

# OBSAH

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Předmluva.....                                               | 9  |
| Část I. Modelování jednorozměrných časových řad.....         | 13 |
| 1. Modely stacionárních časových řad.....                    | 15 |
| 1.1 Stochastický proces a jeho stacionarita.....             | 15 |
| 1.1.1 Stacionarita.....                                      | 15 |
| 1.1.2 Autokorelační funkce (ACF).....                        | 17 |
| 1.1.3 Parciální autokorelační funkce (PACF).....             | 17 |
| 1.1.4 Proces bílého šumu.....                                | 19 |
| 1.1.5 Výběrová autokorelační funkce.....                     | 19 |
| 1.1.6 Výběrová parciální autokorelační funkce.....           | 20 |
| 1.2 Lineární proces.....                                     | 22 |
| 1.3 Autoregresní procesy [AR].....                           | 23 |
| 1.3.1 Autoregresní proces řádu jedna [AR(1)].....            | 23 |
| 1.3.2 Autoregresní proces řádu dva [AR(2)].....              | 27 |
| 1.3.3 Autoregresní proces řádu $p$ [AR( $p$ )].....          | 32 |
| 1.4 Procesy klouzavých průměrů.....                          | 32 |
| 1.4.1 Proces klouzavých průměrů řádu jedna [MA(1)].....      | 32 |
| 1.4.2 Proces klouzavých průměrů řádu dva [MA(2)].....        | 35 |
| 1.4.3 Proces klouzavých průměrů řádu $q$ [MA( $q$ )].....    | 39 |
| 1.5 Smíšené procesy [ARMA].....                              | 40 |
| 1.5.1 Proces ARMA(1,1).....                                  | 40 |
| 1.5.2 Proces ARMA( $p,q$ ).....                              | 44 |
| 2. Modely nestacionárních časových řad.....                  | 47 |
| 2.1 Proces náhodné procházky („Random Walk Process“ ).....   | 47 |
| 2.2 Procesy ARIMA.....                                       | 51 |
| 2.3 Transformace stabilizující rozptyl procesů.....          | 52 |
| 3. Konstrukce předpovědí na základě modelu ARIMA.....        | 55 |
| 3.1 Předpovědi s minimální střední čtvercovou chybou.....    | 55 |
| 3.2 Výpočet předpovědí.....                                  | 57 |
| 4. Výstavba modelů ARIMA.....                                | 61 |
| 4.1 Odhad parametrů modelů ARIMA.....                        | 61 |
| 4.1.1 Podmíněná metoda maximální věrohodnosti.....           | 61 |
| 4.1.2 Nepodmíněná metoda maximální věrohodnosti.....         | 62 |
| 4.1.3 Nelineární odhady.....                                 | 65 |
| 4.1.4 Metoda nejmenších čtverců.....                         | 66 |
| 4.2 Konstrukce předpovědí na základě odhadnutého modelu..... | 67 |
| 4.3 Výběr vhodné transformace.....                           | 68 |
| 4.4 Určení řádu diferencování.....                           | 71 |

|                 |                                                                                        |            |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4.1           | Subjektivní metody.....                                                                | 71         |
| 4.4.2           | Testování jednotkových kořenů.....                                                     | 73         |
| 4.5             | Určení řádu polynomů $\phi_p(B)$ a $\theta_q(B)$ .....                                 | 81         |
| 4.6             | Zařazení konstanty do modelu ARIMA.....                                                | 82         |
| 4.7             | Diagnostická kontrola modelu.....                                                      | 83         |
| 4.7.1           | Rozptyl nesystematické složky.....                                                     | 83         |
| 4.7.2           | Autokorelace nesystematické složky.....                                                | 84         |
| 4.7.3           | Normalita nesystematické složky.....                                                   | 85         |
| 4.8             | Kritéria pro volbu modelu.....                                                         | 86         |
| <b>5.</b>       | <b>Modely stacionárních a nestacionárních sezonních časových řad.....</b>              | <b>93</b>  |
| 5.1             | Sezonní stacionární procesy.....                                                       | 93         |
| 5.1.1           | Sezonní autoregresní proces řádu jedna [SAR(1)].....                                   | 93         |
| 5.1.2           | Sezonní autoregresní proces řádu $P$ [SAR( $p$ )].....                                 | 98         |
| 5.1.3           | Sezonní proces klouzavých průměrů řádu jedna [SMA(1)].....                             | 99         |
| 5.1.4           | Sezonní proces klouzavých průměrů řádu $Q$ [SMA( $Q$ )].....                           | 101        |
| 5.1.5           | Směšené sezonní a nesezonní procesy.....                                               | 101        |
| 5.2             | Sezonní nestacionární procesy.....                                                     | 104        |
| 5.2.1           | Sezonní integrované procesy.....                                                       | 104        |
| 5.2.2           | Sezonní integrované procesy typu SARIMA.....                                           | 107        |
| 5.3             | Výstavba modelů SARIMA.....                                                            | 107        |
| 5.3.1           | Testování jednotkových kořenů.....                                                     | 107        |
| 5.3.2           | Ostatní fáze výstavby sezonních modelů a jejich využití<br>pro výpočet předpovědí..... | 110        |
| <b>6.</b>       | <b>Vybrané problémy modelování jednorozměrných<br/>ekonomických časových řad.....</b>  | <b>117</b> |
| 6.1             | Procesy typu TS (trendově stacionární) a DS (diferenčně stacionární).....              | 117        |
| 6.2             | Modely s dlouhou pamětí a frakcionální diferencování.....                              | 119        |
| 6.3             | Index determinace $R^2$ v modelech ARIMA.....                                          | 120        |
| <b>Část II.</b> | <b>MODELOVÁNÍ VÍCEROZMĚRNÝCH ČASOVÝCH ŘAD.....</b>                                     | <b>123</b> |
| <b>7.</b>       | <b>Modely vícerozměrných stacionárních časových řad.....</b>                           | <b>125</b> |
| 7.1             | Vektorový stochastický proces.....                                                     | 125        |
| 7.1.1           | Stacionarita.....                                                                      | 125        |
| 7.1.2           | Autokorelační maticová funkce.....                                                     | 126        |
| 7.1.3           | Parciální autoregresní maticová funkce.....                                            | 127        |
| 7.1.4           | Vícerozměrný proces bílého šumu.....                                                   | 128        |
| 7.1.5           | Výběrová autokorelační maticová funkce.....                                            | 129        |
| 7.1.6           | Výběrová parciální autoregresní maticová funkce.....                                   | 130        |
| 7.2             | Vícerozměrný lineární proces.....                                                      | 131        |
| 7.3             | Vektorové autoregresní procesy.....                                                    | 132        |
| 7.3.1           | Vektorový autoregresní proces řádu jedna [VAR(1)].....                                 | 132        |
| 7.3.2           | Vektorový autoregresní proces řádu $p$ [VAR( $p$ )].....                               | 133        |

|            |                                                                                |            |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.4        | Vektorové procesy klouzavých průměrů.....                                      | 134        |
| 7.4.1      | Vektorový proces klouzavých průměrů řádu jedna [VMA(1)].....                   | 134        |
| 7.4.2      | Vektorový proces klouzavých průměrů řádu $q$ [VMA( $q$ )].....                 | 135        |
| 7.5        | Smíšené vektorové procesy.....                                                 | 136        |
| 7.5.1      | Proces VARMA(1,1).....                                                         | 136        |
| 7.5.2      | Proces VARMA( $p,q$ ).....                                                     | 136        |
| 7.6        | Problém identifikace.....                                                      | 137        |
| 7.6.1      | Standardní forma reprezentace VARMA.....                                       | 137        |
| 7.6.2      | Problém identifikace standardní formy reprezentace VARMA.....                  | 138        |
| <b>8.</b>  | <b>Konstrukce předpovědi na základě modelu VARMA.....</b>                      | <b>141</b> |
| 8.1        | Předpovědi s minimální střední čtvercovou chybou.....                          | 141        |
| 8.2        | Výpočet předpovědi.....                                                        | 142        |
| <b>9.</b>  | <b>Kauzalita v časových řadách a analýza „impuls-reakce“ (I-R).....</b>        | <b>145</b> |
| 9.1        | Definice Grangerovy kauzality.....                                             | 145        |
| 9.2        | Grangerova kauzalita a model VAR.....                                          | 146        |
| 9.3        | Problémy spjaté s kauzalitou v Grangerově smyslu.....                          | 150        |
| 9.4        | Analýza „impuls-reakce“ (I-R).....                                             | 151        |
| 9.5        | Problémy spjaté s analýzou „impuls-reakce“.....                                | 156        |
| <b>10.</b> | <b>Systémy dynamických simultánních rovnic (SDSR).....</b>                     | <b>157</b> |
| 10.1       | Endogenita, striktní exogenita a predeterminovanost v modelu časových řad..... | 157        |
| 10.2       | Strukturní, redukovaný a konečný tvar.....                                     | 159        |
| 10.3       | Modely s racionálními očekáváními.....                                         | 162        |
| 10.4       | Exogenita slabá, silná a super.....                                            | 164        |
| 10.4.1     | Slabá exogenita.....                                                           | 165        |
| 10.4.2     | Silná exogenita.....                                                           | 171        |
| 10.4.3     | Super exogenita.....                                                           | 172        |
| 10.5       | Konstrukce předpovědi.....                                                     | 174        |
| <b>11.</b> | <b>Výstavba modelů VAR, VARMA a SDR; testování kauzality a exogenity.....</b>  | <b>179</b> |
| 11.1       | Odhady parametrů modelu VAR.....                                               | 179        |
| 11.1.1     | Odhady parametrů modelu VAR bez lineárních omezení.....                        | 179        |
| 11.1.2     | Odhady parametrů modelu VAR s lineárními omezeními.....                        | 183        |
| 11.2       | Určení řádu modelu VAR.....                                                    | 185        |
| 11.2.1     | Výběrová parciální autoregresivní maticová funkce.....                         | 186        |
| 11.2.2     | Test věrohodnostním poměrem.....                                               | 186        |
| 11.2.3     | Waldův test.....                                                               | 188        |
| 11.2.4     | Testovací schéma pro určení řádu modelu VAR.....                               | 190        |
| 11.3       | Diagnostická kontrola modelu VAR.....                                          | 194        |
| 11.3.1     | Autokorelace nesystematické složky.....                                        | 194        |
| 11.3.2     | Normalita nesystematické složky.....                                           | 196        |
| 11.4       | Kritéria pro volbu modelu.....                                                 | 197        |
| 11.5       | Testování Grangerovy kauzality.....                                            | 203        |
| 11.6       | Odhady parametrů modelů VARMA.....                                             | 209        |

|            |                                                                                                    |            |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.7       | Určení řádu a diagnostická kontrola modelu VARMA .....                                             | 210        |
| 11.7.1     | Určení řádu modelu VARMA .....                                                                     | 210        |
| 11.7.2     | Diagnostická kontrola modelu VARMA.....                                                            | 211        |
| 11.8       | Testování exogenity .....                                                                          | 211        |
| 11.8.1     | Testování slabé exogenity .....                                                                    | 211        |
| 11.8.2     | Testování silné exogenity .....                                                                    | 213        |
| 11.8.3     | Testování super exogenity.....                                                                     | 213        |
| 11.9       | Odhady parametrů systému dynamických simultánních rovnic.....                                      | 214        |
| 11.9.1     | Odhady parametrů redukováného tvaru .....                                                          | 214        |
| 11.9.2     | Odhady parametrů strukturního tvaru .....                                                          | 216        |
| 11.10      | Specifikace a diagnostická kontrola systému dynamických<br>simultánních rovnic .....               | 218        |
| 11.10.1    | Autokorelace nesystematické složky .....                                                           | 219        |
| 11.10.2    | Heteroskedasticita.....                                                                            | 223        |
| 11.10.3    | Funkční forma a strukturní zlomy .....                                                             | 227        |
| 11.10.4    | Normalita.....                                                                                     | 232        |
| 11.11      | Konstrukce předpovědí na základě modelů s odhadnutými parametry .....                              | 232        |
| <b>12.</b> | <b>Modely vícerozměrných nestacionárních časových řad.....</b>                                     | <b>241</b> |
| 12.1       | Kointegrované procesy.....                                                                         | 241        |
| 12.2       | Kointegrace v procesu VAR.....                                                                     | 244        |
| 12.3       | Konstrukce předpovědí v integrovaných a kointegrovaných systémech.....                             | 250        |
| 12.4       | Grangerova kauzalita a analýza „impuls-reakce“ v integrovaných<br>a kointegrovaných systémech..... | 251        |
| 12.4.1     | Grangerova kauzalita.....                                                                          | 251        |
| 12.4.2     | Analýza „impuls-reakce“ .....                                                                      | 252        |
| 12.5       | Slabá a silná exogenita v kointegrovaném systému .....                                             | 253        |
| 12.6       | Kointegrace v jednorovnicových modelech .....                                                      | 255        |
| <b>13.</b> | <b>Výstavba modelů EC.....</b>                                                                     | <b>259</b> |
| 13.1       | Odhady parametrů modelu EC .....                                                                   | 259        |
| 13.1.1     | Odhady parametrů základního modelu.....                                                            | 259        |
| 13.1.2     | Odhady parametrů $\gamma$ a $\beta$ při platnosti hypotézy $\Pi = \gamma\beta'$ .....              | 260        |
| 13.2       | Testování řádu kointegrace .....                                                                   | 261        |
| 13.3       | Testy hypotéz o parametrech $\beta$ , $\gamma$ a deterministické složce.....                       | 262        |
| 13.3.1     | Testování hypotéz o parametrech $\beta$ .....                                                      | 262        |
| 13.3.2     | Testování hypotéz o parametrech $\gamma$ .....                                                     | 266        |
| 13.3.3     | Smíšené testy hypotéz .....                                                                        | 267        |
| 13.3.4     | Testy hypotéz o deterministické složce .....                                                       | 268        |
| 13.4       | Identifikující omezení dlouhodobých vztahů .....                                                   | 271        |
| 13.5       | Testy kointegrace a odhady parametrů v jednorovnicových modelech.....                              | 282        |
|            | <b>Literatura.....</b>                                                                             | <b>287</b> |
|            | <b>Příloha .....</b>                                                                               | <b>297</b> |
|            | <b>Rejstřík.....</b>                                                                               | <b>303</b> |