

|   |    |
|---|----|
| 1. WSTĘP ( <i>Wojciech Żagan</i> ).....   | 9  |
| 2. WYTWARZANIE ŚWIATŁA PRZEZ DIODY ELEKTROLUMINESCENCYJNE ( <i>Andrzej Wiśniewski</i> ).....  | 11 |
| 2.1. Wprowadzenie.....  | 11 |
| 2.2. Zasada działania diod elektroluminescencyjnych.....  | 11 |
| 2.3. Wytwarzanie światła barwy białej.....  | 17 |
| 2.3.1. System RGB wytwarzania światła białego.....  | 17 |
| 2.3.2. Konwersja luminoforowa wytwarzania światła barwy białej.....   | 17 |
| 2.4. Literatura.....  | 19 |
| 3. ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA LED ( <i>Andrzej Wiśniewski</i> )..   | 20 |
| 3.1. Wprowadzenie.....  | 20 |
| 3.2. Pojedyncze diody elektroluminescencyjne.....   | 21 |
| 3.3. Moduły LED.....  | 22 |
| 3.4. Lampy LED – ledówki.....   | 24 |
| 3.5. Podsumowanie.....  | 28 |
| 3.6. Literatura.....  | 29 |
| 4. CHARAKTERYSTYKA FOTOMETRYCZNA, KOLORYMETRYCZNA I UŻYTKOWA<br>ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA LED ( <i>Sławomir Zalewski, Dariusz Czyżewski</i> )..... | 30 |
| 4.1. Typowe bryły fotometryczne LED-ów.....   | 30 |
| 4.1.1. Diody małych i średnich mocy z płaskim luminoforem.....  | 30 |
| 4.1.2. Diody średnich i dużych mocy z kopolką silikonową.....   | 32 |
| 4.1.3. Inne kształty pierwotnych układów optycznych.....  | 33 |
| 4.1.4. Diody barwne.....  | 35 |
| 4.2. Rozkłady luminancji na powierzchni świecącej LED-ów.....   | 36 |
| 4.2.1. Rozkłady luminancji diod białych jednochipowych.....   | 38 |
| 4.2.2. Rozkłady luminancji diod wielochipowych.....   | 42 |
| 4.2.3. Rozkłady luminancji diod barwnych.....   | 43 |
| 4.3. Rozkłady widmowe LED-ów.....   | 45 |
| 4.3.1. Rozkłady widmowe diod barwnych.....  | 45 |
| 4.3.2. Rozkłady widmowe białych LED-ów o różnych temperaturach barwowych<br>i wskaźnikach oddawania barw.....                           | 46 |
| 4.4. Zmienność barwy światła LED w funkcji kąta emisji promieniowania.....  | 48 |
| 4.5. Zmienność strumienia świetlnego LED-ów w zależności od prądu zasilania i tempera-<br>tury złącza.....                              | 49 |
| 4.6. Literatura.....  | 50 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 5.     | BADANIA LABORATORYJNE DIOD ELEKTROLUMINESCENCYJNYCH ( <i>Dariusz Czyżewski</i> )   | 52  |
| 5.1.   | Specyfikacja pomiarów laboratoryjnych LED-ów   | 52  |
| 5.2.   | Detektory promieniowania optycznego stosowane w metrologii LED-ów  | 52  |
| 5.3.   | Warunki pomiarów LED-ów  | 54  |
| 5.4.   | Pomiary fotometryczne LED-ów   | 58  |
| 5.4.1. | Pomiary strumienia świetlnego źródeł światła i opraw LED-owych   | 58  |
| 5.4.2. | Pomiary światłości źródeł i opraw LED-owych  | 62  |
| 5.4.3. | Badania przestrzennego rozkładu światłości źródeł i opraw LED-owych  | 65  |
| 5.4.4. | Badania zakresu kąтового świecenia źródeł i opraw LED-owych  | 67  |
| 5.4.5. | Pomiary luminancji źródeł światła i LED-owych opraw oświetleniowych  | 68  |
| 5.4.6. | Pomiary kolorymetryczne i spektrometryczne LED-ów  | 73  |
| 5.5.   | Literatura   | 75  |
| 6.     | WADY I ZALETY ELEKTROLUMINESCENCYJNYCH ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA NA TLE ŹRÓDEŁ KLASYCZNYCH ( <i>Andrzej Wiśniewski, Dariusz Czyżewski</i> ) | 76  |
| 6.1.   | Wprowadzenie   | 76  |
| 6.2.   | Zalety LED-ów  | 77  |
| 6.3.   | Wady LED-ów  | 82  |
| 6.4.   | Wpływ temperatury na podstawowe parametry świetlne i elektryczne   | 87  |
| 6.5.   | LED-y jako substytuty klasycznych żarówek  | 88  |
| 6.6.   | Literatura   | 91  |
| 7.     | Aplikacje LED-ów   | 93  |
| 7.1.   | Wykorzystanie oświetlenia LED we wnętrzach ( <i>Piotr Pracki</i> )   | 93  |
| 7.1.1. | Oświetlenie wnętrz i cechy wnętrzowego sprzętu oświetleniowego LED   | 93  |
| 7.1.2. | Przykłady zastosowania opraw LED do oświetlenia wnętrz   | 97  |
| 7.2.   | Źródła LED w oświetleniu ulicznym ( <i>Dariusz Czyżewski, Sławomir Zalewski</i> )  | 110 |
| 7.2.1. | Wprowadzenie   | 110 |
| 7.2.2. | Oprawy konstruowane metodą komplementacyjną  | 111 |
| 7.2.3. | Oprawy konstruowane metodą replikacyjną  | 112 |
| 7.2.4. | Oprawy konstruowane metodą mieszaną  | 114 |
| 7.2.5. | Błędy w realizacjach i eksploatacji oświetlenia drogowego  | 115 |
| 7.2.6. | Barwa światła w oświetleniu ulicznym   | 117 |
| 7.2.7. | Oślepienie przykre i przeszkadzające w oświetleniu ulicznym  | 118 |
| 7.3.   | LED-y w motoryzacji ( <i>Wojciech Żagan</i> )  | 119 |
| 7.3.1. | Przesłanki do wykorzystywania LED-ów w motoryzacji   | 119 |
| 7.3.2. | Wykorzystanie LED-ów do realizacji świateł głównych  | 120 |
| 7.3.3. | LED-y w sygnalizacji samochodowej  | 125 |
| 7.3.4. | Funkcje estetyczne i ozdobne LED-ów w motoryzacji  | 127 |
| 7.4.   | LED-y w iluminacji obiektów ( <i>Wojciech Żagan</i> )  | 128 |
| 7.4.1. | Miniaturyzacja i uelastycznienie sprzętowe   | 128 |
| 7.4.2. | Linia LED  | 129 |
| 7.4.3. | Siatki LED   | 132 |
| 7.4.4. | Markery świetlne   | 134 |
| 7.4.5. | Elastyczne sterowanie – iluminacje dynamiczne  | 135 |
| 7.4.6. | Iluminacje barwne  | 136 |
| 7.4.7. | Wady i zalety wykorzystywania LED-ów w iluminacji  | 138 |
| 7.5.   | Literatura   | 139 |

|  |     |
|--|-----|
| 8. UKŁADY ZASILANIA DIOD ELEKTROLUMINESCENCYJNYCH ( <i>Marcin Wesolowski</i> )                                   | 141 |
| 8.1. Wprowadzenie  | 141 |
| 8.2. Zasilacze o działaniu ciągłym   | 143 |
| 8.3. Zasilacze o działaniu impulsowym  | 147 |
| 8.4. Podsumowanie  | 153 |
| 8.5. Literatura  | 155 |
| 9. OSPRZĘT OŚWIETLENIOWY DEDYKOWANY LED-om ( <i>Sławomir Zalewski</i> )  | 156 |
| 9.1. Kształtowanie rozsyłu opraw z elektroluminescencyjnymi źródłami światła                                     | 156 |
| 9.2. Układy odbłyśnikowe   | 157 |
| 9.2.1. Rozwiązania opraw oświetleniowych wykorzystujących matryce LED lub diody COB oraz odbłyśnik zwierciadlany | 157 |
| 9.2.2. Oprawa oświetleniowa wykorzystująca matrycę LED oraz klosz rozpraszający oraz odbłyśnik                   | 159 |
| 9.2.3. Kształtowanie bryły fotometrycznej opraw ze źródłami LED  | 161 |
| 9.2.4. Kąt ochrony oraz ograniczenie olśnienia   | 163 |
| 9.3. Układy optyczne opraw LED z kolimatorami  | 163 |
| 9.3.1. Idea funkcjonowania kolimatora  | 163 |
| 9.3.2. Kolimator obrotowo-symetryczny  | 165 |
| 9.3.3. Kolimator liniowy   | 167 |
| 9.3.4. Kolimatory niestandardowe (specjalistyczne)   | 168 |
| 9.4. Układy mieszane – połączenie odbłyśnika i kolimatora  | 169 |
| 9.5. Układy światłowodowe  | 170 |
| 9.5.1. Idea światłowodu wielkogabarytowego   | 170 |
| 9.5.2. Wprowadzenie światła do światłowodu   | 171 |
| 9.5.3. Światłowody dyfuzyjne   | 172 |
| 9.5.4. Elementy wypromieniowujące (wyprowadzające) kierunkowo strumień świetlny                                  | 172 |
| 9.6. Literatura  | 173 |
| 10. ZAGADNIENIA TERMICZNE LED-ów ( <i>Marcin Wesolowski</i> )  | 175 |
| 10.1. Wprowadzenie   | 175 |
| 10.2. Generacja ciepła w diodach LED   | 176 |
| 10.3. Wpływ temperatury na pracę diod LED  | 181 |
| 10.4. Odprowadzanie ciepła w układach z diodami LED  | 185 |
| 10.5. Układy chłodzenia diod LED   | 191 |
| 10.6. Literatura   | 197 |