

**PAWEŁ KŁOSOWSKI
ANDRZEJ AMBROZIAK**

HEXAGON Marc Mentat

PRZYKŁADY OBLICZEŃ

Gdańsk 2025

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Dariusz Mikielewicz

RECENZENTKA

Katarzyna Szepietowska

REDAKCJA JĘZYKOWA

Joanna Niezgoda

SKŁAD I PROJEKT OKŁADKI

Wioleta Lipska-Kamińska

Wydano za zgodą Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem
<https://sklep.pg.edu.pl/>

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie
i w jakikolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2025

ISBN 978-83-7348-946-2

Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej

Wydanie I. Ark. wyd. 15,90, ark. druku 13,25, 1330/1290

Druk i oprawa: Volumina.pl Sp. z o.o.

ul. Księcia Witolda 7-9, 71-063 Szczecin, tel. 91 812 09 08

SPIS TREŚCI

1. Przedmowa	5
2. Zagadnienia wstępne	7
2.1. Powiązanie programu z kompilatorem Fortran	7
2.2. Definiowanie układu jednostek programu	8
2.3. Ustalenie domyślnej czcionki graficznej programu i wielkości ikon	9
2.4. Podstawowe wiadomości	10
3. Przykład nr 1 – belka	22
3.1. Opis przykładu	22
3.2. Rozwiązanie z wykorzystaniem jednego elementu skończonego – typ nr 98	23
3.2.1. Definiowanie geometrii	23
3.2.2. Definiowanie właściwości geometrycznych	24
3.2.3. Definiowanie właściwości materiałowych	25
3.2.4. Wprowadzenie warunków podporowych i obciążeń	25
3.2.5. Przypadki obciążenia i zadanie	29
3.2.6. Analiza wyników dla pręta typu nr 98 – jeden element	33
3.3. Rozwiązanie z wykorzystaniem jednego elementu skończonego – typ nr 52	36
3.3.1. Zmiany danych	36
3.3.2. Analiza wyników dla pręta typu nr 52 – jeden element	37
3.4. Rozwiązanie z wykorzystaniem dziesięciu elementów skończonych – typ nr 98	40
3.4.1. Zwiększenie liczby elementów skończonych do dziesięciu	40
3.4.2. Analiza wyników dla pręta typu nr 98 – dziesięć elementów	41
3.5. Rozwiązanie z wykorzystaniem dziesięciu elementów skończonych – typ nr 52	43
3.5.1. Przygotowanie danych	43
3.5.2. Analiza wyników dla pręta typu nr 98 – dziesięć elementów	44
3.6. Belka z przegubem wewnętrznym	45
3.6.1. Dodanie przegubu wewnętrznego	45
3.6.2. Wyniki dla belki z przegubem	46
3.7. Podsumowanie	47
4. Przykład nr 2 – płyta kwadratowa	48
4.1. Opis przykładu	48
4.2. Rozwiązanie analityczne	48
4.3. Rozwiązanie numeryczne	51
5. Przykład nr 3 – rura grubościenna	69
5.1. Model rury grubościennej	69
5.2. Analiza wyników dla rury grubościennej	75

6. Przykład nr 4 – płyta kołowa	78
6.1. Rozwiązanie analityczne	78
6.2. Model powłokowy płyty – wariant bezpośredni	79
6.2.1. Przygotowanie danych	79
6.2.2. Analiza wyników dla modelu bezpośredniego	86
6.2.3. Analiza płyty na podłożu sprężystym	89
6.2.4. Wyniki obliczeń dla płyty na podłożu sprężystym	91
6.2.5. Analiza płyty poddanej działaniu temperatury	92
6.2.6. Wyniki dotyczące oddziaływania temperatury	95
6.3. Model powłokowy płyty – wariant z wykorzystaniem programu AutoCAD	97
6.3.1. Model płyty w programie AutoCAD	98
6.3.2. Budowa modelu w programie Marc Mentat	100
6.3.3. Analiza wyników dla modelu z programu AutoCAD	102
6.4. Analiza płyty z wykorzystaniem elementów obrotowo symetrycznych	104
6.4.1. Budowa modelu obrotowo symetrycznego	104
6.4.2. Analiza wyników dla modelu obrotowo symetrycznego	110
7. Przykład nr 5 – powłoka sferyczna	113
7.1. Budowa modelu kopuły w programie AutoCAD	113
7.2. Przygotowanie zbioru danych w programie Marc Mentat	115
7.2.1. Definiowanie właściwości geometrycznych, materiałowych i warunków podporowych	115
7.2.2. Definiowanie obciążeń	121
7.2.3. Przypadki obciążeń, zadania i obliczenia	133
7.3. Analiza wyników	137
8. Przykład nr 6 – układ membranowy z linią brzegową	141
8.1. Budowa modelu paraboloidy hiperbolicznej w programie AutoCAD	142
8.2. Przygotowanie modelu membrany	143
8.3. Analiza numeryczna – liny brzegowe modelowane elementami kratowymi	153
8.4. Analiza numeryczna – liny brzegowe modelowane elementami kablowymi	160
9. Przykład nr 7 – komora grubościenna	167
9.1. Opis modelu	167
9.2. Utworzenie bryły w programie AutoCAD	167
9.3. Przygotowanie modelu w programie Marc Mentat	168
9.4. Analiza wyników	174
10. Przykład nr 8 – kontakt	177
10.1. Model płyty w programie AutoCAD	177
10.2. Budowa modelu w programie Marc Mentat	177
10.3. Analiza wyników	188
11. Przykład nr 9 – zniszczenie płyty kwadratowej	192
11.1. Budowa modelu	192
11.2. Analiza wyników	199
11.3. Zachowanie płyty pod obciążeniem śledzącym	204
12. Załącznik nr 1 – generowanie nierównomiernego obciążenia śniegiem dla kopuły	207
12.1. Algorytm w programie Matlab	207
12.2. Plik wynikowy z określeniem znaczenia kolumn	208
13. PIŚMIENNICTWO	212

1. PRZEDMOWA

System Marc Mentat firmy HEXAGON jest programem służącym do zaawansowanej analizy układów mechanicznych i konstrukcyjnych. Jego pierwsze wersje powstały w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku i były produktem firmy MSC.Software. Marc Mentat był stopniowo rozwijany i uzupełniany kolejnymi opcjami analizy, bazującymi głównie na wykorzystaniu metody elementów skończonych. Obecnie system umożliwia analizę z zakresu elektromagnetyzmu, przepływu płynów, akustyki, dyfuzji, ale także typowe obliczenia statyczne i dynamiczne obszernego zakresu konstrukcji prętowych, powierzchniowych i bryłowych. Marc Mentat składa się z dwu składników. Sam program Marc stanowi jądro systemu, które posługując się metodą elementów skończonych, wykonuje obliczenia numeryczne na podstawie danych, które mogą być dostarczone w różny sposób. Podstawowym sposobem ich wprowadzania jest interfejs graficzny systemu, który stanowi program Mentat (można też importować dane z innych programów lub wpisywać dane bezpośrednio jako zbiory tekstowe). Dane uzyskiwane z programu Mentat są zapisywane w postaci plików binarnych ***.mud** (lub tekstowych ***.mfd**). W momencie, gdy użytkownik podejmie decyzję o wykonaniu obliczeń, są one tłumaczone do układu danych programu Marc (i zapisywane w postaci pliku ***.dat**). W trakcie wykonywania konwersji danych tworzony jest też cały szereg plików pomocniczych pozwalających ocenić ich poprawność. Najważniejszy z nich to plik ***.out** zawierający ślad danych dostarczonych do obliczeń. Wyniki obliczeń są dostępne w postaci pliku binarnego ***.t16** lub tekstowego ***.t19**. Pliki te mogą być interpretowane przez interfejs graficzny programu Mentat, co pozwala na analizę wyników na ekranie komputera.

Celem niniejszej publikacji jest zapoznanie czytelnika z wybranymi funkcjami programu Marc Mentat w wersjach 2024 i 2025. Ponieważ różnice w interfejsie obu wersji są minimalne, a nowa wersja przeszła do użytku w trakcie redagowania pracy, na większości rysunków zachowano widok z wersji 2024.2. Niniejszy podręcznik stanowi rozszerzenie omawianych w książkach [1] i [2] podstawowych obliczeń dla układów powierzchniowych w systemie MSC.Marc/Mentat. W aktualnym wydaniu usunięto rozwiązania problemów za pomocą nieużywanego już, starego interfejsu programu, uwzględniono natomiast jego nowe funkcje służące zarówno do budowy modeli, jak i do analizy wyników. Pokazano też kolejne przykłady dobrze obrazujące szerokie możliwości programu. Autorzy zakładają, że czytelnik zna zasady stosowania metody elementów skończonych, która jest narzędziem rozwiązywania przedstawionych problemów. Należy jednak zwrócić uwagę, że system Marc Mentat jako główny sposób rozwiązania zadania przyjmuje analizę nieliniową. Wyniki liniowe uzyskuje się dopiero po wybraniu odpowiednich opcji programu. Konieczna jest też dobra znajomość języka angielskiego, gdyż wszystkie polecenia programu są zapisane w tym języku. Należy również zwrócić uwagę na kwestię stosowanych jednostek. Począwszy od wersji 2024, to program proponuje układ jednostek (np. zgodny z układem SI), przy czym może on być modyfikowany przez użytkownika.

Zalecane jest czytanie opisanych tu przykładów i jednocześnie wykonywanie ich w programie. Autorzy starali się rozwiązać każdego problemu opisać tak, aby powtórzenie krok po kroku czynności opisanych w pracy doprowadziło do wygenerowania modelu i uzyskania wyników analizy w programie. Należy również zdawać sobie sprawę, że pokazane rozwiązania nie są jedyną drogą do otrzymania poprawnego modelu. Przedstawiono też tylko niektóre, najprostsze funkcje programu.

Na zakończenie ważna uwaga dotycząca nazw stosowanych przez użytkownika. Nazwy zbiorów i nazwy użytych ścieżek mogą zawierać tylko podstawowe znaki ASCII (takie, jakie były dopuszczalne do tworzenia nazw w systemie operacyjnym DOS). Nie jest więc dopuszczalne używanie w nazwach polskich liter i większości innych znaków poza literami alfabetu angielskiego oraz cyframi. Nieprawidłowe zapisanie nazwy pliku programu lub ścieżki uniemożliwi jego poprawne skompilowanie i wykonanie obliczeń. Należy przyjrzeć się temu, zwłaszcza gdy przykład jest zapisywany na pulpicie, gdyż wtedy w ścieżce pojawia się nazwa aktualnego użytkownika systemu Windows.

Ze względu na sposób wprowadzania danych do programu przyjęto w tej pracy, że separatorem dziesiętnym liczb rzeczywistych jest kropka. Bazową wersją dla prezentowanych tu przykładów jest wersja 2025.1 programu, choć różnice w stosunku do wersji nieco wcześniejszej (2024.2 i 2024.1) są niewielkie.