

## Spis treści

Wstęp 7

Rozdział 1. Historia a współczesność 9

Rozdział 2. Podstawy teoretyczne 19

2.1. Model oporu konwekcyjnego 19

2.2. Model dwóch oporów: opór konwekcyjny i płynu 21

2.3. Metoda LMTD 23

2.4. Metoda efektywność-NTU 24

2.5. Porównanie modeli efektywności wymiennika ciepła, oporu konwekcyjnego, dwóch oporów (dla stałego strumienia ciepła) i oporu całkowitego 26

2.6. Inne zalety stosowania metodologii wymienników ciepła 28

2.6.1. Efekt wypychania 28

2.6.2. Określenie wpływu omijania (bypass) 29

2.7. Spadek ciśnienia i wymiana ciepła w radiatorach o wlocie powietrza prostopadłym od góry 38

Rozdział 3. Badania odbioru ciepła wydzielanego przez procesor komputera PC za pomocą radiatora chłodzonego powietrzem 47

3.1. Opis instalacji i badania wstępne 47

3.2. Wpływ temperatury radiatora na pracę wentylatora 51

3.3. Współczynnik wnikania ciepła 51

Rozdział 4. Badania chłodzenia wodnego 61

4.1. Budowa bloku wodnego Zalman ZM-WB3 Gold 61

4.2. Opis stanowiska laboratoryjnego 64

4.2.1. Obliczanie bloku chłodzącego 65

4.3. Obliczenia dla danych eksperymentalnych 66

4.3.1. Przykład obliczeniowy 67

4.4. Wyniki obliczeń 68

4.5. Podsumowanie 75

Rozdział 5. Nanopłyyny 77

5.1. Synteza nanopłynów 78

5.2. Gęstość nanopłynów 78

5.3. Dynamiczny współczynnik lepkości 80

5.4. Współczynnik przewodzenia ciepła 80

5.4.1. Pomiar współczynnika przewodzenia ciepła nanopłyynu z zastosowaniem metody Transient Hot Wire (THW) 85

5.4.2. Budowa i zasada działania urządzenia pomiarowego 86

5.4.3. Pomiar i opracowanie wyników 88

Rozdział 6. Chłodzenie nanocieczą procesora komputera osobistego 95

6.1. Pomiary 95

6.2. Numeryczna mechanika płynów (CFD) 97

6.2.1. Preprocesor 99

6.2.2. Solwer 99

6.2.3. Postprocesor 100

6.3. Opis bloku chłodzącego i modelowania za pomocą preprocesora Gambit 100

6.3.2. Tworzenie siatki 102

6.4. Modelowanie CFD we Fluencie 103

6.4.1. Woda jako medium chłodzące 103

6.4.2. Symulacje chłodzenia nanopłyynem woda - CuO 108

6.4.3. Podsumowanie 112

6.5. Rozważania i obliczenia Korpysia 112

6.5.1. Model CFD 114

6.5.2. Wyniki 116

6.5.3. Podsumowanie 130

Rozdział 7. Postępy w chłodzeniu procesorów 133

7.1. Przewodzenie	133
7.2. Chłodzenie powietrzem	135
7.2.1. Wentylatory	138
7.2.2. Osady na powierzchni wymiany ciepła	138
7.2.3. Innowacje	140
7.2.4. Podsumowanie	151
7.3. Alternatywne metody chłodzenia procesorów PC	153
7.3.1. Piezowentylatory	153
7.3.2. Syntetyczne strumienie chłodzące	153
7.3.3. Nanobłyskawice	154
7.3.4. Chłodzenie cieczą	154
7.3.5. Ciepłowodny	156
7.3.6. Zimne płytki	157
7.3.7. Mikrokanały i minikanały	157
7.3.8. Chłodzenie elektrohydrodynamiczne i elektrozwilżanie	161
7.3.9. Chłodzenie ciekłym metalem	162
7.3.10. Chłodzenie przez zanurzenie	164
7.3.11. Uderzenie strumienia cieczy	170
7.3.12. Chłodzenie aerozolem	171
7.3.13. Chłodzenie w ciele stałym	173
7.3.14. Chłodzenie w supersieci i heterostrukturze	177
7.3.15. Chłodzenie termojonowe i termotunelowe	178
7.3.16. Materiały bazujące na przemianie fazowej i akumulatory ciepła	179
7.4. Chłodzenie ekstremalne	181
7.5. Wnioski dotyczące rozwoju chłodzenia procesorów	186
7.5.1. Podejście fenomenologiczne	186
7.5.2. Architektura systemu oparta na technikach zarządzania ciepłem	186

7.5.3. Monitorowanie obciążenia cieplnego 187

7.5.4. Zrównoważony rozwój 187

7.5.5. Potrzeba standaryzacji charakteryzacji opisu wydajności cieplnej hardware'u 187

7.6. Podsumowanie 188

Spis oznaczeń 203

Skorowidz 205