

Optymalizacja Wytrzymałościowa Konstrukcji

Laboratorium Komputerowe

Paweł Bielski

2 lutego 2019

Co powinno zawierać sprawozdanie?

Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest samodzielne wykonanie obu zadań zgodnie z wytycznymi i dostarczenie dwóch sprawozdań wraz z plikami .mod i .f06 do weryfikacji. W sprawozdaniu powinny znaleźć się następujące elementy:

1. Temat zadania wraz z numerem porządkowym N i wynikającymi z niego wejściowymi danymi liczbowymi do zadania.
2. Schematyczny **rysunek** i **opis** konstrukcji: typ konstrukcji, sposób obciążenia, warunki podparcia. Co optymalizujemy i dlaczego?
3. Opis **modelu numerycznego** w **FEMAP** wraz ze szczegółami zastosowanych wariantów optymalizacji (patrz „Krótka instrukcja wykonania zadań”).
4. **Matematyczne** sformułowanie problemu **optymalizacji**: funkcja celu, wektor zmiennych projektowych, parametry, ograniczenia i zmienne stanu. Co jest czym w konstrukcji i w modelu numerycznym (patrz „Podstawy teoretyczne”)?
5. Prezentacja **wyników**:
 - Dla każdego kolejnego wariantu przedstawić należy wartość funkcji celu oraz zmiennych stanu (naprężenia, ugięcia itd.) przed i po wykonaniu każdego etapu. Wyniki zestawiamy w tabelach - ograniczamy do minimum liczbę zrzutów ekranu (za wyjątkiem mapy naprężeń blachy).
 - Należy również przedstawić i skomentować co i w jaki sposób zostało zmodyfikowane na poszczególnym etapie oraz jak to wpłynęło na funkcję celu (np. wpływ zmiany pola przekroju prętów na masę konstrukcji).
6. Do sprawozdań należy **dołączyć pliki .mod** z modelem numerycznym oraz **pliki .f06** z wynikami.

WAŻNE: Nie interesują mnie technikalia, czyli zrzuty ekranu z interfejsu programu z komentarzem „tu wpisałem to, tam kliknęłam tamto”; Chodzi o rysunek schematu statycznego i opis zastosowanych stałych materiałowych, przekrojów, rodzaju elementów skończonych, podziału konstrukcji na elementy, liczby węzłów i elementów w układzie, zastosowanego typu analizy i warunków brzegowych itd. **Im krótsze sprawozdanie i im mniej zawiera obrazków z programu, tym lepiej! Stawiamy na tabele, wykresy, schematy.**

Krótką instrukcja wykonania zadań w FEMAP

Ogólny schemat rozwiązania

Wykonanie każdego z zadań można podzielić na następujące sekcje:

- stworzenie geometrii;
- definicja materiałów (*Materials*) i cech geometryczno-materiałowych (*Properties*);
- definicja warunków podparcia (*Constraints*) i obciążeń (*Loads*);
- przypisanie zdefiniowanych wcześniej cech (*Attributes*) do obszarów geometrycznych;
- podział geometrii na elementy skończone (*Mesh*);
- definicja i wykonanie analizy wstępnej (*Analysis*);
- wyświetlenie wyników (*Post Data*) celem sprawdzenia, czy obliczenia przebiegły poprawnie;
- zapisanie tej wersji modelu .mod jako końcowej!
- kontynuacja modelu pod inną nazwą; definicja i wykonanie kolejnych analiz (optymalizacji); każdy wariant powinien być zapisany jako odrębna wersja pliku!

Ważne jest sukcesywne zapisywanie kolejnych wersji tymczasowych, do których można wracać i wykonywać obliczenia na wcześniejszych etapach rozwoju pliku. Będą one potrzebne przy zbieraniu wyników tworzeniu sprawozdania.

WAŻNE: Aby niezbędne wyniki obliczeń zapisywały się w wygodnej formie w plikach .f06, należy przy definicji każdej analizy w drzewku *Master Requests and Conditions - Output Requests - Destination* wybrać opcję *3..Print and Post-Process* w polu *Results Destination*. Dzięki temu w plikach .f06 wygenerują się wygodne tabele z wartościami naprężeń w elementach, przemieszczeń w węzłach itd.

Zadanie 1 - Kratownica

Tworzenie modelu rozpoczynamy od definicji węzłów kratownicy (*Geometry - Point*) i stworzenia geometrii prętów (*Geometry - Curve - Line - Points*). Następnie definiujemy materiał i cechy prętów - do tego celu używamy elementu *Rod*. Określamy właściwe warunki brzegowe (*Constraints*) i obciążenia (*Loads*).

Przypisujemy cechy prętów do geometrii za pomocą funkcji *Mesh - Mesh Control - Attributes Along Curve*. Jeżeli program zapyta o orientację elementu, wskazujemy wektor prostopadły do płaszczyzny kratownicy.

Ogółem należy stworzyć 3 osobne pliki .mod (modele numeryczne w FEMAP) i 3 osobne pliki z wynikami .f06 dla następujących wariantów analiz:

1. Analiza wstępna BEZ optymalizacji (*Analysis type - 1..Static*), z arbitralnie przyjętymi początkowymi polami przekrojów poprzecznych w prętach kratownicy. Jest to punkty wyjściowy do dalszych analiz. Warto na tym etapie zarejestrować ekstremalne wartości naprężeń w konstrukcji (*axial stress*) oraz całkowitą masę konstrukcji (*Tools - Mass properties - Mesh properties: Select all: Total structural mass*; ta opcja staje się dostępna dopiero po siatkowaniu).
2. Pierwsza optymalizacja (*Analysis type - 8..Design Optimization*) mająca na celu ustalenie jednego wspólnego pola przekroju dla wszystkich prętów kratownicy (*Model - Optimization*) zgodnie z określonymi w zadaniu ograniczeniami. W wyniku należy zaznaczyć, który pręt jest wyłożony w 100% i tym samym decyduje o minimalnym polu przekroju.
3. Druga optymalizacja określająca odrębne pola przekrojów dla każdego pręta kratownicy (wszystkie elementy wyłożone w 100%). Pola przekrojów przypisujemy do prętów przed siatkowaniem za pomocą opcji *Mesh - Mesh Control - Attributes Along Curve*.

Przy analizie wyników przydatna będzie informacja o numeracji prętów zastosowanej przez program FEMAP. Aby wyświetlić numery prętów, należy wybrać opcję *View - Options* lub *View - Visibility* i tam w zależności od potrzeb włączyć wyświetlanie etykiet (*Labels*) krzywych (*Curves*) lub elementów skończonych (*Elements*).

Zadanie 2 - Płyta

Geometrię tworzymy poprzez określenie najważniejszych punktów, następnie stworzenie powierzchni określonej tymi punktami (*Geometry - Surface - Corners*) i wycięcie z niej otworu przez stworzenie powierzchni tnącej. Okrąg tworzymy używając *Geometry - Curve - Circle*, następnie wyciągamy go w powierzchnię walcową (*Geometry - Surface - Extrude*), a później tnemy za jej pomocą blachę (*Geometry - Curve - From Surface - Intersect*). Nadmiarowe powierzchnie i krzywe usuwamy. Określamy warunki podparcia i obciążenia (warto skorzystać z warunków symetrii).

Przy definicji materiału i właściwości *Property* używamy płaskiego elementu płytowego *Plate*. Stworzenie dobrej siatki elementów skończonych wymaga dalszego podziału powierzchni na mniejsze i określenia liczby elementów na ich krawędziach (*Mesh - Mesh Control - Size Along Curve*). Najwygodniej jest to jednak zrobić na docelowych geometriach osobno w trzech wariantach. Na tym etapie przypisujemy również cechy do powierzchni (*Mesh - Mesh Control - Attributes On Surface*).

Ogółem należy stworzyć 3 osobne pliki .mod (modele numeryczne w FEMAP) i 3 osobne pliki z wynikami .f06 dla następujących wariantów analiz:

1. Analiza wstępna BEZ optymalizacji i BEZ pierścienia wzmacniającego. Należy pokazać mapę naprężeń zredukowanych (*Post Data - von Mises Stress* albo *F5 - Deformed and Contour Data - von Mises Stress*), zaznaczyć rejon koncentracji naprężeń w pobliżu otworu przyjąć wstępną szerokość pierścienia wzmacniającego.
2. Pierwsza optymalizacja grubości pierścienia z ograniczeniami nałożonymi na ekstremalne naprężenia. Jaka jest finalna grubość pierścienia i jaka jest masa całej konstrukcji? Jeżeli pierścień jest bardzo gruby, w następnej iteracji będziemy go poszerzać. W przeciwnym przypadku należy pierścień zwęzić.
3. Druga optymalizacja grubości pierścienia po zmianie jego szerokości (promienia). Jaka jest teraz jego grubość? Czy masa całej konstrukcji uległa zwiększeniu, czy zmniejszeniu? Który przypadek jest bardziej korzystny i czy lepiej jest szukać rozwiązania optymalnego poprzez poszerzanie, czy zwężanie pierścienia?

Podstawy teoretyczne

Składowe problemu inżynierskiego na etapie projektowania można podzielić na następujące grupy:

- **Oddziaływania „O”**: Są to wszystkie dane wejściowe, które będą oddziaływać na model. Zaliczają się do nich obciążenia, warunki podparcia, temperatura, wymuszone przemieszczenia (np. osiadanie) i inne niezależne od projektanta siły natury lub ludzkiej złośliwości.
- **Model konstrukcji**, na który składają się:
 - **zmienne projektowe „x”**, czyli wszystkie cechy konstrukcji, które w pewnym zakresie projektant może modyfikować i dobierać do własnych potrzeb; w ogólnym przypadku mogą to być materiały, przekroje, rozpiętości elementów itd.;
 - **parametry „p”**, to znaczy te cechy konstrukcji, których projektant nie może modyfikować; są one na sztywno ustalone z uwagi na wymagania dotyczące projektu (z reguły dotyczy to geometrii, która jest określona ze względu na warunki użytkowania; wyjątkiem jest optymalizacja topologiczna, która polega na doborze geometrii).
- **Zmienne stanu „S”**, czyli wszystkie dane wyjściowe powstałe wskutek oddziaływania „O” na model konstrukcji. Zaliczamy do nich reakcje podporowe, siły wewnętrzne, przemieszczenia, naprężenia, częstotliwości drgań, wartości obciążeń krytycznych i inne typowe wyniki obliczeń inżynierskich.

Opis i interpretacja powyższych składowych dla każdego z dwóch zadań powinny się znaleźć w obu sprawozdaniach.