

# METODY NUMERYCZNE W BIOMECHANICE

Jakub J. Słowiński Katedra Mechaniki i Inżynierii Materiałowej



Politechnika Wrocławska

### Sprawy, sprawy, sprawy

- Jakub J. Słowiński
  - B1 611 (ostatnie piętro)
  - tel. 71 320-47-83
  - E-mail: jakub.slowinski@pwr.edu.pl
  - WWW: <u>https://kmim.wm.pwr.edu.pl/slowinski/o-mnie/</u>
- Konsultacje:
  - poniedziałek 9:15 11:15
  - wtorek 9:00 11:00
- Zaliczenie:
  - na podstawie obecności, aktywności, ćwiczeń oraz otwartego kolokwium



### Plan wykładu

- Zastosowanie metod numerycznych w biomechanice
- Modele objętościowe i powierzchniowe na wybranych przykładach w biomechanice



e Pro	ofiles Options Tools Links Help		
Λ	Simulation Environment: ANSYS License: ANSYS Academic Research		Add-on Modules
Mar	File Customization/ Hi nagement Preferences C	gh Performance VMFX - ANSYS omputing Setup Setup	5/CFX
		nber of Processors	
		Selected	Hosts: New Host
		Add ->	Remove     Edit
	O Use MPI File	Add -> (absolute path required)	Edit
	O Use MPI File	Add -> (absolute path required)	Edit  Product Help

# METODY NUMERYCZNE W BIOMECHANICE

Zastosowanie metod numerycznych w biomechanice

> Jakub J. Słowiński Katedra Mechaniki i Inżynierii Materiałowej



Politechnika Wrocławska

### Ansys

- Pakiet Ansys służy do szeroko pojętych obliczeń inżynierskich realizowanych metodą elementów skończonych (MES).
- MES (ang. FEM finite element method) to metoda poszukiwania przybliżonego rozwiązania problemu poprzez aproksymację (dzięki dyskretyzacji) równań różniczkowych cząstkowych. Zakłada się, że każda wielkość (funkcja) ciągła w danym obszarze, może być opisana za pomocą wielu funkcji ciągłych w skończonej liczbie podobszarów, zwanych elementami.
- Innymi słowy polega ona na podziale obiektu ciągłego (w skali makro) na pewną ilość skończonych obiektów zwanych elementami skończonymi.



### Pomoc programu Ansys

 Wszystkie polecenia jakie pojawią się w późniejszych slajdach zapisane będą wyróżniającą się czcionką.
 Takie polecenia warto dokładnie prześledzić w pomocy programu Ansys. Znacząco ułatwi to pracę, ponadto zaś przy większości poleceń zawarte są dodatkowe uwagi czy wskazania, które również będą pomocne w dalszej pracy z programem.



### Metoda elementów skończonych

- MES (ang. FEM finite element method) to metoda poszukiwania przybliżonego rozwiązania problemu poprzez aproksymację (dzięki dyskretyzacji) równań różniczkowych cząstkowych. Zakłada się, że każda wielkość (funkcja) ciągła w danym obszarze, może być opisana za pomocą wielu funkcji ciągłych w skończonej liczbie podobszarów, zwanych elementami.
- Innymi słowy polega ona na podziale obiektu ciągłego (w skali makro) na pewną ilość skończonych obiektów zwanych elementami skończonymi.



### Metoda elementów skończonych

- O czym zawsze należy pamiętać?
  - uzyskujemy ROZWIĄZANIE PRZYBLIŻONE,
  - komputer policzy (prawie) wszystko,
  - ważne jest zweryfikowanie wyniku (doświadczalnie lub w odniesieniu do własnego doświadczenia).





## Modelowanie

- Jak już wiemy, modelować można wszystko (niemal wszystko).
- Problemem jest stopień odwzorowania czyli wprowadzone uproszczenia:
  - błędy odwzorowania geometrii;
  - błędy odwzorowania zjawiska;
  - błędy przybliżenia (reprezentacja liczb).
- Dlaczego warto/należy upraszczać model?
- Wyniki a potrzeba weryfikacji



# Narzędzie – Ansys Classic

- <u>http://www.ansys.com/products/academic/ansys-</u> <u>student</u>
  - roczna, odnawialna licencja
- Pomoc
  - materiały video:
    - <u>https://www.youtube.com/results?search\_query=ansys+classic</u>
  - fora tematyczne:
    - http://www.xansys.org/forum/index.php
    - http://www.eng-tips.com/threadminder.cfm?pid=569
  - Konsultacje



### **Ansys Launcher**

- program rozruchowy środowiska Ansys Classic
  - SYSTEM PLIKÓW: /ansys\_inc/v121/ansys/bin/launcher121
    - po pojawieniu się ekranu z pytaniem proszę wybrać opcję URUCHOM
- umożliwia wybór folderu, w którym prowadzona będzie analiza i nazwę zadania (wszystkie pliki związane z zadaniem mają potem tę nazwę i różnią się tylko rozszerzeniami – warto włączyć widoczność rozszerzeń plików znanych typów w systemie Windows)
- umożliwia wybór sterownika ekranu sugerowany jest sterownik 3D (sterowniki win32 i win32c w trakcie manipulacji obiektem pokazują tylko jego obrys)



## Plik wsadowy

- Pakiet Ansys umożliwia tworzenie plików wsadowych w języku APDL (Ansys Parametric Design Language).
- zalecany edytor: <u>Context Editor</u> podświetla składnię języka APDL
  - wcięcia wierszy (pierwszy wiersz ręcznie, kolejne już automatycznie)
  - komentowanie (znak rozpoczęcia komentarza to ! lub CTRL+SHIFT+C dla oznaczonego fragmentu procedury)
  - /com, tresc\_komentarza komentarz widoczny w okienku wyjścia programu
  - standardowe rozszerzenie makra zapisanego w edytorze Context to \*.mac, ale Ansys odczyta każdy plik tekstowy



### Plik wsadowy

• Standardowo plik wsadowy otwiera zestaw komend:

finish	!kończy poprzednią analizę
/clear	!czyści plik bazy danych
/prep7	!otwiera preprocesor

Wczytanie pliku powinno odbywać się poleceniem:
 File → Read Input From ...

Możliwe też jest skopiowanie i wklejenie fragmentu procedury bezpośrednio do wiersza poleceń – ten sposób nie jest zalecany w przypadku bardziej rozbudowanych procedur, szczególnie z pętlami czy makrami wymagającymi interakcji ze strony użytkownika.



### GUI

- Po uruchomieniu Ansysa, na etapie tworzenia modelu, należy uruchomić **preprocesor** (menu boczne).
- Wszystkie polecenia związane z generowaniem modelu znajdują się w lewym menu. Po każdej operacji przeprowadzonej poprzez GUI, w edytorze sesji można odnaleźć polecenia, które wywołały określony efekt, co może być pomocne podczas tworzenia pliku wsadowego. W trybie interakcji Ansys numeruje obiekty w oparciu o własną listę adresową. Sposób ten nie jest zrozumiały dla użytkownika, jakkolwiek w ramach procedury będzie funkcjonował.



## Edytor sesji

- Edytor sesji znajduje się w lewym menu jako przedostatnia pozycja.
- Nie odświeża się samoczynnie po otwarciu okna należy je zamknąć i otworzyć ponownie w celu podejrzenia aktualnych zmian.





### Procedura a gotowy model

- Podczas pracy z modelem nie ma potrzeby generować go za każdym razem od nowa. Opracowywany model na każdym etapie można zapisać, za pomocą polecenia save, nazwa\_pliku, db w postaci binarnego pliku \*.db
- Samo polecenie save zapisze plik \*.db o nazwie takiej jaką zdefiniowaliśmy podczas uruchamiania analizy (filename).
- Podczas ponownego i każdego kolejnego zapisu pliku powstaje plik zapasowy \*.dbb (database backup).
- Pliki db i dbb są stale zapisywane wedle schematu.



### Procedura a gotowy model

- Już zapisany w postaci pliku \*.db model można wczytać za pomocą polecenia resume, nazwa\_pliku, db
- Wczytanie modelu poprzez GUI jest także możliwe:
   File → Resume From ...





# METODY NUMERYCZNE W BIOMECHANICE

Modelowanie objętościowe i powierzchniowe

> Jakub J. Słowiński Katedra Mechaniki i Inżynierii Materiałowej



Politechnika Wrocławska

 Modelowanie bryłowe jest najbardziej wydajne pod względem spełnienia założeń konstrukcyjnych, ale trudne w przypadku tworzenia bardziej skomplikowanej geometrii (implanty, detale maszyn, itd.)





# Modelowanie bryłowe

Podstawowe operacje wykorzystywane w trakcie modelowania bryłowego to:

- wyciąganie (extrude),
- kopiowanie (copy),
- odbijanie (reflect),
- parametryzowanie prymitywów,
- operacje boolowskie.

W pewnym stopniu modelowanie bryłowe ułatwić może (szczególnie w przypadku tworzenia obiektów parametrycznych) zastosowanie procedur wsadowych i interaktywne procedury.



### Modelowanie powierzchniowe

Powierzchnie płaskie oraz przestrzenne rozpinane są na punktach. Powierzchnie te mogą być opisane za pomocą funkcji i wzorów matematycznych lub też mogą być powierzchniami swobodnymi.

W przypadku Ansysa obiekty tego typu można uzyskać nie tylko poprzez definiowanie punktów i rozpinanie na nich powierzchni, ale też na drodze importu modelu z programów CAD (Autocad, CATIA, SolidWorks, ...).



# Modelowanie powierzchniowe

- Podstawowe operacje wykorzystywane w trakcie modelowania powierzchniowego to:
  - wyciagnięcie równoległe profilu lub wzdłuż zadanej ścieżki,
  - obrót profilu wokół wybranej osi,
  - operacje przycinania i łączenia powierzchni,
  - edycja cech modelu powierzchniowego,
  - modelowanie swobodne,
  - rozwiniecie powierzchni na profilach.



### Modelowanie powierzchniowe vs objętościowe

- płytka do stabilizacji kręgosłupa w odcinku szyjnym z dostępu przedniego, typu "butterfly", wykonana ze stopu tytanu Ti6Al4V
- geometrię odwzorowana poprzez narysowanie konturu ćwiartki obiektu, a następnie podwójne symetryczne odbicia – względem osi X i Y
- do stworzenia modelu objętościowego otrzymane powierzchnie wyciągnięto wzdłuż osi z na odległość 2,1 mm

	Model powierzchniowy	Model objętościowy
Typ elementu	Shell281	Solid92
Grubość elementu [mm]	2.1	-
Wielkość globalna (ESIZE)	0.2	0.5
llość elementów	6 092	39 741



### Modelowanie powierzchniowe vs objętościowe model geometryczny





### Modelowanie powierzchniowe vs objętościowe warunki brzegowe





# Modelowanie powierzchniowe vs objętościowe przemieszczenie całkowite







# Modelowanie powierzchniowe vs objętościowe przemieszczenie w osi Z







### Modelowanie powierzchniowe vs objętościowe porównanie wyników

0,206819

```
\frac{0,206819 - 0,206208}{* 100\%} \approx 0,3\%
```

 Oba modele (szczególnie objętościowy) były niewielkie (ograniczenie licencyjne), ale można zaobserwować znaczne skrócenie czasu obliczeń przy zastosowaniu modelu powierzchniowego podzielonego elementami powłokowymi (tutaj shell281).



### Sześcian – walce normalne do ścianek finish /clear /prep7 /com,tworzymy\_parametry bok=8 prom=1 ! help block – uruchamia pomoc dla polecenia block block,-bok/2,bok/2,-bok/2,bok/2,-bok/2,bok/2 cylind, prom,, -bok, bok, 0, 360 wprota,0,90,0 !obraca uklad lokalny cylind, prom, , -bok, bok, 0, 360 wprota,0,0,90 !obraca uklad lokalny cylind, prom, , -bok, bok, 0, 360



### Zmiana koloru tła CZARNY $\rightarrow$ BIAŁY

### • PlotCtrls $\rightarrow$ Style $\rightarrow$ Colors $\rightarrow$ Reverse Video





# Sześcian – walce

 Linie ograniczające objętości nie są widoczne na granicy walce – sześcian, co oznacza, że figury te przenikają się wzajemnie.





### Sześcian – walce z wierzchołków (wariant 1)

```
! CTAG DAI SZY POPRZEDNTEJ PROCEDURY
             !odlicza katy w stopniach
*AFUN, DEG
                !resetuje polozenie ukladu lokalnego (WP - working plane)
wpcsys,-1,0
WPROTA,0,0,45
WPROTA,0,ACOS(SQRT(2)/SQRT(3))
CSYS,4
CYLIND, PROM, ,-BOK, BOK, 0, 360
                !resetuje polozenie ukladu lokalnego (WP - working plane)
wpcsys,-1,0
WPROTA, 0, 0, -45
WPROTA,0,ACOS(SQRT(2)/SQRT(3))
CSYS,4
CYLIND, PROM, ,-BOK, BOK, 0, 360
                !resetuje polozenie ukladu lokalnego (WP - working plane)
wpcsys,-1,0
WPROTA, 0, 0, 45
WPROTA,0,-ACOS(SQRT(2)/SQRT(3))
CSYS,4
CYLIND, PROM, ,-BOK, BOK, 0, 360
                !resetuje polozenie ukladu lokalnego (WP - working plane)
wpcsys,-1,0
WPROTA, 0, 0, -45
WPROTA,0,-ACOS(SQRT(2)/SQRT(3))
CSYS,4
CYLIND, PROM, ,-BOK, BOK, 0, 360
```



# Operacje boolowskie

- Uzyskaliśmy specyficzny kształt t.j. sześcian i 7 walców. Kolejnym zadaniem jest odjąć walce od sześcianu. Można tego dokonać na kilka sposobów.
- Podstawą tej operacji będzie użycie komendy vsbv.
- Możemy odejmować po kolei wszystkie objętości walców od sześcianu (czy też jego pozostałości), ale wymaga to kontrolowania numerów objętości.
- Znacznie wygodniej jest odjąć wszystko za jednym razem komendą vsbv,1,all (1 to numer sześcianu – ta objętość powstała jako pierwsza; all to wszystkie pozostałe wyselekcjonowane objętości).
- Można też operować na komponentach...





# Komponenty

- Komponentem w Ansysie jest zbiór obiektów jednego typu (punkty, linie, powierzchnie, ...), które pod indywidualną nazwą użytkownik może dowolnie generować.
- Komponent powstaje w oparciu o wcześniej wyselekcjonowane obiekty. W celu stworzenia komponentu używa się polecenia cm, nazwa, typ
  - nazwa jest dowolna z wyjątkiem zmiennych systemowych lub rozkazów języka APDL,
  - typ określa jakiego typu obiekty współtworzą komponent.



# Komponenty

- Po stworzeniu komponentu jest on dostępny w menadżerze komponentów lub też za pomocą polecenia cmsel, tryb\_selekcji, nazwa
- Tryb selekcji jest analogiczny do tego, który znamy z komendy xSEL:
  - s selekcja z pełnego zakresu;
  - r reselekcja z już istniejącego zakresu;
  - a doselekcjonowanie do już istniejącego zakresu;
  - u odselekcjonowanie z już istniejącego zakresu (także z pełnego zakresu).



# Selekcja c.d.

- Pomocnym trybem wyboru obiektów, jest selekcja obiektów z powierzchni modelu oraz inwersja selekcji.
- Pierwszy sposób pozwala wybrać tylko te powierzchnie lub węzły, które znajdują się na powierzchni modelu, co w bardzo wygodny sposób pozwala nałożyć warunki brzegowe w postaci sil powierzchniowych.
  - selekcja powierzchni: asel, s, ext
  - selekcja węzłów: nsel, ext
- Inwersja pozwala wybrać obiekty poprzez odwrócenie zaznaczenia, co w połączeniu w uprzednio opisanymi trybami selekcji daje szeroki wachlarz możliwości w zakresie definiowania niezbędnych komponentów.



# Selekcja c.d.

- Przeprowadzenie selekcji obiektów danego typu nie wpływa domyślnie na wybór obiektów pozostałych typów np. wybór określonego zestawu powierzchni z pełnego ich zakresu nie wpłynie na linie obiektu, te będą wyświetlane zgodnie z wcześniej przeprowadzoną selekcją linii.
- Można jednak połączyć wybór obiektów wyższego typu i uzależnić od niego selekcję obiektów typów podległych lub związanych innymi zależnościami.



# Selekcje obiektów podległych

- Po wybraniu np. objętości, możemy wybrać powierzchnie, linie i punkty z nimi wiązane a w przypadku modeli już zdyskretyzowanych także węzły i elementy. Można to zrealizować poleceniem allsel, below, volu
- Wybieramy zatem wszystko, poniżej wybranych w tym wypadku objętości, ale mogą to być także powierzchnie, linie czy punkty.



## Selekcja obiektów związanych zależnościami

- Możliwa jest także selekcja obiektów wedle parametrów takich jak np. materiał, typ elementu, inne stałe materiałowe itd.
  - np. esel,s,mat,,4 wybiera wszystkie elementy, które opisane są materiałem o numerze 4
- W przypadku linii bardzo pomocnym poleceniem jest wybór ze względu na ich długość ssln,,rozmiar, gdzie rozmiar to długość linii poniżej której dana linia zostanie wyselekcjonowana. Polecenie to jest przydatne przy okazji dyskretyzacji modelu ze względu na możliwość wskazania miejsc, w których podział na elementy skończone może być utrudniony ze względu na bardzo małe wymiary detali geometrycznych.



### Operacje boolowskie

- Operacje boolowskie to zestaw możliwych działań logicznych jakie można przeprowadzić na elementach (objętościach, powierzchniach lub liniach) modelu geometrycznego.
- Jeżeli wcześniej model został poddany dyskretyzacji, to modyfikacja geometrii będzie możliwa, po zdjęciu siatki elementów.
- Do podstawowych operacji zaliczamy:
  - dodawanie;
  - odejmowanie;
  - szukanie części wspólnych



# Operacje boolowskie – dodawanie (addition)

- objętości vadd (volumes addition)
- powierzchni aadd (areas adition)
- linii lcomb (lines combining)



### Operacje boolowskie – odejmowanie (subtraction)

- objętości vsbv (volume subtract volume)
- powierzchni asba (area subtract area)
- linii lsbl (line subtract line)



# Szukanie części wspólnych

- objętości vptn (volumes partitioning)
- powierzchni aptn (areas partitioning)



### Operacje boolowskie – opcje dodatkowe

- Każda z przedstawionych operacji ma swoje opcje, które należy prześledzić w pliku pomocy. Każdy rozkaz działa w pewnym określonym domyślnym trybie i wszelka jego modyfikacja jest możliwa za pomocą dodatkowych parametrów. Niewpisanie wartości tych parametrów dodatkowych spowoduje pracę w trybie domyślnym.
  - vsbv opcje domyślne przewidują, że objętość będąca narzędziem, tzn. odejmowana od objętości głównej zostanie skasowana po operacji, podczas gdy możliwe jest pozostawienie jej



### Własny model shell vs solid

• W ramach ćwiczeń opracowano model klucza





### Klucz – model geometryczny

- Zdjęcie obiektu zostało ustawione jako tło w programie Ansys Classic:
  - PlotCtrls  $\rightarrow$  Style  $\rightarrow$  Background  $\rightarrow$  Textured Background from File
  - Wybieramy odpowiednie rozszerzenie dla naszego pliku stanowiącego tło (jpeg, png, bmp).
  - Wskazujemy nasz plik.
  - Ustawiony jak tło obrazek wypełnia przestrzeń roboczą jak kafelek bez możliwości jakiejkolwiek modyfikacji (nie ma możliwości skalowania, translacji czy rotacji). Musimy sami zadbać o prawidłowy wymiar najlepiej zmierzyć rozmiar aktywnego obszaru roboczego programu Ansys

🕅 ANSYS Academic Research Utility Menu (gwozdek)							
Eile Select List Plot PlotCtrls WorkPlane Parameters Macro MenuCtrls Help							
D B B B     Pan Zoom Rotate       Toolbar     View Settings ,							
SAVE_DB RESUM_D Numbering Symbols							
Main Menu Style Hidden Line Options							
■ Preferences Font Controls , ■ Preprocessor Window Controls , Undow Controls , Edge Options							
Solution     Erase Options     Contours							
■ Session Editor     Device Options     Light Source       ■ Finish     Redirect Plots     Translucency       Hard Copy     Texturing							
Save Plot Ctrls     Background     Display Picture E       Restore Plot Ctrls     Multilegend Options     Shaded Background       Reset Plot Ctrls     Floating Point Format     Textured Background	ackground und ound						
Displacement Scaling							



# Klucz – punkty na płaszczyźnie

- W celu opracowania modelu geometrycznego klucza niezbędne jest odtworzenie jego obrysu.
- W pierwszym kroku utworzymy punkty niezbędne później do stworzenia linii.
- W tym celu powinniśmy wyłączyć przyciąganie do siatki:
  - WorkPlane  $\rightarrow$  WP Settings...
    - odznaczamy opcję Enable Snap

WP Settings				
<ul> <li>Cartesian</li> <li>Polar</li> </ul>	n			
C Grid and Triad				
C Grid Only				
Triad Only				
🔽 Enable Snap				
Snap Incr	0.05			
Snap Ang	5			
Spacing	0.1			
Minimum	-1			
Maximum	1			
Tolerance	0.003			
OK I	Apply			
Reset	Cancel			
Help				



### Klucz – linie w oparciu o punkty

- Po stworzeniu punktów można utworzyć linie. Generować będziemy linie proste. Służy do tego komenda 1str lub prościej 1 (litera L).
- Można napisać I,punkt\_1, punkt\_2 ale warto zastosować prosty trik, który położy całą serię linii. Warunkiem jest aby punkty tworzone były po kolei wzdłuż konturu klucza, trzeba także znać numer ostatniego punktu – zmienna numax:
  - 1,1:numax-1:1,2:numax:1 jest to mała pętla, która tworzy linie na zasadzie punkt\_1 (z pierwszej pętli od 1 do numax-1) z punktem\_2 (z drugiej pętli od 2 do numax); obie pętle ze skokiem co 1
  - Jeśli stworzyliśmy linie powyższą procedurą, to trzeba pamiętać o zamknięciu konturu klucza – trzeba połączyć ostatni punkt z pierwszym.



### Klucz – linie w oparciu o punkty

 Linie można także wstawiać w trybie graficznym. Należy napisać komendę 1, p i wyklikać kolejno pary punktów, co pozwoli tworzyć linie proste. Tworzenie linii w taki sposób można także wywołać z głównego menu programu (po lewej stronie).





### Klucz - powierzchnia

• Aby stworzyć powierzchnię ze wszystkich linii wystarczy wpisać komendę **a1**, **al1**.

