

## Spis treści

Streszczenie .....	9
Summary .....	11
Spis oznaczeń .....	15
<b>1. Wstęp .....</b>	<b>21</b>
<b>2. Dotychczasowy stan zagadnienia .....</b>	<b>27</b>
<b>3. Cel i zakres pracy .....</b>	<b>37</b>
<b>4. Równania różniczkowe opisujące niestabilną wymianę ciepła w wymiennikach rurowych .....</b>	<b>43</b>
4.1. Równania zachowania masy, pędu i energii dla stanu niestabilnego .....	43
4.1.1. Równanie zachowania masy .....	43
4.1.2. Równanie zachowania pędu .....	45
4.1.3. Równanie zachowania energii .....	50
4.2. Równania zachowania masy, pędu i energii dla stanu ustalonego .....	56
4.3. Analiza równań zachowania masy, pędu i energii pod kątem ich zastosowania do modelowania matematycznego wymienników ciepła .....	57
4.3.1. Równanie zachowania masy .....	58
4.3.2. Równanie zachowania pędu .....	58
4.3.3. Równanie zachowania energii .....	59
4.4. Równanie bilansu energii dla ścianki .....	61
4.4.1. Ścianka cylindryczna o większej grubości .....	62
4.4.2. Ścianka o skupionej pojemności cieplnej .....	65
4.4.2.1. Rury gładkie .....	66
4.4.2.2. Rury ożebrowane i wymienniki lamelowe .....	68
4.4.3. Ścianka o złożonym kształcie przekroju poprzecznego .....	69
4.5. Modele numeryczne ścianek .....	70
4.5.1. Ścianka o skupionej pojemności cieplnej .....	70
4.5.1.1. Rura gładka .....	70
4.5.1.2. Rura ożebrowana .....	71

4.5.2. Ścianka cylindryczna o większej grubości .....	72
4.5.3. Rura o złożonym kształcie przekroju poprzecznego .....	80
<b>5. Podstawowe równania do obliczeń cieplnych wymienników .....</b>	<b>91</b>
5.1. Charakterystyka wymienników rurowych .....	91
5.2. Podstawowe równania opisujące przepływ czynnika i wymianę ciepła w wymiennikach współprądowych i przeciwprądowych .....	98
5.3. Równania bilansu energii opisujące wymianę ciepła w wymiennikach rurowych o prostym kierunku przepływu czynników .....	101
5.4. Korelacje na współczynniki wnikania ciepła .....	111
<b>6. Model numeryczny wymiennika jednorzędowego .....</b>	<b>115</b>
6.1. Wymiennik ciepła z rur gładkich, ożebrowanych lub lamelowy .....	115
6.2. Wymiennik ciepła z rur grubościennych .....	124
<b>7. Model analityczny wymiennika jednorzędowego .....</b>	<b>128</b>
<b>8. Porównanie wyników otrzymanych za pomocą metody różnic skończonych i metody analitycznej .....</b>	<b>132</b>
8.1. Jednorzędowy wymiennik lamelowy .....	132
8.2. Rurociąg cienkościenny .....	143
8.2.1. Metoda różnic skończonych .....	144
8.2.2. Rozwiązanie analityczne ściśle .....	146
<b>9. Modelowanie numeryczne wymienników ciepła o złożonej budowie .....</b>	<b>151</b>
9.1. Wymienniki o szeregowym rozmieszczeniu rur .....	152
9.1.1. Równanie bilansu energii dla czynnika <i>I</i> .....	155
9.1.2. Równanie bilansu energii dla ścianki .....	156
9.1.2.1. Rury gładkie .....	157
9.1.2.2. Rury ożebrowane i wymienniki lamelowe .....	158
9.1.3. Równanie bilansu energii dla czynnika <i>2</i> .....	161
9.2. Wymienniki o przestawnym rozmieszczeniu rur .....	163
9.2.1. Równanie bilansu energii dla czynnika <i>I</i> .....	164
9.2.2. Równanie bilansu energii dla ścianki .....	168
9.2.2.1. Rury gładkie .....	169
9.2.2.2. Rury ożebrowane i wymienniki lamelowe .....	170
9.2.3. Równanie bilansu energii dla czynnika <i>2</i> .....	171
9.3. Przykłady podziału wymienników na obszary kontrolne .....	174
<b>10. Model matematyczny badanego wymiennika .....</b>	<b>183</b>
<b>11. Stanowisko doświadczalne .....</b>	<b>198</b>
11.1. Opis budowy stanowiska .....	198
11.2. Charakterystyka układu pomiarowego .....	204

<b>12. Opis badań wymiennika ciepła w stanie ustalonym</b> .....	207
12.1. Opis pomiaru średniej prędkości powietrza .....	207
12.1.1. Wyznaczanie rozkładu prędkości powietrza w przekroju poprzecznym kanału .....	207
12.1.2. Symulacja komputerowa przepływu powietrza w kanale powietrznym .....	211
12.2. Opis pomiaru spadku ciśnienia w wymienniku po stronie powietrza i wody .....	216
12.2.1. Spadek ciśnienia w wymienniku po stronie powietrza .....	216
12.2.2. Spadek ciśnienia w wymienniku po stronie wody .....	218
12.3. Porównanie wymienianego strumienia ciepła wyznaczonego od strony wody i powietrza .....	222
12.4. Identyfikacja warunków wymiany ciepła od strony wody i powietrza .....	225
12.4.1. Wyznaczanie korelacji na współczynniki wnikania ciepła na wewnętrznej powierzchni rur i od strony powietrza .....	225
12.4.2. Wyznaczanie korelacji na współczynnik wnikania ciepła od strony powietrza za pomocą symulacji CFD .....	236
<b>13. Opis badań wymiennika ciepła w stanie nieustalonym</b> .....	250
13.1. Opis badań wymiennika przy zmianach w czasie prędkości obrotowej wentylatora powietrza .....	253
13.2. Opis badań wymiennika przy zmianach w czasie strumienia objętości wody .....	256
<b>14. Ustalone zagadnienie odwrotne</b> .....	258
14.1. Opis sposobu określania korelacji na współczynnik wnikania ciepła od strony powietrza na wybranym rzędzie rur przy użyciu symulacji CFD .....	259
14.2. Opis sposobu wyznaczania liczby obrotów wentylatora przy zadanej temperaturze wody na wylocie z wymiennika .....	274
<b>15. Nieustalone zagadnienie odwrotne</b> .....	282
15.1. Rozwiązanie zagadnienia odwrotnego .....	285
15.2. Weryfikacja eksperymentalna .....	286
<b>16. Wnioski i uwagi końcowe</b> .....	291
Literatura .....	297