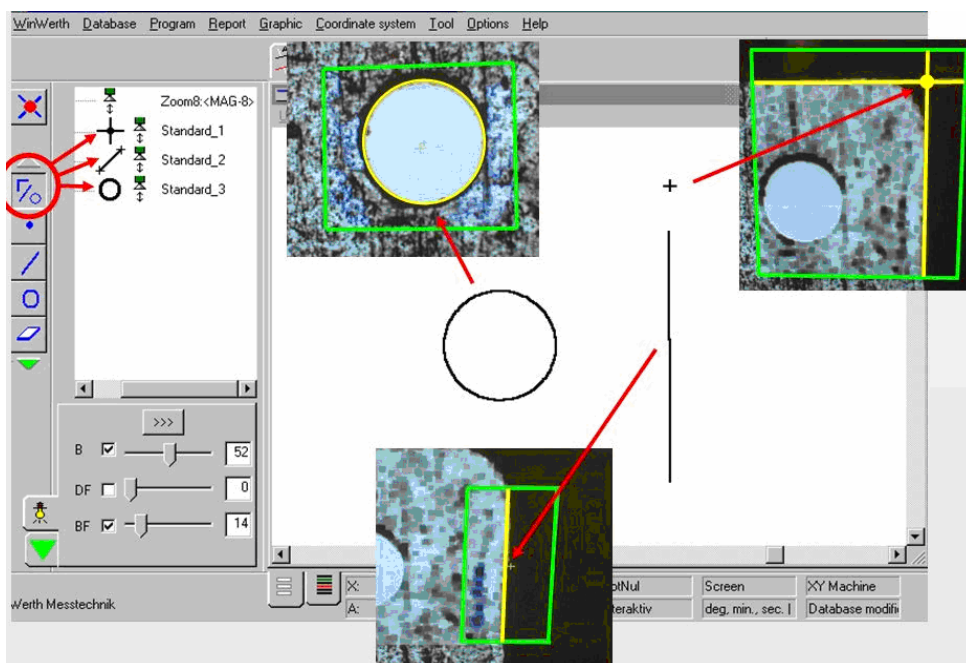
$X = 400$ až 3500mm ; $Y = 400$ až 1750mm ; $Z = 200$ až 600mm



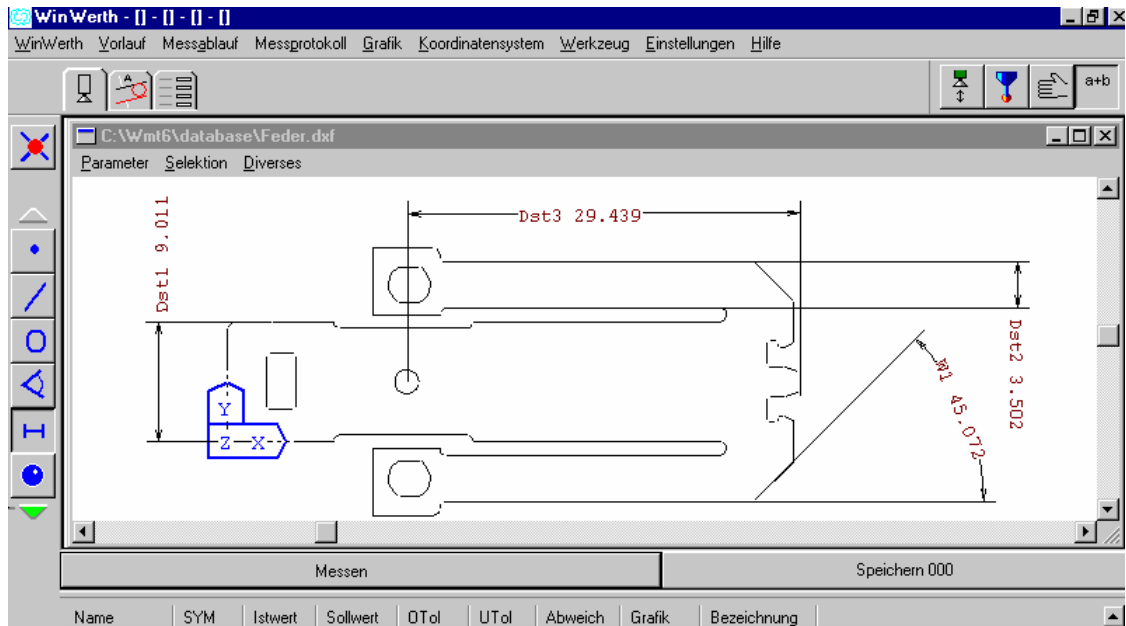
Obr. 30. Werth Inspector FQ

6.2.2 Software přístroje

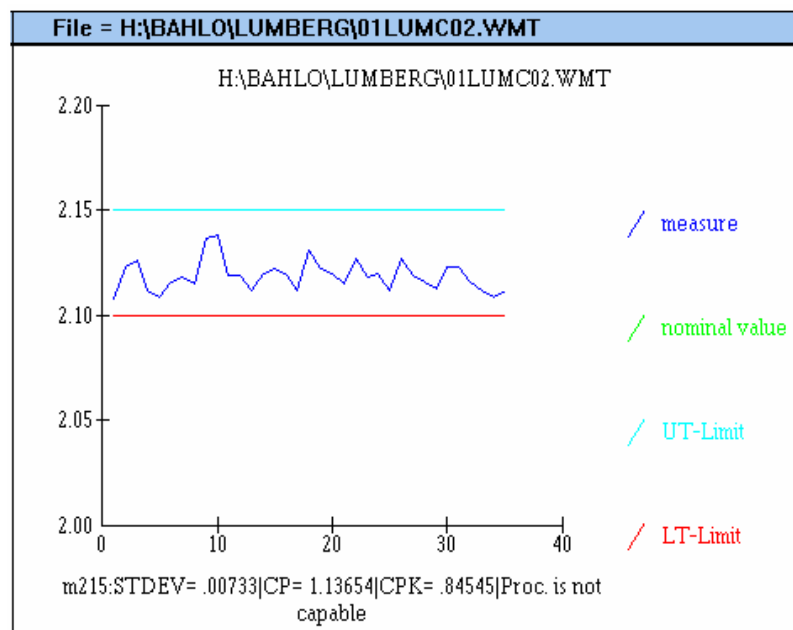
Firma Werth má řadu patentů v oblasti hardwarové, ale i v softwarové. Z oblasti softwarové lze uvést program WinWerth AutoFeature (Obr. 31), WinWerth pro snadné a rychlé měření na bázi CAD (Obr. 32), Werth Bestfit určen k porovnávání k jmenovitému rozměru nebo k jmenovitému obrysu. Exelkonvertor (Obr. 33) pro zjištění např. jakostních charakteristik.



Obr. 31. AutoFeature



Obr. 32. Měření CAD

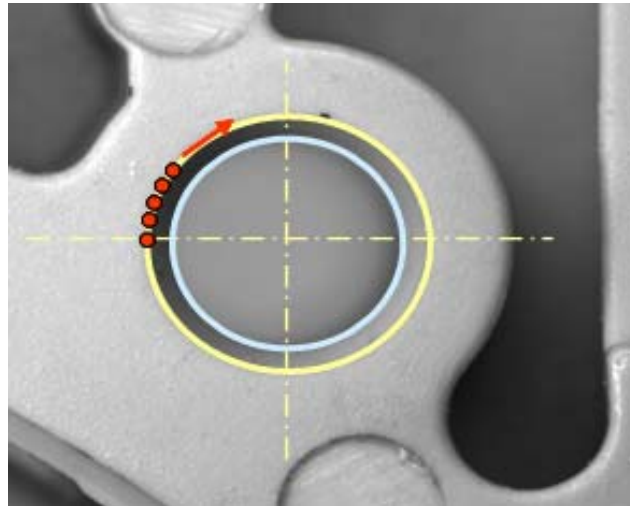


Obr. 33. Zobrazení pomocí programu Exelkonvertor (Regulační diagram)

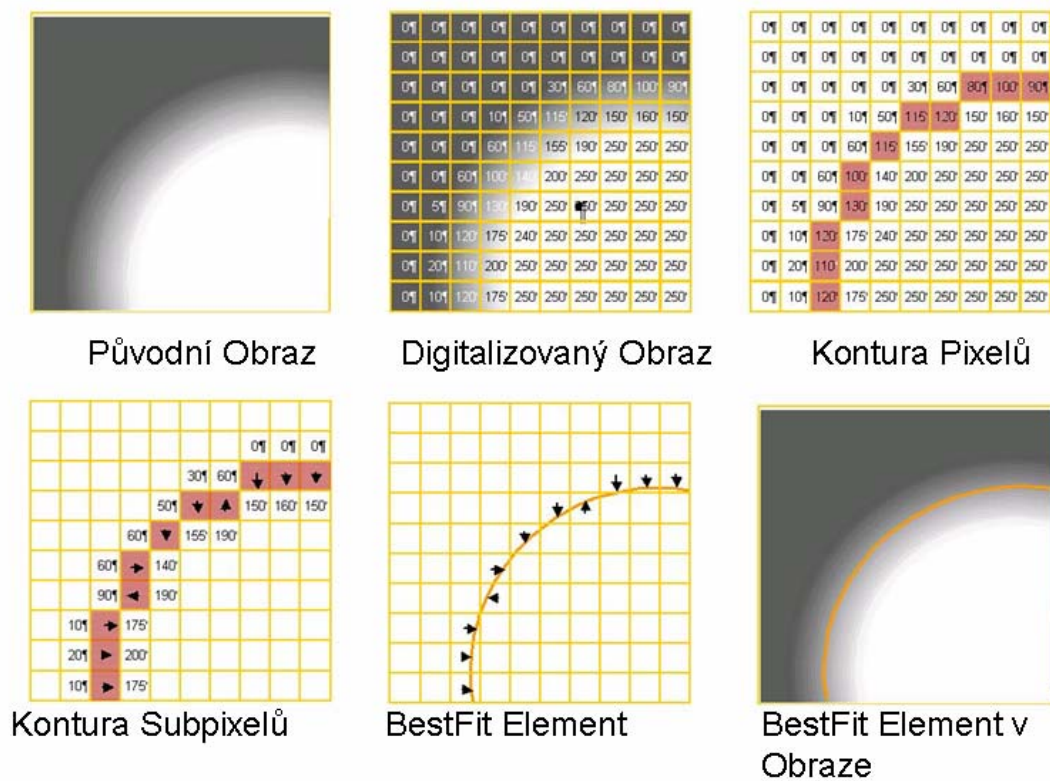
6.2.3 Zpracování obrazu – přednosti přístroje

Jednou z předností je automatické sejmutí kontury (Obr. 34). Dochází tak k rychlému sejmutí vysokého počtu bodů a zároveň k automatického rozpoznání geometrických prvků. Jak přístroj provádí analýzu obrazu je znázorněno na (Obr. 35).

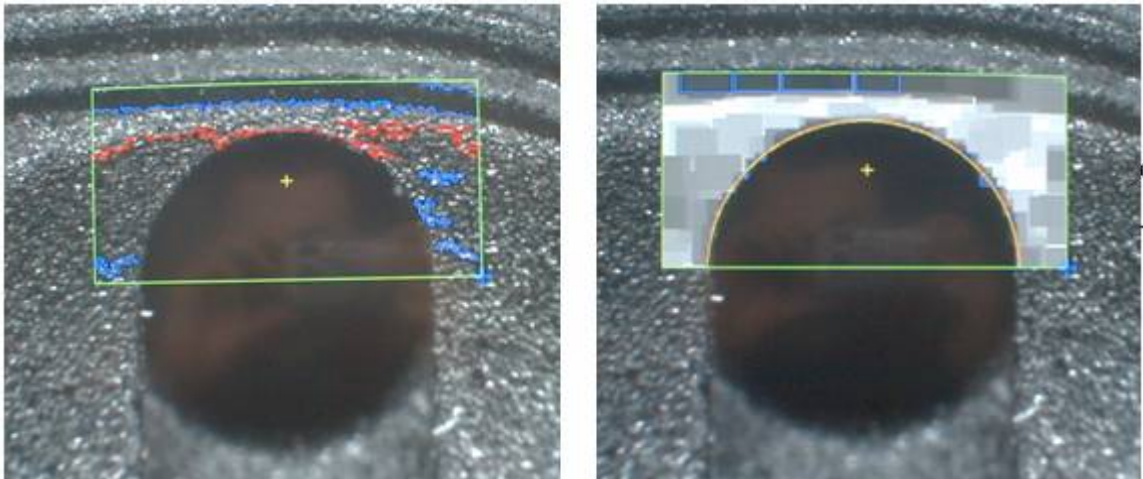
Druhým významným pomocníkem při měření je tzv. Autofocus. Kontrastní snímač Autofocus vyhodnotí kontrastní místa na snímaném výrobku a díky různým typům osvitů, kterými přístroj disponuje, je možno tento kontrast ještě znásobit.. Jak funkce Autofocus vypadá při měření je znázorněno na (Obr. 36).



Obr. 34. Automatické sejmutí kontury v obraze



Obr. 35. Analýza obrazu



Obr. 36. Funkce Autofocus

6.3 Postup měření

Součástí přístroje jsou dvě obrazovky (v současnosti už LCD panely). Na jedné obrazovce je zobrazen reálný obraz výrobku ve zvětšení a na druhé obrazovce je spuštěn příslušný software pro měření (v našem případě software Winwerth). Pohyb bezkontaktní snímací sondy je zajištěn pomocí dvou joysticků. První Joystick zajišťuje pohyb v rovině tedy v ose X a Y a druhý joystick ovládá pohyb sondy v posledním směru osy Z. Je třeba poznamenat dobrou ovladatelnost joysticků a jeho možnost regulovat rychlost posuvu podle úhlu náklonu joysticků.

Vybraný výrobek byl položen na stůl měřicího přístroje a poté pomocí třech sejmutých bodů z výrobku je jednoznačně určena poloha výrobku v prostoru. Přístroji je třeba ukázat, jaký rozměr bude měřen. To se provádí opětovným sejmutím např. tří bodů z konkrétního měřeného rozměru. Tyto body slouží pro software, který podle těchto sejmutých hodnot a zvoleného geometrického obrazce v programu, změří daný rozměr. V našem případě při měření průměru jsou sejmuty 3 body a poté je v programu zadáno na kolik dalších bodů má průměr měřit. Pro měření průměru bylo zvoleno sejmutí 15 bodů. Hodnota sejmutých bodů má vliv na přesnost a dobu měření.

Takto se to opakovalo u každého měřeného průměru. Celkem byly změřeny 3 okótované průměry, jak je vidno z výrobního výkresu. Posledním nezměřeným rozměrem na výkrese je výška. Přístroj měří výšku výrobku tak, že mu musí být zadán nějaký bod na skle stolu. Provádí se to tak, že na stůl pod měřený výrobek je nanášena fixem reflexní vrstva.

Po splnění těchto požadavků může snímací sonda sejmut bod ze skla stolu a další body pro měření výšky už jsou sejmuty z povrchu měřeného výrobku.

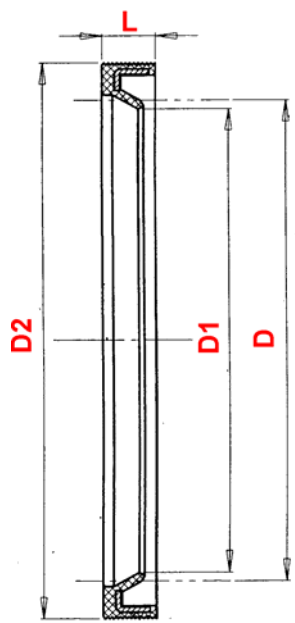
Mimo měření rozměrů je ještě přístroji zadáno měření kruhovitosti. To je prováděno tak, že přístroj využívá sejmuté hodnoty (celkem 15 pro každý měřený rozměr) z předchozího měření rozměrů a na základě zapsané nominální hodnoty rozměru do programu z výkresu, umí vyhodnotit výchylku od nominální hodnoty průměru.

Tento postup snímání rozměrů je uspořádán v posloupnosti do programu. Na konci je ještě třeba zadat, kolikrát má celý postup program opakovat. V našem případě je zadáno celkem 4 opakování.

6.4 Výstupy z přístroje








6.4.1 Informativní schéma měřených rozměrů na výrobku

Pro přehlednost a orientaci je uvedeno informativní schéma měřeného výrobku (Obr. 37). Na obrázku jsou červeně zvýrazněny rozměry, které byly přístrojem změřeny.









Obr. 37. Informativní schéma měřených rozměrů na výrobku







6.4.2 Tabulky naměřených hodnot

Werth Messtechnik GmbH								
Sym	Ist	Soll	Otol	Utol	Abw	Tol	Graf.odch	Bez
D	43,462	43,4	0,3	-0,3	0,0619	0		D1
FT	0,0838	0	0	0	0,0838	0,0838		d1
D	52,371	52	0,45	-0,25	0,3714	0		D2
FT	0,0595	0	0	0	0,0595	0,0595		d2
D	44,995	45	2	-2	-0,0047	0		D
Z	5,1123	5	0,2	-0,2	0,1123	0		L







Tab. 2. Naměřené hodnoty 1. smyčky programu

Sym	Ist	Soll	Otol	Utol	Abw	Tol	Graf.odch	Bez
D	43,462	43,4	0,3	-0,3	0,0621	0		D1
FT	0,0838	0	0	0	0,0838	0,0838		d1
D	52,371	52	0,45	-0,25	0,3708	0		D2
FT	0,0597	0	0	0	0,0597	0,0597		d2
D	44,995	45	2	-2	-0,0047	0		D
Z	5,112	5	0,2	-0,2	0,112	0		L

Tab. 3. Naměřené hodnoty 2. smyčky programu

Sym	Ist	Soll	Otol	Utol	Abw	Tol	Graf.odch	Bez
D	43,462	43,4	0,3	-0,3	0,0618	0		D1
FT	0,0834	0	0	0	0,0834	0,0834		d1
D	52,371	52	0,45	-0,25	0,3709	0		D2
FT	0,0593	0	0	0	0,0593	0,0593		d2
D	44,995	45	2	-2	-0,0052	0		D
Z	5,1149	5	0,2	-0,2	0,1149	0		L

Tab. 4. Naměřené hodnoty 3. smyčky programu

Sym	Ist	Soll	Otol	Utol	Abw	Tol	Graf.odch	Bez
D	43,462	43,4	0,3	-0,3	0,0619	0		D1
FT	0,0839	0	0	0	0,0839	0,0839		d1
D	52,371	52	0,45	-0,25	0,3707	0		D2
FT	0,0598	0	0	0	0,0598	0,0598		d2
D	44,996	45	2	-2	-0,0044	0		D
Z	5,1185	5	0,2	-0,2	0,1185	0		L

Tab. 5. Naměřené hodnoty 4. smyčky programu

6.4.2.1 *Symbolika výrazů v tabulkách*

Sym – Označení jednotlivých měřených rozměrů programem

Ist – Skutečná hodnota

Soll – Nominální hodnota

Otol – Horní mezní rozměr

Utol – Dolní mezní rozměr

Abw – Odchylka číselně

Tol – tolerance

Graf. odch. – Grafické zobrazení odchylky vzhledem k nominální hodnotě.

Bez - označení jednotlivých měřených rozměrů měřicí osobou

6.5 Diskuze výsledků

Celé měření značně ulehčil zvolený měřicí přístroj Werth Inspektor FQ. K jeho předností patří různé druhy osvitů s kombinací s programem, který umí pomocí tzv. Autofocusu zaostřit a vybrat přechod mezi tmavým a světlým místem. Tento fakt urychlil práci při hledání bodů potřebných pro proměření. Také pohyb snímací sondy, jak už bylo zmíněno v postupu měření pomocí jojticků, urychlil hledání bodů na měřeném výrobku.

Všechny změřené rozměry dle informativního schématu (Obr. 37) se pohybovali v požadovaných mezích a odpovídali požadavkům určených na výrobním výkrese. Číselné hodnoty odchylek od nominálních hodnot lze nalézt (Tab. 2-5) pod označením Abw.

Software Exelkonvertor umí z dostatečného množství dat sestavit regulační charakteristiky (Obr. 33). Sestavení těchto charakteristiky bylo časově náročné a tak pro nedostatek dat není možno tyto charakteristiky uvést.

Velmi praktické je automatické sestavení protokolu o měření (Příloha II), který opět urychlí práci i přehlednost změřených výsledků.

ZÁVĚR

V současnosti je značné množství výrobků vyrobeno z plastů nebo pryže. Hlavně u pryže a jiných gumárenských výrobků nastává problém při přesném měření jeho rozměrů. Pryž je elastický materiál, který se snadno pružně deformuje již při malé přitlačné síle. Při měření obyčejným mikrometrem nebo posuvným měřidlem, které často dostačují k méně přesnému měření, dochází právě k deformaci měřeného rozměru. Existují také mikrometry s nastavením přitlačné síly (Obr. 18), ale i u těchto měřících přístrojů může dojít k deformaci měřené součásti a tím i špatnému odečtení měřeného rozměru. Další nevýhoda kontaktních přístrojů je při měření ve více sériovou výrobě. Obsluha musí neustále manuálně kontrolovat rozměry, což je nepraktické a manuálně náročné.

Pro případy potřeby přesnějšího měření, je třeba zvolit metodu bezkontaktního měření. Dnes je výběr ze široké škály výrobců bezkontaktních měřidel. Výrobci těchto měřidel stále více posunují jednoduchost měření díky nastavujícímu trendu ve stále se zdokonalujícím „počítačovém světě“. Výrobky z pryže je možné měřit samozřejmě i více známými přístroji, jako jsou: mikroskopy (Obr. 23) nebo profilprojektory (Obr. 19). Nevýhoda při měření mikroskopy a profilprojektory nastává v případě, kdy potřebujeme změřit více rozměrů najednou nebo třeba kompletní rozměry měřeného výrobku. V tomto případě při měření těmito přístroji je nutná neustálá přítomnost obsluhy, jelikož při každé změně měřeného rozměru je třeba znovu zaměřit a odečíst nový měřený rozměr.

Aby bylo možno plně zautomatizovat měření, a tak z procesu měření odstranit manuální obsluhu přístroje, je potřeba propojit software a hardware měřícího přístroje. Tyto předpoklady nám splňují Multisenzorové SMS přístroje (Obr. 28). Oproti mikroskopům a profilprojektorům je lze naprogramovat. Přístroj má uložený program a měřící obsluha pouze mění měřený výrobek. Dokonce existují i plně automatizované měření, kde není již třeba žádné obsluhy. V tomto případě je ale třeba zajistit, aby se měřený výrobek měl vždy stejnou polohu a stejné místo pod měřicí sondou SMS přístroje.

Nevýhodou těchto moderních přístrojů pro bezkontaktní měření je jejich nemalá pořizovací cena. Multisenzorové přístroje v současné době stojí cca. 3 000 000 Kč.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] <http://cs.wikipedia.org>
- [2] <http://www.bipm.org>
- [3] <http://www.cmi.cz>
- [4] HOWARTH, P.: *Metrologie v kostce : projekt EUROMET č. 595*. Sdělovací technika. Praha, 2002. ISBN 80-86645-01-0 (brož.)
- [5] ČECH, J., PERNIKÁŘ, J., JANÍČEK, L.: *Strojírenská metrologie*. VUT Brno, Brno, 1998. ISBN 80-214-1230-5
- [6] VDOLEČEK, F.: *Technická měření (pro kombinované studium)*. VUT Brno, Brno, 2002.
- [7] <http://www.pvtnet.cz/www/v.fialova/>
- [8] <http://www.prima-bilavcik.cz>
- [9] <http://prev.cmi.cz>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

BIPM	Bureau International des Poids et Mesures - Mezinárodní úřad pro váhy a míry ve Francii
CAD	computer aided design - počítačem podporované projektování
CGPM	f r. <i>Conférence Générale des Poids et Mesures</i> - Generální konference pro váhy a míry.
CCD	elektronická součástka používaná pro snímání obrazové informace.
CGS	centimetr-gram-sekunda
ČIA	Český institut pro akreditaci
ČMI	Český metrologický institut v Brně
Libra	označení jednotky hmotnosti Libra britská = 0,45359237 kg, Libra česká = 0,513 kg
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
PC	Personal computer - osobní počítač
SI	International System of Units mezinárodně domluvená soustava jednotek
SKS	Středisko kalibrační služby
SMS	Souřadnicové měřicí přístroje
TIFF	Tag Image File Format- tvoří neoficiální standard pro ukládání snímků určených pro tisk.
Unce	jednotka hmotnosti. 1 unce [oz] = 28,3495 g
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví v Praze
Yard	původem britská délková jednotka 1 yd = 0,9144 m
$\Delta(x)$	absolutní chyba
x_m	naměřená hodnota
$\delta(x)$	relativní chyba
\bar{x}	aritmetický průměr
$s(x)$	směrodatná odchylka výběrového souboru
$s(\bar{x})$	odchylka aritmetického průměru

$\Delta(x)$	výsledná chyba
Δ_{\max}	maximální výsledná chyba
ε	náhodná složka
e	systematická složka
[C]	fyzikální rozměr citlivosti
[A]	je fyzikální rozměr měřené veličiny.
N	odstup rysek nonia [mm.n]
M	hodnota odstupu rysek [mm]
n	počet dílků nonia
LCD	Liquid crystal display - Displej z tekutých krystalů
ϑ	teplota [°C]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Symboly značení jednotek SI	12
Obr. 2. Určování délky stopy (Köbl, 1584)	13
Obr. 3. Platinum-Iridium meter	14
Obr. 4. Státní etalon délky ČR (stabilizované lasery 633 nm, 543 nm)	14
Obr. 5. Řetězec návaznosti (úrovně etalonu)	17
Obr. 6. Vztahy v národním metrologickém systému ČR	18
Obr. 7. Grafické vyjádření chyby měření	22
Obr. 8. Měřicí řetězec	23
Obr. 9. Zjednodušené schéma dělení měřicích přístrojů	24
Obr. 10. Přehled délkových měřidel a měřicích přístrojů	27
Obr. 11. Posuvné měřítko	28
Obr. 12. Stupnice s noniem	29
Obr. 13. Stupnice s kruhovým číselníkem	29
Obr. 14. Stupnice s digitálním číselníkem	29
Obr. 15. Třmenový mikrometr	30
Obr. 16. Analogový třmenový mikrometr	31
Obr. 17. Digitální třmenový mikrometr	31
Obr. 18. Mikrometr s nastavitelnou přítlačnou silou	31
Obr. 19. Profilprojektor	32
Obr. 20. Zobrazení digitálního profilprojektor	33
Obr. 21. Možné sestavení profilprojektoru s PC výstupem	33
Obr. 22. Matrice pro odečítání hodnoty	34
Obr. 23. Měřicí mikroskop	34
Obr. 24. Scanner firmy Werth s označením Flatscope	35
Obr. 25. SMS přístroj - popis	36
Obr. 26. Rentgenový měřicí přístroj	37
Obr. 27. Vlevo měřená součást a vpravo CAD model	37
Obr. 28. Multisenzorový SMS	38
Obr. 29. Profil měřeného výrobku	40
Obr. 30. Werth Inspector FQ	42
Obr. 31. AutoFeature	42

Obr. 32. Měření CAD	43
Obr. 33. Zobrazení pomocí programu Exelkonvertor (Regulační diagram).....	43
Obr. 34. Automatické sejmutí kontury v obraze	44
Obr. 35. Analýza obrazu	44
Obr. 36. Funkce Autofocus.....	45
Obr. 37. Informativní schéma měřených rozměrů na výrobku.....	46

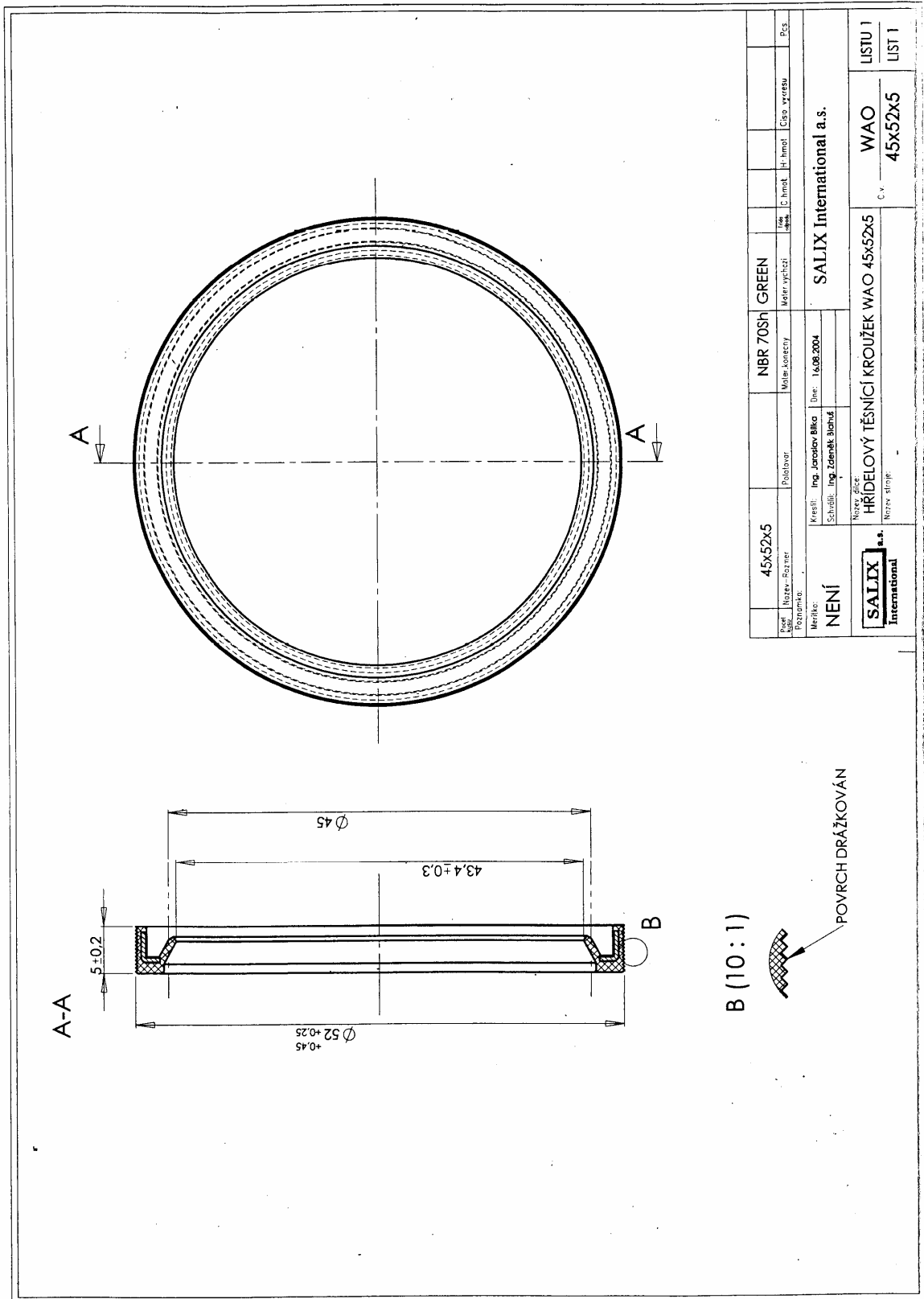
SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Základní jednotky SI soustavy	12
Tab. 2. Naměřené hodnoty 1. smyčky programu.....	47
Tab. 3. Naměřené hodnoty 2. smyčky programu.....	47
Tab. 4. Naměřené hodnoty 3. smyčky programu.....	47
Tab. 5. Naměřené hodnoty 4. smyčky programu.....	47

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Výrobní výkres měřeného výrobku
- P II Protokol o měření

PŘÍLOHA I: VÝROBNÍ VÝKRES MĚŘENÉHO VÝROBKU



PŘÍLOHA II: PROTOKOL O MĚŘENÍ

PROTOKOL O MĚŘENÍ

PRIMA Bilavcik s.r.o.
9. kvetna 1182
688 01 Uhersky Brod
Czech Republic
www.merici-pristroje.cz

Zakaznik : UTB_zlin_____
Dil : Tesnici krouzek_____
Cislo_dilce : 45x52x5_____
Operator : Zobanik_Pavel_____
Teplota : 19.4_____

Datum :02.05.2007_____
Cas :10:33:19_____

CSN EN ISO 9001:2001

werth Messtechnik / Datum: 02.05.2007 10:33 / Stránka: 1

SYM	SKUT	NOM	HTOL	DTOL	ODCH	<>TOL	+/-	NÁZEV
D	43.4619	43.4000	0.3000	-0.3000	0.0619		+	D1
FT	0.0838	0.0000	0.0000	0.0000	0.0838	0.0838	0.0838	d1
D	52.3714	52.0000	0.4500	-0.2500	0.3714		++++	D2
FT	0.0595	0.0000	0.0000	0.0000	0.0595	0.0595	0.0595	d2
D	44.9953	45.0000	2.0000	-2.0000	-0.0047		-	D
Z	5.1123	5.0000	0.2000	-0.2000	0.1123		+++	L
D	43.4621	43.4000	0.3000	-0.3000	0.0621		+	D1
FT	0.0838	0.0000	0.0000	0.0000	0.0838	0.0838	0.0838	d1
D	52.3708	52.0000	0.4500	-0.2500	0.3708		++++	D2
FT	0.0597	0.0000	0.0000	0.0000	0.0597	0.0597	0.0597	d2
D	44.9953	45.0000	2.0000	-2.0000	-0.0047		-	D
Z	5.1120	5.0000	0.2000	-0.2000	0.1120		+++	L
D	43.4618	43.4000	0.3000	-0.3000	0.0618		+	D1
FT	0.0834	0.0000	0.0000	0.0000	0.0834	0.0834	0.0834	d1
D	52.3709	52.0000	0.4500	-0.2500	0.3709		++++	D2
FT	0.0593	0.0000	0.0000	0.0000	0.0593	0.0593	0.0593	d2
D	44.9948	45.0000	2.0000	-2.0000	-0.0052		-	D
Z	5.1149	5.0000	0.2000	-0.2000	0.1149		+++	L
D	43.4619	43.4000	0.3000	-0.3000	0.0619		+	D1
FT	0.0839	0.0000	0.0000	0.0000	0.0839	0.0839	0.0839	d1
D	52.3707	52.0000	0.4500	-0.2500	0.3707		++++	D2
FT	0.0598	0.0000	0.0000	0.0000	0.0598	0.0598	0.0598	d2
D	44.9956	45.0000	2.0000	-2.0000	-0.0044		-	D
Z	5.1185	5.0000	0.2000	-0.2000	0.1185		+++	L