

OBSAH

OBSAH.....	3
PREDHOVOR	6
1 ÚVOD.....	7
2 PRINCÍPY MERANIA VEĽMI MALÝCH DEFORMÁCIÍ A POSUVOV	9
2.1 MECHANICKÉ TENZOMETRE	11
2.2 OPTICKO MECHANICKÉ TENZOMETRE	13
2.3 STRUNOVÉ TENZOMETRE	14
2.4 PNEUMATICKÉ TENZOMETRE	16
2.5 CHARAKTERISTIKA A SYSTEMATIKA ELEKTRICKÝCH TENZOMETROV ..	18
2.6 INDUKČNÉ TENZOMETRE	18
2.7 KAPACITNÉ TENZOMETRE.....	19
2.8 PIEZOELEKTRICKÉ TENZOMETRE	20
2.9 UHLÍKOVÉ ODPOROVÉ TENZOMETRE	20
2.10 METALICKÉ ODPOROVÉ TENZOMETRE	20
2.11 POLOVODIČOVÉ TENZOMETRE	23
2.12 FYZIKÁLNE PRINCÍPY METALICKÝCH A POLOVODIČOVÝCH TENZOMETROV	23
2.12.1 Princíp činnosti kovových odporových tenzometrov	24
2.12.2 Princíp činnosti polovodičových tenzometrov	27
2.13 WHEATSTONOVO MOSTÍKOVE ZAPOJENIE.....	28
2.13.1 Schéma zapojenia Wheatstonovho mostíka.....	28
2.13.2 Princíp Wheatstonovho mostíkového zapojenia	29
2.13.3 Napájanie mostíka a zosilnenie výstupného napätia mostíka.....	33
2.14 MERACÍ REŤAZEC	34
2.15 KALIBROVANIE MERACIEHO ZARIADENIA	34
3 KONŠTRUKCIA A VLASTNOSTI ELEKTRICKÝCH ODPOROVÝCH TENZOMETROV	37
3.1 ELEKTRICKÝ ODPOR TENZOMETROV	43
3.2 POUŽITELNÁ TEPLTNÁ OBLASŤ	44
3.3 DEFORMAČNÁ CITLIVOSŤ KOVOVÝCH TENZOMETROV	45
3.4 DEFORMAČNÁ CITLIVOSŤ POLOVODIČOVÝCH TENZOMETROV	46
3.5 PRIEČNA CITLIVOSŤ	47
3.6 STATICKÁ ROZŤAŽNOSŤ	49
3.7 ELEKTRICKÁ ZAŤAŽITELNOSŤ	50
3.8 CREEP – TEČENIE TENZOMETRA	51
3.9 MECHANICKÁ HYSTERÉZIA	52
4 VPLYVY OKOLIA NA TENZOMETER A MERACIE MIESTO	53
4.1 VLHKOSŤ.....	53
4.2 HYDROSTATICKÝ TLAK.....	54
4.3 ENERGETICKÉ (IONIZAČNÉ) ŽIARENIE.....	54
4.4 MAGNETICKÉ POLE	55
4.5 VPLYV TEPLoty	56
4.5.1 TEPLTNÝ VÝSTUP A ZMENA DEFORMAČNÉHO FAKTORA TENZOMETERA S TEPLotOU.....	56
4.5.2 Kompenzácia vplyvu teploty	59
4.5.3 Korekcia teplotného výstupu.....	63



4.5.4	Teplotná kompenzácia pre rôzne typy mostíkov	68
4.5.5	Zmena deformačného faktora s teplotou	74
4.5.6	Súčasná korekcia teplotného výstupu a chýb deformačného faktora	75
4.5.7	Zohľadnenie krivosti povrchu na teplotný výstup	77
4.6	ŠUM V TENZOMETRICKÝCH OBVODOCH.....	79
5	KONŠTITUČNÉ ROVNICE VÝPOČTU NAPÄTÍ Z NAMERANÝCH DEFORMÁCIÍ	82
5.1	JEDNOOSOVÁ NAPÄTOSŤ	82
5.2	DVOJOSOVÁ NAPÄTOSŤ SO ZNÁMYMI HLAVNÝMI SMERMI	83
5.2.1	Meranie na rotačne symetrickej nádobe	84
5.2.2	Meranie na hriadeli namáhanom krútením	85
5.3	MERANIE A ANALÝZA NAPÄTÍ PRI RÔZNYCH KOMBINÁCIÁCH ZAŤAŽENÍ	88
5.4	MERANIA NA NOSNÍKU NAMÁHANOM NA OHYB (VPLYV OHYBOVÉHO MOMENTU A POSÚVAJÚCEJ SILY).....	89
5.5	MERANIE TEPLOTNÝCH NAPÄTÍ	91
5.5.1	Porovnanie meraní na voľnom a z oboch strán upevnenom objekte	92
5.5.2	Meranie s kompenzačným tenzometrom na nezaťaženom materiáli.....	93
5.5.3	Oddelené alebo dodatočné zistenie vplyvu teploty	93
5.6	DVOJOSOVÁ NAPÄTOSŤ S NEZNÁMYMI HLAVNÝMI SMERMI.....	93
5.6.1	Určenie veľkosti hlavných pomerných predĺžení a hlavných normálových napätí s ružicou 0°/45°/90°	94
5.6.2	Určenie veľkosti hlavných pomerných predĺžení a hlavných normálových napätí s ružicou 0°/60°/120°	94
5.6.3	Určenie hlavných smerov	95
5.6.4	Ďalšie možnosti určenia hlavných normálových napätí a ich smerov	97
5.6.5	Mohrova kružnica napätí a deformácií.....	97
6	CHYBY A PRESNOSŤ MERANIA.....	99
6.1	ZDROJE CHÝB A RUŠIVÝCH VPLYVOV	99
6.2	POSUDZOVANIE PRESNOSTI MERANIA	99
6.2.1	Príčiny odchýlok meraní v tenzometrii	100
6.2.2	Výpočet náhodných rozptylov nameraných hodnôt	101
7	MOŽNOSTI USKLADNENIA, APLIKÁCIE, PRESKÚŠANIA A OCHRANY TENZOMETROV	106
7.1	USKLADNENIE TENZOMETROV	106
7.2	OČISTENIE MERANÉHO MIESTA	106
7.3	UPEVNENIE TENZOMETROV	107
7.4	PRITLÁČANIE LEPENÝCH TENZOMETROV	110
7.5	MOŽNOSTI ELEKTRICKÉHO SPOJENIA	112
7.6	KONTROLA A PRESKÚŠANIE MERACIEHO MIESTA	115
7.7	OCHRANA MERACIEHO MIESTA.....	117
8	TENZOMETRE, APLIKAČNÉ A OCHRANNÉ PROSTRIEDKY	119
8.1	TENZOMETRICKÉ SNÍMAČE.....	119
8.1.1	Sytémy kódovania odporových tenzometrov	120
8.1.2	Technické údaje a vlastnosti tenzometrov HMB	123
8.1.3	Tenzometre Vishay MM.....	129
8.2	TENZOMETRICKÉ LEPIDLÁ - TMELY	131
8.2.1	Tenzometrické lepidlá HBM.....	132
8.2.2	Tenzometrické lepidlá M-M.....	133
8.3	OCHRANNÉ PROSTRIEDKY	138
8.3.1	Ochranné prostriedky HBM	138
8.3.2	Ochranné prostriedky Vishay M-M.....	141

8.4 SPÁJKOVACIE SVORKOVNICE A ĎALŠIE APLIKAČNÉ PROSTRIEDKY...	144
9 TECHNICKÉ A PROGRAMOVÉ PROSTRIEDKY TENZOMETRIE	146
9.1 MECHANICKÉ TENZOMETRE NA ZISŤOVANIE STATICKÝCH DEFORMÁCIÍ A POSUNUTÍ.....	146
9.2 ELEKTRICKÉ TENZOMETRICKÉ APARATÚRY NA SKÚMANIE STATICKÝCH RESP. KVÁZISTATICKÝCH JAVOV	148
9.2.1 Digitálny indikátor deformácií P-3500 s prepínacou jednotkou SB 10 a meračom špičkových hodnôt 3650	148
9.2.2 Indikátor deformácií a nahrávacie zariadenie - model P3.....	157
9.2.3 Tenzometrická aparatúra Centipede 100.....	163
9.3 TENZOMETRICKÉ APARATÚRY NA SKÚMANIE DYNAMICKÝCH JAVOV	168
9.3.1 Dynamická tenzometrická aparatúra systému M 1000	168
9.3.2 Dynamická tenzometrická aparatúra Spider 8	170
9.4 INŠTALAČNÝ TESTER TENZOMETROV - MODEL 1300.....	174
9.5 KALIBRÁCIA TENZOMETRICKÝCH APARATÚR A KALIBRAČNÉ ZARIADENIA.....	176
9.6 PROGRAMOVÉ BALÍKY CATMAN	178
9.7 MERACIE REŤAZCE ODPOROVEJ TENZOMETRIE.....	184
10 KRITÉRIÁ A POSTUPY VOĽBY TENZOMETROV	187
10.1 VOĽBA KRITÉRIÍ VÝBERU TENZOMETRA	189
10.1.1 Parametre pre výber tenzometra	190
10.1.2 Materiály nosnej fólie	192
10.1.3 Série tenzometrov.....	193
10.1.4 Dĺžka tenzometra.....	197
10.1.5 Počet a konfigurácia meracích mriežok tenzometrov	198
10.1.6 Voliteľné vlastnosti.....	200
10.1.7 Postup výberu tenzometra.....	200
10.2 POSTUP PRI VÝBERE TENZOMETRICKÝCH RUŽÍC	203
11 PRAKTICKÉ APLIKÁCIE TENZOMETRICKÝCH METÓD	210
11.1 SNÍMAČE NA MERANIE MECHANICKÝCH VELIČÍN	210
11.2 UPLATNENIE TENZOMETRIE NA EXPERIMENTÁLNYCH OBJEKTOCH.	214
11.3 VZOROVÉ NÁVODY NA LABORATÓRNE ÚLOHY	217
11.3.1 Laboratórna úloha LÚ 1	218
11.3.2 Laboratórna úloha LÚ 2	225
11.3.3 Laboratórna úloha LÚ 3	230
11.3.4 Laboratórna úloha LÚ 4	235
LITERATÚRA	241