

Spis treści

Przedmowa	9
MathCad jako narzędzie	11

ROZDZIAŁ 1.

WYMIANA CIEPŁA NA DRODZE PRZEWODZENIA

13

1.1. Wprowadzenie	13
1.2. Przykłady obliczeń dla stanu ustalonego	44
1.2.1. Obliczenia dla ścianki płaskiej. Prog_ścianka_płaska	44
1.2.2. Straty ciepła przez ściankę walcową. Prog_ścianka_walcowa.	48
1.2.3. Wymiana ciepła dla żebra prostokątnego prostego. Prog_zebro_proste	52
1.2.4. Wymiana ciepła dla żebra okrągłego o przekroju prostokątnym i trójkątnym. Prog_zebro_okrągłe	60
1.2.5. Wymiana ciepła dla żeber o różnych kształtach. Prog_zebro_uniwersalne	64
1.2.6. Przejmowanie ciepła przez ściankę z $\lambda = f(T)$. Prog_lambda	69
1.3. Przykłady obliczeń dla stanu nieustalonego	71
1.3.1. Przewodzenie ciepła w nieskończonej płycie płaskiej. Prog_płyta	71
1.3.2. Przewodzenie ciepła w walcu nieskończonym. Prog_walec	78
1.3.3. Nieustalone przewodzenie ciepła w kuli. Prog_kula	85
1.3.4. Pole temperatury w ciele półnieskończonym. Prog_ciałopółniesk	91
1.3.5. Ochładzanie lub ogrzewanie ciał o małym oporze przewodzenia ciepła. Prog_COMO	95
1.3.6. Przewodzenie ciepła przy periodycznych zmianach temperatury powierzchni. Prog_fala	100

ROZDZIAŁ 2.

WYMIANA CIEPŁA NA DRODZE KONWEKCJI

103

2.1. Wprowadzenie	103
2.2. Przykłady obliczeń dla konwekcji	131
2.2.1. Wyznaczanie współczynnika przejmowania ciepła α z zależności kryterialnych dla konwekcji swobodnej. Prog_konwek_swob	131
2.2.2. Wyznaczanie współczynnika przejmowania ciepła przy opływie ciał. Prog_konwek_wym	141

ROZDZIAŁ 3.

WYMIANA CIEPŁA PRZY ZMIANIE STANU SKUPIENIA. 159

3.1. Wprowadzenie	159
3.2. Przykłady obliczeń dla zmiany stanu skupienia	173
3.2.1. Wymiana ciepła przy kondensacji pary. Prog_kondensacja_pion	173
3.2.2. Przejmowanie ciepła przy kondensacji pary wewnątrz rur. Prog_kondensacja_pozioma	186
3.2.3. Obliczanie współczynnika przejmowania ciepła α przy wrzeniu. Prog_wrzenie	195
3.2.4. Pole temperatury w procesie ablacji. Prog_ablacja	199

ROZDZIAŁ 4.

WYMIANA CIEPŁA NA DRODZE PROMIENIOWANIA 203

4.1. Wprowadzenie	203
4.2. Przykłady obliczeń dla zmiany stanu skupienia	229
4.2.1. Prawo Planck'a. Prog_plank	229
4.2.2. Prawo Stefana-Boltzmanna. Prog_stefan	235
4.2.3. Wymiana ciepła poprzez promieniowanie między gazem a powierzchniami ciała stałego. Prog_prom_gazy	242
4.2.4. Ekrany płaskie i walcowe. Prog_ekrany	244
4.2.5. Wyznaczanie współczynników konfiguracji. Prog_wsp_konfiguracji	250

ROZDZIAŁ 5.

WYMIENNIKI CIEPŁA 275

5.1. Wprowadzenie	275
5.2. Ocena wymienników z wykorzystaniem NTU Prog_wymienniki_NTU	288
5.3. Rura grzewcza. Prog_rura_grzewcza	290

ROZDZIAŁ 6.

PRZYKŁADY OBLICZEŃ ZŁOŻONYCH PROCESÓW WYMIANY CIEPŁA 297

6.1. Magazyn energii cieplnej. Prog_magazyn	297
6.2. Rurowy wymiennik ciepła. Prog_rurowy	302
6.3. Wymiennik ciepła ze zmianą fazy. Prog_wym_ciepła	308
6.4. Zasobnik kulisty do akumulacji energii. Prog_kula_magazyn	314
6.5. Chłodzenie pręta reaktora. Prog_kanal_reaktora	319
6.6. Ustalone przewodzenie ciepła ze źródłem objętościowym. Prog_kulaOdpady	322

6.7. Chłodzenie w powietrzu. Prog_termoelement	331
6.8. Przepływ w kanale prostokątnym w stanie ustalonym. Prog_kanał_prostokątny	335
6.9. Chłodzenie mikroprocesora. Prog_procesor	337
6.10. Przenikanie ciepła przez okno dwuszybowe. Prog_okno_dwuszybowe	343
6.11. Opływ kuli, wyznaczanie średniego współczynnika przejmowania. Prog_Whitaker	348
6.12. Przejmowanie ciepła z poziomej rury. Prog_rura_z_metalem	351
6.13. Prawo Wiena. Prog_Wiena	354
6.14. Chłodzenie kuli. Prog_chłodzenie_kuli	356
6.15. Opływ walca poziomego. Prog_Churchil_Berstein	360
6.16. Chłodzenie konwekcyjne. Prog_silnik	365
6.17. Nagrzewanie drutu oporowego. Prog_drut	377
6.18. Konwersja energii promieniowania słonecznego. Prog_fotoognowo	381

ROZDZIAŁ 7.

PRZYKŁADY OBLICZEŃ ZŁOŻONYCH Z WYKORZYSTANIEM

PROGRAMU PRIME 3.1. 389

7.1. Wyznaczanie strat ciepła z płaskiego kolektora słonecznego. Prog_kolektor	389
7.2. Wyznaczanie pola temperatury dla pręta paliwowego reaktora jądrowego. Prog_pręt	397
7.3. Przepływ w kanale prostokątnym w stanie ustalonym. Prog_kanał_prostokątny	405
7.4. Rozwiązanie równania Vernotte'a przy uwzględnieniu I pominięciu relaksacji strumienia	407
7.5. Rozwiązanie dla ścianki walcowej. Prog_ścianka_walcowa	411
7.6. Swobodne spadanie kropli. Prog_kropla	413
7.7. Grzejnik rurowy. Prog_grzejnik_rurowy1	417
7.8. Promieniowanie kuli. Prog_kula_prom	421
7.9. Pochłanianie promieniowania laserowego. Prog_impuls_laser. MathCad Prime 5.0	425
7.10. Wymiana ciepła w elemencie reaktora jądrowego. Program_reaktor_gazowy. MathCad Prime 5.0	429

ROZDZIAŁ 8.

NUMERYCZNE ROZWIĄZANIA ZAGADNIEŃ WYMIANY CIEPŁA 433

8.1. Wprowadzenie	433
8.1.1. Numeryka tablic	444
8.2. Wyznaczanie pola temperatury przy użyciu funkcji RELAX. Prog_relax	449
8.3. Wykorzystanie metody różnic skończonych do wyznaczania pól temperatury	451

8.3.1. Oddziaływanie strumienia laserowego. Prog_laser	451
8.3.2. Wykorzystanie metody różnic skończonych i konwersji macierzy w rozwiązywaniu zagadnień wymiany ciepła – materiał z otworami. Prog_granit	456
8.3.3. Wykorzystanie metody bilansów elementarnych i konwersji macierzy w rozwiązywaniu zagadnień wymiany ciepła. Prog_piec	458
8.4. Ustalone przewodzenie ciepła bez wewnętrznych źródeł Prog_Laplace	464
8.5. Nieustalone przewodzenie ciepła w grubej płycie. Prog_gruba_płyta	470
8.6. Nieustalone przewodzenie ciepła w grubej płycie. Prog_gruba_płyta1	477
Zakończenie	482
Literatura	483

DODATEK – Wybrane dane materiałowe

D.1. Tablica 1. Przewodności cieplne wybranych materiałów	487
D.2. Tablica 2. Stosunek wartości głównych λ_1 i λ_2 tensora przewodności cieplnych dla różnych materiałów	487
D.3. Tablica 3. Stosunek wartości głównych λ_1 i λ_2 tensora przewodności cieplnych dla różnych materiałów anizotropowych	488
D.4. Tablica 4. Czasy relaksacji i średnie drogi swobodne	488
D.5. Tablica 5. Podstawowe stałe fizyczne	489
D.6. Tablica 6. Emisyjności panchromatyczne wybranych materiałów	490
D.7. Tablica 7. Właściwości cieplne wybranych materiałów izolacyjnych	493
D.8. Tablica 8. Właściwości metali [1,5,7,17], inne źródła w tym internetowe dane z różnych agencji	497
D.9. Funkcje specjalne stosowane w wymianie ciepła. Prog_Bessel	502
D.10. Przewodność cieplna wybranych metali	505
D.11. Reprezentacja wyników pomiarów przez wielomian dowolnego stopnia. Prog_eutektyka_regresja	507
D.12. Wybrane właściwości termiczne materiałów ulegających przemianom fazowym (PCM). Prog_dane_PCM	511
D.13. Parametry powietrza w funkcji temperatury na podstawie różnych prac oraz wielomiany aproksymujące	516
D.14. Przewodność cieplna wybranych ciał stałych oraz wielomiany aproksymujące	523
D.15. Przewodności cieplne wybranych gazów oraz wielomiany aproksymujące	532
D.16. Emisyjności całkowita wybranych materiałów w funkcji temperatury i emisyjność widmowa w funkcji długości fali	538