

Kurs środowiska metody elementów skończonych – OpenSees

Seweryn Kokot

2021

Wprowadzenie

Wprowadzenie

- Kurs jest oparty o moje 10-letnie doświadczenie użytkowania tego programu
- Kurs jest przeznaczony dla studentów, doktorantów, uczestników szkoły doktorskiej i pracowników WBiA, czyli wszystkich zainteresowanych poznania programu MES o zaawansowanych możliwościach modelowania i obliczania konstrukcji budowlanych.
- Program OpenSeesPy może być bardzo pomocny na studiach inżynierskich, magisterskich, doktoranckich, a także w badaniach naukowych i pracy zawodowej biur projektowych.
- Program OpenSeesPy jest używany na uczelniach całego świata.
- Faktem jest, że krzywa uczenia się tego programu jest dość stroma na początku, ale mam nadzieję, że dzięki temu kursowi, ta krzywa ulegnie wypłaszczeniu.

O środowisku OpenSees

Środowisko **OpenSees** (bezpłatne, dostęp do kodu źródłowego, Windows, Linux, Mac)

1. **Frank McKenna**. *Object-oriented finite element programming: Frameworks for analysis, algorithms and parallel computing*. PhD thesis, University of California, Berkeley, California, 1999
2. **F. McKenna, G. L. Fenves, and M. H. Scott**. *OpenSees - Open System for Earthquake Engineering Simulation*. Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA. Available from <http://opensees.berkeley.edu/>, 2003
3. **Minjie Zhu, Frank McKenna, and Michael H. Scott**. OpenSeesPy: Python library for the OpenSees finite element framework. *Software X*, 7:6–11, 2018
4. Od 2018, rozwój OpenSees prowadzony jest na platformie github: <https://github.com/OpenSees/OpenSees>
5. Dokumentacja OpenSeesPy: <https://openseespydoc.readthedocs.io/en/latest/>
6. Wizualizacja modelu i wyników: <https://github.com/sewkokot/opsvis> , <https://opsvis.readthedocs.io/en/latest/>

Wprowadzenie

1. W kursie tym przedstawię przykłady problemów analizy konstrukcji, które można rozwiązać za pomocą metody elementów skończonych w środowisku OpenSeesPy.
2. UWAGA! Ten kurs nie zastępuje przedmiotu „Metody komputerowe w mechanice budowli”, czy innych przedmiotów, w których mowa jest o podstawach i sformułowaniu metody elementów skończonych.
3. Celem tego kursu jest praktyczna strona wykorzystania środowiska OpenSeesPy.

Tematyka kursu OpenSeesPy będzie obejmowała:

1. wstępne i ogólne informacje o środowisku OpenSeesPy, które warto poznać;
2. proces instalacji środowiska języka programowania Python – Anaconda, instalacja OpenSeesPy i modułu wizualizacji `opsviz` (mojego autorstwa);
3. analizę: kratownic, belek, ram płaskich, ram przestrzennych, tarcz i powłok;
4. analizy statyczne i dynamiczne; zagadnienia liniowo-sprężyste i nieliniowo-niesprężyste;
5. dodatkowe zagadnienia, a w szczególności analiza elementów żelbetowych: w tym analiza moment-krzywizna przekroju, interakcja siła osiowa-moment zginający w słupach czy obciążenie poruszające się po belce (linie wpływu wpływu).

Zalety środowiska OpenSeesPy

1. Silnik obliczeń MES w OpenSees jest napisany w języku C++ i dzięki kompilacji obliczenia modeli są nieporównywalnie szybsze niż implementacje MES w językach skryptowych (Matlab, Python).
2. Środowisko OpenSees ma budowę (architekturę) modułową, co ułatwia ew. rozszerzenie możliwości obliczeń MES o własne poprawki.
3. Dzięki zaawansowanym możliwościom programowania w języku Python, w środowisku OpenSees można pisać złożone programy.
4. Można wykonać jednorazowe obliczenia dla konkretnego modelu lub wykonać serię obliczeń w pętli dla modelu o różnych parametrach.
5. Na przykład można przeprowadzić analizę optymalizacji konstrukcji, w której wielokrotnie wykonuje się analizy MES tak, aby osiągnąć założone kryterium stopu (w tym użycie metody globalnej optymalizacji jak algorytmy genetyczne lub m. lokalne, np. metody gradientowe).

Wyniki w formie tekstowej

- Domyślnie program OpenSeesPy nie wysyła na ekran żadnych wyników, dopóki go o to nie „poprosimy” poprzez użycie poleceń wyjścia.
- Możemy otrzymać wyniki bezpośrednio w oknie komend lub zapisać je do plików tekstowych.
- Stan aktualny modelu konstrukcji (przed lub po wykonaniu analizy) możemy zobaczyć wydając komendę `ops.printModel(<nazwa-pliku.out>)`. Jeśli w argumencie funkcji `printModel` podamy nazwę pliku, to te same informacje zapisane będą w pliku tekstowym.
- Poza tym mamy także bardziej precyzyjny sposób zapisu wyników do pliku; poprzez użycie polecenia `ops.recorder()`. Możemy wtedy uzyskać wyniki dla wprowadzonych węzłów lub elementów skończonych.
- Na przykład dla węzłów, możemy otrzymać przemieszczenia lub reakcje. Natomiast dla elementów możemy otrzymać informacje o siłach wewnętrznych, naprężeniach lub odkształceniach.
- Są jeszcze inne komendy na przykład `ops.nodeDisp()` czy `ops.eleResponse()` używane na przykład wtedy, gdy potrzebujemy konkretnej wielkości użyć w naszym algorytmie, i gdy od wartości tej wielkości zależy dalszy przebieg wykonania programu.
- Więcej szczegółów podanych będzie w konkretnych przykładach.

Wizualizacja modelu i wyników - opsviz

1. Wizualizacja modeli i wyników była słabą stroną środowiska OpenSees, ale w ostatnich dwóch latach się to zmieniło dzięki wprowadzeniu nowego interpretatora jakim jest język skryptowy Python.
2. J. Python posiada bardzo bogaty ekosystem do obliczeń numerycznych (Numpy, Scipy) i wizualizacji (Matplotlib, Pyvista etc.).
3. Mój udział: opracowanie modułu wizualizacji o nazwie `opsviz` i wprowadzanie poprawek i zmian w języku `C++` do głównego projektu OpenSees .
4. Dzięki `opsviz` można zwizualizować:
 - wprowadzony model z podporami i obciążeniem;
 - model odkształcony pod wpływem obciążeń (w tym interpolacja odkształceń elementu prętowego na podstawie wartości węzłowych);
 - animacje odpowiedzi w czasie w zagadnieniach dynamicznych; postacie drgań własnych i ich animacje,
 - siły przekrojowe w układach prętowych,
 - przekrój poprzeczny zadany jako włókna, do których przypisane są liniowe bądź nieliniowe związki konstytutywne dla stali, betonu;
 - naprężeń dla układów płaskich (tarcz), a także wizualizacja naprężeń w układach przestrzennych dla elementów typu kontinuum.

1. Rozpoczniemy od tego jak zainstalować środowisko OpenSeesPy, a następnie jak pisać skrypty modeli OpenSeesPy i jak je uruchomić, aby otrzymać wyniki i pokazać różnego rodzaju wykresy graficzne.
2. Jeśli istniejące modele MES nie spełniają naszych wymagań, na zaawansowanym poziomie można napisać kod w języku C++, który dodaje nowe:
 - (a) elementy skończone;
 - (b) modele konstytutywne materiałów betonu, stali czy gruntu;
 - (c) metody rozwiązania układu równań liniowych bądź nieliniowych (procedury iteracyjne);
 - (d) nowe algorytmy: zagadnienia własnego, zagadnienia wyboczenia, metody spektrum odpowiedzi inżynierii sejsmicznej, nieliniowe metody pseudo-statyczne w dynamice.