

# Obsah

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
|           | <b>Předmluva</b> . . . . .                        | 19  |
| <b>1.</b> | <b>Základy měření ultrazvukem</b> . . . . .       | 22  |
| 1.1       | Základní pojmy . . . . .                          | 22  |
| 1.1.1     | Kmitání prostředí . . . . .                       | 22  |
| 1.1.2     | Způsoby šíření ultrazvukových vln . . . . .       | 25  |
| 1.1.3     | Akustický tlak a intenzita . . . . .              | 26  |
| 1.1.4     | Druhy ultrazvukových vln. . . . .                 | 29  |
| 1.2       | Rychlost šíření. . . . .                          | 31  |
| 1.2.1     | Tuhé látky . . . . .                              | 31  |
| 1.2.2     | Kapaliny . . . . .                                | 34  |
| 1.2.3     | Plyny . . . . .                                   | 40  |
| 1.3       | Útlum ultrazvukových vln . . . . .                | 42  |
| 1.4       | Odraz a lom ultrazvukových vln . . . . .          | 48  |
| 1.4.1     | Kolmý dopad na rozhraní. . . . .                  | 48  |
| 1.4.2     | Stojaté vlny . . . . .                            | 52  |
| 1.4.3     | Kolmý průchod vrstvou . . . . .                   | 54  |
| 1.4.4     | Šikmý dopad na rozhraní . . . . .                 | 57  |
| 1.4.5     | Fokusace . . . . .                                | 64  |
| 1.5       | Vyzařování zdrojů . . . . .                       | 66  |
| 1.5.1     | Blízké pole . . . . .                             | 66  |
| 1.5.2     | Vzdálené pole . . . . .                           | 76  |
| 1.6       | Dopplerův jev . . . . .                           | 82  |
| <b>2.</b> | <b>Zdroje a přijímače ultrazvuku</b> . . . . .    | 84  |
| 2.1       | Piezoelektrické měniče . . . . .                  | 84  |
| 2.1.1     | Piezoelektrický jev . . . . .                     | 84  |
| 2.1.2     | Piezoelektrické materiály . . . . .               | 87  |
| 2.1.3     | Náhradní obvod piezoelektrického měniče. . . . .  | 92  |
| 2.1.4     | Vstupní odpor. . . . .                            | 94  |
| 2.1.5     | Činitel jakosti . . . . .                         | 95  |
| 2.2       | Magnetostrikční měniče . . . . .                  | 99  |
| 2.2.1     | Magnetostrikce . . . . .                          | 99  |
| 2.2.2     | Náhradní obvod magnetostrikčního měniče . . . . . | 103 |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>3.</b> | <b>Metody a přístroje v ultrazukové měřicí technice . . . . .</b> | <b>105</b> |
| 3.1       | Metoda průchodová . . . . .                                       | 105        |
| 3.2       | Metoda rezonanční . . . . .                                       | 107        |
| 3.3       | Metoda impulsová odrazová . . . . .                               | 110        |
| 3.4       | Metoda frekvenční modulace . . . . .                              | 112        |
| 3.5       | Vizuální a holografické metody . . . . .                          | 113        |
| 3.5.1     | Přímé zobrazení ultrazukového pole . . . . .                      | 113        |
| 3.5.2     | Sonoholografie . . . . .  | 116        |
| <br>      |   |            |
| <b>4.</b> | <b>Elektronika ultrazukových měřicích přístrojů . . . . .</b>     | <b>122</b> |
| 4.1       | Obvody přístrojů se spojitým vysláním . . . . .                   | 122        |
| 4.1.1     | Generátory spojitých kmitů . . . . .                              | 122        |
| 4.1.2     | Zesilovače pro spojité kmity . . . . .                            | 125        |
| 4.1.3     | Způsoby vyhodnocení měření . . . . .                              | 125        |
| 4.2       | Obvody impulsových přístrojů . . . . .                            | 126        |
| 4.2.1     | Znaky impulsových přístrojů . . . . .                             | 126        |
| 4.2.2     | Synchronizátory . . . . .   | 127        |
| 4.2.3     | Generátory impulsů . . . . .                                      | 129        |
| 4.2.4     | Impulsové zesilovače . . . . .                                    | 134        |
| 4.2.4.1   | Lineární zesilovače . . . . .                                     | 134        |
| 4.2.4.2   | Řízené zesilovače . . . . .                                       | 137        |
| 4.2.4.3   | Demodulátory, odřezávače . . . . .                                | 142        |
| 4.2.4.4   | Logaritmické zesilovače . . . . .                                 | 145        |
| 4.2.4.5   | Atenuátory . . . . .  | 146        |
| 4.2.4.6   | Koncové zesilovače . . . . .                                      | 147        |
| 4.2.5     | Zobrazení impulsů . . . . .                                       | 149        |
| 4.2.5.1   | Zobrazení A. . . . .  | 149        |
| 4.2.5.2   | Zobrazení B. . . . .  | 152        |
| 4.2.5.3   | Zobrazení C. . . . .  | 153        |
| 4.2.6     | Zpracování a záznam impulsů . . . . .                             | 154        |
| 4.2.6.1   | Monitory . . . . .  | 154        |
| 4.2.6.2   | Záznamová zařízení . . . . .                                      | 164        |
| <br>      |   |            |
| <b>5.</b> | <b>Ultrazukové sondy . . . . .</b>                                | <b>167</b> |
| 5.1       | Druhy sond . . . . .  | 167        |
| 5.2       | Sondy piezoelektrické . . . . .                                   | 168        |
| 5.2.1     | Přímé sondy . . . . .   | 168        |
| 5.2.2     | Úhlové sondy . . . . .  | 177        |
| 5.2.3     | Speciální sondy . . . . .   | 181        |
| 5.3       | Sondy magnetostrikční . . . . .                                   | 182        |
| 5.4       | Sondy bezkontaktní . . . . .                                      | 184        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| <b>6.</b> | <b>Cejchování a kontrola přístrojů a sond . . . . .</b> | <b>186</b> |
| 6.1       | Měrky a cejchovací zařízení . . . . .                   | 186        |
| 6.2       | Způsoby cejchování . . . . .                            | 191        |
| <b>7.</b> | <b>Měření rychlosti šíření ultrazvuku . . . . .</b>     | <b>204</b> |
| 7.1       | Měření při spojitém vysílání . . . . .                  | 204        |
| 7.1.1     | Interferometrická měření . . . . .                      | 204        |
| 7.1.2     | Fázová měření. . . . .                                  | 206        |
| 7.2       | Impulsová měření . . . . .                              | 207        |
| 7.2.1     | Měření impulsovými defektoskopy . . . . .               | 207        |
| 7.2.2     | Měření interferometrem. . . . .                         | 208        |
| 7.2.3     | Metoda elektroakustické smyčky. . . . .                 | 212        |
| 7.2.4     | Číslicové měření rychlosti šíření . . . . .             | 216        |
| <b>8.</b> | <b>Impulsové měření útlumu . . . . .</b>                | <b>220</b> |
| 8.1       | Způsoby měření . . . . .                                | 220        |
| 8.2       | Odrazová metoda . . . . .                               | 223        |
| 8.2.1     | Vazba kontaktní. . . . .                                | 223        |
| 8.2.2     | Vazba přes předsádku . . . . .                          | 226        |
| 8.3       | Průchodová metoda . . . . .                             | 228        |
| 8.4       | Vyhodnocení útlumu z frekvenčního spektra . . . . .     | 229        |
| <b>9.</b> | <b>Ultrazvuková defektoskopie . . . . .</b>             | <b>231</b> |
| 9.1       | Metody a zařízení pro defektoskopii . . . . .           | 231        |
| 9.1.1     | Přehled metod. . . . .                                  | 231        |
| 9.1.2     | Impulsové přístroje pro defektoskopii. . . . .          | 233        |
| 9.1.2.1   | Impulsový defektoskop . . . . .                         | 233        |
| 9.1.2.2   | Vlastnosti impulsového defektoskopu . . . . .           | 240        |
| 9.2       | Základy zkoušení materiálu ultrazvukem . . . . .        | 244        |
| 9.2.1     | Obecné zásady . . . . .                                 | 244        |
| 9.2.2     | Akustická vazba . . . . .                               | 247        |
| 9.2.3     | Tvar předmětu. . . . .                                  | 254        |
| 9.2.4     | Poloha vad . . . . .                                    | 257        |
| 9.2.5     | Hodnocení velikosti vad . . . . .                       | 259        |
| 9.2.5.1   | Velké vady . . . . .                                    | 259        |
| 9.2.5.2   | Malé vady . . . . .                                     | 261        |
| 9.2.6     | Tvar a orientace vad . . . . .                          | 270        |
| 9.3       | Automatizace zkoušení ultrazvukem . . . . .             | 274        |
| 9.3.1     | Uspořádání automatických zařízení. . . . .              | 274        |
| 9.3.2     | Vyrovnání vlivu vzdálenosti . . . . .                   | 276        |
| 9.3.3     | Udržování stálé citlivosti . . . . .                    | 279        |
| 9.3.4     | Vyhodnocení a záznam výsledků . . . . .                 | 281        |
| 9.3.5     | Rychlost zkoušení . . . . .                             | 283        |

|            |  |            |
|------------|--|------------|
| 9.3.6      | Rušivé vlivy . . . . .   | 286        |
| 9.4        | Zkoušení kovových materiálů . . . . .                                | 286        |
| 9.4.1      | Výkovky . . . . .  | 286        |
| 9.4.2      | Zkoušení vývalků . . . . .   | 290        |
| 9.4.2.1    | Plechy . . . . .   | 290        |
| 9.4.2.2    | Tyčovina . . . . .   | 297        |
| 9.4.3      | Trubky . . . . .   | 302        |
| 9.4.4      | Odlitky . . . . .  | 307        |
| 9.4.5      | Svary . . . . .  | 310        |
| 9.4.5.1    | Tupé svary . . . . .   | 310        |
| 9.4.5.2    | Koutové a bodové svary . . . . .                                     | 321        |
| 9.4.6      | Různé díly a materiály . . . . .                                     | 323        |
| 9.5        | Zkoušení nekovových materiálů . . . . .                              | 330        |
| 9.5.1      | Porcelán . . . . .   | 330        |
| 9.5.2      | Plastické hmoty . . . . .  | 331        |
| 9.5.3      | Dřevo . . . . .  | 334        |
| 9.6        | Zkoušení betonu . . . . .  | 336        |
| 9.6.1      | Způsoby zkoušení . . . . .   | 336        |
| 9.6.2      | Přístroje pro zkoušení betonu . . . . .                              | 342        |
| 9.7        | Perspektivní metody defektoskopie . . . . .                          | 346        |
| 9.7.1      | Ultrazvuková spektrometrie . . . . .                                 | 346        |
| 9.7.2      | Akustická emise . . . . .  | 353        |
| <b>10.</b> | <b>Měření tloušťky ultrazvukem . . . . .</b>                         | <b>361</b> |
| <b>11.</b> | <b>Měření mechanických vlastností a stavů tuhých látek . . . . .</b> | <b>368</b> |
| 11.1       | Elastické konstanty . . . . .  | 368        |
| 11.2       | Mechanické napětí . . . . .  | 372        |
| 11.3       | Tvrdost . . . . .  | 374        |
| 11.4       | Mikrostrukturální stavy . . . . .                                    | 376        |
| <b>12.</b> | <b>Měření hladiny . . . . .</b>                                      | <b>377</b> |
| 12.1       | Metody měření . . . . .  | 377        |
| 12.2       | Zařízení pro měření výšky hladiny . . . . .                          | 379        |
| <b>13.</b> | <b>Analyzátory vlastností kapalin . . . . .</b>                      | <b>387</b> |
| 13.1       | Metody měření . . . . .  | 387        |
| 13.2       | Měření koncentrace . . . . .   | 388        |
| 13.3       | Měření hustoty . . . . .   | 390        |
| 13.4       | Měření viskozity . . . . .   | 393        |
| <b>14.</b> | <b>Ultrazvukové průtokoměry . . . . .</b>                            | <b>397</b> |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 14.1   | Metody měření . . . . .                                   | 397 |
| 14.2   | Průtokoměry se spojitým vysláním ultrazvuku . . . . .     | 403 |
| 14.2.1 | Fázové průtokoměry . . . . .                              | 403 |
| 14.2.2 | Zpětnovazební frekvenční průtokoměry . . . . .            | 406 |
| 14.3   | Průtokoměry impulsové. . . . .                            | 408 |
| 14.3.1 | Impulsové průtokoměry časové a fázové. . . . .            | 408 |
| 14.3.2 | Impulsové frekvenční průtokoměry . . . . .                | 411 |
| 14.4   | Dopplerovy průtokoměry . . . . .                          | 415 |
| 15.    | <b>Ultrazvuková měření v geologii . . . . .</b>           | 419 |
| 16.    | <b>Ultrazvuková diagnostika v lékařství. . . . .</b>      | 426 |
| 16.1   | Metody a zařízení pro ultrazvukovou diagnostiku . . . . . | 426 |
| 16.2   | Ultrazvuk v neurologii . . . . .                          | 430 |
| 16.3   | Ultrazvuk v oftalmologii . . . . .                        | 435 |
| 16.4   | Ultrazvuk v gynekologii a v porodnictví. . . . .          | 440 |
| 16.5   | Ultrazvuk v interním lékařství . . . . .                  | 445 |
| 16.6   | Ostatní aplikace ultrazvuku v diagnostice . . . . .       | 450 |
| 16.7   | Využití počítačů v ultrazvukové diagnostice . . . . .     | 450 |
| 17.    | <b>Různá měření ultrazvukem . . . . .</b>                 | 454 |
| 17.1   | Měření statického tlaku. . . . .                          | 454 |
| 17.2   | Měření rychlosti pohybu cílů v plynech . . . . .          | 455 |
| 17.3   | Ultrazvukový teploměr . . . . .                           | 456 |
| 17.4   | Zjišťování netěsnosti . . . . .                           | 457 |
| 17.5   | Ultrazvukové zpožďovací linky . . . . .                   | 457 |
|        | <b>Literatura. . . . .</b>                                | 460 |
|        | <b>Rejstřík . . . . .</b>                                 | 477 |