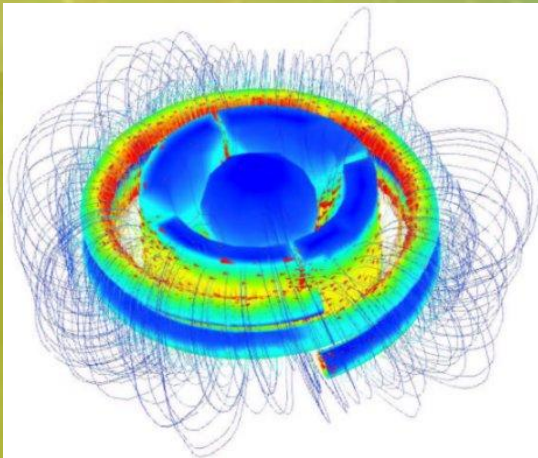


Metoda elementów skończonych w projektowaniu części

Comsol Multiphysics

Prowadzący: dr hab. T. STRĘK



Wykonawcy:

Karwat Piotr

Marczyński Jeremi

Mierzejewski Dawid

Wydz. BMiZ

Kierunek MiBM

Profil dyplomowania: TPM

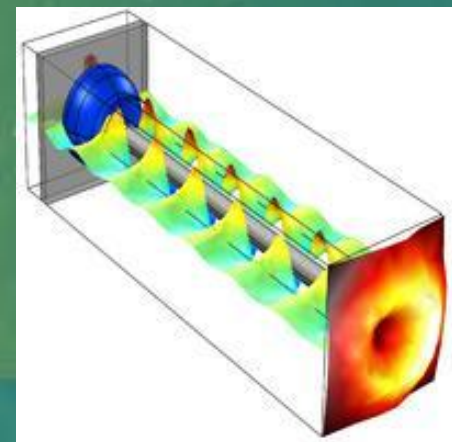
Semestr: VII

Charakterystyka metody elementów skończonych (MES).

W związku z szybkim rozwojem technik komputerowych **metoda elementów skończonych (MES)** stała się ważnym praktycznym narzędziem analizy numerycznej konstrukcji. Metoda ta znalazła szerokie zastosowanie w większości obszarów inżynierskich i matematyce stosowanej.

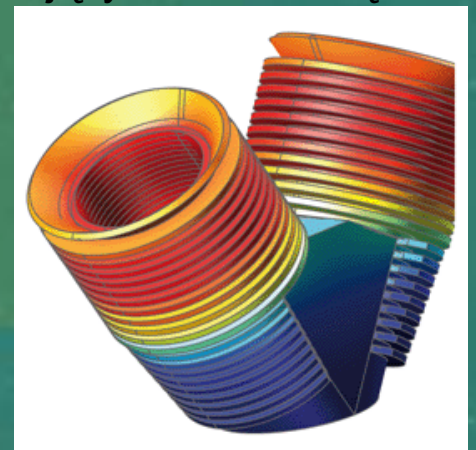
W ogólności MES jest pewną metodą rozwiązywania równań różniczkowych, cząstkowych po uprzedniej ich *dyskretyzacji* we właściwej przestrzeni. Dyskretyzację przeprowadza się lokalnie w małych obszarach o prostym, lecz dowolnym kształcie (zwanym **elementami skończonymi**). W wyniku uzyskuje się równania macierzowe wiążące wielkości wejściowe w określonych punktach w *elementach skończonych* (zwanym **węzłami**) z wielkościami wyjściowymi w tych samych punktach. W kolejności tworzy się duże **macierze sztywności** całej rozważanej konstrukcji przez sumowanie mniejszych podobszarów i otrzymany w ten sposób układ równań rozwiązuje się, wyznaczając żądane wielkości.

Metoda elementów skończonych (MES) jest typowo komputerową metodą wyznaczania naprężeń, odkształceń, uogólnionych sił i przemieszczeń w analizowanej konstrukcji dowolnego rodzaju. Metoda ta opiera się na podziale układu na skończoną liczbę *elementów skończonych*. W obrębie każdego elementu dokonuje się pewnych aproksymacji, a niewiadome (przeważnie przemieszczenia) są reprezentowane poprzez funkcje interpolacyjne za pomocą wartości tych funkcji w skończonej liczbie punktów, zwanych **węzłami**.

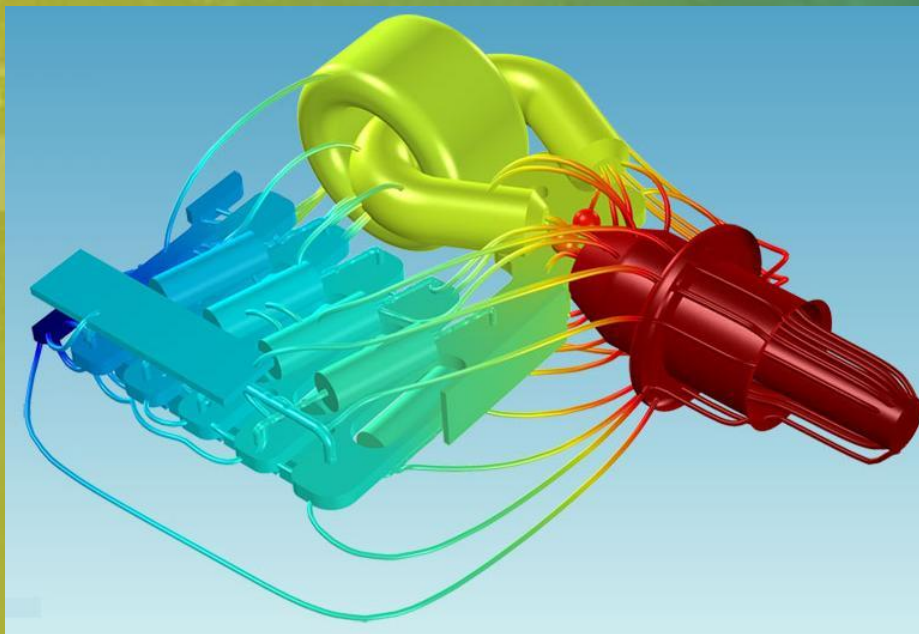


Zastosowanie Metody elementów skończonych.

Za pomocą metody bada się w mechanice komputerowej (CAE) wytrzymałość konstrukcji, symuluje odkształcenia, naprężenia, przemieszczenia, przepływ ciepła, przepływ cieczy. Bada się również dynamikę, kinematykę i statykę maszyn, jak również oddziaływania elektrostatyczne, magnetostaticzne i elektromagnetyczne. Obliczenia MES mogą być przeprowadzane w przestrzeni dwuwymiarowej (2D), gdzie dyskretyzacja sprowadza się najczęściej do podziału obszaru na trójkąty. Rozwiązanie takie pozwala na obliczenie wartości pojawiających się w przekroju danego układu. Związane są z tym jednak pewne ograniczenia wynikające ze specyfiki rozwiązywanego problemu (np. kierunek przepływu tylko przenikający modelowaną powierzchnię, itp.)

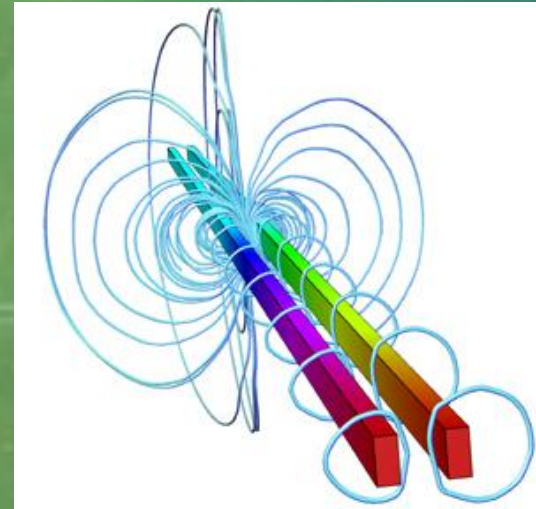


Z uwagi na postęp techniki komputerowej w ostatnich latach większość pakietów symulacyjnych wyposażona jest w możliwość rozwiązywania zagadnień w przestrzeni trójwymiarowej (3D). Dyskretyzacja zazwyczaj polega na podziale obszaru na czworościany. Modelowanie takie pozbawione jest fundamentalnych ograniczeń technologii 2D, ale jest znacznie bardziej wymagające pod względem pamięci i mocy obliczeniowej komputera.



Wady i zalety metody elementów skończonych (MES).

Podstawową zaletą MES jest możliwość uzyskania wyników dla skomplikowanych kształtów, dla których niemożliwe jest przeprowadzenie obliczeń analitycznych. Oznacza to, że dane zagadnienie może być symulowane w pamięci komputera, bez konieczności budowania prototypu, co znacznie ułatwia proces projektowania. Podział obszaru na coraz mniejsze elementy skutkuje zazwyczaj dokładniejszymi wynikami obliczeń, ale jest to okupione zwiększonym zapotrzebowaniem na moc obliczeniową komputera. Dodatkowo należy liczyć się z nakładającymi się błędami obliczeń wynikającymi z wielokrotnych przybliżeń (zaokrągłeń) przetwarzanych wartości. Jeśli obszar składa się z kilkuset tysięcy elementów, które mają nieliniowe własności wówczas obliczenia muszą być odpowiednio modyfikowane w kolejnych iteracjach tak, aby końcowe rozwiązanie było poprawne. Dlatego też w wyjątkowych sytuacjach kumulujące się błędy obliczeniowe mogą okazać się niezaniebawane. Celem minimalizacji tych błędów pomiędzy różnymi wersjami tego samego problemu (np. zmiany parametrów materiałowych przy takich samych wymiarach) stosuje się identyczną dyskretyzację problemu tak, aby ewentualne błędy zaokrągłeń były takie same, a ewentualne różnice w obliczeniach wynikały rzeczywiście ze zmian własności materiału.



Symulacje MES nie mogą być przeprowadzane w czasie rzeczywistym, ponieważ dla bardzo skomplikowanych układów rozwiązanie danego problemu może być bardzo długotrwałe (w zależności od stopnia skomplikowania i mocy obliczeniowej komputera czas ten może wynosić od kilku sekund do kilku dni, a nawet i dłużej). Dodatkowo, wartości obliczone metodą MES obarczone mogą być błędami, których wartość zależy od założeń przyjętych podczas formułowania problemu do rozwiązania, jak również i dokładności dostępnych danych materiałowych. Dlatego też, jeśli to tylko możliwe należy dane obliczone zweryfikować z danymi zmierzonymi na rzeczywistym urządzeniu lub układzie.

MODELOWANIE Z ZASTOSOWANIEM ZAAWANSOWANYCH MATERIAŁÓW W PRZEMYŚLE SAMOCHODOWYM

General Motors postanowiło dostosować i wprowadzić ulepszone kształty do transportu , które zmniejszą zużycie energii, opory powietrza oraz zredukują wagę elementów.

Jako rozwiązanie postanowiono wprowadzić nowe materiały oparte na ultralekkich kompozytach .

Dostawcy rozumieją konieczność stosowania nowych materiałów, przywiązując dużą wagę do procesu produkcji oraz konstruowania.

W artykule zilustrowano trzy proste przykłady, aby pokazać jak poprzez wykorzystanie narzędzi komputerowych wspomóc i nasilić zdobywanie nowych informacji o materiałach i procesach przetwarzania.

Aplikacji COMSOL Multiphysics można użyć do analizy ciepła, ciśnienia, oporów powietrza itp.

Kompozyty termoutwardzalne są szeroko wykorzystywane w przemyśle motoryzacyjnym, ponieważ posiadają małą gęstość (w porównaniu do stopów metalicznych i stali), wysoką wytrzymałość i dobrą zdolność pochłaniania energii.

Proces wytwarzania części z kompozytów jest dużym wyzwaniem dla konstruktorów; np. stal zachowuje dobre właściwości formujące i zachowuje swój kształt po wyjęciu z formy czego nie można powiedzieć o kompozytach. Jest to spowodowane naprężeniami termicznymi. Konstruktor musi przewidzieć naprężenia które mogą się pojawić, a następnie skonstruować formę w taki sposób by wytworzone części miały pożądane wymiary mieszczące się w odpowiednim do zaakceptowania polu tolerancji. Projekty inżynierskie przygotowują strategie mające na celu minimalizację odkształceń detalu po wyjęciu z formy. W tym kierunku przeprowadza się modyfikacje stosowanych temperatur, modyfikacje włókien kompozytowych oraz skład żywic.

W sposób eksperymentalny prowadzone są doświadczenia nad skurczem materiału. Niestety podczas badań występują problemy, co skutkuje tym że wzrastają koszty przedsięwzięcia, a prace są w zarodku.

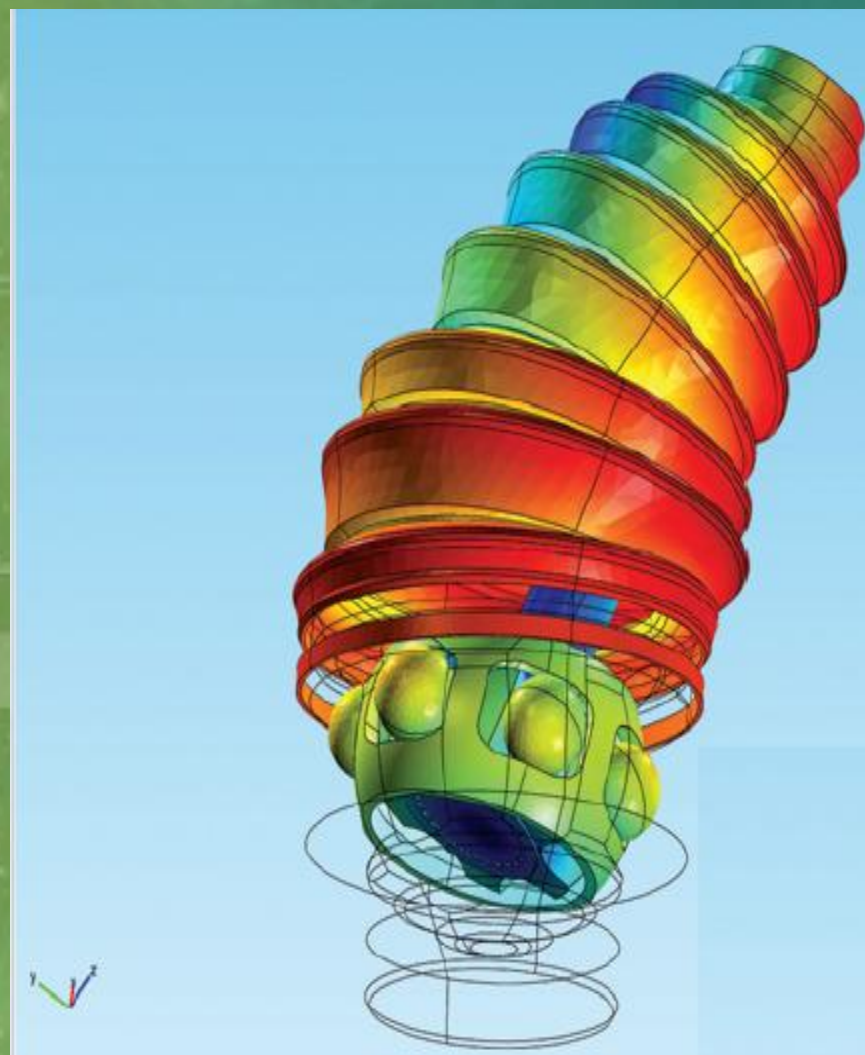
Oprócz tego bada się pozostałe naprężenia występujące w konstrukcji, a mogące wpływać na zmiany kształtu. Prowadzone analizy mają na celu minimalizację tych naprężeń.

Badania prowadzone w Comsol Multiphysics są mniej kosztowne i stanowią alternatywę dla badań doświadczalnych, które są droższe.

Comsol pozwala na manipulacje i zmianę parametrów wyjściowych co pozwala na wybranie najbardziej korzystnego rozwiązania na etapie konstrukcji. Umożliwia to na bieżące wprowadzanie poprawek analizowanego elementu i ich natychmiastowej weryfikacji w procesie symulacyjnym.



Symulacja służy do modyfikacji procesu przetwarzania, kształtu wyrobu, zakresu stosowanych temperatur, czasu itp. Program pozwala na elastyczny dobór materiału i dokonywanie zmian, co w konsekwencji prowadzi do wyboru materiału najbardziej korzystnego dla nas. W trakcie symulacji możemy zobaczyć zachowanie materiału podczas przebiegającego procesu, a także występujące naprężenia w modelu. Przykładem jest wybór materiału, np. porównanie i analiza materiału elastycznego wiskoelastycznego. W przedstawionym przykładzie stosowane są modele wyżej wymienionych materiałów, a następnie porównano naprężenia występujące w obu próbkach.

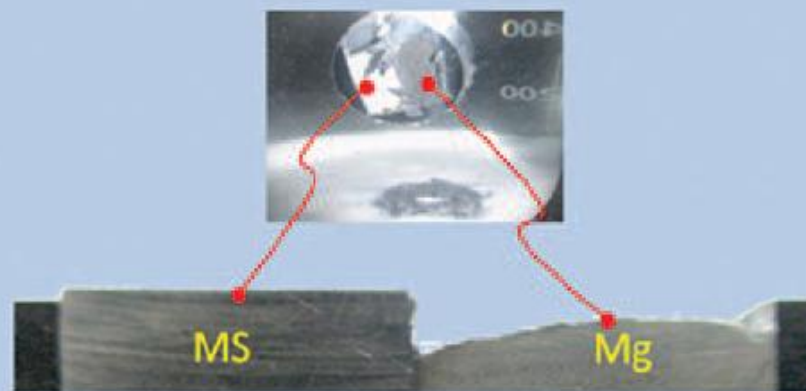


W dzisiejszych czasach konstruowanie sprowadza się do zmniejszania masy pojazdów co prowadzi do zmniejszania zużycia paliwa i mniejszej ilości emitowanych spalin. Magnez jest najlżejszym materiałem metalowym będącym 4 razy lżejszy od stali i 1,5 razy lżejszy od aluminium. Jednakże stosowanie magnezu jest ograniczone ze względu na niską odporność na korozję.

Na rysunku pokazane jest zachowanie się magnezu i miękkiej stali (niskowęglowej) na korozję po 3 dniach w środowisku chlorku sodu. Widać wyraźnie, że magnez jest dużo bardziej podatny na korozję niż stal miękka.

Symulacja taka może być przeprowadzona w programie COMSOL Multiphysics i to pomogło w zrozumieniu mechanizmu korozji galwanicznej materiałów.

Magnesium Alloy (Mg) – Mild Steel (MS) galvanic couple after 3 days of immersion in NaCl Solution



Cross-sectional View

Moduły występujące w programie Comsol Multiphysics.

Structural mechanic (moduł mechaniczny) – jest przeznaczony do badania modeli pod obciążeniem oraz ukazuje ich deformację. Pozwala rozwiązywać statyczne i dynamiczne modele wliczając w to nieliniowe problemy. Umożliwia analizę naprężeń i odkształceń powierzchniowych.

Acoustic module (model akustyczny) – jest światowej klasy rozwiązaniem dla potrzeb modelowania akustyki. Łatwe w użyciu aplikacje użytkowe dostarczają do modelu fale akustyczne rozchodzące się w powietrzu, wodzie, innych płynach oraz w bryłach. Moduł ten zaprojektowany jest dla tych, którzy pracują w klasycznej akustyce wraz z urządzeniami które wydają i wykorzystują akustyczne fale. Wykorzystywane w analizach sprzętu audio, mikrofonów, aparatów słuchowych, barier dźwiękowych. Moduł jest również przydatny do kontroli hałasu silników samolotowych.

Heat transfer module (moduł transferu cieplnego) – moduł ten analizuje problem, które wymagają połączenia przewodnictwa, konwekcji i promieniowania oraz umożliwia ich rozwiązanie.

CFD module (moduł przepływu) – wykorzystywany do analizy przepływów laminarnych i turbulentnych cieczy i gazów. Szerokie zastosowanie w analizie wymienników ciepła, turbinach i systemach wentylacyjnych.

Reaction engineering module (moduł reakcji) – wykorzystywany do analizy przemieszczenia dwóch obiektów względem siebie oraz ich reakcji.

AC/DA module (moduł stało i zmiennie prądowy) – pozwala analizować wydajność kondensatorów, silników i mikrosensorów. Pozwala badać ugięcia i wibracje w wymienionych wcześniej urządzeniach. Moduł ten obejmuje elektrostatykę, magnetostatykę, i quasi- statyczną elektromagnetykę.

Schemat postępowania podczas analizy modelu metodą elementów skończonych przy użyciu programu *Comsol Multiphysics*:

- Wybór modułu podstawowego
- Przygotowanie, ustalenie siatki
- Wprowadzenie geometrii badanego elementu (punkty, proste, odcinki, elipsy, itp.)
- Przygotowanie danych materiałowych
- Zadanie warunków brzegowych i obciążeń

Warunki brzegowe (np. temperatura, przemieszczenia)

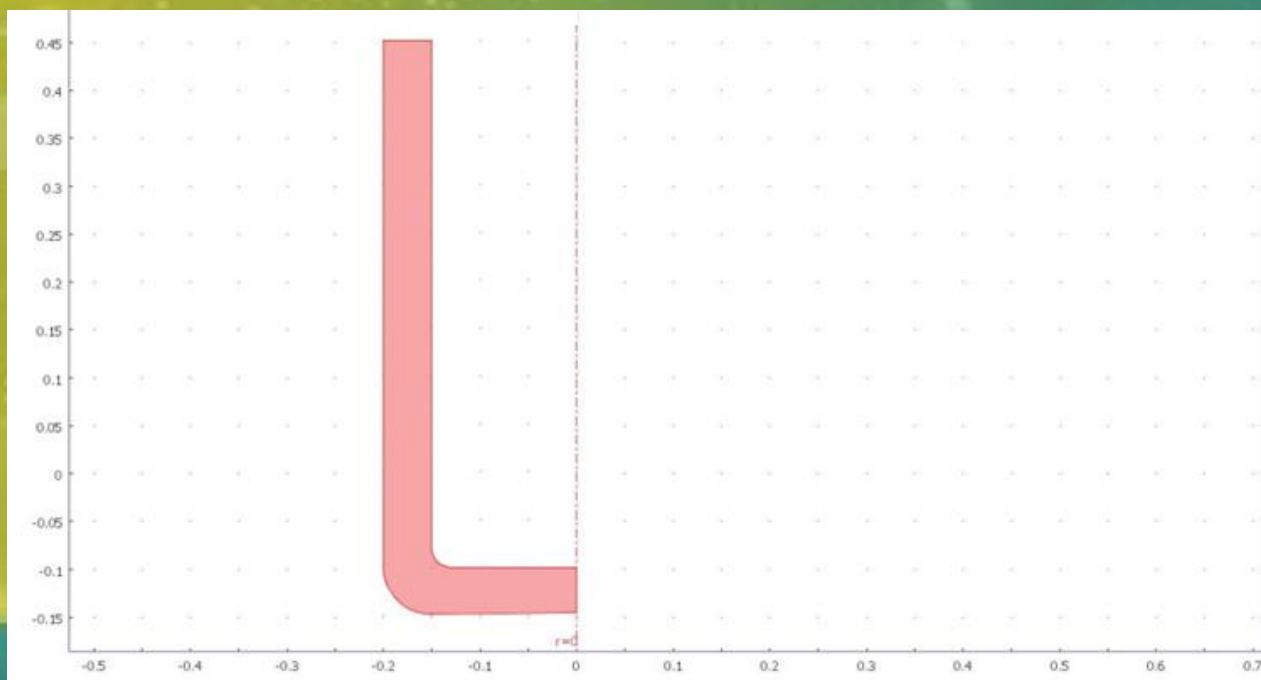
Obciążenia (np. przyłożone siły lub strumień do brzegu, sprężyste zamocowanie belki w podłożu)

Jeżeli na brzegu nic nie zostanie zdefiniowane tzn., że jest to brzeg bez obciążenia i może się swobodnie przemieszczać.

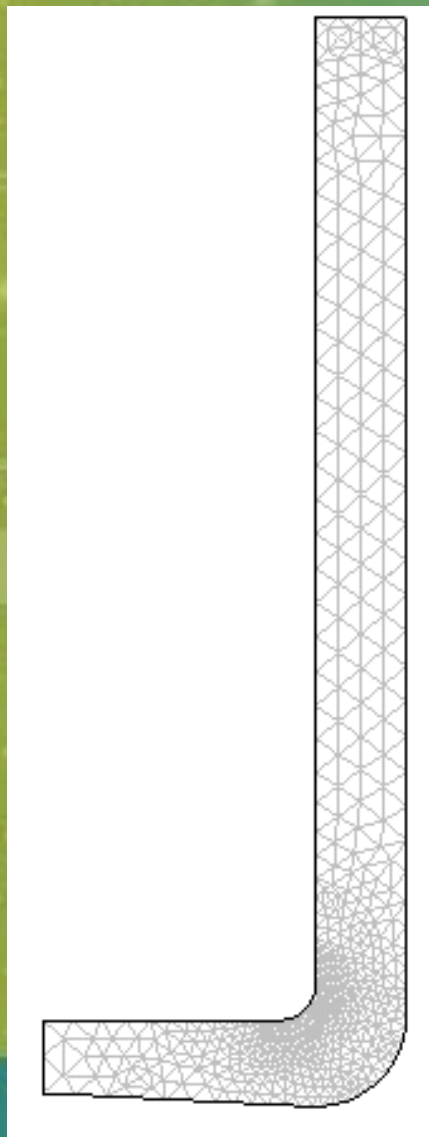
- Dyskretyzacja obszaru (wybór elementu skończonego i ilości węzłów dla analizowanego obiektu).
- Rozwiązanie zagadnienia
- Analiza wyników

Wykorzystanie programu Comsol do analizy przewodnictwa cieplnego dla figury modelowanej w układzie dwuwymiarowym (2D) i trójwymiarowym (3D) układzie współrzędnych.

- **Narysowanie zarysu połowy badanego przedmiotu w symetrii osiowej.**
Zastosowanie modelowania osiowo-symetrycznego umożliwia już przeprowadzenie obliczeń, ponieważ wprowadzenie osi powoduje iż narysowana przez nas połowa detalu w trakcie obliczeń jest widziana przez program jako cały przedmiot (w naszym przypadku „cały kubek”).

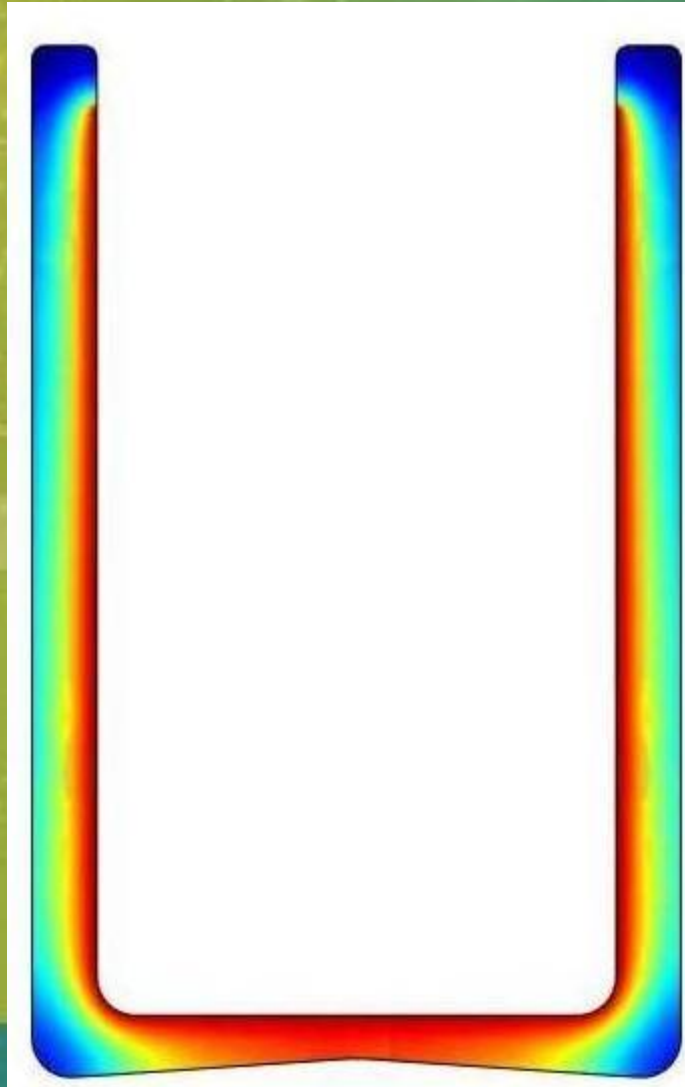


Dyskretyzacja modelu- podział na elementy skończone



**Wykonanie obliczeń dla ustalonych parametrów i właściwości.
Rozkład temperatur, oddziaływanie termiczne na model po zalaniu wrzątkiem**

- Rozkład temperatury w analizowanym elemencie



Podsumowanie

Metoda elementów skończonych umożliwia podział konstrukcji na elementy (małe, ale nie nieskończenie małe), opisie pracy poszczególnych elementów, a następnie zbudowanie opisu pracy całej analizowanej konstrukcji na podstawie przedstawionej pracy poszczególnych elementów skończonych. Zastosowanie MES pozwala na badanie w mechanice komputerowej wytrzymałości konstrukcji, symulacji odkształceń, naprężeń, przemieszczeń.

Dyskretyzacja obszaru badanego polega na podziale obszaru na elementy skończone np. trójkąty. Zwiększenie ilości elementów skończonych w danej siatce pozwala uzyskać dokładniejsze wyniki, jednakże wadą skrupulatniejszych pomiarów jest wydłużenie procesu obliczeniowego, a nawet zastosowanie komputerów o większej mocy obliczeniowej. Metoda Mes pozwala na badania przedmiotów o skomplikowanych kształtach, dla których przeprowadzenie obliczeń w sposób analityczny byłoby niemożliwe. Zaletą takiej analizy jest również możliwość analizy elementu w fazie projektu. W wyniku przeprowadzonej analizy możemy otrzymać następujące wyniki:

-złe – element należy znacząco przeprojektować, w skrajnych przypadkach zaprojektować na nowo

-pośrednie - należy wykonać pewne poprawki, udoskonalenia w celu uzyskania żądanych wyników

-dobre – opracowanie wyników