

## SPIS TREŚCI

### WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SYMBOLI GRAFICZNYCH ELEMENTÓW PNEUMATYCZNYCH I ELEKTROPNEUMATYCZNYCH UŻYTYCH W PODRĘCZNIKU .....

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SYMBOLI GRAFICZNYCH ELEMENTÓW<br>PNEUMATYCZNYCH I ELEKTROPNEUMATYCZNYCH UŻYTYCH<br>W PODRĘCZNIKU ..... | 11 |
| 1. WPROWADZENIE .....                                                                                                     | 15 |
| 1.1. Uwagi ogólne.....                                                                                                    | 15 |
| 1.2. Podstawy teoretyczne – Program FluidStudio-P .....                                                                   | 27 |
| 1.2.1. Wprowadzenie do programu FluidStudio-P .....                                                                       | 27 |
| 1.2.2. Przykłady użytkowania programu FluidStudio-P w części „Info” .....                                                 | 31 |
| 1.2.3. Przykłady stosowania programu FluidStudio-P w części „Course” .....                                                | 39 |
| 2. ELEMENTY PNEUMATYCZNYCH UKŁADÓW STEROWANIA.....                                                                        | 58 |
| 2.1. Układ przygotowania powietrza.....                                                                                   | 60 |
| 2.2. Pneumatyczne elementy wykonawcze .....                                                                               | 61 |
| 2.2.1. Siłownik jednostronnego działania.....                                                                             | 61 |
| 2.2.2. Siłownik dwustronnego działania.....                                                                               | 62 |
| 2.3. Elementy sterujące przepływem i ciśnieniem powietrza.....                                                            | 63 |
| 2.3.1. Zawory rozdzielające.....                                                                                          | 63 |
| 2.3.2. Zawór zwrotny.....                                                                                                 | 67 |
| 2.3.3. Przełącznik obiegu.....                                                                                            | 67 |
| 2.3.4. Zawór zwrotno-dławiący.....                                                                                        | 68 |
| 2.3.5. Zawór szybkiego spustu .....                                                                                       | 70 |
| 2.3.6. Zawór koniunkcji.....                                                                                              | 71 |
| 2.3.7. Zawór progowy .....                                                                                                | 73 |
| 2.3.8. Zawór opóźniający .....                                                                                            | 73 |
| 2.3.9. Zawór zbliżeniowy pneumatyczny .....                                                                               | 74 |
| 2.3.10. Zawór podciśnienia. ....                                                                                          | 75 |
| 2.3.11. Manometr .....                                                                                                    | 75 |
| 3. ELEMENTY ELEKTROPNEUMATYCZNYCH UKŁADÓW STEROWANIA .....                                                                | 77 |
| 3.1. Zasilacz elektryczny .....                                                                                           | 77 |
| 3.2. Czujniki zbliżeniowe .....                                                                                           | 78 |
| 3.2.1. Indukcyjny czujnik zbliżeniowy.....                                                                                | 79 |
| 3.2.2. Pojemnościowy czujnik zbliżeniowy .....                                                                            | 79 |

|                                                                                                                                                       |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.3. Optyczny czujnik zbliżeniowy .....                                                                                                             | 80        |
| 3.3. Zestawy przekaźników elektrycznych.....                                                                                                          | 81        |
| 3.3.1. Przekaźniki zwykłe.....                                                                                                                        | 81        |
| 3.3.2. Przekaźniki czasowe.....                                                                                                                       | 82        |
| 3.4. Urządzenie do łączenia sygnałów wejściowych.....                                                                                                 | 84        |
| 3.5. Wskaźnik połączeń.....                                                                                                                           | 85        |
| 3.6. Elektryczny łącznik krańcowy .....                                                                                                               | 87        |
| 3.7. Zawory elektropneumatyczne.....                                                                                                                  | 87        |
| 3.8. Przetwornik pneumoelektryczny .....                                                                                                              | 89        |
| 3.9. Indukcyjny łącznik zbliżeniowy.....                                                                                                              | 89        |
| <b>4. PRZYKŁADY SYNTEZY PROSTYCH UKŁADÓW STEROWANIA<br/>Z ZASTOSOWANIEM ELEMENTÓW PNEUMATYCZNYCH,<br/>ELEKTRYCZNYCH I ELEKTROPNEUMATYCZNYCH .....</b> | <b>92</b> |
| 4.1. Sterowanie ruchem siłowników jednostronnego i dwustronnego działania<br>z zastosowaniem wyłącznie elementów pneumatycznych.....                  | 92        |
| 4.2. Sterowanie ruchem siłowników jednostronnego i dwustronnego działania<br>z zastosowaniem układów elektropneumatycznych.....                       | 94        |
| 4.2.1. Bezpośrednie sterowanie elektropneumatyczne ruchem siłownika<br>jednostronnego działania .....                                                 | 95        |
| 4.2.2. Pośrednie sterowanie elektropneumatyczne ruchem siłownika<br>jednostronnego działania .....                                                    | 96        |
| 4.2.3. Bezpośrednie sterowanie elektropneumatyczne ruchem siłownika<br>dwustronnego działania .....                                                   | 97        |
| 4.2.4. Pośrednie sterowanie elektropneumatyczne ruchem siłownika<br>dwustronnego działania .....                                                      | 98        |
| 4.3. Funkcje logiczne.....                                                                                                                            | 99        |
| 4.3.1. Realizacja sterowania elektropneumatycznego z zastosowaniem funkcji<br>logicznej „lub” .....                                                   | 99        |
| 4.3.2. Realizacja sterowania elektropneumatycznego z zastosowaniem funkcji<br>logicznej „i” .....                                                     | 100       |
| 4.4. Ustawianie zwłoki czasowej.....                                                                                                                  | 101       |
| 4.4.1. Sterowanie ruchem siłownika z zastosowaniem ustawienia<br>zwłoki czasowej.....                                                                 | 101       |
| 4.4.2. Sterowanie przekaźnikowe z podtrzymaniem .....                                                                                                 | 103       |
| 4.5. Pamiętanie sygnału – zawór impulsowy .....                                                                                                       | 104       |
| 4.5.1. Ręczne sterowanie wysuwaniem i wsuwaniem siłownika za pomocą zaworu<br>elektropneumatycznego impulsowego .....                                 | 104       |
| 4.5.2. Realizacja ruchu oscylacyjnego siłownika przy wykorzystaniu zaworu<br>elektropneumatycznego impulsowego .....                                  | 105       |

|                                                                                                                                                                                                        |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5. PROGRAM FluidSIM-P JAKO NARZĘDZIE KOMPUTEROWEGO WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA I BADANIA PNEUMATYCZNYCH I ELEKTROPNEUMATYCZNYCH UKŁADÓW STEROWANIA.....</b>                                           | <b>107</b> |
| 5.1. Opis programu FluidSIM-P.....                                                                                                                                                                     | 108        |
| 5.1.1. Grupa komend menu File.....                                                                                                                                                                     | 110        |
| 5.1.2. Grupa komend menu Edit.....                                                                                                                                                                     | 115        |
| 5.1.3. Grupa komend menu Execute.....                                                                                                                                                                  | 119        |
| 5.1.4. Grupa komend menu Library.....                                                                                                                                                                  | 120        |
| 5.1.5. Grupa komend menu Insert.....                                                                                                                                                                   | 124        |
| 5.1.6. Grupa komend menu Didactics.....                                                                                                                                                                | 125        |
| 5.1.7. Grupa komend menu Project.....                                                                                                                                                                  | 127        |
| 5.1.8. Grupa komend menu View.....                                                                                                                                                                     | 129        |
| 5.1.9. Grupa komend menu Options.....                                                                                                                                                                  | 133        |
| 5.1.10. Grupa komend menu Window.....                                                                                                                                                                  | 136        |
| 5.1.11. Grupa komend menu elementów pomocy „?” programu FluidSIM-P.....                                                                                                                                | 136        |
| 5.2. Tworzenie wirtualnych postaci układów sterowania.....                                                                                                                                             | 137        |
| 5.2.1. Tworzenie wirtualnych postaci układów sterowania z zastosowaniem elementów pneumatyki.....                                                                                                      | 137        |
| 5.2.2. Tworzenie wirtualnych postaci układów sterowania z zastosowaniem elementów elektropneumatyki.....                                                                                               | 147        |
| <b>6. PRZYKŁADY PRAKTYCZNYCH ZADAŃ DO WYKONANIA W RAMACH SYNTEZY, SYMULACJI, BUDOWY I BADANIA PNEUMATYCZNYCH I ELEKTROPNEUMATYCZNYCH UKŁADÓW STEROWANIA. ....</b>                                      | <b>152</b> |
| 6.1. Pneumatyczne sterowanie wysuwem siłownika jednostronnego działania za pomocą zaworu rozdzielającego trójdrogowego dwupołożeniowego (3/2) z przyciskiem.....                                       | 153        |
| 6.2. Pneumatyczne sterowanie zmianą położenia tłoczyska siłownika dwustronnego działania za pomocą zaworów rozdzielających trójdrogowych dwupołożeniowych (3/2) z przyciskiem oraz przełącznikiem..... | 156        |
| 6.3. Pneumatyczne sterowanie wysuwaniem siłownika jednostronnego działania za pomocą 2 zaworów 3/2 z przyciskiem.....                                                                                  | 159        |
| 6.4. Pneumatyczne sterowanie ruchem łyżki odlewniczej w urządzeniu do zalewania form odlewniczych.....                                                                                                 | 163        |
| 6.5. Pneumatyczne sterowanie wolnym ruchem części segmentu transportera.....                                                                                                                           | 166        |
| 6.6. Pneumatyczne sterowanie wysuwaniem elementów z magazynu opadowego.....                                                                                                                            | 170        |
| 6.6.1. Realizacja zadania przy założeniu możliwości sterowania urządzeniem tylko z jednego stanowiska obsługi.....                                                                                     | 170        |
| 6.6.2. Realizacja zadania przy założeniu możliwości alternatywnego sterowania urządzeniem z dwóch stanowisk obsługi.....                                                                               | 175        |
| 6.6.3. Realizacja zadania przy założeniu możliwości alternatywnego sterowania urządzeniem z czterech stanowisk obsługi.....                                                                            | 178        |
| 6.7. Pneumatyczne sterowanie urządzeniem do montażu elementów za pomocą połączenia wciskowego.....                                                                                                     | 181        |

|                                                                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.8. Pneumatyczne sterowanie urządzeniem do wykrawania otworów .....                                                           | 186        |
| 6.9. Pneumatyczne sterowanie urządzeniem do rozdzielania elementów walcowych.....                                              | 189        |
| 6.10. Pneumatyczne sterowanie urządzeniem do zanurzeniowego<br>malowania elementów.....                                        | 194        |
| 6.11. Pneumatyczne sterowanie ruchem siłownika dwustronnego działania<br>z żądanym lub awaryjnym powrotem .....                | 197        |
| 6.12. Pneumatyczne sterowanie sekwencją ruchów, według założonego<br>diagramu krokowego, urządzenia do tłoczenia oznaczeń..... | 200        |
| 6.13. Pneumatyczne sterowanie, według założonego diagramu krokowego,<br>sekwencją ruchów urządzenia do przesuwania paczek..... | 205        |
| 6.14. Pneumatyczne sterowanie prasą pneumatyczną.....                                                                          | 208        |
| 6.15. Elektropneumatyczne sterowanie ruchem sortownicy .....                                                                   | 212        |
| 6.16. Elektropneumatyczne sterowanie otwieraniem zaworu rurociągu.....                                                         | 215        |
| 6.17. Elektropneumatyczne sterowanie ruchem segmentu transportera.....                                                         | 217        |
| 6.18. Elektropneumatyczne sterowanie ruchem noża gilotyny .....                                                                | 220        |
| 6.19. Elektropneumatyczne sterowanie ruchem kłapy zbiornika .....                                                              | 222        |
| 6.20. Elektropneumatyczne sterowanie ruchem wykrojnika.....                                                                    | 225        |
| 6.21. Elektropneumatyczne sterowanie ruchem szczęki imadła .....                                                               | 228        |
| 6.22. Elektropneumatyczne sterowanie ruchem stołu szlifierki taśmowej.....                                                     | 231        |
| 6.23. Elektropneumatyczne sterowanie ruchem dystrybutora elementów .....                                                       | 233        |
| 6.24. Elektropneumatyczne sterowanie ruchem prasy.....                                                                         | 237        |
| 6.25. Elektropneumatyczne sterowanie urządzeniem do sklejanie elementów .....                                                  | 239        |
| 6.26. Elektropneumatyczne sterowanie linią produkcyjną.....                                                                    | 243        |
| 6.27. Elektropneumatyczne sterowanie ruchem zwrotnicy przenośnika.....                                                         | 246        |
| 6.28. Elektropneumatyczne sterowanie ruchem wylączarki .....                                                                   | 250        |
| 6.29. Elektropneumatyczne sterowanie urządzeniem do przesuwania paczek .....                                                   | 253        |
| 6.30. Elektropneumatyczne sterowanie urządzeniem do zanurzeniowego malowania<br>elementów.....                                 | 257        |
| <b>7. WPROWADZENIE DO ZAGADNIENI STEROWANIA Z ZASTOSOWANIEM<br/>STEROWNIKÓW PROGRAMOWALNYCH PLC.....</b>                       | <b>261</b> |
| 7.1. Podstawowe pojęcia związane z zastosowaniami układów sterowania .....                                                     | 261        |
| 7.2. Programowalne sterowniki logiczne (PLC).....                                                                              | 263        |
| 7.2.1. Główne zadania sterowników PLC .....                                                                                    | 268        |
| 7.2.1.1. Kontrola i sterowanie przebiegiem procesu .....                                                                       | 268        |
| 7.2.1.2. Kontrola obiektów .....                                                                                               | 269        |
| 7.2.1.3. Sterowanie dopasowujące obrabiarek.....                                                                               | 270        |
| 7.2.2. Elementy składowe PLC .....                                                                                             | 271        |
| 7.2.2.1. Sprzęt (hardware) .....                                                                                               | 273        |
| 7.2.2.2. Oprogramowanie (software).....                                                                                        | 274        |
| 7.2.2.3. Elementy wejściowe .....                                                                                              | 276        |
| 7.2.2.4. Elementy wyjściowe.....                                                                                               | 277        |

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.2.2.5. Interfejs programisty .....                                                               | 278 |
| 7.3. Budowa sterowników PLC .....                                                                  | 279 |
| 7.3.1. Przerzutniki sterowników PLC .....                                                          | 280 |
| 7.3.2. Jednostka centralna sterownika PLC .....                                                    | 285 |
| 7.3.3. Pamięć sterowników PLC .....                                                                | 287 |
| 7.3.4. Moduły wejścia/wyjścia sterowników PLC .....                                                | 289 |
| 7.3.4.1. Moduły wejść dyskretnych .....                                                            | 291 |
| 7.3.4.2. Moduły wyjść dyskretnych .....                                                            | 292 |
| 7.3.4.3. Moduły wejść analogowych .....                                                            | 293 |
| 7.3.4.4. Moduły wyjść analogowych .....                                                            | 296 |
| 7.4. Komunikacja sterownika PLC z otoczeniem .....                                                 | 296 |
| 7.4.1. Sygnały .....                                                                               | 297 |
| 7.4.1.1. Sygnały analogowe .....                                                                   | 298 |
| 7.4.1.2. Sygnały cyfrowe .....                                                                     | 299 |
| 7.4.1.3. Sygnały binarne .....                                                                     | 300 |
| 7.4.2. Operacje logiczne na sygnałach .....                                                        | 302 |
| 7.4.2.1. Funkcja OR<br>(„lub”, alternatywa, suma logiczna Boole’a) .....                           | 303 |
| 7.4.2.2. Funkcja AND<br>(„i”, koniunkcja, iloczyn logiczny Boole’a) .....                          | 304 |
| 7.4.2.3. Funkcja NOT<br>(„nie”, inwersja, negacja logiczna Boole’a) .....                          | 305 |
| 7.4.3. Tożsamości logiczne .....                                                                   | 306 |
| 7.4.4. Minimalizacja funkcji logicznych .....                                                      | 307 |
| 7.4.4.1. Mapy Karnaugh .....                                                                       | 308 |
| 7.5. Przykłady rzeczywistych struktur technologicznych nadzorowanych<br>przez sterowniki PLC ..... | 312 |
| 7.5.1. Instalacja do trawienia elementów skrzyni biegów .....                                      | 314 |
| 7.5.2. System monitoringu i sterowania przepływem ciepła .....                                     | 315 |
| 7.5.3. Automatyzacja procesów pozyskiwania i przesyłania wody pitnej .....                         | 317 |
| 7.6. Oprogramowanie STEP 7 .....                                                                   | 319 |
| 7.6.1. Tworzenie projektów w programie STEP 7 .....                                                | 322 |
| 7.6.2. Podstawy współpracy z programem STEP 7 .....                                                | 323 |
| 7.6.3. Tworzenie projektu za pomocą modułu SIMATIC Manager .....                                   | 324 |
| 7.6.4. Sposoby adresowania wejść i wyjść .....                                                     | 327 |
| 7.7. Tworzenie programu sterującego dla sterownika Simatic .....                                   | 331 |
| 7.7.1. Zasady programowania sterowników PLC w edytorze programu STEP 7 .....                       | 333 |
| 7.7.1.1. Opis najczęściej używanych elementów języka LD .....                                      | 335 |
| 7.7.1.2. Program w języku LD .....                                                                 | 341 |
| 7.7.2. Przesyłanie programu do sterownika i usuwanie błędów .....                                  | 345 |

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.7.2.1. Tworzenie połączenia i ładowanie programu.....                                  | 345 |
| 7.7.2.2. Testowanie programu .....                                                       | 348 |
| 7.8. Przykłady zastosowania sterownika PLC do sterowania układami elektropneumatyki..... | 349 |
| 7.8.1. Sterowanie logiczne ruchem sortownicy.....                                        | 350 |
| 7.8.2. Sterowanie logiczne zaworem rurociągu.....                                        | 351 |
| 7.8.3. Sterowanie logiczne ruchem segmentu transportera.....                             | 352 |
| 7.8.4. Sterowanie logiczne ruchem noża gilotyny.....                                     | 354 |
| 7.8.5. Sterowanie logiczne ruchem kłapy zbiornika.....                                   | 355 |
| 7.8.6. Sterowanie logiczne ruchem wykrojnika .....                                       | 357 |
| 7.8.7. Sterowanie logiczne ruchem szczęki imadła.....                                    | 359 |
| 7.8.8. Sterowanie logiczne ruchem stołu szlifierki taśmowej .....                        | 361 |
| 7.8.9. Sterowanie logiczne ruchem dystrybutora elementów.....                            | 364 |
| 7.8.10. Sterowanie logiczne ruchem prasy .....                                           | 368 |
| 7.8.11. Sterowanie logiczne urządzeniem do klejenia elementów.....                       | 371 |
| 7.8.12. Sterowanie logiczne linią produkcyjną .....                                      | 376 |
| 7.8.13. Sterowanie logiczne ruchem zwrotnicy przenośnika.....                            | 378 |
| 7.8.14. Sterowanie logiczne ruchem wylączarki.....                                       | 380 |
| 7.8.15. Sterowanie logiczne urządzeniem do przesuwania paczek.....                       | 383 |
| 7.8.16. Sterowanie logiczne procesem zanurzeniowego malowania elementów .....            | 387 |
| 8. MODUŁOWY SYSTEM PRODUKCYJNY.....                                                      | 392 |
| 8.1. Opis modułowego systemu produkcyjnego.....                                          | 392 |
| 8.1.1. Moduł dystrybucji .....                                                           | 394 |
| 8.1.1.1. Magazyn opadowy.....                                                            | 398 |
| 8.1.1.2. Manipulator .....                                                               | 399 |
| 8.1.2. Moduł kontroli.....                                                               | 402 |
| 8.1.3. Moduł obróbki.....                                                                | 406 |
| 8.1.3.1. Zespół stołu obrotowego .....                                                   | 410 |
| 8.1.4. Moduł przenoszenia.....                                                           | 412 |
| 8.1.5. Moduł sortowania.....                                                             | 417 |
| 8.2. Tok postępowania przy konfigurowaniu modułowego systemu produkcyjnego .....         | 420 |
| 8.3. Sterowanie działaniem układu.....                                                   | 422 |
| 8.3.1. Budowa układu sterowania .....                                                    | 422 |
| 8.3.2. Komunikacja pomiędzy modułami .....                                               | 427 |
| 8.3.3. Układy połączeń modułów systemu produkcyjnego.....                                | 430 |
| 8.3.3.1. Połączenia modułu dystrybucji.....                                              | 431 |
| 8.3.3.2. Połączenia modułu kontroli.....                                                 | 432 |
| 8.3.3.3. Połączenia modułu obróbki .....                                                 | 433 |
| 8.3.3.4. Połączenia modułu przenoszenia.....                                             | 434 |

|                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.3.3.5. Połączenia modułu sortowania .....                                                                                                                              | 435 |
| 8.4. Obsługa stanowiska modułowego systemu produkcyjnego .....                                                                                                           | 436 |
| 8.4.1. Uruchamianie stanowiska modułowego systemu produkcyjnego .....                                                                                                    | 436 |
| 8.4.2. Opis działania przycisków funkcyjnych .....                                                                                                                       | 438 |
| 8.4.3. Postępowanie w stanach awaryjnych .....                                                                                                                           | 440 |
| 8.5. Program COSIVIS jako narzędzie komputerowego wspomaganie badania<br>pneumatycznych i elektropneumatycznych układów sterowania<br>zastosowanych w modułach MPS ..... | 441 |
| 8.5.1. Opis programu COSIVIS. ....                                                                                                                                       | 441 |
| 8.5.1.1. Grupa komend menu File .....                                                                                                                                    | 443 |
| 8.5.1.2. Grupa komend menu Edit .....                                                                                                                                    | 445 |
| 8.5.1.3. Grupa komend menu View .....                                                                                                                                    | 445 |
| 8.5.1.4. Grupa komend menu Execute .....                                                                                                                                 | 448 |
| 8.5.1.5. Grupa komend menu Window .....                                                                                                                                  | 451 |
| 8.5.1.6. Grupa komend menu Help .....                                                                                                                                    | 452 |
| 8.5.2. Moduł magazynu opadowego należący do modułu dystrybucji .....                                                                                                     | 452 |
| 8.5.3. Moduł transportowy należący do modułu dystrybucji .....                                                                                                           | 458 |
| 8.5.4. Moduł kontroli .....                                                                                                                                              | 464 |
| 8.5.5. Moduł zespołu stołu obrotowego należący do modułu obróbki .....                                                                                                   | 469 |
| 8.5.6. Moduł wiercenia i kontroli należący do modułu obróbki .....                                                                                                       | 473 |
| 8.5.7. Moduł przenoszenia .....                                                                                                                                          | 479 |
| 8.5.8. Moduł sortowania .....                                                                                                                                            | 484 |
| 8.6. Programowanie sterowników PLC sterujących modułowym systemem<br>produkcyjnym .....                                                                                  | 489 |
| 8.6.1. Program sterujący działaniem modułu dystrybucji .....                                                                                                             | 489 |
| BIBLIOGRAFIA .....                                                                                                                                                       | 514 |