

Hodnocení měření mikrometrickým odpichem a Lasertrackeru

Bc. Petr Mandrholc

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr MANDRHOLC**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Hodnocení měření mikrometrickým odpichem
a Laserträkeru**

Zásady pro vypracování:

1. Hodnotte měřicí zařízení používané ve výrobě
2. Uvedte teoretické základy přesnosti měření
3. Porovnejte metody měření a navrhněte novou metodiku
4. Provedte ekonomický rozbor zavedení laseru do praxe

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Imrich Lukovics, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

19. února 2010

Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2010

Ve Zlíně dne 19. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
vedoucí katedry

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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 30. 4. 2010


.....

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

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

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

²⁾ 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).

³⁾ 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). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá hodnocením měření vnitřního poloměru D_i před svařením paketů ke konstrukci statoru dvěma měřidly. Praktická měření jsou provedena ve společnosti PSP Engineering a.s. Přerov pro zahraničního objednavatele společnosti Siemens. V úvodu práce přiblížím pojem metrologie a jeho strukturu v ČR. Dále seznámím čtenáře s různými typy měřidel a jejich vyhodnocení pro měření délek. V praktické části je mým cílem posoudit a nabídnout případný způsob metody měření vnitřního poloměru.

Klíčová slova: metrologie, měřidlo, laser

S ABSTRAKTUM

Die Diplomarbeit befasst sich mit der Auswertung einer Messung des inneren Radius D_i vor dem Schweißen der Paketen zur Konstruktion des Stators, wobei die Messung mit zwei Messgeräten durchgeführt wird. Die praktischen Messungen werden im Unternehmen PSP Engineering a.s. Přerov für den ausländischen Auftraggeber Firma Siemens realisiert. Am Anfang der Diplomarbeit werde ich den Begriff Metrologie und ihre Struktur in der Tschechischen Republik näher bringen. Danach mache ich den Lesern verschiedene Messgerätetypen und ihre Auswertung für die Messung der Längen bekannt. Das Ziel meines praktischen Teils ist die Beurteilung und die Auswahl der Messmethode des inneren Radius.

Schlüsselwörter: Metrologie, Messgerät, Laser

Poděkování:

Za vedení této diplomové práce, náměty a připomínky při vypracování děkuji prof. Ing. Imrichu Lukovicsovi Csc. a doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi z Ústavu výrobního inženýrství na Univerzitě Tomáše Baťi ve Zlíně.

Mé poděkování patří také všem, kteří se mnou měli v průběhu studia dostatek trpělivosti.

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

Ve Zlíně 12. 5. 2010

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 METROLOGIE	13
1.1 HISTORIE MĚŘENÍ.....	14
1.1.1 Svět	15
1.1.2 České země.....	16
1.2 METR JAKO JEDNOTKA SI	18
1.2.1 Vznik soustavy měř SI	19
1.2.2 Metr	20
1.3 INSTITUCE ČINNÉ V OBLASTI METROLOGIE.....	20
1.3.1 Ministerstvo průmyslu a obchodu.....	21
1.3.2 Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví	21
1.3.3 Český metrologický institut	22
1.3.4 Autorizovaná metrologická střediska.....	22
1.3.5 Střediska kalibrační služby	23
1.3.6 Český institut pro akreditaci.....	23
1.3.7 Oblastní inspektoráty Českého metrologického institutu	23
2 VYHODNOCOVÁNÍ PRO MĚŘENÍ DÉLEK	25
2.1 CHYBY A NEJISTOTY MĚŘENÍ	25
2.1.1 Chyby měření, jejich příčiny a členění	27
2.1.2 Chyby hrubé.....	28
2.1.3 Chyby systematické.....	29
2.1.4 Chyby náhodné	30
2.1.5 Nejistota měření.....	31
2.1.5.1 Určování rozšířených nejistot	32
2.1.5.2 Vyjádření výsledku měření	32
3 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ	34
3.1 ZÁKLADNÍ POJMY.....	34
3.2 PRINCIPY MĚŘIDEL	35
4 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ DÉLEK	37
4.1 DRUHY MĚŘIDEL	37
4.2 PŘEVODY MĚŘIDEL	37
4.2.1 Měřidla s převodem mechanickým.....	37
4.2.2 Měřidla s převodem opticko-mechanickým.....	38
4.2.3 Měřidla s převody elektrickými	38
4.2.4 Fotoelektrické přístroje	38
4.2.5 Měřidla s převody pneumatickými	39
4.3 MĚŘENÍ VELKÝCH ROZMĚRŮ	39
4.3.1 Měřidla a metody pro měření velkých rozměrů	40
4.3.2 Technologie měření velkých rozměrů	45

5	LASER.....	48
5.1	PŮVOD LASERU	48
5.1.1	Objev laseru	49
5.1.2	Laser v České Republice	49
5.2	PRINCIP LASERU	50
5.3	SOUČÁSTI LASERU.....	51
5.3.1	Rezonátor	51
5.3.2	Aktivní prostředí.....	51
5.4	POUŽITÍ LASERU	52
5.4.1	Astronomie, geodezie, geofyzika.....	52
5.4.2	Ekologie a metrologie	52
5.4.2.1	Použití při měření.....	53
5.4.3	Jaderná fyzika	53
5.4.4	Vojenská aplikace	53
5.4.5	Laserová tiskárna a kopírka.....	53
5.4.6	Kompaktní optické disky (CD, DVD)	54
5.4.7	Laserové ukazovátko, čárový kód	54
5.5	BEZPEČNOSTNÍ RIZIKA.....	55
II	PRAKTICKÁ ČÁST	56
6	PSP ENGINEERING	57
6.1	VÝROBNÍ PROGRAM	57
7	MĚŘENÁ SOUČÁST	58
7.1	VÝBĚR SOUČÁSTI	58
7.2	MATERIÁL VÝROBKŮ.....	59
8	MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	60
8.1	MIKROMETRICKÝ ODPICH.....	60
8.2	LASERTRACKER API	63
8.2.1	Kompaktní konstrukce	64
8.2.2	Mobilita	64
8.2.3	Jednoduché použití	65
8.2.4	Pracovní prostředí.....	65
8.2.5	Software	65
8.2.6	Technické parametry Lasertrackeru.....	66
9	MĚŘENÍ.....	67
9.1	POSTUP MĚŘENÍ	67
9.1.1	Kontrolní operace před měřením vnitřního průměru D_i	67
9.1.2	Měření vnitřního poloměru D_i mikrometrickým odpichem.....	68
9.1.3	Měření vnitřního poloměru D_i Lasertrackerem	69

9.2	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ (HODNOT) MIKROMETRICKÝM ODPICHEM	70
9.3	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ (HODNOT) LASERTRACKEREM	74
9.4	KOMPARACE MĚŘIDEL.....	78
9.4.1	Mikrometrický odpich srovnání po úrovních.....	78
9.4.2	Lasertracker srovnání po úrovních.....	79
9.4.3	Graf rozptylů pro mikrometrický odpich.....	80
9.4.4	Graf rozptylů pro Lasertracker	81
9.4.5	Graf rozptylů pro mikrometrický odpich vers. Lasertracker	81
9.4.6	Srovnání po úrovních pro mikrometrický odpich – Lasertracker	82
10	EKONOMICKÝ ROZBOR POUŽITÍ LASERU V PRAXI	83
10.1	POROVNÁNÍ VARIANT.....	83
	ZÁVĚR	85
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	86
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	87
	SEZNAM OBRÁZKŮ	89
	SEZNAM TABULEK	91
	SEZNAM PŘÍLOH	92

ÚVOD

Současný rozvoj mezinárodní kooperace a v podstatě celosvětový trh vyžaduje, aby metodika pro vyjadřování důvěryhodnosti parametrů charakterizující jakost výrobku byla pro celý svět sjednocená a umožnila získávat srovnatelné výsledky měření provedených nejen v jedné zemi, ale i v různých částech světa.

Pro hodnocení jakosti výrobku slouží posuzování shody jeho předepsaných parametrů s hodnotami kvantitativních analýz měření. Aby bylo možné tyto výsledky analýzy správně vyhodnotit, musí existovat určitá indikace kvality, míra, s níž je možno se na výsledek spolehnout. Metodiky pro vyjadřování jakosti řady ISO 9000 a EN 45000 vedou k obecnému způsobu vyjádření a vyhodnocení naměřených hodnot tak, aby získané výsledky byly kompatibilní mezi zeměmi i mezi obory. Na základě toho všechna opatření akreditačních i certifikačních procesů vyžadují míry spolehlivosti kvantitativních výsledků. Postupně jsou upřesňovány a prohlubovány požadavky na vyjadřování spolehlivosti výsledků a jejich srovnatelnost s druhými výsledky bez ohledu na to, jakou metodou byly získány.[7]

Neoddělitelnou složkou našeho každodenního života je měření a jeho všudypřítomnost si někdy ani neuvědomujeme. Historie měření sahá daleko do minulosti lidstva a některé měrové systémy nalzáme již tisíce let před naším letopočtem v tamějších vyspělých kulturách na Zemi. I metody a rozvoj měření, šly historií lidstva až do dnešní uspořádané podoby.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 METROLOGIE

Pojem metrologie je v klasickém pojetí nauka o mírách. V současné době ji definujeme jako aplikační vědní a technickou disciplínu, která je jedním z nosných pilířů fyziky. Fyzika a metrologie jsou dvě vědní disciplíny, navzájem organicky spjaté.

Metrologie se tedy velmi úzce váže na fyziku, která je nejvšeobecnější vědou o přírodě, ve které studuje především kvantitativní zákony vzájemného působení částic a polí. Fyzika je věda přísně exaktní a empirická. Fyzika učí o zákonitém vývoji přírody, dokazuje, jak jsou její jednotlivé části organicky spojené do souvislého celku. Učí poznávat přírodní síly pomocí změn, které tyto síly na tělesech působí a učí tyto síly ovládat a využívat. Při kvantifikování těchto jevů se využívá metrologie.[2]

Metrologie zahrnuje následující oblasti:

- měřící jednotky (teorie a rozdělení veličin, zásady optimální struktury soustav měřících jednotek, zabezpečení jednotnosti měření, definice, realizace a reprodukce fyzikálních jednotek a jejich etalonů aj.)
- měření (principy měření, příprava, realizace, zpracování a analyzování výsledků měření, metodiky měření, teorie chyb a její aplikování aj.)
- měřící prostředky (míry a měřící přístroje, měřící stroje, měřidla, pomocná měřící zařízení, měřící řetězce a jejich ustavování, ověřování nebo kalibrování, zabezpečení jednotnosti a přesnosti měření vhodnou volbou měřidla a jeho navázání na etalonáž aj.)
- měřící osoba (také pozorovatel nebo operátor, jeho vlastnosti ve vztahu k měření, jeho osobní chyby, omezení těchto chyb, jeho uplatnění v automatizovaných měřících systémech, případně v systému zabezpečování jednotnosti a správnosti měření aj.)
- základní fyzikální konstanty (metrologická rozvaha o základních fyzikálních konstantách, jejich stanovování a význam pro metrologii, aj.)
- vlastnosti látek (fyzikální nebo technické vlastnosti různých látek a materiálů, stanovování hodnot těchto vlastností, jejich posuzování, dokumentování aj.)

Metrologii lze dále členit podle různých hledisek. Podle úrovně hlavních řešených problémů se dělí metrologie na metrologii teoretickou (někdy také klasifikovanou jako vě-

deckou) a na praktickou a to bez přihlídnutí k požadované nebo dosahované přesnosti měření.

Dále je možné členit metrologii z hledisek obsahu činností na metrologii legální (státní) aplikovanou a obecnou.

- a) Legální metrologie zahrnuje tvorbu předpisové základny, která je především tvořena zákonnými předpisy, uveřejněnými ve Sbírce zákonů. Tyto předpisy mají všeobecnou právní závaznost. V oblasti metrologie jde o zákon o metrologii č. 505/1990 Sb., a jeho prováděcí vyhlášku č. 69/1991 Sb. Do této oblasti spadají i předpisy nižší právní závaznosti (na příklad rezortní), které jsou závazné pouze pro organizace daného průmyslového odvětví a organizace, které se smluvně zavázaly je plnit. Na tomto místě je třeba se zmínit i o technických normách, které jsou od 1. ledna 1993 závazné. V zákoně č. 142/1991 Sb., o československých technických normách jde o tzv. neopomenutelné účastníky řízení. Je nutno však podotknout, že ve smluvně právních vztazích musí být všechny ustanovení normy citované v hospodářské smlouvě, beze zbytku splněny.
- b) Aplikovaná metrologie (nebo také užitná metrologie) se zabývá měřením určité veličiny, např. metrologie délek nejčastěji ve strojírenských oborech, metrologie elektromagnetických veličin v elektrotechnickém průmyslu, metrologie tlaku, teploty a průtoku je nejčastěji aplikována v průmyslu chemickém. Je možné vztáhnout aplikovanou metrologii do určité oblasti, např. metrologie ve stavebnictví, metrologie ve zdravotnictví a podobně.
- c) Obecná metrologie se zabývá problémy společnými všem metrologickým oborům, bez ohledu na měřenou veličinu.[2]

1.1 Historie měření

V roce 1884 se Samuel Pierpont Langley pokusil odhadnout velikost sluneční konstanty v Mount Whitney v Kalifornii, pokusil se také eliminovat vliv absorpce energie atmosférou (odečítáním hodnot v různých denních dobách). Bohužel dospěl k nesprávné hodnotě $2\,903\text{ W/m}^2$, snad kvůli matematické chybě. Mezi roky 1902 a 1957, měření prováděná Charlesem Greeley Abbotem a dalšími z různých míst ve vysokých nadmořských výškách určila hodnotu mezi $1\,322$ a $1\,465\text{ W/m}^2$. Abbott prokázal, že jedna z Langleyho korekcí byla chybně použita.[3]

1.1.1 Svět

Míry a váhy začaly vznikat v 3. – 4. tisíciletí př. n. l. v oblastech, kde se rozvíjelo zemědělství a s tím i spojené zavlažování (povodí Nilu, Mezopotámie, Pandžáb).

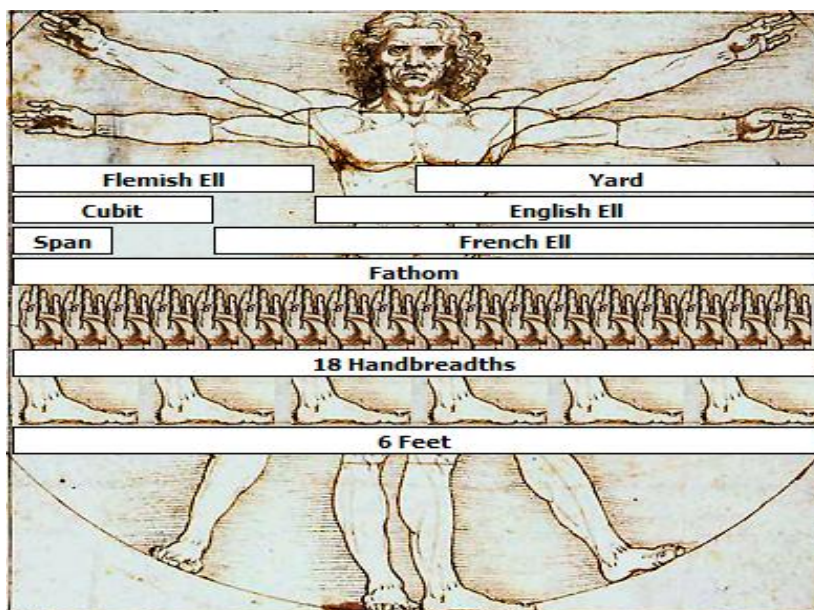
Základní staroegyptskou délkovou mírou používanou za I. Dynastie asi kolem roku 3 000 př. n. l. byl královský loket (0.5236m), který se dělil na 7 dlaní. Každá dlaň měla 4 prsty. Pro větší vzdálenosti měli Egypťané i větší jednotku – 100 královských loktů, která se jmenovala chet nebo khet.

Stavitelé pyramid se neobešli bez plánů a vyměřování. Zachovala se docela přesná pravítka z kamene a archeologové soudí, že existovala podobná, lacinější a častější pravítka dřevěná. Ta se ovšem nedochovala. Znali i pásma na vyměřování, byla dřevěná z palmových vláken. Pro složitější měřické práce používali stavitelé pyramid pravoúhlé trojúhelníky s olovnicí, které mimo jiné nahrazovali dnešní vodováhy.

Stopa je historická jednotka pro měření délky, která byla používaná v téměř všech kulturách. Vznik názvu je možno vysvětlit tím, že se jednalo o délku otisku jedné nohy (chodidla), tedy stopy. Ve středověku byla tato míra rozšířena po celé Evropě. Závazná definice jednotky neexistovala, v různých státech a území byla stopa různě dlouhá. Podle místa užívání a v důsledku mnoha reforem existuje nepřehledné množství definic její velikosti vůči (metrické) soustavě SI. Jako platná jednotka má dnes význam jen angloamerická (imperiální) stopa, která se všeobecně užívá i v letectví pro určení výšky letadla.[3]

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 jednotky v důsledku rozvoje obchodu (v zemích Anglie a Nizozemí), nebo v důsledku centralizace a kolonizace. Míry tak byly sice sjednoceny v rámci jednotlivých států, rozdíly mezi státy však stále přetrvávaly. (Obr. 1)

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 (Système International d'Unités).[3]



Obr. 1. Znárodnění anglického, francouzského a vlámského loktu [3]

Délka je jedna z prvních jednotek, kterou lidstvo potřebovalo měřit. První odvození bylo tedy z rozměrů lidského těla:

- Stopa – asi 30 cm
- Palec – asi 2,5 cm
- Loket (vídeňský) – asi 0,75 cm
- Krok (stará česká jednotka) – asi 60 cm

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, loket český - Přemysl Otakar II, provazec zemský - Karla IV, libra, lán). Tyto míry se však prosadily až po Třicetileté válce. Roku 1758 byla sice zavedena rakouská měrná 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**. [3]

Po politických změnách v roce 1989 byly v roce 1990 provedeny organizační změny, které upravily organizaci státní metrologie takto:

Federálním ústředním orgánem státní správy pro metrologii zůstal nadále Federální úřad pro normalizaci a měření Praha, který stanovil zejména všeobecné povinnosti k problematice měřidel a měření a ověřování měřidel. Rozhodoval o ověření typu měřidla, schvaloval a vyhlášoval státní etalony, čs. analytické normály, státní a zahraniční značky měřidel, značky měřidel autorizovaných organizací, účastnil se mezinárodní spolupráce v oblasti metrologie a kontroloval dodržování zákonných metrologických předpisů. Poskytoval metrologické expertizy, vydával vysvědčení o odborné způsobilosti metrologických pracovníků, vydával metodické pokyny pro usměrnění metrologie v organizacích. Dále, což bylo důležité, zveřejňoval ve Věstníku FÚNM vyhlášení státních metrologických středisek kalibrační služby, státní etalony, československé analytické normály, schválené typy měřidel a seznam stanovených měřidel. Úřad dále mohl převést některé úkoly státní metrologie do působností organizací. A to zejména pro ověřování stanovených měřidel v odůvodněných případech, zvláště u měřidel hromadně vyráběných. Předpokladem pro výkon těchto činností byla autorizace k předmětným metrologickým výkonům. Akreditace a následně autorizace byla udělována na základě prověření úrovně technického prostorového a personálního vybavení. [2]

Metrologické činnosti, které zabezpečoval Československý metrologický ústav Bratislava, byly rozděleny. V zásadě nové členění bylo obdobné jako před rokem 1980. Nově vznikl Státní metrologický inspektorát se sídlem v Brně, kde je řídicí orgán této instituce. Byl přímo podřízen FÚNM Praha. Státnímu metrologickému inspektorátu Brno podléhalo

10 výkonných pracovišť. Kterými byly Oblastní inspektoráty v Praze, Liberci, Českých Budějovicích, Plzni, Pardubicích, Brně, Opavě, Bratislavě, Bánské Bystrici a Košicích.

Jako nové se zavedlo autorizace pro úřední měření. Jedná se o organizace, případně fyzickou osobu, kdy může Úřad v případech zvláštního zřetele autorizovat, na žádost zájemce, k výkonu úředního měření. Úředním měřením se rozumí metrologický výkon, o jehož výsledku vydává autorizovaná organizace doklad, který je veřejnou listinou. Podmínkou pro udělení autorizace k přednímu měření je zejména užívání měřidel odpovídajícím požadavkům státní metrologické kontroly a osvědčení o odborné způsobilosti úředního metrologa. Osvědčení vydával FÚNM Praha.[2]



Obr. 2. Budova ministerstva v Praze [15]

1.2 Metr jako jednotka SI

Soustava SI (zkratka z francouzského Le Système International d' Unités) je mezinárodně domluvená soustava jednotek, která se skládá ze základních jednotek, odvozených jednotek, přepon a vedlejších jednotek. Mezinárodně garantuje definice jednotek a uchování etalonů Bureau International des Poids et Mesures v Sèvres (Francie), v České republice Český metrologický institut v Brně.

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 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, 226/2003 a 444/2005 Sb.) a souvisejících vyhlášek Ministerstva průmyslu a obchodu ČR, zejména vyhlášky č. 264/2000 Sb.[3]

Základní jednotky

Základních jednotek je sedm: metr, kilogram, sekunda, kelvin, ampér, kandela a mol.

1.2.1 Vznik soustavy měř SI

V roce 1948 uložila 9. generální konference vah a měř Mezinárodnímu výboru vah a měř prostudovat otázky tvorby uceleného předpisu o měrových jednotkách, uskutečnit k tomuto tématu oficiální průzkum mínění vědeckých, technických a pedagogických kruhů všech zemí a publikovat doporučení, týkající se vytvoření praktické soustavy měrových jednotek, která by mohla být přijata všemi signatářskými zeměmi *Metrické konvence*. Na této konferenci byly také stanoveny obecné principy pro značky jednotek.

Tento první impuls ke vzniku mezinárodní soustavy jednotek byl vynucen gigantickým rozmachem výroby, při kterém měření stále častěji aplikované, nabývalo stále větší důležitosti, za současně stále narůstajících požadavků na přesnost, správnost a rozsah měření a to i u fyzikálních veličin, které se dříve nepoužívaly.

Poněvadž se čtyřmi uvedenými jednotkami nebylo možno už dost dobře vystačit, rozhodla 10. Generální konference v r. 1954 přijmout za základní jednotky této praktické soustavy jednotek jednotky šesti veličin.

14. generální konference v r. 1971 přijala k těmto základním jednotkám ještě jednotku sedmou – mol, pro látkové množství.

V roce 1960 přijala 11. generální konference pro tuto soustavu praktických jednotek název „Mezinárodní soustava jednotek“ s mezinárodní zkratkou SI, odvozenou od francouzského názvu „Le Système International d'Unités“.[2]

I když soustava SI má své nedostatky, je dnes prakticky celosvětově nejdokonalejší a je žádoucí ji co nejdříve uvést ve všech technicky vyspělých zemích v život. Starší měrové soustavy, ať už absolutní nebo technické, metrické nebo s jednotkami yard a pond je nutné opouštět a nahrazovat soustavou SI. Mezinárodní výbor pro míry s váhy, který se postaral o vytvoření soustavy SI celosvětový přechod na tuto soustavu důrazně doporučil, avšak závazné není toto doporučení ani pro státy metrické konvence.

Změny s tak širokým rámcem působnosti nelze samozřejmě provést naráz a v tomto případě spíše než o revoluční proměně můžeme mluvit o evoluci. Zavádění soustavy SI mezinárodně by se dalo snad porovnat se zaváděním metrického systému, což bylo stejně složi-

tým problémem. Dnes už i státy, kde byla tradičně zakořeněna anglosaská soustava jako Anglie, USA, Kanada a Austrálie zavádění soustavy SI uzákonily.

V čs. národním hospodářství bylo přistoupeno k přechodu na soustavu SI na základě vládního usnesení č. 7. ze dne 17. 1. 1974. Tímto vládním usnesením bylo stanoveno, že v přípravném období do 1. 1. 1975 bude provedena včasná příprava a realizace výroby nových měřidel tak, aby nenásilným způsobem v průběhu přechodného období, které bylo stanoveno na léta 1975 až 1979 včetně, bylo možno přejít na používání jen těch měřidel, u nichž měřicí jednotky jsou uvedeny v jednotkách zákonných.[2]

1.2.2 Metr

Metr je základní jednotka délky, jeho standardní značka je **m**, původně odvozena z rozměrů Země.

Metr byl původně definován jako jedna desetimilióntina části zemského kvadrantu. Po zjištění, že délka metru neodpovídá vlastní definici, nastalo v metrologických kruzích zděšení. Změnit délku metru podle nových měření zemského kvadrantu, aby skutečně odpovídala jeho desetimiliónté části nešlo. Stará definice byla opuštěna a nahrazena novou, která umožňuje přesnou reprodukci prototypu metru uloženého v archívu Mezinárodního úřadu pro váhy a míry v Séves. Tento prototyp totiž sloužil a slouží jako vzor pro výrobu národních kopií, ze kterých se pak odvozují všechna vyráběna měřidla. Protože je uložen v archívu, říká se mu také někdy archívní metr. Konečnou podobu získal prototyp metru roku 1889. Je to platiniridiová tyč s průřezem ve tvaru H, na které je dvěma vrypy vyznačena vzdálenost 1 m.

Definice metru (podle soustavy SI): Metr je délka, kterou urazí světlo ve vakuu za $1/299\,792\,458$ s.[3]

1.3 Instituce činné v oblasti metrologie

Všeobecně je známa skutečnost, že všechny civilizované státy světa mají, i když v různých formách, uzákoněny alespoň základní prvky metrologického zabezpečení a z toho vyplývající organizační strukturu, opět v různých formách a specifikacích.

V českých zemích i na Slovensku existuje metrologická struktura v zákonné formě prakticky od vlády císařovny Marie Terezie. Zákonodárství té doby bylo již na velmi dobré úrovni a tak i pro metrologii, respektive měrovou službu, byla vytvořena základní zákonná

struktura, která byla v dalších obdobích rozvíjena a doplňována. Některé prvky jsou uplatněny i v současně platném zákoně o metrologii.[2]

1.3.1 Ministerstvo průmyslu a obchodu

Ministerstvo průmyslu a obchodu (Obr. 2):

- zabezpečuje řízení státní politiky v oblasti metrologie
- vypracovává koncepce rozvoje metrologie
- zjišťuje řízení Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví (ÚNMZ)

1.3.2 Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví

Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ):

- sídlí v Praze (řídící orgán)
- zabezpečuje úkoly vyplývající ze zákona o metrologii a navazujících vyhlášek a úkoly v oblasti sblížování technických předpisů a norem ČR s dokumenty EU
- stanovuje program státní metrologie a zabezpečuje jeho realizaci
- zastupuje Českou republiku v mezinárodních metrologických orgánech a organizacích, zajišťuje úkoly vyplývající z tohoto členství a koordinuje účast orgánů a organizací na plnění těchto úkolů i úkolů vyplývajících z mezinárodních smluv
- autorizuje subjekty k výkonům v oblasti státní metrologické kontroly, měřidel a úředního měření, pověřuje oprávněné subjekty k uchovávání státních etalonů, pověřuje střediska kalibrační služby a kontroluje plnění stanovených povinností u všech těchto subjektů, při zjištění nedostatků v plnění stanovených povinností může autorizaci odebrat
- uděluje souhlas s navázáním hlavních etalonů na etalony zahraničních subjektů se srovnatelnou metrologickou úrovní
- provádí kontrolu činnosti Českého metrologického institutu
- poskytuje metrologické expertizy, vydává osvědčení o odborné způsobilosti metrologických zaměstnanců a stanoví podmínky za účelem zajištění jednotného postupu subjektů pověřených výkonem úředního měření

- zveřejňuje ve Věstníku Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví zejména subjekty pověřené k uchování státních etalonů, autorizovaná metrologická střediska, subjekty autorizované pro úřední měření, střediska kalibrační služby, státní etalony, seznamy certifikovaných referenčních materiálů a schválené typy měřidel atd.[4]

1.3.3 Český metrologický institut

Český metrologický institut (ČMI):

- je výkonným orgánem se sídlem v Brně
- zabezpečuje českou státní a primární etalonáž jednotek a stupnic fyzikálních a technických veličin
- provádí metrologický výzkum a uchování státních etalonů včetně přenosu hodnot měřících jednotek na měřidla nižších přesností
- provádí certifikaci referenčních materiálů
- provádí výkon státní metrologické kontroly měřidel, tj. schvalování typu a ověřování měřidel
- provádí registraci subjektů, které vyrábějí nebo opravují stanovená měřidla, popřípadě provádějí jejich montáž
- provádí výkon státního metrologického dozoru u autorizovaných metrologických středisek, středisek kalibrační služby, u subjektů autorizovaných pro výkon úředního měření, u subjektů, které vyrábějí nebo opravují stanovená měřidla, popřípadě provádějí jejich montáž, u uživatelů měřidel
- provádí metrologickou kontrolu hotově baleného zboží
- poskytuje odborné služby v oblasti metrologie
- může povolit předběžnou výrobu před schválením typu měřidla (obr. 4) [4]

1.3.4 Autorizovaná metrologická střediska

Autorizovanými metrologickými středisky jsou organizace, které úřad autorizoval k výkonům v oblasti státní metrologie po akreditaci, spočívající v prověření úrovně jejich metrologického i prostorového vybavení a kvalifikace pracovníků.

Tato střediska provádí v rozsahu autorizace státní kontrolu měřidel a uchování etalonů. ÚNMZ přiděluje metrologickému středisku úřední značku pro ověření měřidla.[4]

1.3.5 Střediska kalibrační služby

Střediska kalibrační služby jsou organizace, které jsou Úřadem pověřeny na základě akreditace ke kalibraci měřidel pro jiné subjekty.[4]

1.3.6 Český institut pro akreditaci

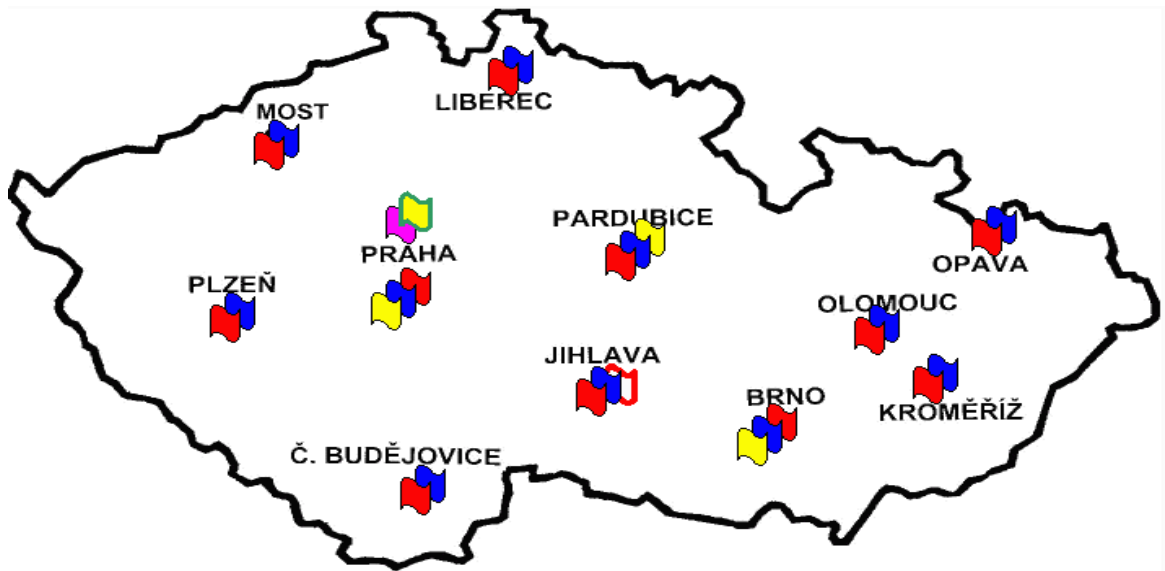
Český institut pro akreditaci (ČIA):

- buduje a zajišťuje akreditační systém v ČR v souladu s evropskými normami řady 45000
- provádění akreditaci zkušebních a kalibračních laboratoří
- uděluje, odnímá nebo mění osvědčení o akreditaci, rozhoduje o jeho neudělení (pozastavení)
- zpracovává, vydává předpisy, metodické pokyny, metodické příručky z oblasti své působnosti
- zabezpečuje a provádí posuzování žadatelů o akreditaci
- vede registr žadatelů o akreditaci a akreditovaných míst
- zabezpečuje a realizuje dohled nad trvalým dodržováním akreditačních kritérií atd.[4]

1.3.7 Oblastní inspektoráty Českého metrologického institutu

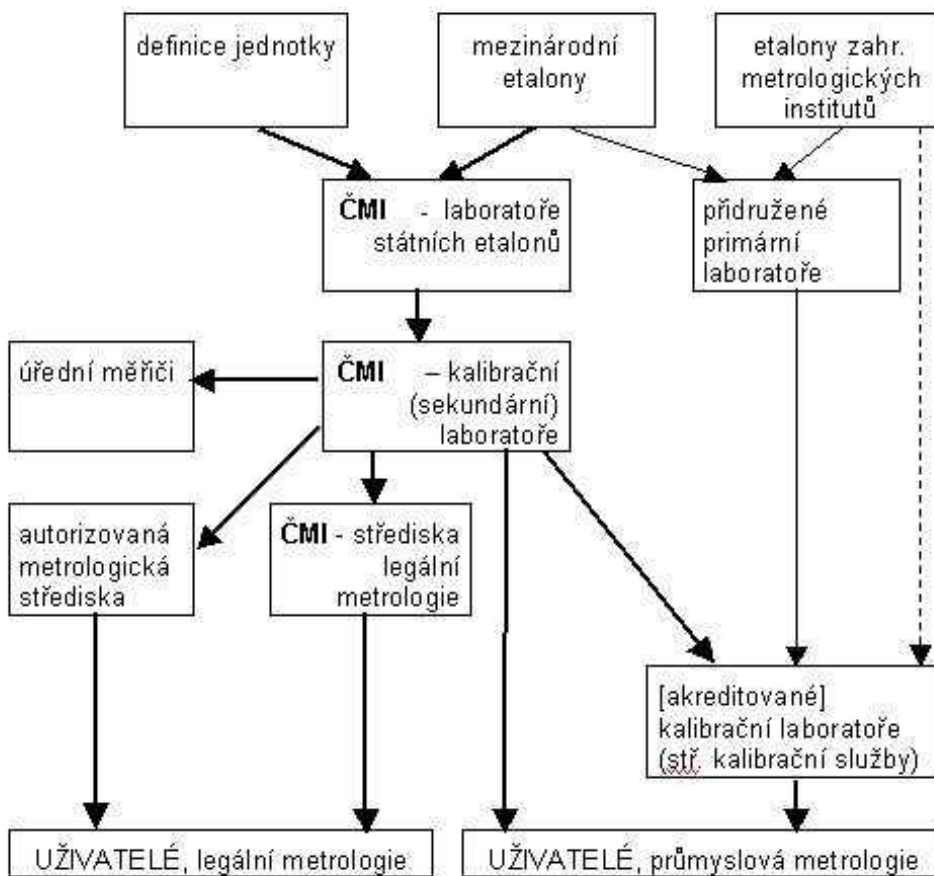
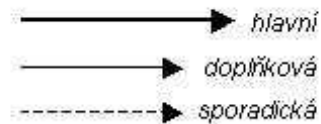
Oblastní inspektoráty (ČMI):

- ČMI má 7 regionálních inspektorátů Praha, Plzeň, České Budějovice, Liberec, Pardubice, Brno, Opava a 4 pobočky Most, Jihlava, Kroměříž, Olomouc (Obr.3)
- zabezpečují sekundární etalonáže
- zabezpečují výkon státní metrologické kontroly měřidel v rozsahu své působnosti atd.[4]



Obr. 3. Oblastní inspektoráty v ČR [15]

**NÁRODNÍ METROLOGICKÝ SYSTÉM –
CESTY ZAJIŠTĚNÍ NÁVAZNOSTI**



Obr. 4. Vztahy v metrologickém systému [10]

2 VYHODNOCOVÁNÍ PRO MĚŘENÍ DÉLEK

Měření je soubor experimentálních úkonů, jejichž účelem je stanovit hodnotu měřené veličiny, případně měřené hodnoty jednotlivých veličin nebo určení vztahu mezi několika veličinami. Při měření se zjišťuje velikost měřené veličiny ve zvolených jednotkách.

Kromě této definice se ještě měření nějaké veličiny definuje jako určení její hodnoty (tj. velikosti) ve zvolených jednotkách (tj. ve zjištění počtu těchto jednotek) obsažených v měřené veličině. Měření tedy znamená určení kvantitativního znaku nějakého objektu.[2]

2.1 Chyby a nejistoty měření

Pochybnosti o platnosti výsledků měření jsou vyjádřeny nejistotami. Ke kvantitativnímu vyhodnocování parametrů jakosti v současné praxi slouží více měřicí systémy než jednotlivé přístroje. Přesnost měřících systémů i přístrojů lze posuzovat podle dosažitelné přesnosti provedených měření.

Úkolem při vyjadřování nepřesnosti, nejistot měření, je správně charakterizovat přesnost určitého provedeného souboru výsledků nebo jednotlivých měření. Značně složitým úkolem je charakterizovat přesnost měřících systémů.[5]

Můžeme-li se stanovenou spolehlivostí stanovit nekorigované soustavné chyby a je-li soubor měření dostatečně velký, lze stanovit nepřesnost měření. Nepřesnost měření vyjadřuje souhrnnou chybu, která obsahuje všechny nekorigované soustavné chyby i nahodilé krajní chyby. Krajní nahodilé chyby jsou dány násobkem střední kvadratické odchylky koeficientem, který je volen tak, aby se dosáhlo postačující pravděpodobnosti, že nahodilá chyba nepřesáhne hodnotu krajní chyby. (Tento koeficient se uvádí pro pravděpodobnost 99,73% a vyjadřuje pravděpodobnost, že při normálním Gaussovu rozložení střední kvadratická odchylka jednoho měření tento koeficient nepřekročí). (Obr. 5) Avšak při jiném způsobu rozložení již bude tato pravděpodobnost jiná. (Obr. 6)[13]

Máme-li správně posuzovat výchozí podmínky pro posuzování nepřesnosti, nemůžeme posuzovat jediný případ nebo soubor měření. Musíme popsat vlastnosti měřícího systému pro celý obor podmínek užití, pro který je systém určen.

Požadovaná nejistota (dosažitelná přesnost měření) musí být stanovena pro různě velké hodnoty, dále např. pro stálou hodnotu měřené veličiny i pro dynamické změny probíhající určitým způsobem i určitou rychlostí, pro různě velké hodnoty ovlivňujících veličin.

Dosud nebyl prakticky sestaven nějaký všeobecný univerzální popis přesnosti měřících systémů a jejich členů. Protože se měřící systémy velice rychle vyvíjejí a mění, uplatňují se nové fyzikální principy změření parametrů i postupy jejich zpracování. Výrobci udávají data, funkční i metodické postupy v dokumentaci, kterou dodávají s přístroji. Je pochopitelné, že každý výrobce ve své nabídce uvádí ty informace, které podpoří zájem zákazníka a nežádoucí vlastnosti spíše taktně přechází nebo některé základní důležité informace opomene uvést.

Z výše uvedeného vyplývá skutečnost, že vzhledem k velké různorodosti charakteristických údajů v měřících systémech, vzhledem k různým metodám vyhodnocení s použitím různých matematických aparátů vycházejících z různých předpokladů je velmi těžké pro mezinárodní spolupráci a kooperaci užít jednotné vyjadřovací prostředky pro užití výsledků měření, které by byly kompatibilní mezi státy, ale i mezi jednotlivými obory lidské činnosti.[5]

Snaha o přiblížení se takovému vyjádření výsledků, které by bylo co nejvíce spolehlivým popisem skutečnosti, byla zakotvena v požadavku mezinárodně platných norem pro posuzování jakosti a provoz zkušebních a kalibračních laboratoří formulována v požadavku na vyjadřování nepřesnosti měření nejistotami. To je v současné situaci optimální způsob na popsání skutečných parametrů při posuzování kvality výrobku či služby.

Vyjádřením nejistoty vyjadřujeme pochybnost o správnosti údaje. Nejistota zahrnuje mnoho dílčích faktorů, které byly získány na základě dílčích poznatků. Tyto údaje nesmějí být nesprávně chápány jako správné předpovědi, nýbrž jako předpovědi provedené s určitou pravděpodobností nebo pro požadovanou spolehlivost. Nejistota tedy vyjadřuje pravděpodobnost jistoty.

Očekávaná hodnota, rozptyl a odhadnutá hodnota mohou mít jednoznačný význam pro popis minulosti, nikoliv však budoucnost. Informaci o daném vzorku nebo souboru může však podat v rozsahu stanovených mezí, vyjádříme-li pravděpodobnost výskytu skutečných hodnot. Proto se pro kvantitativní výpovědi o parametrech výrobku (měření) užívá metod matematické statistiky. Matematické aparáty statistiky jsou přesné metody, ale je nutno si uvědomit, že jejich výsledkem jsou odhady pravděpodobnosti.[5]

2.1.1 Chyby měření, jejich příčiny a členění

V učebnicích fyziky i měření jsou popisována rozdělení chyb podle různých hledisek. Prakticky používaná rozdělení chyb jsou prováděna:

1. Podle způsobu vyjádření na absolutní a relativní.
2. Podle charakteru výskytu:
 - a) celkové chyby měření (největší možné, krajní),
 - b) systematické chyby (soustavné),
 - c) nahodilé chyby,
 - d) chyby metody měření,
 - e) chyby měřicích přístrojů,
 - f) chyby použitých pasivních elementů,
 - g) chyby způsobené rušivými vlivy,
 - h) hrubé chyby jako následek nesprávného měření.

Měření je soubor experimentálních úkonů, jejichž cílem je určení hodnoty určité veličiny, tj. určení kvantitativní charakteristiky určitého kvalitativního znaku (vlastnosti) určitého objektu.

Opakujeme-li měření za stejných podmínek zjistíme, že výsledky měření se od sebe více nebo méně liší. Toto je způsobeno nepřesnostmi měřicího systému, nedodržením konstantních podmínek měření atd. Každé měření je zatíženo chybou.

Chyba měření (absolutní) je rozdíl mezi naměřenou hodnotou a pravou (konvenčně pravou) hodnotou, udává se v jednotkách měřené veličiny:

$$\varepsilon = y - x \quad [4]$$

kde: ε ...absolutní chyba,

y ...naměřená hodnota,

x ...pravá (konvenčně pravá, skutečná) hodnota.

Cílem měření je určení skutečné hodnoty, je to možné jen určením chyby měření. Chyba je kladná, je-li naměřená hodnota větší než pravá (konvenčně pravá, skutečná) hod-

nota a při odhadu skutečné hodnoty se od naměřené hodnoty odečítá (postup se nazývá korekce naměřené hodnoty).[4]

Relativní chyba je poměr absolutní chyby měření a pravé (konvenčně pravé) hodnoty měřené veličiny:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{x_0} \text{ popř. } \times 100[\%] \quad [4]$$

Hlavní příčiny vzniku chyb:

- měřidlo, měřicí systém (jsou dány nedokonalostí a nespolehlivostí měřicích přístrojů, např.: chyby tření, chyby způsobené posunutím nuly, chyby umístění atd.)
- měřicí metoda (nerespektování dynamických vlastností měřidel, zanedbání některých funkčních závislostí – nepřímé měření),
- podmínky, při kterých se měření provádí (hlavně chyba teplotní),
- osoba, která měření provádí a vyhodnocuje (závisí na subjektivních vlastnostech osoby pozorovatele – zručnost, zkušenost, kvalifikace, psychický stav, chyba paralaxy, omezená rozlišovací schopnost).

Členění chyb:

- dle časové závislosti: statické, dynamické,
- dle možnosti vyloučení: odstranitelné, neodstranitelné,
- dle způsobu výskytu: chyby hrubé, chyby systematické, chyby náhodné.[4]

2.1.2 Chyby hrubé

Příčinou chyb hrubých je nesprávně provedené měření, nesprávný odečet údaje, nesprávný způsob zpracování, vada přístroje, nesprávná manipulace s měřidlem apod. Výsledek měření ovlivněný hrubou chybou je nepoužitelný. Naměřená hodnota zatížená hrubou chybou se ze souboru naměřených hodnot vylučují a nesmí se v měření pokračovat, pokud nebudou příčiny odstraněny. V některých případech je možno toto provést až po otestování podezřelých naměřených hodnot a to z důvodu možnosti, že naše rozhodnutí o vyloučení (nevyloučení) podezřelých hodnot ze souboru by mohlo být nesprávné.

Testování podezřelých hodnot (hodnot zatížených hrubou chybou) je možno uskutečnit za předpokladu normálního rozdělení hustoty pravděpodobnosti.

Postup při testování odlehle hodnoty při neznámé směrodatné odchylce střední hodnotě je následující:[4]

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

2.1.3 Chyby systematické

Chyby systematické vznikají z příčin, které působí soustavně a jednoznačně co do smyslu a velikosti. Působení systematické chyby se dá zjistit změnou měřicích poměrů, např. provedení měření na jiném přístroji, jiným pozorovatelem, za jiných podmínek atd.

Systematické chyby jsou takové chyby, které se při opakovaném pozorování nebo měření prováděném za stejných podmínek projevují stále stejně, a proto je můžeme eliminovat:

1. Zavedením početních korekcí podle výsledků měření, tj. výpočtem systematické chyby,
2. Úpravou měřicího systému tak, aby se příčina vzniku chyby odstranila.

Výpočet systematické chyby:

- a) Určíme konvenčně pravou hodnotu měřené veličiny X na zařízení s mnohem menší chybou,
- b) Provedeme větší počet měření (za stejných podmínek) na vlastním měřicím systému a vypočteme jejich aritmetický střed (přitom k X by se měla přiblížit většina zjištěných hodnot) ze vztahu:

$$\bar{x} \cong \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad [4]$$

- c) Z aritmetického průměru X pak vypočteme systematickou chybu[4]

$$\delta_{\text{sys}(x)} = \frac{\Delta_{\text{sys}(x)}}{X_s} \quad \text{nebo} \quad \Delta_{\text{sys}(x)} = \bar{x} - x_s \quad [4]$$

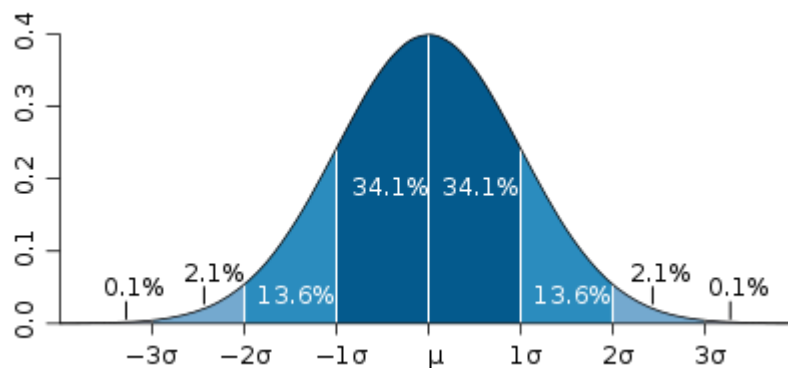
2.1.4 Chyby náhodné

Náhodné chyby jsou výsledkem vlivů zcela nepravidelných, jejichž účinky se skládají podle náhodného seskupení. K jejich zpracování je třeba opakovat v dostatečné míře jednotlivá měření při dosažitelně stejných vnějších podmínkách a výsledky podrobit metodám matematické statistiky a počtu pravděpodobnosti. Při opakovaném měření za stejných podmínek (osoba, metoda, měřidlo, rozptyl (velikost rozptylu je úměrná vlivu náhodných chyb)). Z jedné naměřené hodnoty nelze posoudit vliv náhodných vlivů, ale pouze ze souboru naměřených korigovaných hodnot je možno určit velikost náhodné chyby pomocí intervalu, ve kterém se bude nacházet s určitou pravděpodobností (jistotou) „skutečná“ hodnota naměřené veličiny.[4]

Obecné vlastnosti náhodných chyb je možno vyjádřit dvěma zákony statistického charakteru:

- malé chyby jsou častější než chyby velké,
- chyby kladné jsou stejně četné jako chyby záporné (za předpokladu symetrického rozložení chyb).

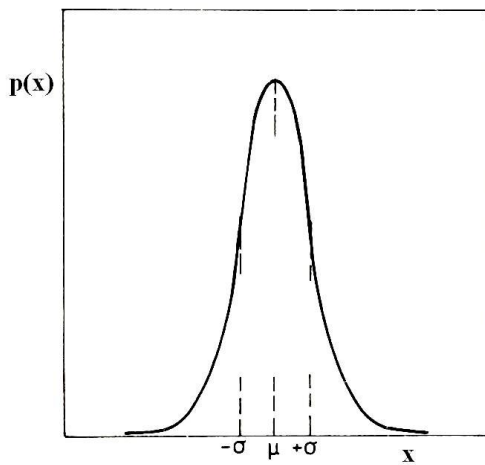
Náhodné chyby mají při měření ve strojírenství nejčastěji Gaussovo (normální) rozdělení hustoty pravděpodobnosti výskytu. (Obr. 5)



Obr. 5. Parametry normálního rozdělení [3]

Normální rozdělení má dva parametry: μ - střední hodnotu a σ - směrodatnou odchylku. V bodě μ nabývá $f(x)$ maximum a je symetrická kolem přímky $x = \mu$. Parametr σ vymezuje takovou vzdálenost od μ , že v těchto hodnotách má funkce $f(x)$ inflexní body.[1]

Intervaly vymezené délkou násobku parametru σ vymezují určité části hodnot náhodné veličiny.



Obr. 6. Gaussova distribuční křivka

2.1.5 Nejistota měření

Pojem nejistota měření je relativně nový a v současné době velmi aktuální. U akreditovaných pracovišť se dle mezinárodních norem, směrnic a pokynů evropských organizací jednoznačně vyžaduje, aby výsledky měření, ověření, kalibrace, zkoušení byly uvedeny s nejistotou dané procedury.

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

Základem je pravděpodobnostní princip. Předpokládá se, že nejistota měření pokryje skutečnou hodnotu s předpokládanou pravděpodobností.

Základní charakteristikou nejistoty je standardní nejistota u , která je vyjádřena hodnotou směrodatné odchylky $s(x)$, při normálním rozdělení zaručuje výsledek s pravděpodobností 68,27%.

Rozšířená kombinovaná nejistota pro libovolnou pravděpodobnost:

$$U_c = k_u \cdot u_c \quad [4]$$

Používání rozšířené nejistoty se omezuje na nejistotu výsledku měření, přičemž je vždy třeba uvést, jakým způsobem byla její hodnota získána.[4]

2.1.5.1 Určování rozšířených nejistot

Rozšířená nejistoty U se udává místo kombinované standardní nejistoty v případech, kdy se požaduje vysoká spolehlivost (pravděpodobnost), že hodnota měřené veličiny bude překryta intervalem $\langle \bar{x} - U, \bar{x} + U \rangle$ vymezeným touto nejistotou okolo hodnoty \bar{x} . Z pohledu statistiky jde o úlohu určení spolehlivosti, případně hranic intervalu spolehlivosti pro zvolenou pravděpodobnost p .

Zjednodušeně rozšířená nejistota je násobkem kombinované nejistoty u_c :

$$U = k_u \cdot u_c \quad [4]$$

2.1.5.2 Vyjádření výsledku měření

Při vyjadřování výsledků měření je nutno uvádět nejistotu na dvě platné číslice. Celý výpočet nejistoty se musí provést s nezaokrouhlenými hodnotami, až pak se provádí zaokrouhlení (dle normy ČSN 01 1010).

Při zaokrouhlení výběrového průměru z naměřených hodnot postupujeme tak, že zaokrouhlená číslice má být řádově shodná s druhou platnou číslicí nejistoty. Tedy ve výsledku měření se uvádí výběrový průměr jako nejpravděpodobnější hodnota výsledku měření jen na tolik míst, aby jeho číslice nejnižšího řádu měla týž řád jako číslice nejnižšího řádu nejistoty měření při stejné jednotce metrologické veličiny.

Standardní nejistoty se dle způsobu vyhodnocení člení:

Standardní nejistoty typu A (u_a):

- jsou získané z opakovaných měření,
- jejich hodnota s počtem měření klesá,
- současné technické prostředky umožňují zpracování velkého počtu naměřených hodnot a tím dávají možnost zmenšení velikosti standardní nejistoty typu A
- při nezávislých naměřených hodnotách se standardní nejistota váže na výběrový průměr a zjistí se výpočtem směrodatné odchylky $s(\bar{x})$:

Standardní nejistoty typu B (u_b):

- jejich hodnota nezávisí na počtu měření

- metodika určování této nejistoty je metodika určování standardní nejistoty vázané na výběrový průměr určená jiným způsobem, nikoliv výpočtem směrodatné odchylky z opakovaných měření
- jiné způsoby:
 - údaje nejistot uvedené v ověřovacích listech etalonů, stanovených měřidel, v kalibračních listech, certifikátech apod.
 - nejistoty uvedené ve výsledcích předchozích měření
 - nejistoty určené tabulkových koeficientů
 - specifikace metrologických vlastností měřidel výrobců
 - Odhad na základě zkušenosti

Postup stanovení nejistoty typu B (u_b):

- vytipování možných zdrojů těchto nejistot
- určení standardních nejistot (převzetím, odhad apod.)
- posouzení závislosti mezi jednotlivými zdroji (určení korelačních koeficientů pro vzájemně závislé zdroje),
- výpočet výsledné nejistoty typu B (u_b) dle vztahů:

Kombinovaná standardní nejistota u je kladnou druhou odmocninou ze součtu kvadrátů standardních nejistot

$$U_c = \sqrt{U_a^2} + \sqrt{U_b^2} \quad [4]$$

Standardní nejistota charakterizuje nejistotu intervalem, jehož překročení (odlehlost skutečné hodnoty od udávané hodnoty) má poměrně velkou pravděpodobnost. Praxe proto upřesňuje charakteristiku nejistoty intervalem, jehož překročení má malou pravděpodobnost, hovoří se o rozšířené nejistotě U .

Výsledek měření píšeme v následující podobě. Nejprve uvedeme značku veličiny, již se další údaje týkají, dále zpravidla píšeme rovnítko, pak výslednou hodnotu a za znaménkem \pm nejistotu. Pokud má vyjádřená veličina jednotku, připojíme jednotku. [4]

Např.: $L=58,65\text{mm}\pm 0,12\text{mm}$

3 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

3.1 Základní pojmy

Měření – souhrn činností, kde je cílem určit hodnotu měřené veličiny (vyjádřené v jednotkách této veličiny). Má základní význam v řadě oborů (přírodních vědách i ekonomice vůbec).

Elektrické měření – měření elektrických veličin a měření neelektrických veličin s využitím elektrických měřících prostředků.

Pro měření se využívají *měřící prostředky*: míry, měřící přístroje a měřící převodníky.

Míra - měřidlo, které během používání reprodukuje hodnotu nebo hodnoty měřené veličiny (např. rezistor známé hodnoty)

Měřící přístroje dělíme:

ANALOGOVOU – údaj je spojitou funkcí měřené veličiny (poloha ručky na stupnici)

DIGITÁLNÍ /ČÍSLICOVÉ/ – poskytuje měřenou hodnotu v číslicovém tvaru.

Měřící převodník – transformuje vstupní veličinu (elektrickou nebo neelektrickou) podle určitých zákonitostí na výstupní veličinu, zpravidla elektrickou.

Seriál měřících členů se nazývá **měřící řetězec**. Prvním člen měřícího řetězce, na který bezprostředně působí měřená veličina se nazývá *snímač (senzor, čidlo)*.

Přesnost měření – míra těsnosti, za kterou se výsledek měření považuje za správný „správnou (pravou hodnotu měřené veličiny). Pozor! Pravou hodnotu měřené veličiny nikdy neznáme. My se k ní jen přiblížíme postupně dalším přesným měření pomocí metody – nazývané *referenční*.

Citlivost měřícího přístroje nebo zařízení je poměr změny výstupní veličiny (údaj přístroje) ke změně vstupní (měřené) veličiny.

Příliš malá citlivost může zhoršit přesnost měření. Konstantní citlivost (nezávisle na hodnotě měřené veličiny) mají lineární převodníky.

Rozlišení rozlišovací schopnost je nejmenší změna měřené veličiny, která vyvolá detekovatelnou změnu údaje přístroje. (např. dílek nebo polovinu dílku stupnice u analogového přístroje)

je nebo změnu posledního čísla místa digitálního zobrazovače o jedničku u digitálních přístrojů).

Měřicí rozsah přístroje nebo převodníku – vyjadřuje meze hodnot, ve kterých se může měnit měřená veličina, aby byla zaručena přesnost.

Ovlivňující veličina – není předmětem měření, ovlivňuje údaj měřidla a způsobuje chybu.

Chyba měření- patří rovněž k zákl. pojmům v měření. Bude o ní řeč v další části.[9]

3.2 Principy měřidel

Měřidla je možno obecně rozdělit dle různých kritérií např.:

dle zákona č. 119/2000 Sb. – o metrologii:

- etalony
- stanovená měřidla
- pracovní měřidla
- referenční materiály

dle způsobu měření:

- absolutní (zjišťujeme přímo hodnoty celkových rozměrů)
- komparační (zjišťujeme odchylky od předem nastavené hodnoty, nejčastěji od jmenovitého rozměru)
- toleranční (zjišťujeme, zda bylo vyhověno předpisu, tj. zda nejsou překročeny mezní hodnoty rozměrů, např. mezní úchylky)

dle principu měření na měřidla s převodem:

- mechanickým
- elektrickým
- optickým
- pneumatickým
- kombinovaným atd.

dle toho, zda při měření dochází ke kontaktu funkční části měřidla s měřeným objektem na měřidla:

- dotyková
- bezdotyková

dle účelu na měřidla pro měření:

- délek
- úhlů
- průtočného množství
- objemu
- teploty atd.

dle počtu měřených souřadnic:

- jednosouřadnicové měřicí systémy (posuvné měřítko)
- dvousouřadnicové měřicí systémy (měřicí mikroskop)
- třísouřadnicové měřicí systémy (třísouřadnicové měřicí stroje) [4]

4 PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ DÉLEK

4.1 Druhy měřidel

- Pevná měřidla (netoleranční a toleranční)
- Měření úhlů (úhlové měrky, optické polygony, úhlové šablony, úhelníky, úhlooměry, libely, sklonoměry, hadicové vodováhy, optická dělicí hlava a stůl, teodolity, sinusové a tangentské pravítka)
- Měřicí stroje (délkoměry, universální délkový měřicí stroj, mikroskop a profil projektory)
- Souřadnicové měřicí stroje [11]



Obr. 7. Mikrometrické analogové měřidlo

4.2 Převody měřidel

4.2.1 Měřidla s převodem mechanickým

V konstrukci měřidel se nejčastěji setkáváme s těmito mechanickými převody:

- pákovým
- pružinovým (torzním)
- ozubenými koly
- kombinací základních

Výhodou těchto přístrojů je jednoduchá konstrukce, nízká cena, lehké a rychlé měření, používají se pro hrubší měření.[4]

4.2.2 Měřidla s převodem opticko-mechanickým

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.[4]

4.2.3 Měřidla s převody elektrickými

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
- ve vícerozměrných přípravcích, sledovacích měřidlech atd.
- v regulačních obvodech
- v třídících systémech atd.

Základní rozdělení:

- elektokontaktní
- indukční
- kapacitní
- fotoelektrické

4.2.4 Fotoelektrické přístroje

Fotoelektrické přístroje jsou založeny na fotoelektrickém jevu, kde základ tvoří fotobuňka a elektronka zvláštního druhu (katoda z materiálu citlivého na světlo).

Podstata fotoelektrického jevu:

- určité látky vlivem působení fotonů-světelných kvant vysílají elektrony
- intenzita vysílání závisí na energii světla a charakteristice elektronky

- měřená veličina se převádí buď na jas zářící plochy, nebo při stálém jasu na její velikost
- ke změně jasu se může použít optického šedého klínu
- přístroje vybavené fotobuňkou slouží často k měření bez dotyku (mohou měřit součásti, které se pohybují, což se využívá u třídících automatů) [4]

4.2.5 Měřidla s převody pneumatickými

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
- rychlostní

4.3 Měření velkých rozměrů

Velkými rozměry se ve strojírenství běžně rozumí rozměry nad 500 mm. V tomto duchu je také koncipována norma ČSN 01 0202, která se vztahuje k zaměnitelnosti součástí ve strojírenské výrobě.

Měření velkých rozměrů ve strojírenství patří k oblastem metrologie s celou řadou problémů, např.

- průvodní jevy ovlivňují výsledek měření ve větší míře než při měření běžných rozměrů (tuhost měřidla, tepelná roztažnost apod.)
- chybí vhodná a cenově dostupná měřicí technika
- tyto skutečnosti často nejsou zohledňovány konstruktéry a na výkresech jsou často předepisovány tolerance, které nejsou běžné dostupnými měřicími prostředky postižitelné

Klasická měřidla pro měření velkých rozměrů se svým principem podstatně neliší od měřidel pro rozměry do 500 mm. Tato měřidla jsou v této oblasti mnohem citlivější k průvodním jevům, proto vyžadují skutečně dokonalou znalost a dovednost při jejich použití. Jsou to hlavně:

- mikrometrické odpichy
- třmenové mikrometry (Obr. 7)
- posuvná měřidla
- speciální posuvná, vysouvací a mikrometrická měřidla

Jejich použitelnost je omezená hlavně v oblasti 3000 až 4000 mm. Jako možné řešení zabezpečení této oblasti je využití nekonvenčních metod měření (geodetických metod, laserinterferometrického měření atd.) [4]

4.3.1 Měřidla a metody pro měření velkých rozměrů

Ocelová měřítka:

- méně přesné měření
- rozměr s přesností na milimetry, odhad na desetinu mm

Odpichy:

- slouží jak pro měření vnitřních rozměrů, tak k přenosu míry na třmenová měřidla a také k měření od pomocných základů
- běžně se používají odpichy pevné, vysouvací, mikrometrické a skládací
- přesnost měření mikrometrickými odpichy závisí na:
 - nastavení odpichu na jmenovitý rozměr, popř. na kalibraci odpichu (provádí se obvykle na délkoměrech ZEISS)
 - chybě čtecího zařízení
 - pružných deformacích
 - teplotní chybě
 - osobní chybě, tj. odečtu naměřené hodnoty a vyhledávání měřicí polohy
- pro eliminaci pružných deformací se odpichy do délky 2000 mm podepírají v tzv. Besselových bodech, pro něž platí:

$$l = 0,211 \cdot L \quad [4]$$

kde: l ... vzdálenost podepření od měřících konců odpichu

L ... délka odpichu v mm

- u rozměrů nad 2000 mm je podložení v Besselových bodech nepohodlné, proto je nutné dodržet zásadu, že odpich je podkládán ve stejných bodech při nastavování v délkoměru i při vlastním měření

Měřicí pásma:

- používají se obvykle pro měření nad 6000 mm (někdy i pro menší rozměry)
- jejich výhodou je malá hmotnost, jednoduchost a také to, že s rostoucí měřenou délkou roste chyba měření pásmem pomaleji než u klasických měřidel
- při použití měřících pásem rozeznáváme dva základní způsoby a to měření přímé a opásáním
- bude-li prováděna korekce chyb, je možno měření měřícími pásmy použít pro tolerance IT12 až IT10

Měření měřícími pásmy – metoda přímá

- měření je možno provádět v poloze svislé nebo vodorovné
- je nutné, aby pásmo leželo po celé délce měření na podložce
- není-li to možné realizovat, provede se korekce naměřeného výsledku na chybu z průvěsu
- měření je zatíženo řadou chyb, např. chybou stupnice, cyklu způsobenou napínací silou, chybou teplotní, chybou průvěsu atd.

Měření měřícími pásmy – metoda opásáním:

- metoda je založena na určení průměru z délky obvodu
- výsledek měření je závislý na dodržení celé řady podmínek, které mají vliv na velikost celkové chyby měření
- při stanovení celkové chyby opásáním působí např. tyto chyby:
 - chyba milimetrové stupnice a chyby metrových úseků
 - chyba způsobená nestálou napínací silou (při měření musí být pásmo napínáno stejnou silou, jako bylo napínáno při kalibraci)
 - chyba způsobená třením
 - chyba teplotní

- chyba způsobená tloušťkou pásma
 - chyba způsobená šroubovým vložením pásma atd.
- při zodpovědném přístupu k měření, dodržení všech zásad správného měření a při provádění korekcí metrových úseků použitého pásma je možno očekávat nejistotu $\pm 0,5$ mm při měření průměru 10 m

Měření odvalem:

- princip spočívá ve zjišťování parametru obrobku pomocí odvalovacího kolečka o definovaném obvodu (zpravidla 0,5 m) přitlačeného na obrobek
- metodu lze použít jen pro rotační součásti s nepřerušovaným povrchem z neporézniho materiálu
- u této metody je nutno řešit problémy spojené s kalibrací měřícího zařízení – eliminace skluzu
- metodu lze použít až do průměru 20 000 mm

Pevná měřidla:

- nejčastěji slouží jako mezní měřidla (jednostranné, dvoustranné)
- zjišťujeme, zda rozměr součásti je v tolerančním poli či nikoliv
- vyrábějí se do rozměru 2000-3000 mm
- pro větší rozměry se nepoužívají, protože se vlastní hmotnosti snadno deformují

Posuvná měřidla:

- vyrábějí se pro rozsahy 1000 – 4000 mm

Mikrometrická měřidla: (Obr. 7)

- vyrábějí se do 3000 mm se stoupáním mikrometrického šroubu 0,5 mm
- přesnost 0,01 mm
- rozsah měření se mění vyměnitelnými pevnými dotyky

Měřidla s číselníkovým úchylkoměrem: (Obr. 8)

- metoda tětivy
- na příčnicku jsou dva pevné dotyky s konstantní vzdáleností v

- úchylkoměrem se měří výška h
- poloměr měřené součásti se vypočte ze vztahu:

$$R = \frac{v^2}{8h} + \frac{h}{2} \quad [4]$$

- přesnost měření tímto způsobem je velká, zvláště použije-li se citlivý úchylkoměr



Obr. 8. Úchylkoměr

Cylindrometry:

- přístroj je opatřen prohnutým dlouhým ramenem, na jehož vedení je posuvný držák mikrometrického šroubu
- na druhém rameni jsou dva číselníkové úchylkoměry nastavené tak, aby ukazovaly stejnou hodnotu
- délka tětivy se změří mikrometrickým šroubem
- poloměr součásti se vypočte ze změřené tětivy t a úhlu α dle vztahu:

$$R = \frac{t}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \quad [4]$$

- měřidlo je upraveno tak, že stačí dělit poloviční délku tětivy konstantou přístroje, která má hodnotu $\frac{\sin \alpha}{2}$

Metoda měření pomocí teodolitu

- jde o optickou metodu – geodetické měření
- přesným teodolitem se ve vodorovné rovině změří paralaktický úhel 2α k základové lati a úhel tečen 2β z osy teodolitu k měřenému válci
- hledaný průměr D se určí ze vztahu:

$$D = \frac{2L \sin \beta}{\operatorname{tg} \alpha} \quad [4]$$

kde: L ... polovina délky základové latě (mm)

- výhodou této metody je možnost měření i v průběhu obrábění
- požadavek vhodných optických a prostorových podmínek

Měření rozměrů od pomocných měřických základů

Metody se používají tehdy, má-li se změřit rozměr, který je dostupnými měřidly přímo obtížně měřitelný, popř. vůbec neměřitelný, např.: na soustruzích, kdy máme měřit rozměr větší než měřidlo, které máme k dispozici pomocná měřická základna je umístěna uvnitř obrobku

- odpichem změříme vzdálenost vnitřního válcového povrchu prstence od středového sloupu, průměr středového sloupu d změříme mikrometrem
- hledaný průměr D se určí ze vztahu:

$$D = 2a + d \quad [4]$$

- změříme-li tloušťku stěny prstence s , pak vnější průměr prstence D získáme ze vztahu:

$$D = d + 2(a + s) \quad [4]$$

- pomocná měřická základna je umístěna vně obrobku
- před vlastním obráběním je ve stroji upnut válec s přesně definovaným průměrem d
- od tohoto válce se změří vzdálenost a k pomocné základně, např.: loži soustruhu
- po vyjmutí válce a upnutí měřeného obrobku změříme vzdálenost b
- průměr obrobku určíme ze vztahu:

$$D = 2\left(a + \frac{d}{2} - b\right) \quad [4]$$

Laserinterferometrická měření

Laserové interferometry jsou nejpřesnější zařízení pro měření délky a dalších geometrických veličin. Ve srovnání s optickými pravítky a jinými odměřovacími systémy dosahují řádově vyšších přesností a měří na větší vzdálenosti. Laserinterferometrická měření jsou v současné době v provozních podmínkách používána hlavně pro kontrolu odměřovacích systémů obráběcích strojů, pro kontrolu a měření rozměrů v automobilovém a leteckém průmyslu, pro kontrolu odchylek polohy velkých rozměrů atd.[4]

4.3.2 Technologie měření velkých rozměrů

Pro zabezpečení správného a rychlého měření ve výrobě je nezbytné, aby kontrolní operace byly nedílnou součástí výrobních postupů. Je třeba vypracovat řádné kontrolní postupy, které zjistí použití nejvhodnějších měřidel a kontrolních metod.

Vypracování technologie měření zahrnuje tyto úkoly:

- výběr vhodné metody a zařízení k měření součásti, přičemž je nutno přihlížet k velikosti měřeného dílce nebo montážního celku, k předepsané výrobní toleranci daného rozměru a ke tvaru součásti
- určení nutných podmínek zajišťujících dosažení nejlepších výsledků měření
- vypracování projektu měřicích a kontrolních zařízení
- sestavení kontrolního postupu, popř. podrobné návody

Výběr vhodné metody zařízení k měření

Při výběru metod a měřidel pro měření velkých rozměrů vycházíme z předepsaných tolerancí, k nimž pak určíme odpovídající přesnost měření, obvykle 1/5 až 1/10 z požadované tolerance.

Při výběru vhodného měřidla je nutno přihlídnout k jeho konstrukci a vlastnostem, popř. k pracnosti jeho výroby a jeho ceně.

Dále je nutno volit mezi přímou a nepřímou metodou měření. Přesnost přímých metod měření je obvykle vyšší než metod nepřímých, proto nepřímých metod používáme jen tehdy, je-li přesnost pro daný případ dostatečná a měření je rychlejší a snadnější.

K měření vnitřních rozměrů se použije nepřímé metody tehdy, není-li k dispozici odpich potřebné délky, popř. měřicí stroj pro kalibraci odpichu.

Pro všechny typy odpichů se doporučují hlavice s číselníkovým úchylkoměrem, které značně usnadňují a urychlují nalezení správné polohy odpichu a zvyšují tak přesnost měření.

Pro vnější rozměry nad 2500 mm se doporučuje použití nepřímých metod. Nejčastěji se používají metody měření od pomocných měřících ploch, hlavně při měření na obráběcích strojích, kde je možno s výhodou použít obrobených ploch jako měřících základen. Metoda opásání je vhodná, je-li nutno měřit válce nad 2500 mm.

Pro měření velkých rozměrů lze doporučit i optické metody, např. laserinterferometrická měření, kolimační měření atd.

Stanovení nezbytných podmínek pro měření

Optimální podmínky a způsoby měření velkých rozměrů je nutno volit takové, aby vedly k nejmenším chybám a pro danou přesnost ekonomicky zdůvodnitelné.

Základní zásady pro měření jsou tyto:

- při měření musí být použita jen ověřená kalibrovaná měřidla
- pro vyloučení nebo alespoň zmírnění vlivu teploty na přesnost měření je nutno zajistit vyrovnání teplot obrobku a měřidla
- teplota v místnosti nesmí kolísat více, než je dovoleno pro dosažení požadované přesnosti
- počet měření provedených ve stejných kontrolních bodech nesmí být menší než 3
- k zmenšení vlivu deformací je nutno měřidla podpírat při měření ve stejných bodech jako při jejich kontrole
- stejně důležité je i dodržení stejné polohy měřidla při měření i kontrole

Sestavení kontrolních postupů (kontrolních technologických listů)

Kontrolní listy je nutno vypracovat pro každou jednotlivou součást. Jde-li o složité a nákladné součásti, u nichž je nutná mezioperační kontrola, vypracovávají se kontrolní postupy i pro tuto kontrolu. Každý kontrolní postup musí obsahovat:

- náčrt součásti v poloze, v níž je v okamžiku měření se všemi rozměry a jejich tolerancemi, které se mají měřit
- seznam kontrolních úkonů v pořadí, v němž se budou realizovat

-
- seznam měřidel a měřících prostředků vč. jejich označení, předepsaných pro požadované kontrolní úkony
 - měří-li se nepřímou metodou, je nutno nakreslit schéma měření a uvést potřebný matematický aparát
 - stanovení podmínek měření, které je nutno dodržet pro dosažení požadované přesnosti
 - podrobný popis metody měření [4]

5 LASER

Lasery jsou bezesporu oborem budoucnosti. Především všem nedorozuměním z možné ukvapenosti by znamenalo počkat, až bude celý obor důkladně zmapován. Jenomže vědeckotechnická revoluce nečeká. Nechceme-li skončit se životem jako jeho pasivní konzumenti, je nutné s ní držet krok. Lidstvo posunuje hraniční kameny poznání úctyhodným tempem.[6]

5.1 Původ laseru

Laser je zdroj záření, dokonale ovladatelný a vyznačující se několika výraznými vlastnostmi. Cesta, která vedla k sestrojení prvního přístroje, začala už před staletími. O světelný paprsek se sice zajímali už staří Řekové, ovšem znalosti o podstatě světla se až do 17. století nijak podstatně nezměnily. Teprve Čech Jan Marek Marků (někdy uváděn Marcus Marci) v roce 1648 jako první popsal rozptyl světla, objev, který je neprávem připisován Newtonovi. Jan Marek Marků zjistil, že bílé sluneční světlo je světlem složeným a vysvětlil tak podstatu duhy. Newton poslal Královské anglické společnosti nauk dopis o objevení spektra a vysvětlení jeho vzniku teprve roku 1672. Newtonova zásluha spočívá v tom, že vytvořil korpuskulární teorii světla. Světelný paprsek vykládala jako proud volně letících hmotných částic. Světlu různých barev odpovídaly částice různě velké. Na tomto modelu se mu podařilo vysvětlit většinu tehdy známých vlastností světla, jako je odraz, lom a další. Jeho současník Christian Huyghes však podstatu světla viděl ve vlnění, kteří se šíří prostorem stejnou rychlostí všemi směry z každého bodu na povrchu svítícího tělesa. Měl také pravdu. Spor rozhodly experimenty s difrakcí (ohybem) a interferencí světla spojené se jménem Thomase Younga. Interference je vlastně interakce dvou stejných světelných vln (mají stejnou frekvenci a amplitudu) v daném okamžiku a místě. Vlnové rozruchy se vzájemně sčítají. Setkají-li se ve fázi, je výsledkem zesílení, proti fázi zase zeslabení. Na to odpověděl svými výpočty James Clerk Maxwell. Prokázal, že elektromagnetické pole je zvláštní formy hmoty, jejímž projevem je elektrické a magnetické silové působení. Maxwellova teorie překlenuje propast mezi optickými a elektromagnetickými jevy. Odtud byl už jen krok k myšlence, že světlo není nic jiného než vlnění elektromagnetického pole.

Se senzační hypotézou přišel v roce 1900 Max Planck. Prohlásil, že záření, světlo, je tvořeno malými částicemi energie – „kvanty“. Energie každého kvanta je úměrná kmitočtu záření. Tak byly položeny základy kvantové fyziky. Podle ní má světlo dvojaký charakter – vlnový a korpuskulární.[6]

5.1.1 Objev laseru

V roce 1916 předpověděl Albert Einstein jev indukované emise, který je základním principem činnosti meserů a laserů (kvantových generátorů), v letech 1928-1930 se R. Landenburg a H. Kopfermann zabývali otázkou, jak vytvořit aktivní prostředí generátoru a konkrétní návrhy na vytvoření takového prostředí se objevily v doktorské dizertaci ruského vědce V. A. Fabrikanta v roce 1939. Na základní myšlenku tzv. polovodičového laseru přišel J. von Neumann v roce 1953, v roce 1954 začaly pracovat první masery, o rok později navrhli Basov a Prochorov princip tříhodinového kvantového generátoru. V roce 1958 publikovali američtí vědci A. L. Schawlov a C. H. Townes práci, v níž rozpracovali koncepci laseru, tedy kvantového generátoru světla. O rok později navrhli N. G. Basov, B. M. Vul a I. M. Popov princip polovodičového laseru. Významný je rok 1960, kdy se podařilo zkonstruovat první vodíkový maser a americký fyzik T. Maiman vytvořil první laser.

Patent na laser byl udělen Ch. Townesovi a A. Schawlovovi, kteří jej prodali společnosti Bell Telephone.

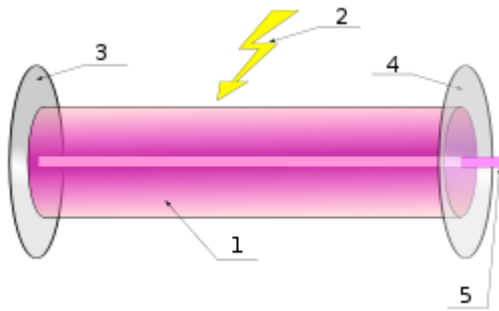
Časopis Funkschau (7/1978) uveřejnil zprávu o tom, že v roce 1977 dodatečně udělili patent na laser americkému fyzikovi Gordonu Gouldovi. Prokázal totiž, že ve svém poznámkovém bloku jako první na světě zachytil principy opticky čerpaného laseru a plynového laseru, a dokonce použil i název „laser“.[6]

5.1.2 Laser v České Republice

V Československu se lasery objevily poměrně brzy. Podle časopisu Radar (2/1964) byl u nás první kvantový generátor rádiového záření, tedy maser, spuštěn začátkem roku 1962. Zkonstruoval jej kolektiv vědeckých pracovníků brněnské Vojenské akademie A. Zápotockého.

Na první laser jsme si museli ještě rok počkat. Až 9. dubna 1963 se podařil první laserový efekt v přístroji, který ve Fyzikálním ústavu ČSAV konstruoval dr. Karel Pátek, CSc. Z pěti měsíců soustavné práce, které Pátek tomuto přístroji věnoval, však padly dvě třetiny času na shánění a vypůjčování materiálu a jednotlivých součástí. Přitom pro krystal, tedy pro onu klíčovou součást aparatury, kde se paprsek koncentruje a usměrňuje, použil neohmového skla, a to nikoliv skla ve svazku skleněných vláken, jak bylo obvyklé, ale ve tvaru tyčinky. O tři dny později zazářil druhý laser – tentokrát klasický s rubínovým krystalem - v laboratoři inženýra Pachmana v jiném výzkumném ústavu. [6]

5.2 Princip laseru



Obr. 9 Laserová trubice[3]

Konstrukce laseru:

1. Aktivní prostředí
2. Zdroj záření
3. Odrazné zrcadlo
4. Polopropustné zrcadlo
5. Laserový paprsek

Laser je tvořen aktivním prostředím (1), rezonátorem (3,4) a zdrojem energie (2).

Zdrojem energie, který může představovat například výbojka, je do aktivního média dodávána ("pumpována") energie. Ta energeticky vybudí elektrony aktivního prostředí ze základní energetické hladiny do vyšší energetické hladiny, dojde k tzv. excitaci. Takto je do vyšších energetických stavů vybudena většina elektronů aktivního prostředí a vzniká tak tzv. inverze populace.

Při opětovném přestupu elektronu na nižší energetickou hladinu dojde k vyzáření (emisi) kvanta energie ve formě fotonů. Tyto fotony následně interagují s dalšími elektrony inverzní populace, čímž spouštějí tzv. stimulovanou emisi fotonů, se stejnou frekvencí a fází, i u nich.

Díky umístění aktivní části laseru do rezonátoru, tvořeného například zrcadly, dochází k odrazu paprsku fotonů a jeho opětovnému průchodu prostředím. To dále podporuje stimulovanou emisi, a tím dochází k exponenciálnímu zesilování toku fotonů. Výsledný světelný paprsek pak opouští tělo laseru průchodem skrze polopropustné zrcadlo.[3]

5.3 Součásti laseru

5.3.1 Rezonátor

Ve většině laserů světlo opakovaně prochází tzv. rezonátorem – optickou dutinou vymezenou zrcadly. V nejobvyklejších případech je rezonátor tvořen dvěma zrcadly, z nichž je jedno zcela odrazivé a druhé částečně propustné. Existují také kruhové rezonátory.

Zrcadla používají obvykle dielektrické zrcadlo, někdy se používá leštěný kov, např. zlato. V některých případech (laserová dioda) má dostatečnou odrazivost samotné rozhraní aktivního prostředí se vzduchem.

Některé lasery s dostatečně velkým ziskem v aktivním prostředí rezonátor nepotřebují a pracují *superradiačně* – to znamená, že záření stačí jediný průchod k získání dostatečné intenzity. Patří mezi ně např. dusíkový nebo měděný laser. Rezonátor se samozřejmě také nepoužívá u laserových zesilovačů, které slouží jen k průchodovému zesilování vstupujícího koherentního svazku.

Zrcadla v rezonátoru zdaleka nemusí být rovinná. Naopak, v řadě případů je výhodné použít nejen konkávní, ale i konvexní zrcadla. Stabilita záření v rezonátoru závisí na poloměrech křivosti zrcadel a délce rezonátoru.[3]

5.3.2 Aktivní prostředí

Aktivní prostředí je látka obsahující oddělené kvantové energetické hladiny elektronů; může se jednat o:

- *plyn* nebo směs plynů, hovoříme pak o plynových laserech
- *monokrystal* kde hladiny vznikají dopováním; takové lasery se nazývají pevnolátkové
- *polovodič* s p-n přechodem v případě diodových laserů
- *organická barviva*
- *polovodičové multi-vrstvy* – jsou základem kvantových kaskádních laserů
- *volné elektrony* v případě laserů na volných elektronech

Elektrony mohou přecházet z vyššího do nižšího stavu, při současném vyzáření fotonu, jedním z dvou mechanismů:

- spontánní emise (foton se vyzáří samovolně)
- stimulovaná emise (okopíruje se jiný foton procházející atomem).

Ke spontánní emisi dochází při nízkém stupni obsazení vyšší hladiny; pro spuštění stimulované emise ve větším měřítku (generace laserového záření) je třeba čerpáním dosáhnout tzv. populační inverze, kdy vyšší hladina je obsazena více elektrony než nižší. [3]

5.4 Použití laseru

Vzhledem k nesmírně širokému spektru aplikací laserů uvedu jen některé z nich, vyjma z lékařství.

5.4.1 Astronomie, geodezie, geofyzika

Pulzními lasery se měří vzdálenosti různých objektů na základě odrazu záření od nich. Doba, která uplyne mezi vysláním impulzu a přijetím odraženého impulzu, je úměrná vzdálenosti překážky. Při měření se používají tzv. koutové odražeče, umístěné na objektech. Od koutového odražeče se světlo odráží vždy zpět, nezávisle na úhlu dopadu. Na stejném principu funguje i běžná odrazka na jízdním kole. Astronomové měří tímto způsobem vzdálenosti družic nebo Měsíce s přesností několika centimetrů. Koutový odražeč byl jeden z prvních přístrojů, které umístili američtí astronauti na povrchu měsíce. Laserová měření slouží mj. k určování drah družic, při studiu zemětřesení nebo měření vzájemného pohybu zemských kontinentů. [17]

5.4.2 Ekologie a metrologie

Laserové radary, tzv. LIDARY, se používají k měření znečištění zemského ovzduší. Laserový paprsek se částečně odráží a částečně rozptyluje na částicích obsažených v ovzduší. Odražené signály se vyhodnocují, tímto způsobem je možno určit rozložení a směr pohybu kouřových částic a dalších znečišťujících látek v ovzduší. Lidarem se také měří výška oblačnosti nebo proudění vzduchu a jeho turbulence v atmosféře. Podobná metoda se uplatňuje i na kosmických sondách, např. při studiu atmosféry Marsu a dalších planet. [17]

5.4.2.1 Použití při měření

Laserový interferometr pracuje na principu optické konfigurace, která je založena na principu Michelsonova interferometru. Vlnová délka laseru je stabilizována s vysokou přesností a je kalibrována a navázána na mezinárodní etalon délky. Optické jednotky jsou stejné a ve skutečnosti zaměnitelné s optickými jednotkami jiných výrobců. Při měření je kompenzován vliv teploty, tlaku a vlhkosti atmosféry a vliv teploty měřeného objektu.[16]

5.4.3 Jaderná fyzika

Soustředěná energie laserového paprsku by mohla být využita k nastartování jaderné fúze (termonukleární reakce). Laserovým paprskem se daří dosahovat teplot blížících se absolutní nule. Využívá se přitom rozptylu fotonů na atomech, pohybujících se proti paprsku. Jinou aplikací je konstrukce nepředstavitelně přesných atomových hodin, prakticky používaných například při satelitní navigaci nebo v astronomii. Laserový paprsek se uplatňuje i v mikroelektronice při výrobě polovodičových součástech. Základem této technologie je odpařování tenkých vrstev křemíku.[17]

5.4.4 Vojenská aplikace

Nenáročnou vojenskou aplikací jsou laserové značkovače na ručních zbraních, které mohou viditelně označit místo zásahu. Laserové dálkoměry slouží na různých zbraních, např. tancích, k přesnému zaměření a určení vzdálenosti cíle. Přesnost leteckých raketových střel s laserovým zaměřováním a naváděním dosahuje hodnot, jinými způsoby těžko dosažitelných. Na základě údajů laserových zaměřovačů je možno stanovit optimální dráhu mezikontinentálních balistických raket. (Zatím spíše z oblasti sci-fi jsou projekty likvidace mezikontinentálních balistických raket vysoce výkonnými lasery, umístěnými na pozemní stanici nebo na oběžné dráze kolem Země.)[17]

5.4.5 Laserová tiskárna a kopírka

Laserová tiskárna používá laserový paprsek k vytvoření elektrostatického obrazu na světlocitlivém obrazci válce. Obraz je pak z rotujícího válce přenesen ve viditelné formě na papír. Informace o znacích vytvořených počítačovým programem jsou přiváděny do modulatoru, kterým je laserový paprsek přerušován. Na světlocitlivý válec se pak elektrostaticky nanáší tzv. toner a z válce je přenášén na papír. Vyhřívacími válci se toner roztaví a trvanlivě pronikne do struktury papíru. Laserová tiskárna poskytuje velmi kvalitní výsledky při

velké rychlosti tisku. Podobnou konstrukci má také laserová kopírka, elektrostatický obraz na světlocitlivém válci vznikne odrazem laserového paprsku od kopírované předlohy.[17]

5.4.6 Kompaktní optické disky (CD, DVD)

Záznam na kompaktním disku je tvořen obrovským počtem prohlubní (pitů) na lesklé ploše disku. Šířka záznamové stopy je jen několik tisícín mm. Miniaturní polovodičová laserová dioda vyzařuje infračervený paprsek, který se odráží hranolem směrem k disku a po zaostření dopadá na záznamovou hlavu. Když paprsek dopadne na lesklou plochu, většina světla se odrazí, přichází do detektoru a vznikne elektrický impuls. Jestliže dopadne na prohlubeň (pit), světlo se při odrazu rozptýlí a detektor žádný impuls nevytvoří. Z detektoru tak vychází přerušovaný digitální signál, který elektronické obvody zpracují na signál zvukový, obrazový apod. Snímání záznamu z disku je bezkontaktní a proto nedochází u kompaktních disků k žádnému opotřebení při provozu. Aby laserový paprsek stále sledoval čtenou záznamovou stopu, jsou CD mechaniky vybaveny velmi přesnými servomechanismy.[17]

5.4.7 Laserové ukazovátko, čárový kód

Laserové ukazovátko má velmi jednoduchou konstrukci. Jeho základem je miniaturní laserová dioda s nezbytným elektronickým obvodem. Protože levné diody nevytvářejí dokonale rovnoběžný svazek paprsků, musí být na výstupu ještě stojná čočka. K napájení stačí vzhledem k malé spotřebě miniaturní baterie s napětím několik voltů. První patent na identifikaci zboží pomocí skupiny rovnoběžných čar byl udělen v roce 1952, ale k rozšíření čárových kódů v průmyslu a obchodě došlo až zhruba po dvaceti letech. Čárové kódy mají mnoho variant a v průmyslových zemích je jimi dnes označena naprostá většina výrobků. Čtečka čárového kódu je opatřena miniaturním laserem. Kmitající světelný paprsek se od tmavých čar neodráží, od světlých mezer se odráží. Detektor čtečky tak odesílá do počítače digitální signály o druhu a ceně zboží. Konstrukce čtečky umožňuje číst čárový kód i z větší vzdálenosti.[17]

Díky vysoké koherenci a monochromatickosti laserového paprsku, lze Laserovým paprskem soustředit na malé ploše velké množství energie. Toho se využívá v průmyslu pro řezání a vrtání materiálů.

Monochromaticnost a možnost rychlé modulace polovodičových Laserů je využívána pro datové přenosy prostřednictvím optických vláken.[3]

5.5 Bezpečnostní rizika



Obr. 10. Bezpečnostní symbol laseru třídy 2 a vyšší[3]

Pokud laser pracuje na určitých vlnových délkách, na které je schopno se oko soustředit a které mohou být dobře soustředěny sítnicí a rohovkou oka, tak vysoká koherence a malý rozptyl laserového paprsku může u některých typů laserů způsobit, že je přijímaný paprsek soustředěn pouze do extrémně malého bodu na sítnici. To vede k bodovému přehřátí sítnice a k trvalému poškození zraku. Lasery jsou rozděleny do bezpečnostních tříd:

- třída I: možný trvalý pohled do svazku laserových paprsků
- třída II: kontinuální a viditelné záření, přímý pohled do zdroje možný, oko ochrání mrkací reflex (Obr. 10)
- třída III:
 - a) totéž jako třída II, ale oko již může být poškozeno za pohledu do zdroje pomocí optické soustavy (např. dalekohled)
 - b) nebezpečí poškození oka, nutno používat ochranné pomůcky (i při pozorování odrazu), max. emise 0,5 W
- třída IV: totéž jako třída III b), emise překračuje výkon 0,5 W

Běžně dostupné lasery bývají maximálně ve třídě III (optické soustavy cd přehrávačů). Výkonné lasery (třídy IV) jsou schopné způsobit popáleniny, řezné nebo tržné rány; případně způsobit požár. Řada laserů je buzena nebezpečnými látkami nebo vysokým napětím v řádu desítek kilovoltů.[3]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 PSP ENGINEERING



Obr. 11. PSP Engineering a.s. Přerov

6.1 Výrobní program

PSP Engineering a.s. Přerov (Obr. 11) je nástupcem Přerovských strojírny, které patřily k nejmodernějším závodům těžkého strojírenství v České republice. Jejich základní výrobní program tvoří strojní zařízení pro průmysl stavebních hmot a keramiky, doplňkový program představovaly spojky a převodovky. Společnost realizuje svou produkci převážně formou dodávek kompletních technologických celků, jako jsou cementárny, vápenky, závody na výrobu žáruvzdorných materiálů a keramické výroby všeho druhu. Této specializaci odpovídá široký rozsah technických služeb: geologický průzkum zásob surovin, instruktážní, inspekční a servisní služby. Vysokou úroveň zajišťují nejen dokonalé strojní vybavení společnosti, ale i hlavně skupiny zkušených odborníků, soustředěné ve vlastním výzkumném ústavu, v projekčních a vývojových pracovištích.

Přerovské strojírny byly vybudovány v padesátých letech na základě velkorysé a uvážené koncepce ve dvou na sebe navazujících etapách. V mnoha směrech představovaly typickou jednotku našeho průmyslu.

Má-li však strojírenství plnit dobře svoji funkci, musí zaměřit pozornost zejména na zvyšování efektivnosti, výkonnosti a kvality práce. Musí držet krok se světovým dynamickým vývojem. Platí to zejména o tempu inovací a zvyšování technické úrovně a konkurence schopnosti výrobků na světových trzích. K tomu bude nutno plně využívat možností, které poskytuje dosažená úroveň materiálně technické základny, využívat všech mobilizovatelných rezerv ve výrobním procesu, v kvalifikaci, schopnostech a iniciativě lidí.

7 MĚŘENÁ SOUČÁST

7.1 Výběr součásti



Obr.12. Konstrukce statoru

Měřená součást „stator“ je kruhovitěho tvaru nadměrné velikosti Obr. 12). Pro přesnější měření nemůže být používáno obyčejných měřidel, jako jsou pásma, metry apod. Proto je používáno dle zákazníka mikrometrického odpichu. Stator se skládá ze čtyř smontovaných dílců, kde jeden dílec tvoří $\frac{1}{4}$ kruhu. Vnitřní měřený obvod je složen ze spodní (BS) a horní (AS) přítlačné desky. Obě desky jsou tvořeny výřezy tzv. palci. Prostor mezi horní a spodní přítlačnou deskou je vyplněn (složen) statorovými plechy, tzv. pakety. Spodní přítlačná deska (BS) je vystředěna a na pevně svařena ke konstrukci dílce statoru. Vnitřní plochy přítlačných desek jsou strojně obrobené z hlediska vodorovnosti montáže paketů. Horní (AS) přítlačná deska je přitažena momentovým klíčem dle výkresové dokumentace (utahovací moment 630 Nm). (viz. příloha průvodka VP 902559 vč. výkresu)

7.2 Materiál výrobků

Měřený dílec je složen z mnoha druhů materiálů. Pro měření vnitřního poloměru D_i nás bude zatím zajímat pouze daný materiál, který se skládá z paketů a konstrukce statoru.

Značení materiálu:

Konstrukce materiálu – M350-65A / výpis z normy ČSN EN 10106 /

Paket – S235JR+N /tj. nelegovaná jakostní konstrukční ocel /

8 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

8.1 Mikrometrický odpich



Obr.13. Mikrometrický odpich[3]



Obr.14. Sada nástavců k mikrometrickému odpichu[3]

Mikrometrický odpich (Obr. 13) slouží pro měření vnitřních rozměrů. Měřicí rozsah lze rozšiřovat kombinací jednotlivých nastavných tyčinek (Obr. 14). Nastavná tyčinka je chráněna trubkou, která se připevňuje k mikrometrické hlavici.

Hlavní části:

- Pevný dotyk
- Upínací prsteneček
- Pouzdro
- Aretační šroubek
- Bubínek
- Nastavitelný dotyk

Nastavení referenčního bodu

Otáčíme bubínkem, až nastavíme o něco kratší rozměr, než je požadovaný rozměr nastavné měřky, pak vložíme mikrometrický odpich mezi doteky nastavné měřky. Mikrometrický odpich držíme lehce v kontaktu s jednou stranou nastavné měřky a otáčíme bubínkem, až se druhý dotek dotkne druhé stěny nastavné měřky. Pokud stupnice vykazuje chybu, použijeme příložený klíč a s jeho pomocí nastavíme požadovanou hodnotu na stupnici.

Postup měření

Před vlastním měřením očistěte měřící doteky mikrometrického odpichu a nastavte mikrometrický odpich na menší rozměr než je předpokládaný měřený rozměr. Přiložte pevný dotyk k hraně měřeného povrchu a otáčejte bubínkem do té chvíle, než se nastavitelný dotyk lehce dotkne druhé strany měřeného povrchu. Pro jistotu vykonajte ještě několik dalších měření v několika bodech.

Všeobecné zásady měření mikrometrickým odpichem

Pro dodržení správnosti měření se řídíme těmito pravidly:

- Odpovídající přesnost měřidla k předepsané toleranci (poměr min. 3:1) je základ pro volbu druhu měřidla (posuvka, mikrometr apod.)
- Ověření (kontrola) kalibrace zvoleného měřidla
- Před měřením musí být součást řádně očištěna
- Zajistit, aby měřený dílec a měřidla měly vyrovnané teploty (\pm °C)
- U rozměrů nad 500 mm ověřit dotykovým teploměrem skutečnou teplotu dílce (měřidla) a naměřené hodnoty korigovat výpočtem zohledňujícím tepelnou roztažnost.
- K minimalizaci chyby měření se doporučuje měření opakovat min. 3x a naměřené hodnoty uvádět jako průměr ze 3 měření
- V případě záznamu o měření rozměrů nad 500 mm v situacích, kdy odchylka teploty dílce je větší než \pm 2°C zapsat výsledek výpočtu korekce na tepelnou roztažnost do protokolu o měření.

Výpočet korekce na tepelnou roztažnost

Teplem se tělesa roztahují: Délka L se ohřátím o 1 °C zvětší na délku L₁

$$L_1 = L + L \times t \times a$$

$$L = \frac{L_1}{1 + t \times a}$$

L - délka při 20 °C

L₁ - zvětšený rozměr vlivem teploty

t - počet °C nad 20 °C

a - součinitel tepelné roztažnosti (Tab. 1)

SOUČINITEL TEPelnÉ ROZTAŽNOSTI	
materiál	a
ocel	0,000011
litina	0,00001
hliník	0,000024
bronz	0,000018
mosaz	0,000019
měď	0,000016
chrom	0,000008
cín	0,000025

Tab.1 Součinitele tepelné roztažnosti

8.2 Lasertracker API



Obr.15. Hlavice Lasertrakeru

API je zakladatel oboru a přední světový výrobce precizních přenosných laserových přístrojů pro velkoobjemovou metrologii, pro které se vžil název Lasertracker. Tato unikátní technologie byla v API vyvinuta v roce 1997 a byla poprvé využita pro měření velkých dílů dopravních letadel. API je dnes absolutní světovou špičkou v oblasti laser interferometrů a laserových trackerů. API tak nabízí efektivní řešení úloh při měření rozměrových dílů přímo ve výrobním prostředí, které lze jen s obtížemi měřit klasickými dotykovými metodami.

Přesnost i produktivita měření pomocí Lasertrakeru je ohromující, software umožňuje okamžitou analýzu a zpracování výsledků, porovnání s CAD modely, tvorbu protokolů atd. přímo na místě. Lasertrackery API se uplatní v automobilovém a leteckém průmyslu, v energetice a těžkém strojírenství, ve stavebnictví i v průmyslu konstrukcí rozsáhlých celků. Rychlost pořízení dat při měření velkých dílů je klíčová i z důvodu minimalizace chyb způsobených teplotní roztažností materiálu vlivem kolísání teploty během dne i noci.

Kromě měření dílů lze Lasertrackery API využívat i pro měření nástrojů, forem, pojezdů, dopravních a manipulačních systémů a manipulátorů i pro kalibraci 3D měřicích strojů. Lze je použít ke scanování povrchu součástí obecného tvaru i pro reverzní inženýrství, pro měření velkých svařenců, součástí turbín, části letadel, vrtulí pro větrnou energetiku atd.

Lasertracker v sobě sdružuje přesný laserový interferometr IFM založený na dvojité helium neonové trubici, polovodičový laser, úhlový odměřovací a polohovací systém a kompletní laserové optiky v jediném kompaktním celku.

Principem měření je nepřetržité sledování sondy s koutovým odražečem (SMR) laserovým paprskem a odečítání polárních souřadnic (vzdálenost a 2 úhly) sondy na vzdálenost desítek metrů s přesností od 5 μm . Tyto souřadnice jsou přenášeny do počítače, software je vyhodnocuje a vytváří obraz měřené součásti.

Díky unikátní patentované technologii TurboADM (Absolute Distance Measurement) může být laserový paprsek interferometru v průběhu měření přerušen a po navázání paprsku je možno pokračovat v měření bez ztráty přesnosti. K dispozici je několik typů koutových odražečů SMR.

8.2.1 Kompaktní konstrukce

Lasertrackery API jsou dnes jediné naprosto kompaktní přístroje na trhu. Celý optický systém je umístěn v bloku z jediného kusu ze speciální slitiny. Obrobené skříně jsou po obrobení skladovány několik let, aby se před konečnou instalací zbavily veškerého mechanického pnutí. Patentovaný systém SPI neobsahuje žádné zrcadlo ani dodatečnou optiku, která vždy zvyšuje chybu měření.

Díky své unikátní konstrukci a propracovanému systému teplotní stabilizace neobsahují žádné aktivní chladičové systémy, ventilátory ani ventilační otvory, kterými by mohl do systému vniknout prach. Jakýkoli aktivní chladičový systém je vždy zdrojem teplotních chyb a nestability systému. Lasertracker je po několika minutách od zapnutí a jednoduché jednobodové kalibraci připraven k práci, dokonale stabilizován je po cca 20 minutách od zapnutí.

8.2.2 Mobilita

Mobilita je stav, při kterém je subjekt v pohybu a označuje se schopnost pohybu tzv. pohyblivost.

Základním požadavkem na mobilní systémy je nutnost snadné přenosnosti a jednoduché a rychlé instalace v místě měření. Celý systém včetně kontroléru, kompletního příslušenství a kabeláže je umístěn v jediném transportním kufru. Ve druhém kufru je pouze stojan. Lasertracker lze ale provozovat i bez stojanu, lze ho například umístit i na měřeném dílu.

Vzhledem k tomu, že rozměrné objekty je v praxi nutno měřit z několika pohledů, je zpravidla nezbytné v průběhu měření jediné součásti Lasertracker několikrát přemístit. Tím samozřejmě nutně dochází ke kumulaci výsledné chyby měření, kterou je možno jednoduše ověřit opětovným změřením prvního útvaru a porovnáním výsledků. Tento zdánlivě prostý

test doloží, jak propastné jsou rozdíly ve skutečných technických parametrech Lasertrackerů, ať už jsou udávány tabulkové údaje jakékoliv.

8.2.3 Jednoduché použití

Kompletní Lasertracker se skládá ze stojanu, optické hlavice (Obr. 15) a kontroléru, do něj jsou napojena čidla teploty a tlaku vzduchu. Komunikace mezi kontrolérem a optickou hlavicí je digitální, je to jediný speciální kabel s vysokou odolností proti elektrickému rušení. Komunikace mezi kontrolérem a notebookem může být buď síťová TCP/IP nebo bezdrátová. Práce se Lasertrackerem je velice jednoduchá a naprosto intuitivní, může ho bez jakéhokoli problému obsluhovat pouze jediný pracovník. Lasertracker pracuje s laserovým zářením třídy 2, nevyžaduje použití ochranných brýlí.

8.2.4 Pracovní prostředí

System je navržen pro práci v těžkém, průmyslovém i venkovním prostředí, pracuje s plnou přesností v rozsahu teplot od 10°C do +40°C. Díky své absolutně kompaktní konstrukci může bez problému trvale pracovat i ve vysoce prašném prostředí, které se vyskytuje ve slévárnách, svařovnách a zejména v průmyslu kompozitních materiálů s velmi jemným prachem. Lze jej provozovat v prostředí s olejovou mlhou i ve výrobních podmínkách s vysokým stupněm elektromagnetického rušení, jako jsou svařovny, provozování erozivního obrábění atd.

8.2.5 Software

Software je v informatice sada všech počítačových programů používaných v počítači, které provádějí nějakou činnost. Software lze rozdělit na systémový software, který zajišťuje chod samotného počítače a jeho styk s okolím a aplikační software, se kterým buď pracuje uživatel nebo zajišťuje řízení nějakého stroje.

Se systémem Lasertracker je standardně dodáván software Spatial Analyzer (SA) od americké firmy New River Kinematics. Tento grafický software pro obecnou 3D geometrii orientovaný pro práci s body je prakticky světovým standardem pro Lasertrackery. Podporuje práci s CAD daty. Je jediným softwarem tohoto typu, který podporuje souběžnou práci několika měřících zařízení najednou v jediné aplikaci (například Lasertracker a měřící rameno). Unikátní matematická metoda váženého Best Fitu software SA se významně podílí na výsledné přesnosti měření při přesouvání Lasertrackeru v průběhu měření jedné součásti.

Software pracuje na běžném notebooku a je samozřejmě plně lokalizován do češtiny. Lasertracker je možno provozovat i se software Topmes Tango3D.

8.2.6 Technické parametry Lasertrackeru

- 3 modely dle rozsahu měření, standardně 2x40m, max. 120m
- 2 odměřovací systémy v jediné kompaktní optické hlavici
- ADM systém odměřování (Absolute Distance Measurement)
- Laser interferometr IFM doživotní záruka na plynovou trubici
- Kompaktní konstrukce z monobloku, vynikající teplotní stabilita
- Přesnost statická $\pm 5 \mu\text{m}$, dynamic. $\pm 10 \mu\text{m}$, $R = 2,5 \text{ ppm}$
- Horizontální rozsah 640° , vertikální rozsah od 60° do $+60^\circ$
- Neobsahuje zrcadla, pohyblivé díly, ventilátory ani otvory
- Hmotnost hlavice 8,5 kg, výška 36 cm, kompaktní kontrolér 3 kg
- Vnitřní i vnější použití, automatická kompenzace teploty a tlaku
- Snadné ovládání, jednoduchá obsluha, rychlá jednobodová kalibrace přední i zadní polohy optické hlavice
- Jednoduchá instalace (pouhé 2 kabely) + TCP/IP do PC
- Digitální kabel – vysoká odolnost proti průmyslovému rušení
- 3 typy odolných kulových SMR senzorů
- Stabilní precizní stojan API, 3 bodová podložka, příslušenství
- Notebook s měřícím software Spatial Analyzer CZ nebo Topmes Tango 3D Easy CAD

9 MĚŘENÍ

9.1 Postup měření

Všechny údaje vztahující se k rozměrům a materiálu jsou zadány na výkresech popř. ve zvláštních rozpiskách. Je třeba zohlednit výrobně technickou dokumentaci a poznámky uvedené na výkresech. Veškeré odchylky od údajů na výkresech popř. od dodavatelského předpisu musí být schváleny a jsou přípustné teprve po písemném souhlasu objednavatele.

Pokyny k zajišťování a řízení kvality pro rozměrovou a vizuální kontrolu zhotovených statorů přikládám v příloze.

Před měřením vnitřního průměru D_i na statoru se provádí mnoho kontrolních činností dle dodavatelského předpisu (viz. příloha), aby se zabránilo co nejvíce pohybu a deformací statorových plechů a měření vnitřního průměru bylo co nejpřesnější. Před montáží dílců statoru je do středu umístěn tzv. středový sloup, který je nivelizačním přístrojem zaměřen. Od tohoto středového sloupu se odvíjí celá montáž a měření konstrukce dílců statoru.

9.1.1 Kontrolní operace před měřením vnitřního průměru D_i

- Kontrola správnosti navaření palců

Provést kontrolu navařených palců a vyrovnání segmentů volného přitlačného kruhu.

Měřidlo: ocelové pravítko

- Kontrola vyrovnání palců na AS a BS

Kontrola roviny palců, sousední palce vyrovnány do cca 0,2 mm.

Kontrola podehnutí palců 1,5 mm.

Měřidlo: nožové pravítko, spárové měrky

- Kontrola paketování

Při zakládání paketu zkontrolovat rozdíly mezi boky palců a boky plechů – nesmí být menší jak 3 mm.

Měřidlo: sada plechů tl. 1 mm

➤ Kontrola utažení paketu

Po navrstvení plechů a po konečném utažení provést kontrolu utahovacího momentu $M = 630 \text{ Nm}$.

Měřidlo: momentový klíč

➤ Měření výšky paketu „P“

Kontrolovat výšku paketu a šířku drážky dle výkresu.

Měřidlo na drážku musí projít všemi drážkami po celé jejich délce.

Zjištěné hodnoty zapsat do protokolu QPA 061.7210.

Měřidlo: svinovací metr, posuvné měřítko, speciální měřidlo na šířku drážky

➤ Měření poloměru D_i svazku plechů před svaření „P“

Po posledním dotažení hotového paketu provést měření $\varnothing D_i$.

Měřit rozměry od středového sloupu k paketu (60 bodů po obvodu v5-ti kružnicích (úrovních) nad sebou vzdálených od sebe max. 300 mm). Maximální povolená odchylka nekruhovitosti je 0,3 mm. Naměřené hodnoty zapsat do tabulky protokolu QPA 061.7210. Změřit spáry na paketu v dělicích rovinách, naměřené hodnoty zapsat do protokolu QPA 068.2020. Oba protokoly odeslat na schválení do firmy objednavatele. (viz. příloha rozměrová a vizuální kontrola zhotovených statorů)

Měřidlo: mikrometrický odpich, spárové měrky

9.1.2 Měření vnitřního poloměru D_i mikrometrickým odpichem

Před samotným měřením mezi horní AS a dolní BS přítlačnou deskou si na statorových plechách po celém obvodu zvolíme body (nejméně každých 1 500 mm) v pěti výškových úrovních (AS, a, b, c, BS). Mikrometrický odpich (s platnou kalibrační značkou a protokolem) zavěsíme na pohyblivý přípravek, tak aby byl co nejmenší průhyb (viz. Besselové body). Měření provádějí 3 pracovníci, z toho 2 mají uchopen mikrometrický odpich a třetí zapisuje naměřené hodnoty (Obr. 16). Během měření se provádí i snímání teploty statorových plechů (Obr.17) a okolní teploty na pracovišti, od které se potom přepočítá tepelná roztažnost materiálu a měřidla. Tyto naměřené hodnoty se zapisují do protokolu (viz. příloha Maß-und Formprüfung), který se posílá elektronickou poštou k objednavateli ke schválení dalšího montážního postupu statoru.



Obr.16. Měření mikrometrickým odpichem



Obr.17. Měření teploty paketů ve výškových úrovních

9.1.3 Měření vnitřního poloměru D_i Lasertrackerem

Před spuštěním Lasertrackeru, který je také opatřen kalibrační známkou a protokolem je hlavice na stojanu vyvážená do vodorovné polohy pomocí stavitelných podpěr. Po zapnutí měřicího přístroje se provádí vlastní kalibrace prostoru měřidla. Vlastní měření Lasertrackeru probíhá po navázání laserového paprsku s odražečem (senzorem). Senzorem se dotykem (jako u mikrometrického odpichu) snímají předem označené body, které jsou za pomoci konstrukčního programu Spatial Analyzer sestrojeny do obrazu 3D (Obr. 20) a následně výsledky naměřených hodnot převedeny do programu Excel (viz. příloha protokol Lasertracker). Měření teplot materiálu a pracoviště jsou už automaticky přepočítány na nastá-

venou teplotu 20 °C pomocí teplotních a tlakových čidel. Tohle měření dílce statoru Lasertrackerem provádějí 2 pracovníci. Jeden snímá označené body odrážěčem a druhý kontroluje správný zápis do programu SA Spatial Analyzer (Obr. 18).



Obr.18. Snímání bodů Lasertrackerem

9.2 Vyhodnocení měření (hodnot) mikrometrickým odpichem

Naměřené hodnoty

Points	Level BS	Level c	Level b	Level a	Level AS
1	7300,68	7300,55	7300,49	7300,38	7300,37
2	7300,7	7300,58	7300,6	7300,46	7300,49
3	7301,09	7301,08	7300,7	7300,49	7300,57
4	7301,15	7301,06	7300,84	7300,71	7300,67
5	7301,09	7300,98	7300,81	7300,69	7300,77
6	7301,05	7301,08	7300,92	7300,8	7300,89
7	7301,09	7301,06	7300,99	7300,81	7300,93
8	7301,17	7301,14	7301,06	7300,93	7300,96
9	7301,08	7301,09	7300,93	7300,85	7300,78
10	7301,1	7301,05	7300,88	7300,84	7300,75
11	7301,06	7300,94	7300,87	7300,74	7300,65
12	7300,92	7300,9	7300,59	7300,54	7300,53
13	7300,98	7300,95	7300,75	7300,68	7300,49
14	7300,72	7300,75	7300,6	7300,58	7300,35
15	7300,75	7300,63	7300,49	7300,42	7300,36

16	7300,69	7300,66	7300,59	7300,49	7300,37
17	7300,85	7300,72	7300,56	7300,54	7300,43
18	7300,93	7300,86	7300,75	7300,65	7300,52
19	7301,01	7300,83	7300,9	7300,7	7300,65
20	7301,02	7300,97	7300,94	7300,72	7300,61
21	7300,95	7300,92	7300,81	7300,75	7300,62
22	7301,02	7301,03	7301,05	7300,88	7300,75
23	7301,09	7300,95	7301,01	7300,94	7300,65
24	7301,02	7300,92	7300,91	7300,72	7300,76
25	7301,05	7300,99	7300,85	7300,74	7300,76
26	7300,92	7300,86	7300,75	7300,62	7300,6
27	7300,9	7300,82	7300,62	7300,62	7300,54
28	7300,72	7300,74	7300,63	7300,6	7300,54
29	7300,72	7300,65	7300,62	7300,58	7300,42
30	7300,73	7300,68	7300,51	7300,41	7300,33
31	7300,85	7300,62	7300,5	7300,42	7300,33
32	7300,72	7300,7	7300,7	7300,52	7300,41
33	7300,9	7300,72	7300,62	7300,72	7300,5
34	7300,93	7300,78	7300,74	7300,63	7300,61
35	7300,91	7300,84	7300,72	7300,67	7300,57
36	7300,95	7300,84	7300,82	7300,77	7300,52
37	7301,05	7300,94	7300,9	7300,77	7300,63
38	7301,12	7301,07	7300,82	7300,78	7300,52
39	7301,05	7300,88	7300,9	7300,78	7300,56
40	7300,88	7300,82	7300,7	7300,65	7300,49
41	7300,9	7300,85	7300,68	7300,62	7300,48
42	7300,82	7300,72	7300,75	7300,6	7300,48
43	7300,81	7300,72	7300,63	7300,65	7300,33
44	7300,76	7300,73	7300,62	7300,43	7300,48
45	7300,72	7300,62	7300,67	7300,43	7300,37
46	7300,72	7300,53	7300,51	7300,48	7300,32
47	7300,88	7300,65	7300,62	7300,53	7300,41
48	7300,76	7300,8	7300,62	7300,58	7300,52
49	7300,87	7300,72	7300,51	7300,64	7300,52
50	7300,93	7300,82	7300,78	7300,53	7300,52
51	7301,02	7300,82	7300,8	7300,62	7300,87
52	7301,06	7300,98	7300,89	7300,86	7300,6
53	7301,02	7300,97	7300,91	7300,75	7300,67
54	7301,05	7300,81	7300,82	7300,77	7300,63
55	7301,18	7300,83	7300,71	7300,7	7300,52
56	7300,92	7300,62	7300,73	7300,68	7300,51
57	7300,87	7300,61	7300,52	7300,6	7300,58
58	7300,78	7300,66	7300,54	7300,43	7300,48
59	7300,62	7300,51	7300,57	7300,46	7300,5
60	7300,65	7300,52	7300,5	7300,48	7300,36

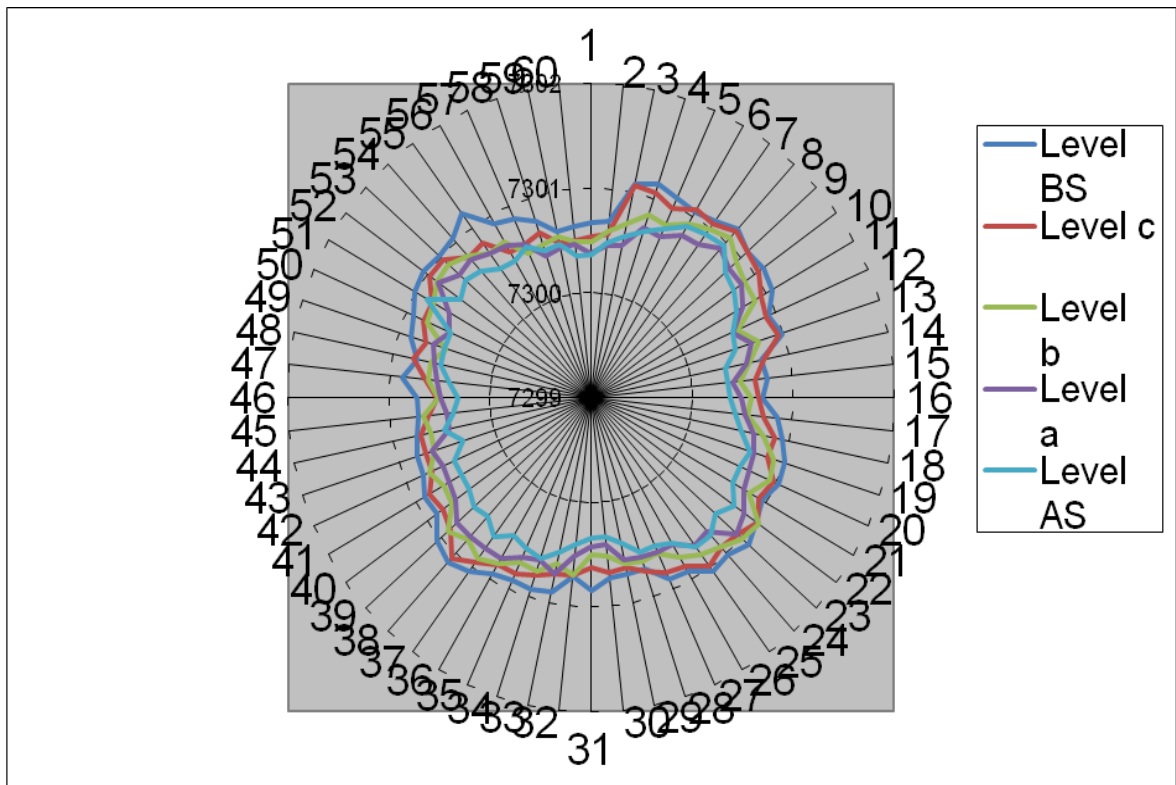
Tab.2. Naměřené hodnoty po úrovních BS→AS mikrometrickým odpichem

Odchytky od předepsaného rozměru

Points	Level BS	Level c	Level b	Level a	Level AS
1	0,68	0,55	0,49	0,38	0,37
2	0,70	0,58	0,60	0,46	0,49
3	1,09	1,08	0,70	0,49	0,57
4	1,15	1,06	0,84	0,71	0,67
5	1,09	0,98	0,81	0,69	0,77
6	1,05	1,08	0,92	0,80	0,89
7	1,09	1,06	0,99	0,81	0,93
8	1,17	1,14	1,06	0,93	0,96
9	1,08	1,09	0,93	0,85	0,78
10	1,10	1,05	0,88	0,84	0,75
11	1,06	0,94	0,87	0,74	0,65
12	0,92	0,90	0,59	0,54	0,53
13	0,98	0,95	0,75	0,68	0,49
14	0,72	0,75	0,60	0,58	0,35
15	0,75	0,63	0,49	0,42	0,36
16	0,69	0,66	0,59	0,49	0,37
17	0,85	0,72	0,56	0,54	0,43
18	0,93	0,86	0,75	0,65	0,52
19	1,01	0,83	0,90	0,70	0,65
20	1,02	0,97	0,94	0,72	0,61
21	0,95	0,92	0,81	0,75	0,62
22	1,02	1,03	1,05	0,88	0,75
23	1,09	0,95	1,01	0,94	0,65
24	1,02	0,92	0,91	0,72	0,76
25	1,05	0,99	0,85	0,74	0,76
26	0,92	0,86	0,75	0,62	0,60
27	0,90	0,82	0,62	0,62	0,54
28	0,72	0,74	0,63	0,60	0,54
29	0,72	0,65	0,62	0,58	0,42
30	0,73	0,68	0,51	0,41	0,33
31	0,85	0,62	0,50	0,42	0,33
32	0,72	0,70	0,70	0,52	0,41
33	0,90	0,72	0,62	0,72	0,50
34	0,93	0,78	0,74	0,63	0,61
35	0,91	0,84	0,72	0,67	0,57
36	0,95	0,84	0,82	0,77	0,52
37	1,05	0,94	0,90	0,77	0,63
38	1,12	1,07	0,82	0,78	0,52
39	1,05	0,88	0,90	0,78	0,56
40	0,88	0,82	0,70	0,65	0,49
41	0,90	0,85	0,68	0,62	0,48
42	0,82	0,72	0,75	0,60	0,48
43	0,81	0,72	0,63	0,65	0,33
44	0,76	0,73	0,62	0,43	0,48
45	0,72	0,62	0,67	0,43	0,37
46	0,72	0,53	0,51	0,48	0,32
47	0,88	0,65	0,62	0,53	0,41

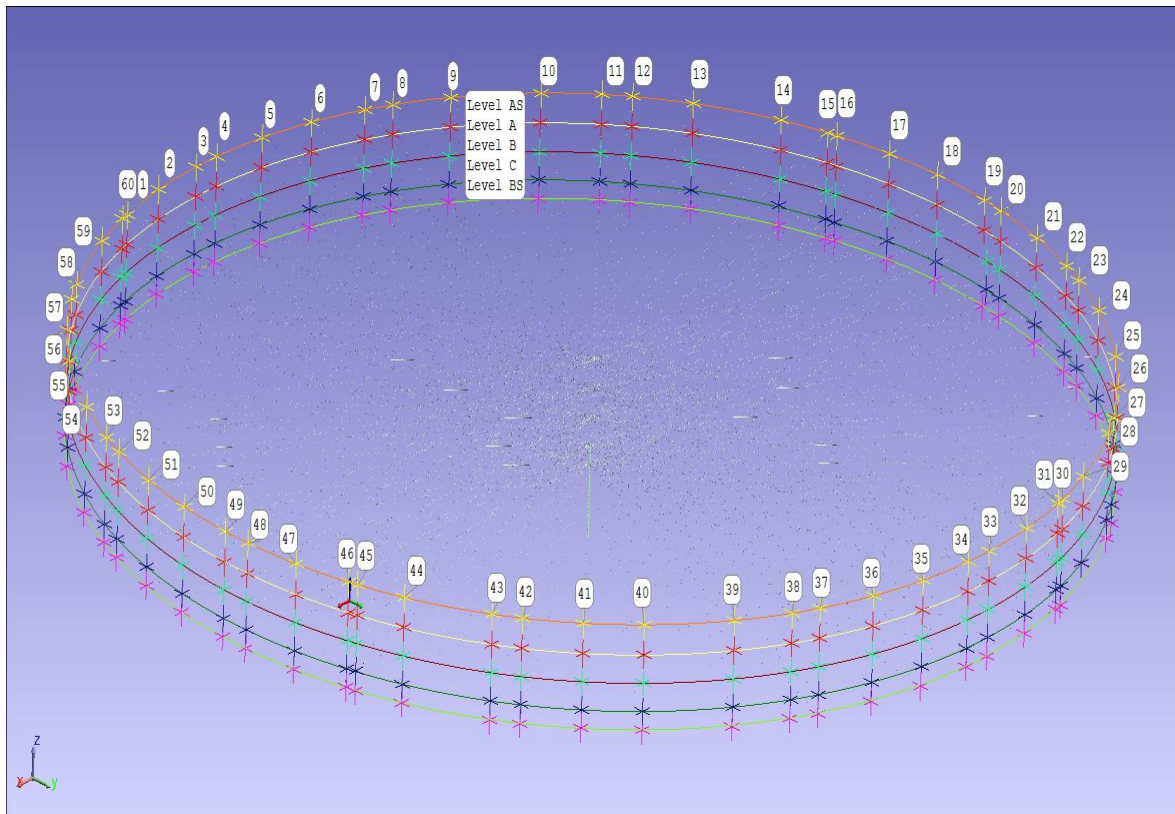
48	0,76	0,80	0,62	0,58	0,52
49	0,87	0,72	0,51	0,64	0,52
50	0,93	0,82	0,78	0,53	0,52
51	1,02	0,82	0,80	0,62	0,87
52	1,06	0,98	0,89	0,86	0,60
53	1,02	0,97	0,91	0,75	0,67
54	1,05	0,81	0,82	0,77	0,63
55	1,18	0,83	0,71	0,70	0,52
56	0,92	0,62	0,73	0,68	0,51
57	0,87	0,61	0,52	0,60	0,58
58	0,78	0,66	0,54	0,43	0,48
59	0,62	0,51	0,57	0,46	0,50
60	0,65	0,52	0,50	0,48	0,36

Tab.3. Odchyly od předepsaného rozměru 7300 mm



Obr.19. Graf odchylek mikrometrickým odpichem

9.3 Vyhodnocení měření (hodnot) Lasertrackerem



Obr.20. Model konstrukce snímaných bodů

Gehäuse SZ/FZ - Antamina S

Bestellung Nr.: 2451671253/215 Projekt Nr.: 1501042

Final result of stator inside plates radius

LEVEL 1 - 5

Level AS Result	
Statistic	Radius
Min:	7300,3
Max:	7300,7
StdDev	0,135
Total points:	60
Level A Result	
Statistic	Radius
Min:	7300,3
Max:	7300,6
StdDev	0,127
Total points:	60
Level B Result	
Statistic	Radius
Min:	7300,4
Max:	7300,7
StdDev	0,156
Total points:	60

Level C Result	
Statistic	Radius
Min:	7300,5
Max:	7300,8
StdDev	0,157
Total points:	60
Level BS Result	
Statistic	Radius
Min:	7300,6
Max:	7300,9
StdDev	0,148

Tab. 4. Výsledky výrobní zakázky statoru uvnitř packetů Lasertrackeru

Naměřené hodnoty

Points	Level BS	Level c	Level b	Level a	Level AS
1	7300,357	7300,281	7300,181	7300,075	7300,047
2	7300,399	7300,352	7300,303	7300,147	7300,145
3	7300,783	7300,777	7300,499	7300,176	7300,278
4	7300,834	7300,761	7300,519	7300,433	7300,373
5	7300,789	7300,647	7300,531	7300,465	7300,452
6	7300,791	7300,764	7300,615	7300,508	7300,556
7	7300,765	7300,72	7300,675	7300,525	7300,518
8	7300,893	7300,828	7300,747	7300,61	7300,655
9	7300,753	7300,772	7300,612	7300,52	7300,459
10	7300,795	7300,727	7300,555	7300,417	7300,405
11	7300,739	7300,61	7300,586	7300,409	7300,312
12	7300,611	7300,595	7300,381	7300,218	7300,201
13	7300,661	7300,63	7300,453	7300,325	7300,179
14	7300,444	7300,336	7300,299	7300,248	7300,089
15	7300,419	7300,352	7300,173	7300,147	7300,069
16	7300,39	7300,317	7300,29	7300,188	7300,079
17	7300,421	7300,407	7300,265	7300,221	7300,173
18	7300,61	7300,579	7300,49	7300,379	7300,259
19	7300,744	7300,668	7300,599	7300,395	7300,317
20	7300,78	7300,693	7300,69	7300,423	7300,364
21	7300,688	7300,66	7300,618	7300,447	7300,356
22	7300,777	7300,725	7300,719	7300,522	7300,418
23	7300,772	7300,622	7300,737	7300,512	7300,378
24	7300,736	7300,648	7300,655	7300,477	7300,418
25	7300,723	7300,689	7300,514	7300,468	7300,348
26	7300,673	7300,578	7300,457	7300,356	7300,301
27	7300,596	7300,517	7300,434	7300,391	7300,239
28	7300,536	7300,428	7300,322	7300,299	7300,294
29	7300,488	7300,389	7300,36	7300,257	7300,179
30	7300,474	7300,325	7300,24	7300,109	7300,052
31	7300,482	7300,387	7300,197	7300,144	7300,062
32	7300,491	7300,402	7300,295	7300,282	7300,142
33	7300,598	7300,456	7300,391	7300,351	7300,196
34	7300,657	7300,453	7300,415	7300,378	7300,271
35	7300,613	7300,527	7300,448	7300,341	7300,231
36	7300,689	7300,586	7300,513	7300,358	7300,251

37	7300,716	7300,632	7300,596	7300,434	7300,385
38	7300,88	7300,728	7300,694	7300,481	7300,282
39	7300,725	7300,636	7300,596	7300,449	7300,239
40	7300,643	7300,523	7300,402	7300,327	7300,175
41	7300,597	7300,412	7300,359	7300,312	7300,153
42	7300,591	7300,469	7300,328	7300,297	7300,139
43	7300,544	7300,428	7300,317	7300,293	7300,117
44	7300,493	7300,413	7300,343	7300,222	7300,114
45	7300,438	7300,315	7300,225	7300,141	7300,071
46	7300,434	7300,362	7300,272	7300,134	7300,082
47	7300,447	7300,368	7300,307	7300,294	7300,184
48	7300,491	7300,404	7300,374	7300,261	7300,216
49	7300,517	7300,439	7300,357	7300,374	7300,281
50	7300,611	7300,552	7300,458	7300,335	7300,294
51	7300,729	7300,515	7300,496	7300,393	7300,366
52	7300,772	7300,644	7300,576	7300,441	7300,297
53	7300,754	7300,671	7300,564	7300,42	7300,315
54	7300,775	7300,647	7300,528	7300,461	7300,308
55	7300,709	7300,523	7300,436	7300,396	7300,272
56	7300,647	7300,483	7300,409	7300,351	7300,222
57	7300,525	7300,353	7300,348	7300,296	7300,218
58	7300,435	7300,315	7300,282	7300,253	7300,127
59	7300,377	7300,243	7300,221	7300,149	7300,102
60	7300,313	7300,231	7300,201	7300,123	7300,071

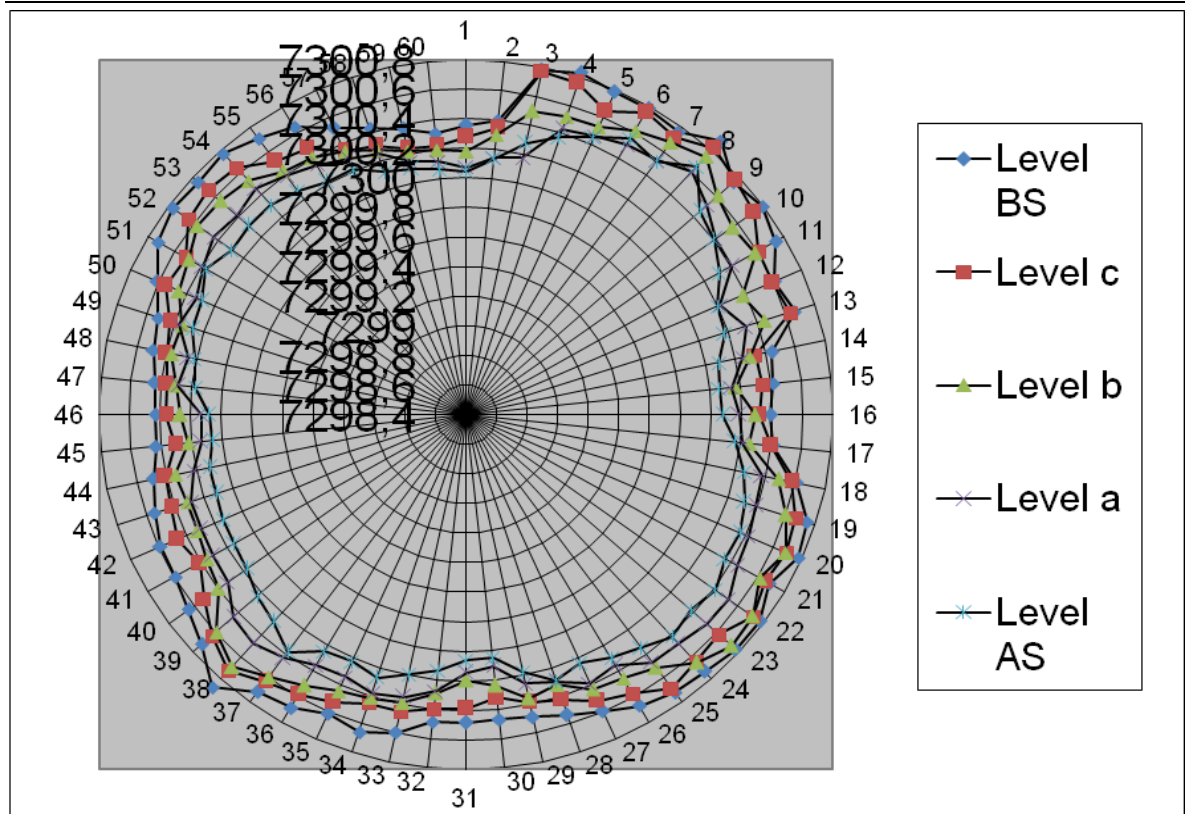
Tab. 5. Naměřené hodnoty po úrovních BS→AS Lasertrackerem

Odchytky od předepsaného rozměru

Points	Level BS	Level c	Level b	Level a	Level AS
1	0,36	0,28	0,18	0,07	0,05
2	0,40	0,35	0,30	0,15	0,15
3	0,78	0,78	0,50	0,18	0,28
4	0,83	0,76	0,52	0,43	0,37
5	0,79	0,65	0,53	0,47	0,45
6	0,79	0,76	0,61	0,51	0,56
7	0,77	0,72	0,68	0,52	0,52
8	0,89	0,83	0,75	0,61	0,65
9	0,75	0,77	0,61	0,52	0,46
10	0,80	0,73	0,56	0,42	0,40
11	0,74	0,61	0,59	0,41	0,31
12	0,61	0,60	0,38	0,22	0,20
13	0,66	0,63	0,45	0,32	0,18
14	0,44	0,34	0,30	0,25	0,09
15	0,42	0,35	0,17	0,15	0,07
16	0,39	0,32	0,29	0,19	0,08
17	0,42	0,41	0,27	0,22	0,17
18	0,61	0,58	0,49	0,38	0,26
19	0,74	0,67	0,60	0,40	0,32
20	0,78	0,69	0,69	0,42	0,36
21	0,69	0,66	0,62	0,45	0,36
22	0,78	0,73	0,72	0,52	0,42

23	0,77	0,62	0,74	0,51	0,38
24	0,74	0,65	0,65	0,48	0,42
25	0,72	0,69	0,51	0,47	0,35
26	0,67	0,58	0,46	0,36	0,30
27	0,60	0,52	0,43	0,39	0,24
28	0,54	0,43	0,32	0,30	0,29
29	0,49	0,39	0,36	0,26	0,18
30	0,47	0,32	0,24	0,11	0,05
31	0,48	0,39	0,20	0,14	0,06
32	0,49	0,40	0,30	0,28	0,14
33	0,60	0,46	0,39	0,35	0,20
34	0,66	0,45	0,41	0,38	0,27
35	0,61	0,53	0,45	0,34	0,23
36	0,69	0,59	0,51	0,36	0,25
37	0,72	0,63	0,60	0,43	0,39
38	0,88	0,73	0,69	0,48	0,28
39	0,73	0,64	0,60	0,45	0,24
40	0,64	0,52	0,40	0,33	0,18
41	0,60	0,41	0,36	0,31	0,15
42	0,59	0,47	0,33	0,30	0,14
43	0,54	0,43	0,32	0,29	0,12
44	0,49	0,41	0,34	0,22	0,11
45	0,44	0,31	0,23	0,14	0,07
46	0,43	0,36	0,27	0,13	0,08
47	0,45	0,37	0,31	0,29	0,18
48	0,49	0,40	0,37	0,26	0,22
49	0,52	0,44	0,36	0,37	0,28
50	0,61	0,55	0,46	0,34	0,29
51	0,73	0,52	0,50	0,39	0,37
52	0,77	0,64	0,58	0,44	0,30
53	0,75	0,67	0,56	0,42	0,31
54	0,77	0,65	0,53	0,46	0,31
55	0,71	0,52	0,44	0,40	0,27
56	0,65	0,48	0,41	0,35	0,22
57	0,52	0,35	0,35	0,30	0,22
58	0,44	0,31	0,28	0,25	0,13
59	0,38	0,24	0,22	0,15	0,10
60	0,31	0,23	0,20	0,12	0,07

Tab. 6. Odchytky od předepsaného rozměru 7300 mm Lasertrackeru

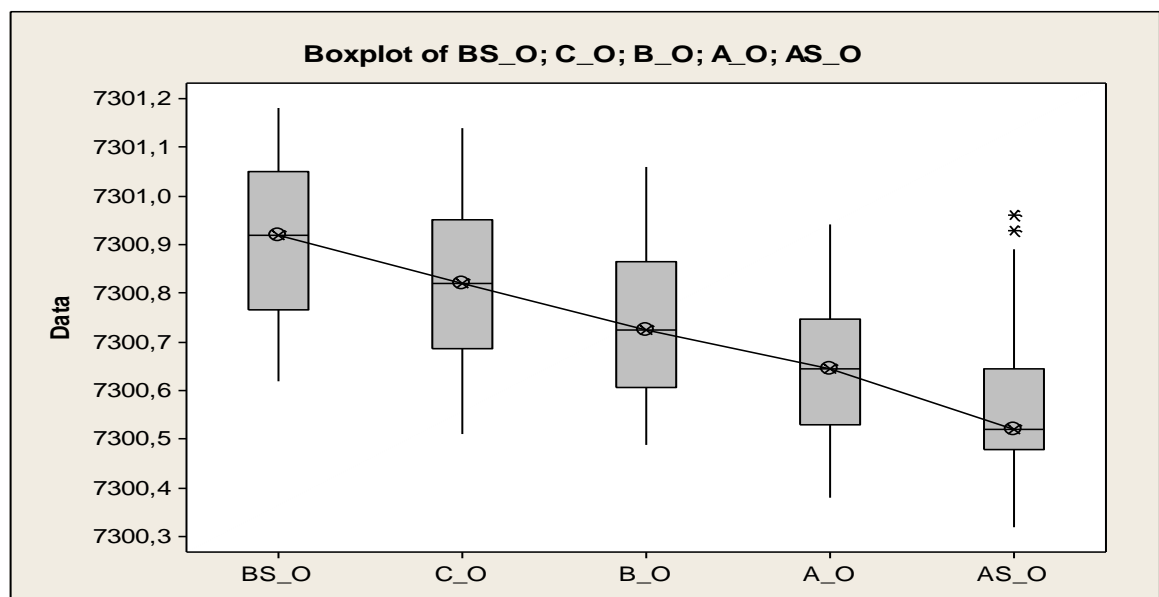


Obr. 21. Graf odchylek Lasertrackeru

9.4 Komparace měřidel

Srovnání naměřených hodnot obou měřidel mikrometrického odpichu a Lasertrackeru bylo vytvořeno v programu Minitab.

9.4.1 Mikrometrický odpich srovnání po úrovních



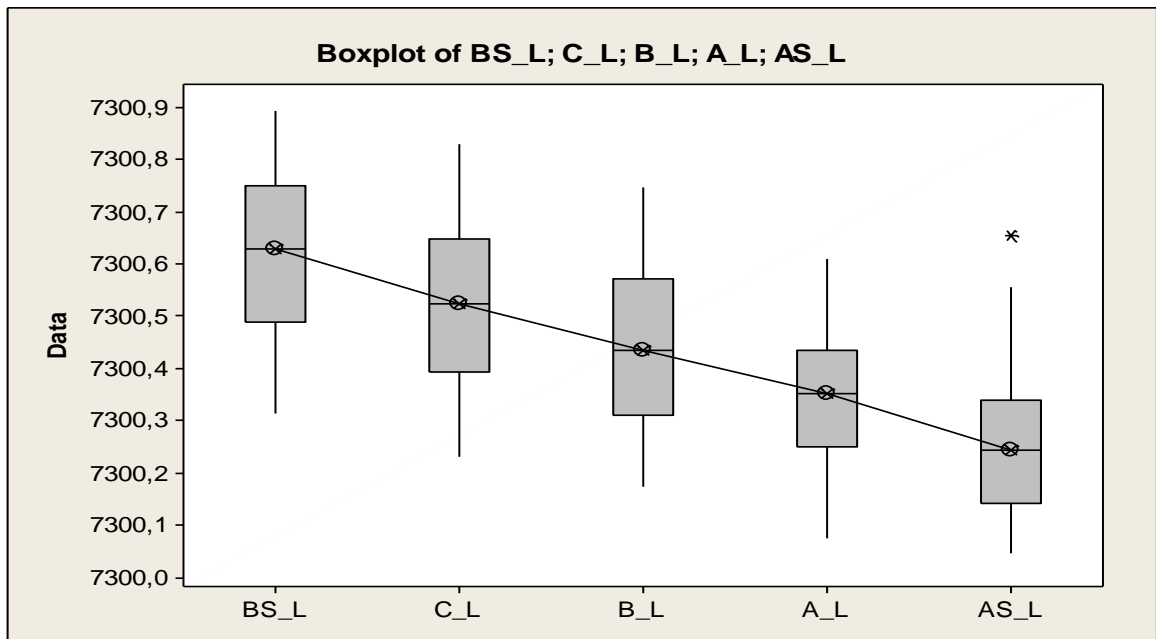
Obr. 22. Srovnání po úrovních mikrometrickým odpichem

Descriptive Statistics: BS_O; C_O; B_O; A_O; AS_O

Variable	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
BS_O	7300,9	0,0193	0,150	7300,6	7300,8	7300,9	7301,1	7301,2
C_O	7300,8	0,0214	0,166	7300,5	7300,7	7300,8	7301,0	7301,1
B_O	7300,7	0,0202	0,157	7300,5	7300,6	7300,7	7300,9	7301,1
A_O	7300,6	0,0182	0,141	7300,4	7300,5	7300,6	7300,7	7300,9
AS_O	7300,6	0,0200	0,155	7300,3	7300,5	7300,5	7300,6	7301,0

Variable	Range	IQR	Skewness	Kurtosis
BS_O	0,560	0,285	-0,19	-1,08
C_O	0,630	0,265	0,01	-0,93
B_O	0,570	0,260	0,21	-0,94
A_O	0,560	0,217	0,04	-0,75
AS_O	0,640	0,165	0,66	0,15

Tab. 7. Popisná statistika mikrometrického odpichu

9.4.2 Lasertracker srovnání po úrovních

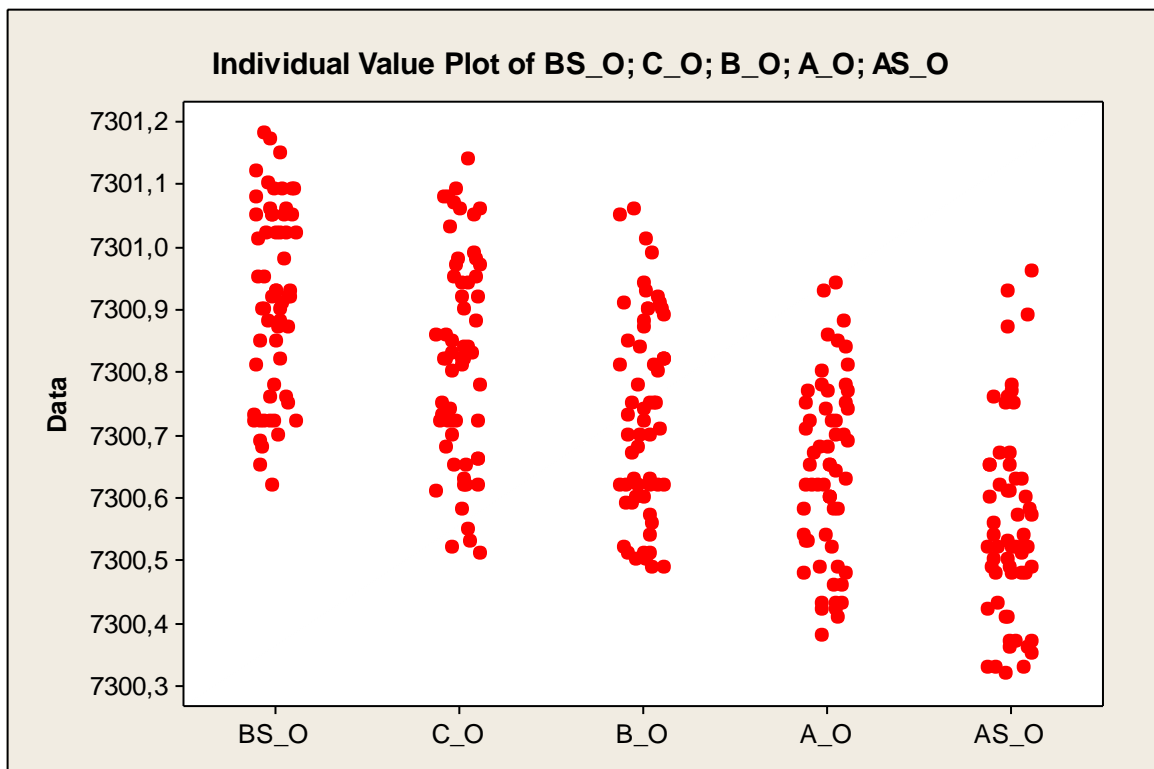
Obr. 23. Srovnání po úrovních Lasertrackerem

Descriptive Statistics: BS_L; C_L; B_L; A_L; AS_L

Variable	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
BS_L	7300,6	0,0192	0,148	7300,3	7300,5	7300,6	7300,8	7300,9
C_L	7300,5	0,0202	0,157	7300,2	7300,4	7300,5	7300,6	7300,8
B_L	7300,4	0,0201	0,156	7300,2	7300,3	7300,4	7300,6	7300,7
A_L	7300,3	0,0163	0,127	7300,1	7300,2	7300,4	7300,4	7300,6
AS_L	7300,3	0,0174	0,135	7300,0	7300,1	7300,2	7300,3	7300,7

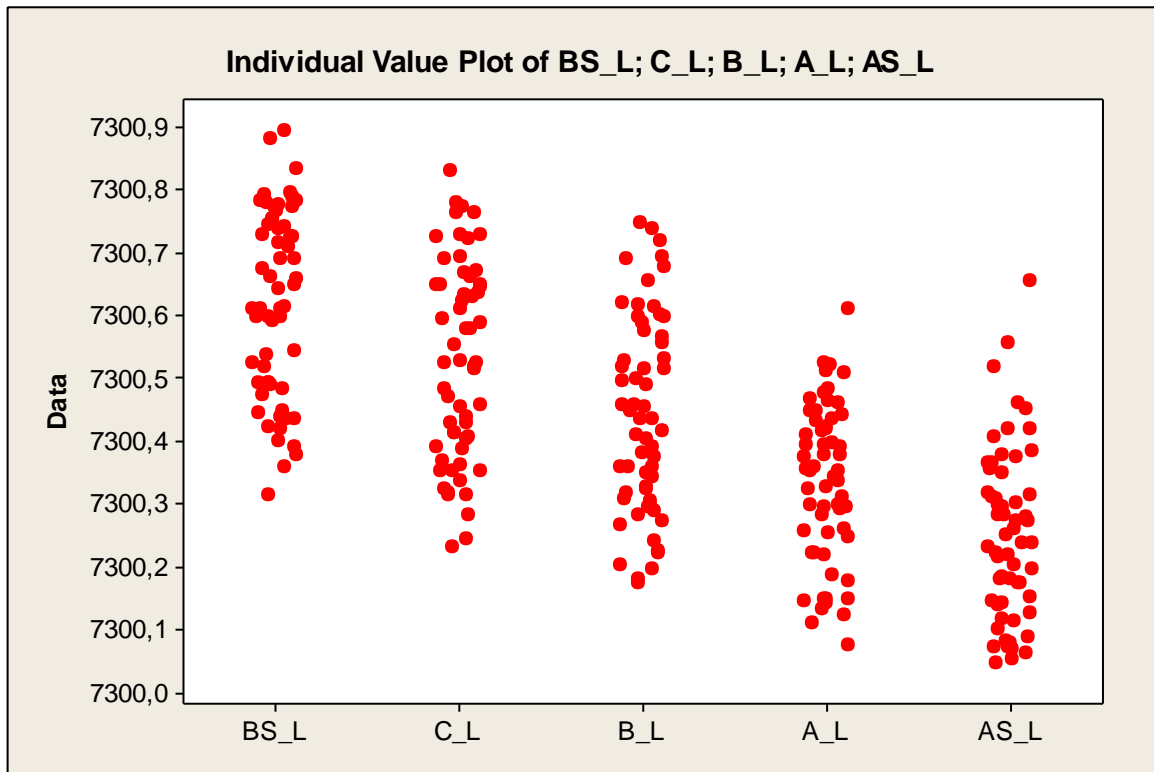
Variable	Range	IQR	Skewness	Kurtosis
BS_L	0,580	0,262	-0,20	-1,09
C_L	0,597	0,255	0,01	-1,14
B_L	0,574	0,264	0,17	-0,94
A_L	0,535	0,185	-0,21	-0,74

Tab. 8. Popisná statistika Lasertrackeru

9.4.3 Graf rozptylů pro mikrometrický odpich

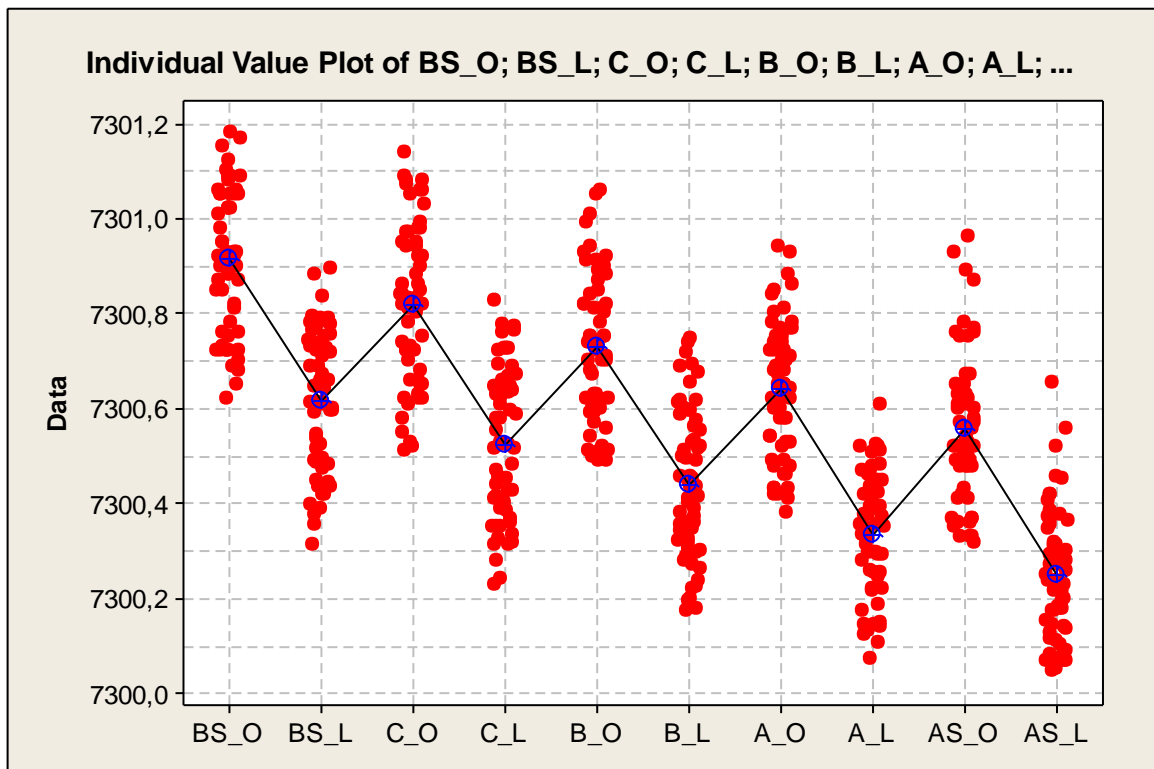
Obr. 24. Graf rozptylů mikrometrickým odpichem

9.4.4 Graf rozptylů pro Lasertracker



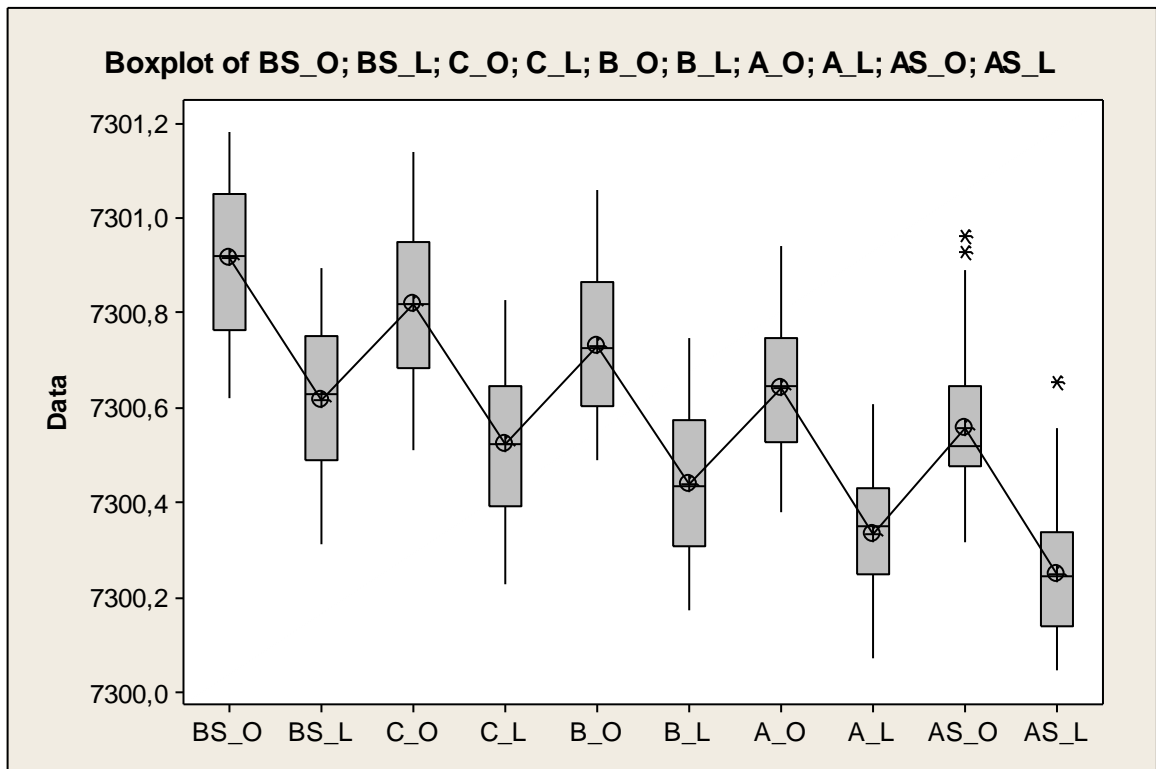
Obr. 25. Graf rozptylů Lasertrackeru

9.4.5 Graf rozptylů pro mikrometrický odpich vers. Lasertracker



Obr. 26. Graf rozptylů mikrometrický odpich vers. Lasertracker

9.4.6 Srovnání po úrovních pro mikrometrický odpich – Lasertracker



Obr. 27. Srovnání po úrovních mikrometrický odpich vers. Lasertracker

Descriptive Statistics: BS_O; BS_L; C_O; C_L; B_O; B_L; A_O; A_L; AS_O; AS_L

Variable	Mean	SE Mean	StDev	Q1	Median	Q3	IQR
BS_O	7300,9	0,0193	0,150	7300,8	7300,9	7301,1	0,285
BS_L	7300,6	0,0192	0,148	7300,5	7300,6	7300,8	0,262
C_O	7300,8	0,0214	0,166	7300,7	7300,8	7301,0	0,265
C_L	7300,5	0,0202	0,157	7300,4	7300,5	7300,6	0,255
B_O	7300,7	0,0202	0,157	7300,6	7300,7	7300,9	0,260
B_L	7300,4	0,0201	0,156	7300,3	7300,4	7300,6	0,264
A_O	7300,6	0,0182	0,141	7300,5	7300,6	7300,7	0,217
A_L	7300,3	0,0163	0,127	7300,2	7300,4	7300,4	0,185
AS_O	7300,6	0,0200	0,155	7300,5	7300,5	7300,6	0,165
AS_L	7300,3	0,0174	0,135	7300,1	7300,2	7300,3	0,198

Tab. 9. Popisná statistika mikrometrického odpichu vers. Lasertrackeru

10 EKONOMICKÝ ROZBOR POUŽITÍ LASERU V PRAXI

Protože činnosti operací kontroly, do které se řadí měření vnitřního poloměru D_i , jsou vedené jako režijní práce, vycházím z hodinové mzdy jednoho pracovníka OTK účtované objednavateli. Cena jedné režijní hodiny OTK je ve společnosti PSP Engeneering účtovaná 584,40 Kč na jednoho pracovníka. Jelikož pro operace kontroly nejsou zvoleny výrobní časy, budu vycházet z průměrné doby měření. Obě varianty měření tj. mikrometrickým odpichem a Lasertrackerem jsou časově skoro shodné. Takže počítám s časem čtyři hodiny včetně vyhodnocení zapsání do protokolu.

10.1 Porovnání variant

1. Varianta – kontrola mikrometrickým odpichem

Obsluha tří pracovníků tj. náklady na jedno měření vnitřního poloměru D_i , 1753,20Kč. Přibližná cena měřidla je 2870 Kč, sada pro měření do 2000 mm (celkem 4 sady tj. 11 480 Kč).

Výhody použití mikrometrického odpichu:

- Levnější pořizovací cena
- Při každém měření je vyvozován stejný tlak pohyblivého doteku

Nevýhody použití mikrometrického odpichu:

- Větší manuální zručnost měření při pevném i pohyblivém doteku
- Pro přesnější hodnoty se musí přepočítávat tepelná roztažnost měřidla
- Obsluha pro měření větších součástí s více pracovníky

2. Varianta – kontrola Lasertrackerem

Obsluhují dva pracovníci kontroly, náklady na jedno měření vnitřního poloměru D_i , 1 168,80 Kč. Náklady zakoupeného měřidla činní zhruba po přepočtu 1 960 900 Kč (77 640 €).

Výhody použití Lasertrackeru:

- Obsluha menšího počtu pracovníků
- Naměřené hodnoty se nemusejí přepočítávat v souladu s tepelnou roztažitelností

- Přesnější měření

Nevýhody použití Lasertrackeru:

- Vysoká pořizovací cena
- Vyšší nároky na zaškolení pracovníků

ZÁVĚR

Posuzování shody a tedy i hodnocení jakosti je v současné době vysoce aktuální. Důležitou součástí této problematiky je vyjádření nepřesnosti měření, resp. nejistot měření. Účelem této diplomové práce bylo hodnotit a navrhnout měřidlo objednavateli společnosti Siemens k přesnějšímu měření vnitřního poloměru D_i , v mém případě v operaci před svařením paketů ke konstrukci statoru.

Při měření obyčejným mikrometrickým odpichem s nastavčovými díly, které objednavateli dostačují k méně přesnému měření, dochází k deformaci (průhybu) měřeného rozměru. Obsluha měřidla musí neustále manuálně kontrolovat rozměry, což je nepraktické a manuálně náročné.

Pro případy potřeby přesnějšího měření, je třeba zvolit metodu měření laser interferometrem (Lasertrackeru), které ve srovnání dosahuje řadově vyšší přesnosti s menším počtem obsluhy, přičemž odpadá i měření teploty a následné přepočítání tepelné roztažnosti.

Ve snaze sjednotit požadavky na vyhodnocení výsledků měření jsme museli vždy dojít ke zjednodušení a zlepšení průhlednosti postupu, jímž se měřené hodnoty získaly. Nedostatkem této snahy bylo zřejmě to, že v praxi se snad striktně držíme uvažovaného matematického aparátu, který byl vyvinut pro jiné vztažné podmínky (např. měření kartézských souřadnic). Také zobecněné vyhodnocení je jakýmsi společným mezinárodním jazykem procesů a výsledky měření odkrývají i řadu doposud nevyřešených problémů, které se vyskytují i v teorii měření. Ke komplikaci přispívá bouřlivý vývoj měřících systémů a užití nových fyzikálních principů, dále pak aplikace měřící techniky ve zcela nových oborech lidské činnosti, stejně jako organické začleňování výpočetní techniky do měření.

Diskuse výsledků

Přínosem Lasertrackeru je fakt, že měří s přesností na 5 μm a dají se s ním měřit nerovnoměrné tvary. Avšak s porovnáním mikrometrickým odpichem jsem došel k přibližně stejným hodnotám akorát o 0,3 mm rozdílu, který je způsoben průhybem nastavkových částí mikrometrického odpichu. Tento rozdíl (0,3 mm) průhybu měřidla, jsem prokázal i ve zvlášť měření na lóži hoblovacího stroje.

Názor převládá ten, že zakoupení tohoto měřícího přístroje se s prominutím společnosti PSP Engeneering nevyplatilo, kdyby jeho použití spočívalo pouze pro měření vnitřního poloměru D_i pro (objednavatele) společnosti Siemens.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HRUŠKA, K., BRADÍK, J.: Stanovení nejistot při měření parametrů jakosti, VUT Brno, 2001. ISBN 80-214-1656-1
- [2] DANIA, J., HALAMA, P.: Kurs metrologie, ČSJ Brno, 1992
- [3] http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana
- [4] TICHÁ, Š.: Strojírenská metrologie, VŠB Ostrava, 2004
- [5] BENEŠ, V.: Pravděpodobnost a matematická statistika, ČVUT v Praze, 1995
- [6] SEDLÁČEK, K.: Laser mnoha podobách, Naše Vojsko, Praha 1982
- [7] Guide to the Expression of Uncertain in Measurement. International Organization for Standardization. Switzerland, 1993
- [8] <http://www.isstechn.cz/objekty/zakladni-pojmy>.
- [9] www.spskladno.cz/vyuka/elm/zakladni.doc
- [10] [www.unmz.cz/sborniky_th/sb2009/MvK_7_vidit_hypervazby_small.pdf]
- [11] ČECH, J., PERNIKÁŘ, J., JANÍČEK, L.: Strojírenská metrologie, VUT Brno, 2005
ISBN 80-214-3070-2
- [12] CHUDÝ, V., PALENČAŘ, R.: Meranie technických veličín, Bratislava: Slovenská technická univerzita, 1999
- [13] VDOLEČEK, F.: Technická měření (pro kombinované studium), VUT Brno, 2002
- [14] PREBEN HOWARTH, DFM, LYNGBY.: Metrologie v kostce, Dánsko, Překlad z anglického originálu „Metrology – in short“, ČMI Praha, 2003
- [15] <http://www.cmi.cz/>
- [16] ČECH, J., PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M.: Strojírenská metrologie II., VUT Brno, 2006
ISBN 80-214-3338-8
- [17] <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/k34.htm>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAD	Komputer aided design – počítačem podporované projektování
CGS	Centimetr-gram-sekunda
ČIA	Český institut pro akreditaci
ČMI	Český metrologický institut
ČSN	Česká státní norma
DVD	Digital Versatile Disc- digitální optický datový nosič
ADM	Absolute Distance Measurement
ČSAV	Československá akademie věd
EN	Evropská norma
SI	International System of Units mezinárodně domluvená soustava jednotek
SMS	Souřadnicové měřicí přístroje
SMR	Zrcadlový odražeč (senzor)
SA	Spatial Analyzer – software
Points	Bod
Kč	Korun českých
Minilab	Počítačový program
Level	Úroveň
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví v Praze
QPA	Quality Point Average -řízení kvality
Pond	Starší dánská jednotka
Yard	Původem britská délková jednotka 1 yd = 0,9144 m
$\Delta(x)$	Absolutní hodnota
x_m	Naměřená hodnota
$\delta(x)$	Relativní chyby

\bar{x}	Aritmetický průměr
$s(x)$	Směrodatná odchylka výběrového souboru
$s(\bar{x})$	Odchylka aritmetického průměru
$\Delta(x)$	Výsledná chyby
ε	Absolutní chyba
y	Naměřená hodnota
x	Pravá hodnota
U	Nejistota
h	Výška
v	Vzdálenost
α	Úhel
R	Poloměr
D	Průměr
D_i	Měřený vnitřní poloměr 7300 mm
W	Watt
mm	Milimetr
μm	Mikrometr
m	metr
L(l)	Délka
%	Procenta
s	Sekunda
Nm	Newton x metr
vč.	Včetně
č.v.	Číslo výkresu
°C	Stupeň celsia

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Znázornění anglického, francouzského a vlámského loktu	16
Obr. 2 Budova ministerstva v Praze	18
Obr. 3 Oblastní inspektoráty v ČR	24
Obr. 4 Vztahy v metrologickém systému	24
Obr. 5 Parametry normálního rozdělení	30
Obr. 6 Gaussova distribuční křivka	31
Obr. 7 Mikrometrické analogové měřidlo	37
Obr. 8 Úchylkoměr	43
Obr. 9 Laserová trubice	50
Obr. 10 Bezpečnostní symbol laseru třídy 2 a vyšší	55
Obr. 11 PSP Engineering a.s. Přerov	57
Obr. 12 Konstrukce statoru	58
Obr. 13 Mikrometrický odpich	60
Obr. 14 Sada nadstavců k mikrometrickému odpichu	60
Obr. 15 Hlavice Lasertrackeru	63
Obr. 16 Měření mikrometrickým odpichem	69
Obr. 17 Měření teploty packetů ve výškových úrovních	69
Obr. 18 Snímání bodů Lasertrackerem	70
Obr. 19 Graf odchylek mikrometrickým odpichem	73
Obr. 20 Model konstrukce snímaných bodů	74
Obr. 21 Graf odchylek Lasertrackeru	78
Obr. 22 Srovnání po úrovních mikrometrickým odpichem	78
Obr. 23 Srovnání po úrovních Lasertrackerem	79
Obr. 24 Graf rozptylů mikrometrickým odpichem	80
Obr. 25 Graf rozptylů Lasertrackerem	81

Obr. 26 Graf rozptylů mikrometrickým odpichem vers. Lasertracker	81
Obr. 27 Srovnání po úrovních mikrometrický odpich vers. Lasertracker	82

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Součinitele tepelné roztažnosti	62
Tab. 2 Naměřené hodnoty po úrovních BS→AS mikrometrickým odpichem	70
Tab. 3 Odchytky od předepsaného rozměru 7300 mm měřeno mikrometrickým odpichem	72
Tab. 4 Výsledky výrobní zakázky statoru uvnitř paketů měřeno Lasertrackerem	74
Tab. 5 Naměřené hodnoty po úrovních BS→AS Lasertrackerem	75
Tab. 6 Odchytky od předepsaného rozměru 7300 mm měřeno Lasertrackerem	76
Tab. 7 Popisná statistika mikrometrického odpichu	79
Tab. 8 Popisná statistika Lasertrackeru	80
Tab. 9 Popisná statistika mikrometrického odpichu vers. Lasertrackeru	82

SEZNAM PŘÍLOH

- P I. Průvodka [technologický postup] VP 902 559 vč. výkresu 0D5,2999-584933/P
- P II. Dodavatelský předpis pro stator SZ/FZ
- P III. Rozměrová a vizuální kontrola zhotovených statorů
- P IV. Obecná vizuální kontrola
- P V. Maß-und Formprüfung [protokol o měření mikrometrickým odpichem]
- P VI. Protokol Lasertracker
- P VII. API empowering metrology solution [dodací list-fakturace]
- P VIII. Calibration Certificate [kalibrační certifikát]
- P IX. Pracovní návodka PNA VŘ 55-02

Výkresy:

Gehaeuse SZ/FZ [stator] č.v. 0D5,2999-584933/P

STD. Blech Gestanz [plech paketu] č.v. 1D5,2890-535984B