

Multiscale finite element modeling of mechanical properties of selected advanced materials

Modelowanie właściwości mechanicznych wybranych zaawansowanych materiałów za pomocą wieloskalowych elementów skończonych

mgr inż. Mateusz Dryzek

opiekun naukowy: prof. dr hab. inż. Witold Cecot

Celem pracy jest rozwijanie wieloskalowej metody elementów skończonych (ang. MsFEM - Multiscale Finite Element Method) do analizy właściwości mechanicznych ośrodków ciągłych nowoczesnych materiałów, takich jak elementy konstrukcji wytwarzane w technologii druku 3D oraz metamateriały.

W praktyce wszystkie materiały wykazują budowę wieloskalową. Uwzględnienie tego faktu w modelowaniu komputerowym jest wyjątkowo trudnym zadaniem, gdyż wymaga uwzględnienia skali mniejszej (mikro), przy rozwiązywaniu zadanie w skali większej (makro). Aby przyspieszyć i bardziej efektywnie prowadzić analizę numeryczną opracowano metody wieloskalowe, których celem jest sformułowanie relacji między własnościami mikro i makro danego zjawiska, czy procesu. Przykładem takiej metody jest MsFEM zaproponowana przez Hou and Wu [1]. Istotą tej metody jest ujęcie detali mikro skali za pomocą specjalnych funkcji kształtu w makro elementach skończonych. Podstawowymi zaletami takiego rozwiązania są brak założeń o periodyczności i rozdzielność skali. Funkcje kształtu są liczone niezależnie dla każdego makro elementu, co pozwala na prowadzenie równoległych obliczeń, lub powielenie raz obliczonych funkcji dla podobnych elementów. Pierwotnie użyta do celów analizy przepływów w ośrodkach porowatych, metodę od niedawna naukowcy rozwijają w innych zagadnieniach m. in. w mechanice kompozytów, w modelowaniu prądów wirowych w laminatach, czy w analizie pękania.

Proponuję oryginalne zastosowanie tej metody do modelowania elementów wytwarzanych w technologii druku 3D, a w szczególności powstających w procesie osadzania stopionego materiału (ang. FDM – Fused Deposition Modelling) oraz metamateriałów. Wymienione materiały wykazują wieloskalową strukturę, która ma wpływ na ich właściwości globalne. W technologii druku 3D powstałe elementy stworzone są z materiału niejednorodnego – stopionych nitki podstawowego tworzywa, spoin pomiędzy nimi i pustek. Ponadto, technologia pozwala na zaplanowanie rozkładu materiału w przestrzeni na etapie projektowania elementu. Z kolei w przypadku metamateriałów to struktura jest specjalnie dobierana, aby uzyskiwać nietypowe właściwości np. ujemny współczynnik Poisson'a. Zauważalny jest znaczący rozwój w dziedzinach wymienionych materiałów, dlatego ważnym jest poszukanie nowych sposobów ich projektowania. Wstępna analiza MsFEM może w przyszłości znacząco przyspieszyć taki proces, co w konsekwencji będzie miało wpływ na rozwój wielu gałęzi przemysłu wykorzystujących te materiały.

W pracy chciałbym rozszerzyć metodę MsFEM o użycie aproksymacji wyższego rzędu [2] oraz inne sformułowania wariacyjne, stosowane w metodzie Discontinuous Petrov–Galerkin (DPG) [3]. Ponad to, chciałbym przeprowadzić szereg badań numerycznych i eksperymentalnych. Chcę wykonać badania właściwości elementów wytwarzanych w technologii druku 3D z różną konfiguracją wydruku, aby na ich podstawie stworzyć wieloskalowy model numeryczny, a następnie przeprowadzić analizę porównawczą bardziej skomplikowanych przykładów w szczególności metamateriałów.

Literatura:

- [1] T. Hou and X. Wu. A multiscale finite element method for elliptic problems in composite materials and porous media. *Journal of Computational Physics*, 134:169–189, 1997.
- [2] W. Cecot and M. Oleksy. High order FEM for multigrid homogenization. *Computers and Mathematics with Applications*, 70(7):1370–1390, 2015.
- [3] B. Keith, F. Fuentes, and L. Demkowicz. The DPG methodology applied to different variational formulations of linear elasticity. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 309: 579-609, 2016.