



**Silesian University
of Technology**

Modelling of thermal fields in metamaterials using
radial basis function-based meshless methods

by

Olaf Popczyk

supervised by

Dr. Grzegorz Dziatkiewicz
Assoc. Prof. in Computational Mechanics

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of
Doctor of Philosophy

June 2022

Przepływ ciepła jest jednym z najbardziej podstawowych i powszechnych zjawisk w przyrodzie, w konsekwencji czyni go to również jednym z najintensywniej wykorzystywanych przez ludzkość. Pomimo tego, ze względu na znaczną dyssypatywność przepływu ciepła, wiele bardzo obiecujących zastosowań tego zjawiska pozostaje w sferze badań i dyskusji. Gdyby można było przezwyciężyć dyssypatywny charakter przepływu ciepła i manipulować nim, można by doprowadzić do wystąpienia takich zjawiska jak maskowanie, i ekranowanie termiczne a także koncentrację i inwersję strumienia ciepła. Otworzyłyby to ogromne możliwości w nauce, przemyśle, wojsku i wielu innych dziedzinach. Przez setki lat manipulacja strumieniem ciepła była nieosiągalna, aż do pojawienia się metamateriałów termicznych, które dzięki swojej strukturze, charakteryzującej się dużą przestrzenną zmiennością parametrów termofizycznych, umożliwiły spełnienie marzenia o kontrolowaniu strumienia ciepła. To właśnie to jest siłą napędową badań takich jak to.

Złożona struktura metamateriałów wymaga zaawansowanych metod ich analizy. W przypadku wielu metod nie jest do końca jasne, czy są do tego odpowiednie. W tej pracy postanowiono sprawdzić, czy metoda Kansa oparta na radialnych funkcjach bazowych nadaje się do tego celu. W ramach badań zbadano problemy przewodzenia ciepła w materiale o przestrzennie zmiennym rozkładzie parametrów termofizycznych. W pracy uwzględniono współczynnikowe i pseudospektralne sformułowanie niesymetrycznej metody Kansa do rozwiązywania problemów eliptycznych, parabolicznych i hiperbolicznych. W przypadku problemów zależnych od czasu zastosowano dwa podejścia: metodę linii połączoną ze schematami całkowania po czasie znanymi z dynamiki konstrukcji oraz podejście czasoprzestrzenne, w którym czas traktowany jest jako współrzędna. Przeprowadzono obszerne badanie stosowalności metody Kansa dla różnych kombinacji powyższych podejść do problemów jedno- i dwuwymiarowych. W pracy zaproponowano grupę algorytmów do znajdowania dobrej wartości parametru kształtu wielokwadrancyjnej radialnej funkcji bazowej co jest jednym z najważniejszych problemów badawczych w zakresie metod bazujących na radialnych funkcjach bazowych do rozwiązywania równań różniczkowych cząstkowych. W ramach prac przeprowadzono również proces projektowania termicznego urządzenia metamateriałowego do inwersji i koncentracji strumienia ciepła oraz ekranowania i maskowania termicznego z wykorzystaniem optymalizacji gradientowej.

Z pracy wynika, że metoda Kansa nadaje się do rozwiązywania rozważanej klasy problemów dla większości kombinacji wymienionych podejść. Podejście czasoprzestrzenne sprawdziło się tylko w przypadku niektórych problemów rozważanych w pracy. Warto zauważyć, że podejście to, pomimo swojego ogromnego potencjału, nie cieszy się szerokim zainteresowaniem środowiska naukowego, co czyni je interesującym tematem do dalszych badań. Zaproponowana grupa algorytmów do znalezienia dobrej wartości parametru kształtu okazała się bardzo skuteczna dla rozważanej klasy problemów. Zaprojektowanie termicznego urządzenia metamateriałowego nie powiodło się w przypadku inwersji, nie osiągnięto zamierzonego efektu, jednak jest to przypadek niezwykle wymagający pod względem numerycznym i na pewno jest to dobry kierunek dalszych badań. Z drugiej strony, projektowanie powiodło się w trzech innych przypadkach manipulacji strumieniem

ciepła: ekranowanie, maskowanie i koncentracja.