

**OBSAH**

	<b>PREDHOVOR</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>11</b>
1.1	METÓDY EXPERIMENTÁLNEJ ANALÝZY A ICH UPLATNENIE PRI OVEROVANÍ KONŠTRUKČNÝCH PRVKOV A UZLOV	12
1.2	ZÁKLADNÉ POJMY V EXPERIMENTÁLNEJ ČINNOSTI	13
<b>2</b>	<b>CHYBY V PROCESE MERANIA A SPRACOVANIE VÝSLEDKOV</b>	<b>17</b>
2.1	VÄZBY MEDZI ETAPAMI ANALYZOVANÉHO PROCESU	17
2.2	CHYBY V PROCESE MERANIA	21
2.2.1	Odlišnosť chýb výpočtu a experimentu	21
2.2.1.1	Rozdielnosti v chybách z hľadiska rozdielnosti modelového hardvéru	22
2.2.1.2	Rozdielnosti v chybách z hľadiska rozdielnosti modelového softvéru	23
2.2.1.3	Rozdielnosti v chybách v dôsledku rôznej funkcie riešiteľa	24
2.2.2	Vymedzenie a členenie chýb merania	25
2.2.2.1	Členenie chýb podľa spôsobu výskytu	27
2.2.2.1.1	<i>Náhodné chyby merania</i>	27
2.2.2.1.2	<i>Systematické chyby merania</i>	27
2.2.2.1.3	<i>Testovanie výskytu systematických chýb a možnosti znižovania ich výskytu</i>	29
2.2.2.1.4	<i>Hrubé chyby merania</i>	29
2.2.2.2	Členenie chýb podľa príčin vzniku	30
2.2.2.2.1	<i>Chyby metódy</i>	30
2.2.2.2.2	<i>Chyby meracích prístrojov</i>	30
2.2.2.2.3	<i>Chyby meracích reťazcov spôsobené skutočným zaťažením prístroja, kolísaním napájacieho napätia a rušivými napätiami v elektrických meracích prístrojoch</i>	33
2.2.2.2.4	<i>Chyby použitých etalónov</i>	33
2.2.2.2.5	<i>Osobné chyby</i>	34
2.2.2.2.6	<i>Chyby pri spracovaní výsledkov merania</i>	34
2.2.2.3	Členenie chýb podľa časovej závislosti meraných veličín	35
2.2.2.3.1	<i>Statické chyby prístrojov</i>	35
2.2.2.3.2	<i>Dynamické chyby prístrojov</i>	36
2.2.2.4	Členenie chýb podľa možnosti ich vylúčenia	40
<b>3</b>	<b>TEÓRIA VLNENIA A INTERFERENCIE</b>	<b>41</b>
3.1	VLNY A ČASTICE	41
3.1.1	Vlnová dĺžka a uhlový vlnočet	43
3.1.2	Periódka, uhlová frekvencia a frekvencia	44



3.2	Rýchlosť postupnej vlny	45
3.3	Rýchlosť vlny na strune	46
3.4	Energia a výkon vlny	47
3.4.1	Kinetická energia	47
3.4.2	Potenciálna energia napätosti	47
3.4.3	Prenášaný výkon	49
3.5	PRINCÍP SUPERPOZÍCIE	49
3.6	INTERFERENCIA VĹN	51
3.7	FÁZORY	53
3.8	STOJATÉ VLNY	54
3.9	VLASTNÉ KMITY	56
3.10	SVETLO AKO ELEKTROMAGNETICKÉ VLNIENIE	58
3.11	POLARIZÁCIA	65
3.11.1	Polarizované svetlo	65
3.11.2	Anizotropia	68
3.12	ODRAZ A LOM	69
3.13	ÚPLNÝ ODRAZ	72
3.14	POLARIZÁCIA ODRAZOM a BREWSTEROV ZÁKON	73
3.15	INTERFERENCIA	75
3.15.1	Svetlo ako vlnenie	75
3.15.2	Difrakcia	78
3.15.3	Youngov interferenčný pokus	79
3.15.4	Koherencia	82
3.15.5	Intenzita pri interferencii svetla z dvoch štrbín	83
3.15.6	Interferencia na tenkej vrstve	86
<b>4</b>	<b>PODOBNOSŤ, MODELOVANIE A DIMENZIONÁLNA ANALÝZA</b>	<b>91</b>
4.1	PODOBNOSŤ A JEJ VYUŽITIE PRI MODELOVANÍ	92
4.1.1	Určovanie ďalších mierok pre modelovú podobnosť	94
4.1.2	Modelová podobnosť nosníkov a prútov	94
4.1.2.1	Nosník zaťažený osamelými silami	95
4.1.2.2	Nosník zaťažený spojitým rovnomerne rozloženým zaťažením	96
4.1.2.3	Zaťaženie vlastnou tiažou	96
4.1.2.4	Nosník zaťažený kombináciou viacerých zaťažení	97
4.1.3	Modelová podobnosť stien	97
4.1.4	Modelovanie rovinnej deformácie rovinnou napätosťou	100
4.1.5	Modelová podobnosť hriadeľov namáhaných krútením	101
4.1.6	Modelová podobnosť pri vzpere	101
4.1.7	Modelová podobnosť dosiek	102



4.1.8	Modelová podobnosť škrupinových konštrukcií	105
4.1.9	Rozmery, jednotky a rovnice	105
4.2	DIMENZIONÁLNA ANALÝZA	108
4.2.1	Teória dimenzionálnej analýzy	114
4.2.2	Niektoré aplikácie dimenzionálnej analýzy	115
4.2.2.1	Opakujúce sa premenné	115
4.2.2.2	Alternatívny postup	117
4.2.2.3	Vytváranie pi - členov pomocou kontroly	119
4.3	TEÓRIA MODELOV	120
4.3.1	Podmienky návrhu modelu	121
4.3.2	Mierky	122
4.4	KONŠTRUKČNÉ MODELY	123
4.4.1	Pružné konštrukcie zaťažené statickým zaťažením	123
4.4.2	Pružné konštrukcie s malými deformáciami	125
4.4.3	Gravitačné zaťaženie	126
4.4.4	Efekt Poissonovho čísla	128
4.4.5	Dynamické zaťažovanie	128
4.4.6	Nelineárne správanie materiálu	129
4.5	PRAVDIVOSŤ, ADEKVÁTNOSŤ A SKRESLENÉ MODELY	131
4.6	PODOBNOSTNÉ ZÁKONY VYPLÝVAJÚCE Z DIFERENCIÁLNYCH ROVNÍC	133
<b>5</b>	<b>PRINCÍP FOTOELASTICIMETRICKEJ METÓDY</b>	<b>135</b>
5.1	FYZIKÁLNE ZÁKLADY A MATEMATICKÉ MODELY VO FOTOELASTICIMETRII	135
5.2	URČENIE PARAMETROV SVETELNÝCH VÍLN PRECHÁDZAJÚCICH ČASŤAMI OPTICKÝCH SÚSTAV S VYUŽITÍM JONESOVHO VÝPOČTU	141
5.3	ODRAZ A LOM SVETLA NA ROZHRAŇÍ DVOCH PROSTREDÍ	144
5.4	TEÓRIA MECHANICKO-OPTICKÉHO EFEKTU	149
5.5	OPTICKÉ SÚSTAVY PRE VYŠETROVANIE DEFORMÁCIE METÓDOU FOTOELASTICIMETRIE	154
5.6	MATEMATICKÉ MODELY POLARISKOPOV PRE ANALÝZU METÓDOU FOTOELASTICIMETRIE	160
5.6.1	Matematický model priamkového polariskopu	160
5.6.2	Matematický model kruhového polariskopu	164
5.6.3	Matematické modely polariskopov pre určovanie zlomkových radov izochróm s použitím kompenzácie	166
5.6.3.1	Určovanie zlomkových radov izochróm Tardyho kompenzačnou metódou	166
5.6.3.2	Určovanie zlomkového radu izochróm použitím Soleilovho-Babinetovho kompenzátora	167



5.6.4	Matematický model polariskopu pre šikmé asymetrické osvetlenie	169
5.7	<b>VYUŽITIE METÓDY FOTOELASTICIMETRIE PRE ANALÝZU DEFORMÁCIE A NAPÄTOSTI</b>	170
5.7.1	Analýza fotoelastických pruhových obrazcov	175
5.7.1.1	Výklad o celkovom rozložení deformácií	176
5.7.1.2	Vytváranie pruhov	176
5.7.1.3	Identifikácia pruhov	178
5.7.1.4	Určovanie radu pruhov	179
5.7.2	Meranie hlavných smerov deformácií – základný princíp	180
5.7.3	Meranie veľkosti deformácií a napätí v bode	182
5.7.3.1	Vzťahy medzi radmi pruhu a veľkosťou deformácie v bode	182
5.7.3.2	Oneskorená goniometrická (Tardyho) kompenzácia	184
5.7.3.3	Meranie použitím kompenzácie s nulovou rovnováhou	186
5.8	<b>SEPARÁCIA HLAVNÝCH POMERNÝCH DEFORMÁCIÍ A NAPÄTÍ PRI MERANÍ FOTOELASTICIMETRICKOU METÓDOU</b>	188
5.8.1	Deformácia a podmienka spojitosti	189
5.8.2	Napätosť a diferenciálne rovnice vnútornej rovnováhy	190
5.8.3	Fyzikálne rovnice	192
5.8.4	Experimentálna analýza deformačného a napätového poľa	193
5.8.5	Určenie poľa deformácií z poľa izochróm a izoklín	194
5.8.5.1	Rozdelenie deformácie v hraničných bodoch	195
5.8.5.2	Určenia rozloženia zložiek deformácií riešením Laplaceovej diferenciálnej rovnice	197
5.8.5.3	Rozloženie deformácií pozdĺž ľubovoľnej priamky	198
5.8.6	Určenie poľa napätí z poľa izochróm a izoklín	200
5.8.6.1	Zostrojenie poľa izostatických čiar	200
5.8.6.2	Výpočet šmykových napätí	201
5.8.6.3	Metódy separácie napätí	202
5.8.7	Separácia deformácií pri využití len poľa izochróm alebo poľa izoklín	209
5.8.7.1	Metóda charakteristík založená na využití poľa izochróm	209
5.8.7.2	Modifikovaná metóda charakteristík	216
5.8.7.3	Priama separácia pomerných deformácií na osi symetrie založená na využití charakteristík	220
5.8.7.4	Separácia pomerných deformácií založená na výlučnom využití poľa izoklín	221
<b>6</b>	<b>MODELOVÉ MATERIÁLY, ICH VLASTNOSTI A TVORBA MODELOV</b>	<b>225</b>
6.1	Dvojdimenziálna modelová analýza	226
6.2	Trojdimenziálna modelová analýza	227



6.3	Materiály pre fotoelastické povrstvenie a ich výber	229
6.3.1.	Citlivosť	232
6.3.2.	Efekt vystuženia	236
6.3.3.	Maximálne predĺženie	240
6.3.4.	Vplyv teploty pri skúškach	240
6.4	TVORBA MODELOV	241
6.4.1.	Výroba modelov obrábaním	241
6.4.2.	Modely vyrábané odlievaním	243
6.4.3.	Výroba modelov z plátov polymérov	246
6.4.4.	Zmrazovanie napätia	246
6.5	KALIBRÁCIA MODELOVÝCH FOTOELASTICKÝCH MATERIÁLOV A POVRSTVENÍ	249
6.5.1.	Kalibrácia fotoelasticimetrických dosiek pre 2-D a 3-D modelovú analýzu	249
6.5.2.	Kalibrácia fotoelastického povrstvenia a príčiny vzniku systematických chýb	256
6.6	KOREKCIA PORADIA RADU PRUHOV PRI METÓDE FOTOELASTICKÉHO POVRSTVENIA	265
6.6.1.	Počiatočný dvojlom	265
6.6.2.	Spevňujúce efekty povrstvenia pri rovinnej napätosti	268
6.6.3.	Spevnenie a extrapolácia spevňujúcich efektov pri ohybe	273
6.6.4.	Zaťaženie ohybom alebo ohybovou deformáciou	275
6.6.5.	SPEVNENIE A KOREKCIA PRI KRÚTENÍ	277
6.6.6.	SPEVNENIE A KOREKCIA PRI TLAKOVÝCH NÁDOBÁCH	277
<b>7</b>	<b>SOFTVÉROVÁ PODPORA METÓDY PHOTOSTRESS®</b>	<b>279</b>
7.1	SOFTVÉR PSCALC™	279
7.2	SOFTVÉR PHOTOSTRESS	279
7.2.1	Kalibrácia softvéru PhotoStress	280
7.2.2	Import snímok izoklínnych a izochromatických pruhov	282
7.2.3	Vytvorenie logickej masky	284
7.2.4	Spracovanie snímok izoklínnych pruhov	285
7.2.5	Spracovanie snímok izochromatických pruhov	290
7.2.6	Vytváranie testu a spracovanie výsledkov	291
7.3	EXPERIMENTÁLNE URČENIE NAPŤOVÝCH POLÍ V OKOLÍ VRUBU METÓDOU PHOTOSTRESS®	294
<b>8</b>	<b>VYUŽITIE METÓDY PHOTOSTRESS® PRE DYNAMICKÚ NAPŤOVÚ ANALÝZU</b>	<b>307</b>
8.1	EXPERIMENTÁLNE VYŠETROVANIE ROTUJÚCEHO KOTÚČA KONŠTANTNEJ HRÚBKY S CENTRICKÝM OTVOROM METÓDOU PHOTOSTRESS®	308



8.2	VYUŽITIE METÓDY PHOTOSTRESS® PRI POZOROVANÍ IZOKLÍNNYCH A IZOCHROMATICKÝCH PRUHOV NA ROTUJÚCICH VZORKÁCH RÔZNYCH TVAROV	315
<b>9</b>	<b>TEORETICKÉ ZÁKLADY Z OBLASTI LASEROVEJ VIBROMETRIE</b>	<b>327</b>
9.1	LASER A LASEROVÉ SVETLO	327
9.1.1.	Bohrov atóm, fotóny a ich energia	328
9.1.2.	Spontánna a stimulovaná emisia	330
9.1.3.	Inverzná populácia	332
9.1.4.	Optické rezonátory	322
9.1.5.	Rezonátory s pozdĺžnymi módmi	333
9.1.6.	Rezonátory s priečnymi módmi	337
9.1.7.	Hélium-Neónový laser	339
9.2	DOPPLEROV JAV	340
9.2.1.	Detektor v pohybe, zdroj v pokoji	341
9.2.2.	Zdroj v pohybe, detektor v pokoji	343
9.2.3.	Rovnica všeobecného Dopplerovho javu	343
9.2.4.	Dopplerov jav pri malých rýchlostiach	344
9.2.5.	Nadzvukové rýchlosti, rázové vlny	344
9.3	DOPPLEROV JAV PRI SVETLE	345
9.4	MICHELSONOV INTERFEROMETER	348
9.5	MACH-ZEHNDEROV INTERFEROMETER	351
9.6	URČENIE ORIENTÁCIE VEKTORA RÝCHLOSTI	352
9.7	URČENIE VÝCHYLIEK POVRCHU KMITAJÚCEHO OBJEKTU	356
<b>10</b>	<b>VYUŽITIE LASER DOPPLEROVÝCH VIBROMETROV PRI ANALÝZE KMITANIA</b>	<b>357</b>
10.1	LASEROVÉ VIBROMETRE PRE MERANIE V JEDNOM BODE	357
10.1.1.	Princíp činnosti laserového vibrometra značky Polytec	357
10.1.2.	Laserový vibrometer Polytec PDV-100	359
10.1.3.	Princíp činnosti laserového vibrometra značky Ometron	362
10.1.4.	Laserový vibrometer Ometron VH300+	366
10.2	SKENOVACIE LASER DOPPLEROVE VIBROMETRE	369
10.2.1.	Skenovací zrkadlový systém	369
10.2.2.	Techniky skenovania	371
10.2.3.	Skenovací vibrometer Polytec PSV-500	373
10.3	ŠPECIÁLNE TYPY LASEROVÝCH VIBROMETROV	377
10.3.1.	Diferenciálny vibrometer	377
10.3.2.	In-Plane vibrometer	377
10.3.3.	Rotačný vibrometer	378
<b>11</b>	<b>LITERATÚRA</b>	<b>381</b>