

TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
STROJNÍCKA FAKULTA

Doc. Ing. Miroslav Dovica, PhD. a kolektív

METROLÓGIA V STROJÁRSTVE

KOŠICE
2006

Monografia nadväzuje na predchádzajúce práce slovenských odborníkov v oblasti merania a meracej techniky v strojárstve a reaguje na nové trendy v rámci štruktúry ISO a EN noriem zaoberajúcich sa geometrickou špecifikáciou produktov, ako aj základnou štruktúrou definícií geometrického útvaru (ISO 14660-1).

Cieľom monografie je oboznámiť študentov aj inžinierov v praxi s problematikou navrhovania a predpisovania tolerancií, ktoré sú dôležité hlavne v etape navrhovania nových výrobkov. Poskytuje informácie z oblasti merania geometrických veličín, ako aj modernej meracej techniky.

Poslaním monografie je pomôcť študentom dosiahnuť poznatky a zručnosti, ktoré zvýšia ich konkurenčnú výhodu u zamestnávateľov orientovaných na presnosť a spoľahlivosť svojich produkčných procesov a produktov.

Monografia bola spracovaná za podpory grantu MŠ SR KEGA 3/4244/06 "Virtuálne laboratórium metrológie v študijnom odbore Mechatronika".

© doc. Ing. Miroslav DOVICA, PhD.

Ing. Peter KAŤUCH

Ing. Jozef KOVÁČ

Ing. Martin PETRÍK

METROLÓGIA V STROJÁRSTVE

Recenzenti: **prof. Ing. Linus Michaeli, DrSc.**
prof. Ing. Rudolf Palenčár, PhD.
prof. Ing. Ivan Slimák, PhD.

Jazyková úprava: Anna Knapíková

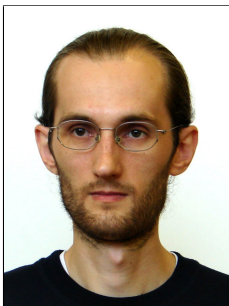
Návrh obálky: doc. Ing. Jaroslav Jarema, CSc.

ISBN 80-8073-407-0



Ing. Peter KAŤUCH
(1981)

Je absolventom odboru Prístrojová, regulačná a automatizačná technika na Strojníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach (2004). V súčasnosti pokračuje v štúdiu ako interný doktorand na Katedre prístrojového a biomedicínskeho inžinierstva v odbore Mechatronika. Počas doktorandského štúdia sa podieľa na riešení výskumných úloh a grantových projektov, v rámci ktorých sa venuje publikačnej činnosti a uverejňuje pôvodné práce v domácich a zahraničných zborníkoch a časopisoch.



Ing. Jozef KOVÁČ
(1976)

Je absolventom odboru Prístrojová, regulačná a automatizačná technika na Strojníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach (2001). V súčasnej dobe pracuje na Katedre prístrojového a biomedicínskeho inžinierstva ako odborný asistent. Počas štúdia na Strojníckej fakulte Technickej univerzity bol zapojený do riešenia výskumných úloh a grantových projektov, na ktorých sa v súčasnosti podieľa ako spoluriešiteľ. V rámci riešenia výskumných úloh sa podieľa na publikačnej činnosti a uverejňuje pôvodné práce v domácich a zahraničných zborníkoch a časopisoch.



Ing. Martin PETRÍK
(1981)

Je absolventom odboru Prístrojová, regulačná a automatizačná technika na Strojníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach (2005). V súčasnosti pôsobí na Strojníckej fakulte v Košiciach na Katedre prístrojového a biomedicínskeho inžinierstva. Podieľa sa na publikačnej činnosti a riešení výskumných úloh a grantových projektov v oblasti Metrológie. Zaoberá sa zberom a spracovaním dát z meracej techniky.

Obsah

Použité skratky a symboly	11
Úvod	13
1 GEOMETRICKÉ ŠPECIFIKÁCIE VÝROBKOV (GPS)	15
1.1 GPS reťazca noriem, maticový model	16
2 HISTÓRIA MERANIA	21
2.1 Miery kultúrnych národov	21
2.2 História vzniku metrológie na Slovensku	23
3 METROLÓGIA	25
3.1 Základné pojmy	26
3.2 Veličiny a jednotky	29
3.3 Definície základných jednotiek SI	32
3.4 Násobky jednotiek SI	34
4 CHYBY A NEISTOTY V MERANÍ	35
4.1 Teória chýb	35
4.2 Neistoty v meraní	43
5 MERANIE DĹŽOK	49
5.1 Sústava tolerancií a uložení	49
5.2 Odchýlky rozmerov (ISO 406)	52
5.3 Predpisovanie presnosti rozmerov vo výkresovej dokumentácii	54
5.4 Udávanie presnosti uložení vo výkresovej dokumentácii zostáv	56
6 PRACOVNÉ MERADLÁ	57
6.1 Meradlá dĺžky	57
6.1.1 Posuvné meradlá	57
6.1.2 Mikrometrické meradlá	58
6.1.3 Odchýlkomery	59
6.1.4 Základné rovnobežné mierky (koncové mierky)	60
6.1.5 Kalibre	62

7	ROZMEROVÉ OBVODY	65
7.1	Operácie s tolerovanými rozmermi	65
7.2	Výpočet tolerancií založených na deterministickom modeli	66
7.2.1	Metóda MAX-MIN	67
7.3	Výpočet tolerancií založených na stochastickom modeli	68
7.3.1	Štatistická metóda	69
7.4	Typy rozmerových obvodov	70
7.5	Analýza a syntéza rozmerového obvodu	71
7.5.1	Metóda rovnakých tolerancií nezávislých (čiastkových) rozmerov	71
7.5.2	Metóda rovnakého stupňa presnosti nezávislých (čiastkových) rozmerov	72
7.5.3	Metóda rovnakého vplyvu nepresností nezávislých (čiastkových) rozmerov	73
7.6	Počítačová podpora analýzy a syntézy tolerancií	73
7.7	Príklad jednoduchého rozmerového obvodu	76
7.8	Príklad klasického rozmerového obvodu	77
8	MODEL VRCHNEJ VRSTVY (SKIN MODEL)	81
8.1	Geometrické útvary	82
8.2	Rozšírený výklad definície útvarov	82
8.3	Geometrické útvary - základné pojmy a definície	83
9	VŠEOBECNÉ TOLERANCIE	85
9.1	Princíp všeobecnej tolerancie	85
9.2	Bežná výrobná presnosť	86
9.3	Používanie všeobecných tolerancií	87
9.4	Všeobecné tolerancie rozmerov	88
9.4.1	Všeobecné tolerancie dĺžkových rozmerov	88
9.4.2	Všeobecné tolerancie pre uhlové rozmery	88
9.4.3	Všeobecné geometrické tolerancie	89
9.5	Označovanie všeobecných tolerancií na výkrese	92
10	HLAVNÉ PRINCÍPY URČOVANIA ROZMEROV	95
10.1	Definícia veľkosti	95
10.2	Skupiny rozmerov a kótovanie	95
10.3	Medzná hodnota maxima alebo minima materiálu (MML/LML)	96
10.4	Princíp nezávislosti	96
10.5	Podmienka obalového prvku	98
10.6	Podmienka maxima materiálu	99
10.7	Virtuálna medzná hodnota maxima materiálu	100
10.8	Príklad pre podmienku maxima materiálu	100
10.9	Požiadavka minima materiálu podľa ISO 2692 – AMD1	101
10.10	Požiadavka reciprocity	101

11	DRSNOSŤ POVRCHU	103
11.1	Povrch a jeho parametre	103
11.1.1	Parametre charakterizujúce nerovnosti profilu v smere výšky	110
11.1.2	Parametre charakterizujúce nerovnosti profilu v pozdĺžnom smere	111
11.1.3	Parametre charakterizujúce tvar nerovnosti profilu	112
11.2	Definície parametrov drsnosti prístroja SJ-201P	114
11.2.1	Vyhodnotenie podľa JIS B0601-1994	120
11.2.2	Vyhodnotenie podľa DIN	121
11.2.3	Vyhodnotenie podľa ISO, JIS B0601-2001	122
11.2.4	Vyhodnotenie podľa ANSI	123
11.3	Predpisovanie drsnosti povrchu vo výkresovej dokumentácii	124
11.4	Počítačová podpora merania drsnosti povrchu	125
12	ÚVOD DO GEOMETRICKÉHO TOLEROVANIA	127
12.1	Predpisovanie geometrických tolerancií na výkrese	128
13	ZÁKLADNE	135
13.1	Základne, útvary základne a útvary modelujúce základne	135
13.2	Určovanie základní	135
13.2.1	Bod ako základňa	135
13.2.2	Priamka alebo rovina ako základňa	137
13.2.3	Os valca alebo stredná rovina ako základňa	137
13.3	Základné systémy	138
14	TOLERANCIE PROFILU ALEBO PLOCHY	145
14.1	Tolerancie tvaru profilu	146
14.2	Tolerancie tvaru plochy	148
14.3	Meranie a kontrola	150
15	TOLERANCIE TVARU	151
15.1	Základné pojmy	151
15.2	Rozdelenie tolerancií tvaru	152
15.3	Priamosť	154
15.3.1	Prenosové pásmo	155
15.4	Kruhovitosť	155
15.5	Rovinnosť	156
15.5.1	Meranie rovinnosti	156
15.6	Valcovitosť	157
15.7	Pravidlá tolerovania tvaru	158
15.8	Meranie a kontrola	158
16	TOLERANCIE POLOHY	161
16.1	Tolerancie umiestnenia	161
16.1.1	Tolerancia umiestnenia bodu	161
16.1.2	Tolerancia umiestnenia priamky	162
16.1.3	Tolerancia umiestnenia rovinatej plochy alebo strednej roviny	163
16.1.4	Tolerancia umiestnenia cylindrickej plochy vzťahovanej k osi	164
16.2	Sústrednosť a súosovosť	165

16.2.1	Tolerancia sústrednosti bodu	165
16.2.2	Tolerancia súosovosti osi	165
16.3	Súmernosť	167
17	TOLERANCIE SMERU	169
17.1	Rovnobežnosť	169
17.1.1	Tolerancia rovnobežnosti priamky vzťahovaná k základnému systému tvorenému priamkou a rovinou	169
17.1.2	Tolerancia rovnobežnosti priamky vzťahovaná k základni tvorenej priamkou	171
17.1.3	Tolerancia rovnobežnosti priamky vzťahovaná k základni tvorenej rovinou	172
17.1.4	Tolerancia rovnobežnosti priamky vzťahovaná k základnému systému (dve roviny)	172
17.1.5	Tolerancia rovnobežnosti roviny vzťahovaná k základni tvorenej priamkou	173
17.1.6	Tolerancia rovnobežnosti roviny vzťahovaná k základni tvorenej rovinou	173
17.2	Kolmosť	174
17.2.1	Tolerancia kolmosti priamky vzťahovaná k rovine tvorenej priamkou	174
17.2.2	Tolerancia kolmosti priamky vzťahovaná k základnému systému (dve roviny)	174
17.2.3	Tolerancia kolmosti priamky vzťahovaná k základni tvorenej rovinou	175
17.2.4	Tolerancia kolmosti roviny vzťahovaná k základni tvorenej priamkou	176
17.2.5	Tolerancia kolmosti roviny vzťahovaná k základni tvorenej rovinou	176
17.3	Sklon	177
17.3.1	Tolerancia sklonu priamky vzťahovaná k základni tvorenej priamkou	177
17.3.2	Tolerancia sklonu priamky vzťahovaná k základni tvorenej rovinou	178
17.3.3	Tolerancia sklonu čiary vzťahovaná k základnému systému (dve roviny)	178
17.3.4	Tolerancia sklonu roviny vzťahovaná k základni tvorenej priamkou	179
17.3.5	Tolerancia sklonu roviny vzťahovaná k základnému systému . . .	180
18	TOLERANCIE HÁDZANIA	183
18.1	Kruhovú hádzanie	183
18.1.1	Kruhovú hádzanie v radiálnom smere	183
18.1.2	Kruhovú hádzanie v axiálnom smere	185
18.1.3	Kruhovú hádzanie v ľubovoľnom smere	186
18.2	Celkové hádzanie	188
18.3	Meranie a verifikácia	190

19	OZNAČOVANIE A VÝKLAD GEOMETRICKÝCH TOLERANCIÍ	191
19.1	Geometrické tolerancie	191
19.2	Princíp tolerovania	193
19.3	Praktické príklady aplikácie geometrických tolerancií	193
20	TOLERANCIE UHLOV	199
20.1	Uhol a kótovanie uhla	199
20.2	Metóda tolerovania lineárnym rozmerom	201
20.3	Metóda tolerovania uhlovou odchýlkou	203
20.4	Tolerancie kužeľov	205
21	OZUBENÉ KOLESÁ, ODCHÝLKY A KONTROLNÉ POSTUPY	207
21.1	Základný profil	208
21.2	Dôležité odchýlky zodpovedajúce bokom zubov	209
21.2.1	Odchýlky čelného rozstupu	209
21.2.2	Odchýlky profilu	210
21.2.3	Odchýlky bočnej krivky	212
21.2.4	Obvodové odchýlky	213
21.3	Kinematické odchýlky a hádzanie	214
21.3.1	Kinematické odchýlky	214
21.3.2	Hádzanie	216
21.4	Odchýlky hrúbky zuba	216
21.5	Počítačová podpora merania ozubených kolies	219
22	ZÁVITY	223
22.1	Základný profil, základné rozmery	223
22.2	Tolerovanie závitov	225
22.3	Meranie závitov	228
22.3.1	Kalibre na kontrolu závitov	228
22.3.2	Meranie základného veľkého priemeru vonkajšieho závitú	230
22.3.3	Meranie základného malého priemeru vonkajšieho závitú	230
22.3.4	Meranie základného rozstupového priemeru vonkajšieho závitú	231
22.3.5	Meranie rozstupu vonkajšieho závitú	234
22.3.6	Meranie základného rozstupového priemeru vnútorného závitú	235
23	ŠTATISTICKÉ TOLERANCIE	237
23.1	Základy štatistiky	238
23.1.1	Bodový odhad	238
23.1.2	Intervalový odhad	239
23.1.3	Charakteristiky náhodnej premennej	239
23.2	Označovanie štatistickej tolerancie na výkrese obrobnku	243
23.3	Indexy spôsobilosti procesu	244
23.3.1	Príklad	246
23.4	Štatistická regulácia procesov	249
23.4.1	Počítačová podpora štatistickej regulácie procesov	249
23.5	Analýza spôsobilosti výrobných procesov	253
23.5.1	Príklad	253
23.6	Štatistická regulácia výrobného procesu	262

24 ŠTATISTICKÉ RIADENIE KVALITY VO VÝROBNOM PROCESE	271
24.1 Charakteristika výrobných procesov	271
24.2 Charakteristika meracích procesov	273
24.3 Vyšetrovanie výrobného procesu s meracími prístrojmi	274
24.4 Určovanie spôsobilosti skutočného procesu	275
24.5 Štatistická kontrola procesu	277
25 VEKTOROVÉ KÓTOVANIE A TOLEROVANIE	279
25.1 Súčasný stav a perspektívy	279
25.2 Konceptia vektorového kótovania a tolerovania	280
25.3 Náhradné prvky	282
25.4 Náhradný základný systém	283
25.5 Náhradná poloha	286
25.6 Náhradný smer	287
25.7 Náhradné pootočenie	287
25.8 Tvar, drsnosť a ďalšie požiadavky	288
26 SÚRADNICOVÁ MERACIA TECHNIKA	291
26.1 Typológia súradnicových meracích strojov	292
26.2 Princíp súradnicového merania	293
26.3 Súradnicové meranie	294
26.4 Dotykové snímacie hlavy	301
26.5 Metódy efektívnej práce so snímacou hlavou	304
26.6 Video meracia technika	306
26.7 Trojrozmerný zobrazovací merací stroj	307
26.8 Trojrozmerný CNC zobrazovací merací systém	308
26.9 Porovnanie optických a dotykových CMM	313
27 POČÍTAČOVÁ PODPORA TOLEROVANIA	317
27.1 Implementácia softvéru ISO Systavy tolerancií a uložení	318
27.2 Programový balík pre počítačovú podporu analýzy a syntézy rozmerov .	318
27.3 Programový balík pre tolerancie geometrických veličín v prostredí CAD	319
27.4 Výučbové programové balíky	321
27.5 Softvér meracieho systému	321
27.5.1 Softvér súradnicového meracieho stroja (CMM)	322
27.5.2 Od CAD výkresovej dokumentácie k programu na vykonanie me- rania	327
Záver	329
Literatúra	331
Zoznam obrázkov	339
Zoznam tabuliek	349