

# SPIS TREŚCI

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>WSTĘP</b> .....                                                                     | 9  |
| <b>1. WPROWADZENIE DO TEMATYKI</b> .....                                               | 13 |
| 1.1. Informacje wstępne .....                                                          | 13 |
| 1.2. Podstawowe cechy IoT .....                                                        | 13 |
| 1.3. Podstawowe obszary wykorzystania IoT .....                                        | 18 |
| 1.4. Stan rozwoju IoT .....                                                            | 24 |
| 1.5. Zalety i wady IoT .....                                                           | 29 |
| 1.6. Badania i rozwój IoT .....                                                        | 32 |
| 1.7. Przyszłe obszary zastosowania IoT .....                                           | 34 |
| 1.8. Konkluzje odnośnie do wprowadzenia do tematyki .....                              | 35 |
| <b>2. ARCHITEKTURA I PRZETWARZANIE DANYCH W INTERNECIE RZECZY</b> .....                | 36 |
| 2.1. Informacje wstępne .....                                                          | 36 |
| 2.2. Warstwowa architektura IoT oparta na protokołach .....                            | 36 |
| 2.3. Chmura obliczeniowa w systemach Internetu Rzeczy .....                            | 46 |
| 2.4. Architektura mgły obliczeniowej w systemach Internetu Rzeczy .....                | 50 |
| 2.5. Architektury oparte na przetwarzaniu brzegowym .....                              | 54 |
| 2.6. Konkluzje odnośnie do architektury i przetwarzania danych w Internecie Rzeczy ... | 58 |
| <b>3. PLATFORMY CHMURY OBLICZENIOWEJ W INTERNECIE RZECZY</b> .....                     | 59 |
| 3.1. Informacje wstępne .....                                                          | 59 |
| 3.2. Microsoft Azure IoT .....                                                         | 60 |
| 3.3. Amazon WebServices (AWS) IoT .....                                                | 61 |
| 3.4. Huawei Cloud Core Network IoT .....                                               | 63 |
| 3.5. PTC ThingWorx IoT .....                                                           | 64 |
| 3.6. IBM Watson IoT .....                                                              | 66 |
| 3.7. Google Cloud IoT Core .....                                                       | 68 |
| 3.8. Cisco Kinetic IoT .....                                                           | 69 |
| 3.9. Konkluzje odnośnie do platform chmury obliczeniowej w Internecie Rzeczy .....     | 71 |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>4. SIECI I KOMUNIKACJA W INTERNECIE RZECZY</b>                                                                               | 72  |
| 4.1. Informacje wstępne                                                                                                         | 72  |
| 4.2. Podstawowe protokoły danych                                                                                                | 72  |
| 4.3. Protokoły komunikacji bezprzewodowej w Internecie Rzeczy                                                                   | 79  |
| 4.4. Komunikacja za pomocą MQTT, AMQP i Robot Operating System                                                                  | 127 |
| 4.5. Komunikacja za pomocą platformy ROS w systemach IoT dla robotyki                                                           | 130 |
| 4.6. Konkluzje odnośnie do sieci i komunikacji w Internecie Rzeczy                                                              | 132 |
| <b>5. KOMUNIKACJA Z URZĄDZENIAMI PERYFERYJNYMI W SYSTEMACH INTERNETU RZECZY</b>                                                 | 133 |
| 5.1. Informacje wstępne                                                                                                         | 133 |
| 5.2. Standard One Wire i jego zastosowanie do budowy sieci czujników                                                            | 133 |
| 5.3. Magistrala I2C                                                                                                             | 138 |
| 5.4. Szeregowy interfejs SPI                                                                                                    | 140 |
| 5.5. Komunikacja szeregową i układ UART                                                                                         | 142 |
| 5.6. Standard RS-485 w komunikacji sieciowej                                                                                    | 144 |
| 5.7. Konkluzje odnośnie do komunikacji z urządzeniami peryferyjnymi w systemach Internetu Rzeczy                                | 146 |
| <b>6. WYBRANE SPRZĘTOWE PLATFORMY URUCHOMIENIOWE UŻYWANE W IMPLEMENTACJI ROZWIĄZAŃ INTERNETU RZECZY</b>                         | 147 |
| 6.1. Informacje wstępne                                                                                                         | 147 |
| 6.2. Platforma Raspberry Pi jako przykład komputera dla systemów IoT                                                            | 147 |
| 6.3. Arduino jako otwarty projekt dla rozwiązań IoT                                                                             | 151 |
| 6.4. Platforma Onion Omega 2 jako przykład kompletnego systemu SOC dla IoT                                                      | 154 |
| 6.5. Moduł ESP8266 jako ekonomiczna platforma do budowy rozwiązań IoT                                                           | 156 |
| 6.6. Platforma Orange Pi 2G IoT jako sposób na współpracę systemów IoT z sieciami komórkowymi                                   | 157 |
| 6.7. Platforma Intel IoT Gateway Development Kit i jej właściwości                                                              | 159 |
| 6.8. Konkluzje odnośnie do wybranych sprzętowych platform uruchomieniowych używanych w implementacji rozwiązań Internetu Rzeczy | 160 |
| <b>7. ARCHITEKTURA WYMIANY DANYCH POPRZEC SIĘĆ INTERNET DLA ROZWIĄZAŃ INTERNETU RZECZY</b>                                      | 162 |
| 7.1. Informacje wstępne                                                                                                         | 162 |
| 7.2. Przesyłanie danych za pośrednictwem usług sieciowych realizowanych w modelu REST                                           | 162 |
| 7.3. Asynchroniczne metody przesyłania danych za pomocą WebSocket                                                               | 166 |
| 7.4. Protokół MQTT w akwizycji danych pomiędzy komponentami systemu IoT                                                         | 170 |
| 7.5. Platforma OneSignal jako sposób na implementację wymiany danych pomiędzy węzłami w systemach IoT                           | 177 |
| 7.6. Komunikacja w sieciach LPWAN na przykładzie standardu LoRa                                                                 | 178 |
| 7.7. Konkluzje odnośnie do architektury wymiany danych poprzez sieć Internet dla rozwiązań Internetu Rzeczy                     | 181 |

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>8. WSPÓŁPRACA SYSTEMÓW INTERNETU RZECZY Z SYSTEMAMI WYKORZYSTUJĄCYMI ŁAŃCUCH BLOKÓW</b>                  | 182 |
| 8.1. Informacje wstępne                                                                                     | 182 |
| 8.2. Zasada działania systemów wykorzystujących rejestry rozproszone i łańcuch bloków                       | 182 |
| 8.3. Kolorowane sieci Bitcoin sposobem na przesyłanie danych w rejestrach bloków                            | 184 |
| 8.4. Ethereum jako platforma tworzenia rozproszonych aplikacji w łańcuchu bloków                            | 185 |
| 8.5. Integracja sieci IoT z platformami wykorzystującymi łańcuch bloków                                     | 193 |
| 8.6. Konkluzje odnośnie do współpracy systemów Internetu Rzeczy z systemami wykorzystującymi łańcuch bloków | 196 |
| <b>9. METODY PRZECHOWYWANIA DANYCH W SYSTEMACH INTERNETU RZECZY I APLIKACJACH MOBILNYCH</b>                 | 197 |
| 9.1. Informacje wstępne                                                                                     | 197 |
| 9.2. Relacyjny model danych w aplikacjach mobilnych i systemach IoT                                         | 198 |
| 9.3. Nierelacyjne metody składowania danych dla potrzeb systemów IoT                                        | 207 |
| 9.4. Dostawcy treści jako systemowy komponent dostępu do danych                                             | 214 |
| 9.5. Konkluzje odnośnie do metod przechowywania danych w systemach Internetu Rzeczy i aplikacjach mobilnych | 214 |
| <b>10. UKŁAD POMIAROWY ZREALIZOWANY Z WYKORZYSTANIEM MIKROKONTROLERA RASPBERRY PI</b>                       | 216 |
| 10.1. Informacje wstępne                                                                                    | 216 |
| 10.2. Budowa sprzętowego układu pomiarowego                                                                 | 216 |
| 10.3. Oprogramowanie układu pomiarowego                                                                     | 217 |
| 10.4. Odczytywanie danych z systemu za pomocą urządzeń klienckich                                           | 222 |
| 10.5. Konkluzje odnośnie do układu pomiarowego zrealizowanego z wykorzystaniem mikrokontrolera Raspberry Pi | 224 |
| <b>11. WYBRANE METODY REALIZACJI KODOWANIA INFORMACJI IDENTYFIKACYJNEJ</b>                                  | 226 |
| 11.1. Informacje wstępne                                                                                    | 226 |
| 11.2. Systemy znakowania rzeczy z wykorzystaniem reprezentacji graficznej                                   | 226 |
| 11.3. Wybrane systemy znakowania produktów działające z wykorzystaniem fal radiowych                        | 229 |
| 11.4. Konkluzje odnośnie do wybranych metod realizacji kodowania informacji identyfikacyjnej                | 231 |
| <b>12. SYSTEM TRANSPORTU WEWNĄTRZAKŁADOWEGO</b>                                                             | 232 |
| 12.1. Informacje wstępne                                                                                    | 232 |
| 12.2. Wymiana informacji w systemie IoRT                                                                    | 234 |
| 12.3. Działanie i praca robota w środowisku przemysłowym                                                    | 237 |
| 12.4. Konkluzje odnośnie do systemu transportu wewnątrzakładowego                                           | 240 |

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>13. TUL-BIKE: SYSTEM NADZOROWANIA ROWERÓW</b>                                                                                  | 241 |
| 13.1. Informacje wstępne                                                                                                          | 241 |
| 13.2. Architektura sprzętowa i działanie systemu                                                                                  | 243 |
| 13.3. Przedstawienie warstwy aplikacyjnej systemu                                                                                 | 247 |
| 13.4. Konkluzje odnośnie do TUL-Bike: systemu nadzorowania rowerów                                                                | 248 |
| <b>14. SYSTEM MONITOROWANIA CIĄGŁOŚCI DZIAŁANIA INFRASTRUKTURY PRZEMYSŁOWEJ NA PODSTAWIE OPROGRAMOWANIA BMS</b>                   | 249 |
| 14.1. Informacje wstępne                                                                                                          | 249 |
| 14.2. Moduł automatyzowania administracji systemu BMS                                                                             | 249 |
| 14.3. Konfiguracja monitorowania ciągłości działania poszczególnych komponentów systemu                                           | 250 |
| 14.4. Uruchamianie i kustomizacja systemu BMS                                                                                     | 251 |
| 14.5. Pozyskiwanie danych do systemu monitorowania ze środowiska przemysłowego                                                    | 253 |
| 14.6. Pozyskiwanie danych o ciągłości działania systemu na podstawie zewnętrznych systemów i infrastruktury IoT                   | 255 |
| 14.7. Konkluzje odnośnie do systemu monitorowania ciągłości działania infrastruktury przemysłowej na podstawie oprogramowania BMS | 257 |
| <b>KIERUNKI ROZWOJU INTERNETU RZECZY</b>                                                                                          | 259 |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>                                                                                                               | 261 |
| <b>SŁOWNIK WAŻNIEJSZYCH POJĘĆ</b>                                                                                                 | 275 |
| <b>INDEKS</b>                                                                                                                     | 279 |