

## SPIS TREŚCI

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| SPIS WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ.....                                                                         | 7  |
| 1. WSTĘP.....                                                                                           | 11 |
| 2. WIZUALIZACJA PRZEPŁYWU CZYNNIKÓW DWUFAZOWYCH METODĄ<br>CINIOWĄ I SMUGOWĄ.....                        | 17 |
| 2.1. Podstawy teoretyczne.....                                                                          | 17 |
| 2.2. Metoda cieniowa.....                                                                               | 24 |
| 2.3. Metoda smugowa (Schlieren).....                                                                    | 26 |
| 2.3.1. Konfiguracje sytemu pomiarowego.....                                                             | 29 |
| 2.4. Wpływ materiału użytego na osłonę tunelu pomiarowego.....                                          | 39 |
| 2.4.1. Stanowisko testowe i procedura badań.....                                                        | 42 |
| 2.4.2. Wpływ zmian ciśnienia gazu.....                                                                  | 44 |
| 2.4.3. Wpływ zmian temperatury gazu.....                                                                | 46 |
| 2.5. Przykłady wykorzystania systemu Schlieren do wizualizacji zjawisk<br>przepływu gazów.....          | 50 |
| 2.5.1. Przepływ powietrza wilgotnego w dyszach.....                                                     | 51 |
| 2.5.2. Przepływ pary mokrej w płaskich palisadach łopatkowych.....                                      | 54 |
| 2.5.3. Wizualizacja przepływu w uszczelnieniu wierzchołkowym stopni<br>turbiniowych.....                | 55 |
| 2.5.4. Zastosowanie układu Schlieren do badań warunków wymiany ciepła<br>w generatorze akustycznym..... | 60 |
| 3. WYZNACZANIE STOPNIA WILGOTNOŚCI PARY WODNEJ METODĄ<br>POCHŁANIAŃ ŚWIATŁA.....                        | 65 |
| 3.1. Elementy teorii rozpraszania światła.....                                                          | 70 |
| 3.2. Zależności teoretyczne dotyczące metody ekstynkcji.....                                            | 76 |
| 3.3. Zagadnienie odwrotne w wielofalowej metodzie pochłaniania światła.....                             | 79 |

|                                                                                                                                            |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.4. Uwzględnienie w obliczeniach zmian kąta $\theta$ .....                                                                                | 82         |
| 3.5. Konstrukcja sondy pomiarowej wilgotności.....                                                                                         | 84         |
| 3.6. Opis systemu pomiarowego sondy X.....                                                                                                 | 88         |
| 3.7. Kalibracja układu pomiaru ciśnień.....                                                                                                | 90         |
| 3.8. Testy statyczne i porównawcze proponowanego układu osłabienia światła ...                                                             | 94         |
| 3.9. Testy układu pomiarowego sondy X w komorze próżniowej.....                                                                            | 98         |
| 3.10. Wyznaczenie stopnia wilgotności oraz średnicy kropeł dla rzeczywistego przepływu pary mokrej na wylocie z dyszy tunelu parowego..... | 101        |
| <b>4. WYZNACZANIE STOPNIA WILGOTNOŚCI PARY WODNEJ METODĄ ULTRADŹWIEKOWĄ.....</b>                                                           | <b>105</b> |
| 4.1. Podstawy fizyczne i zastosowanie ultradźwięków.....                                                                                   | 106        |
| 4.1.1. Elementy teorii fali sprężystej.....                                                                                                | 106        |
| 4.2. Propagacja fal ultradźwiękowych w ośrodku gazowym.....                                                                                | 107        |
| 4.2.1. Podstawowe zależności prędkości dźwięku dla czynników dwufazowych.....                                                              | 110        |
| 4.3. Zasada wyznaczania wielkości fizycznych metodą ultradźwiękową.....                                                                    | 116        |
| 4.3.1. Metoda przepuszczania (TROUGH TRANSMISION).....                                                                                     | 120        |
| 4.3.2. Metoda echa (PULSE ECHO).....                                                                                                       | 122        |
| 4.3.3. Metoda interferometryczna.....                                                                                                      | 123        |
| 4.4. System pomiarowy z zastosowaniem metody ultradźwiękowej TT.....                                                                       | 123        |
| 4.4.1. Typowe czujniki ultradźwiękowe używane w pomiarach gazów.....                                                                       | 124        |
| 4.4.2. Ultradźwiękowy system pomiarowy.....                                                                                                | 127        |
| 4.5. Oszacowanie czasu przelotu dla sygnału ultradźwiękowego.....                                                                          | 130        |
| 4.5.1. Model matematyczny sygnału ultradźwiękowego.....                                                                                    | 130        |
| 4.5.2. Stosowane metody szacowania TOF.....                                                                                                | 132        |
| 4.5.3. Wyznaczenie parametrów dla modelu z pojedynczym echem.....                                                                          | 138        |
| 4.5.4. Wyznaczenie parametrów dla sygnału rzeczywistego.....                                                                               | 147        |
| <b>5. PODSUMOWANIE.....</b>                                                                                                                | <b>153</b> |
| <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>                                                                                                                   | <b>157</b> |
| <b>Streszczenie.....</b>                                                                                                                   | <b>169</b> |