

POLITECHNIKA



BIAŁOSTOCKA

WYDZIAŁ



**INŻYNIERII
ZARZĄDZANIA**

KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ

Instrukcje do zajęć pracowni specjalistycznej z przedmiotu:

Metody modelowania w inżynierii produkcji

Kod przedmiotu: **KSU02700, KNU02700**

Opracował:
dr inż. Arkadiusz Łukjaniuk

Białystok 2022

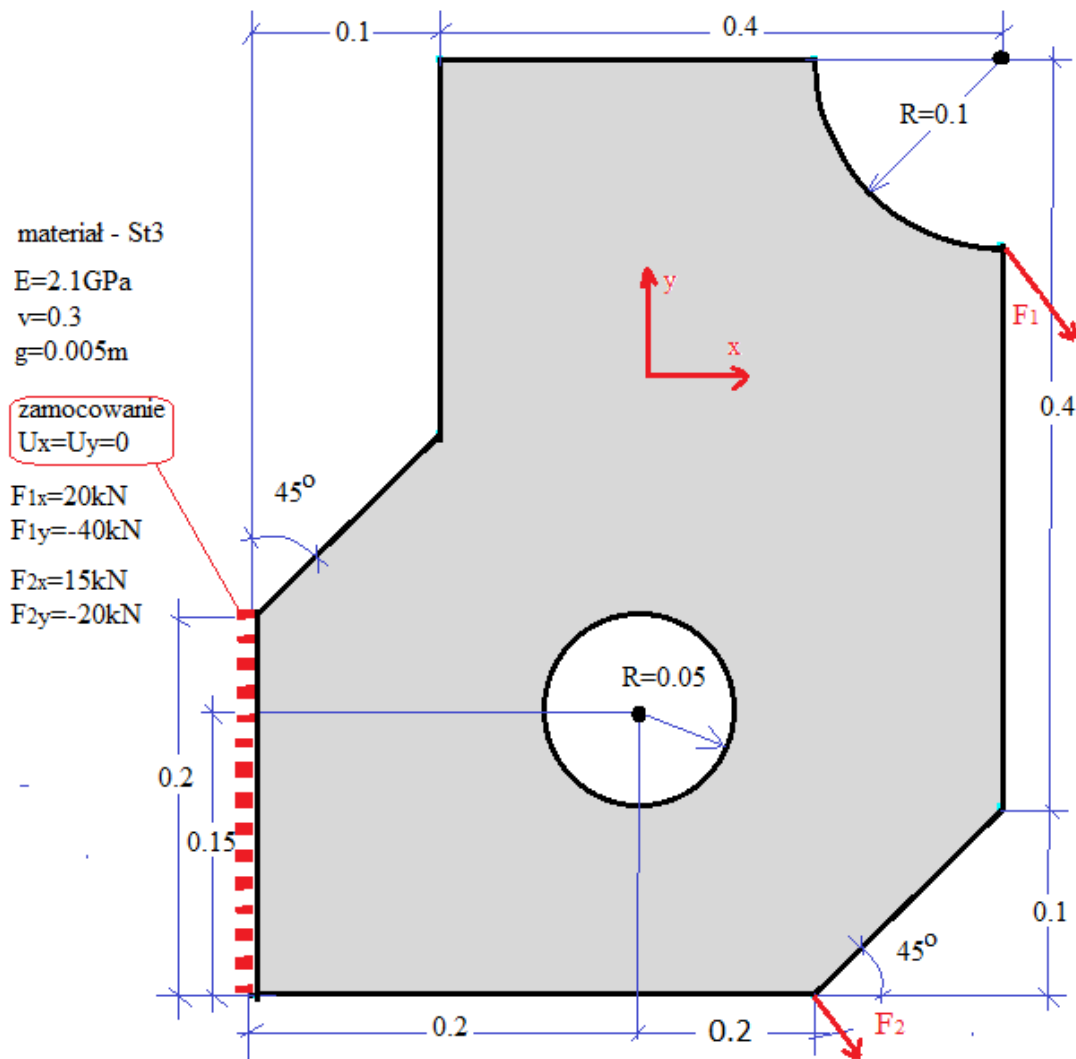
Ćwiczenie Nr 1:

Tworzenie modeli numerycznych 2D

CEL ĆWICZENIA: zapoznanie studentów z etapami tworzenia modeli 2D, metodami tworzenia siatki elementów skończonych i wprowadzania warunków brzegowych i wymuszeń.

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Przeprowadzić podział geometrii obiektu z rys. 1 na „patche” i zapisać w pliku **baza.db**.



Rys. 1. Geometria modelowanego elementu z zaznaczonymi warunkami brzegowymi i wymuszeniami oraz parametrami materiałowymi

2. Przeprowadzić podział tak przygotowanego modelu na elementy skończone korzystając z opcji *FEG*.
3. Sprawdzić poprawność stworzenia siatki elementów.
4. „Zszyć” model i wprowadzić parametry materiałowe.
5. Wprowadzić warunki brzegowe i wymuszenia.
6. Uzupełnić pozostałe niezbędne opcje: title, load case, executive.
7. Zapisać pliki z rozszerzeniem *.dbs i *.nis.
8. Przeprowadzić obliczenia.
9. Wczytać plik baza.dbs i powtórzyć operacje z punktów 2-8 dla podziału na elementy skończone przy pomocy opcji *FAM*.
10. Wczytać plik baza.dbs i powtórzyć operacje z punktów 2-8 dla podziału na elementy skończone przy pomocy opcji *automesh*.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Dane projektowe wraz z rysunkiem elementu z wymuszeniami i warunkami brzegowymi;
- Ilustrację i opis poszczególnych etapów tworzenia modelu numerycznego;
- Rozkłady naprężeń wg hipotezy von Missesa i przemieszczeń wypadkowych badanego elementu dla analizowanych wariantów podziału na elementy skończone;
- Przeprowadzić analizę uzyskanych rezultatów i sprawdzić, czy nie została przekroczona granica plastyczności dla danego materiału;
- Przeanalizować wpływ metod podziału modelu na elementy skończone na wartość przemieszczeń i naprężeń w badanym elemencie;
- Wnioski.

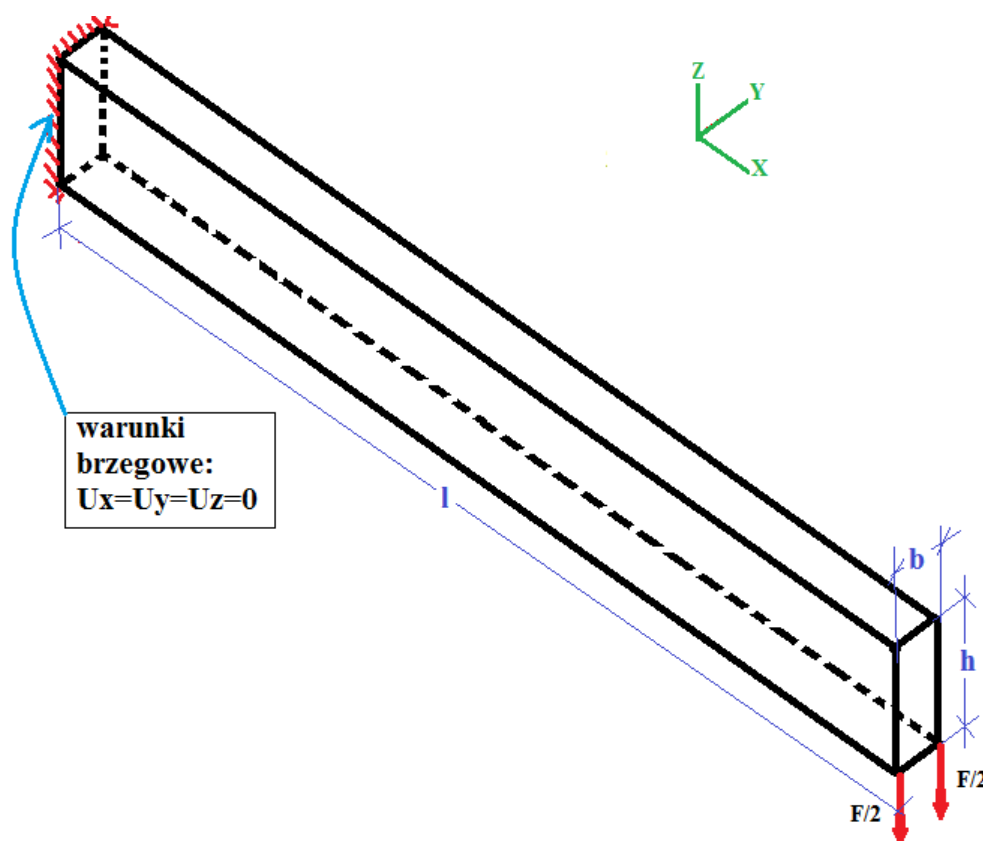
Ćwiczenie Nr 2:

Badanie wpływu siatki elementów skończonych na dokładność obliczeń MES (model 3D obciążenie skupione)

CEL ĆWICZENIA: zapoznanie studentów z metodami tworzenia modeli numerycznych 3D oraz wpływem rodzaju i gęstości siatki elementów skończonych na dokładność obliczeń odkształceń i naprężeń.

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Zbudować model numeryczny belki zamocowanej jednostronnie i obciążonej siłą skupioną (rys.2) zgodnie z danymi projektowymi podanymi przez prowadzącego ćwiczenie.



Rys. 2. Belka z warunkami brzegowymi i wymuszeniem

Tabela 1. Dane projektowe

l	b	h	E	v	F
m	m	m	MPa	-	kN

2. Przeprowadzając podziały modelu belki zgodnie z poleceniami z tabeli 2 wykonać obliczenia numeryczne.

3. Po wczytaniu odpowiednich plików z rozszerzeniem *.dat zanotować wartości $|U_{z_{max}}|$ i σ_{MES} (wg hipotezy von Misesa).

Tabela 2. Wyniki obliczeń i symulacji numerycznych

Podział x/y/z	Liczba węzłów LW	Max ugięcie belki (MES) $ U_{z_{max}} $	Ugięcie belki obliczone U_{zo}	Błąd wyznaczenia ugięcia belki δ_z	Max wartość naprężenia (MES) σ_{MES}	Max wartość naprężeń gnących σ_g	Błąd wyznaczenia naprężeń gnących δ_σ
jednostki				%	MPa	MPa	%
1/1/1							
2/2/2							
3/3/3							
6/3/3							
8/3/3							
8/3/5							
8/3/6							
10/3/6 hexahedron							
10/3/6 tetrahedron							
10/3/6 wedge							
Dowolny hexahedron							

4. Uzupełnić tabelę 2 obliczając niezbędne wartości (wzory 1-4).

Wzory do obliczeń ugięcia belki:

$$U_{zo} = \frac{Fl^3}{3EJ} \quad J = \frac{bh^3}{12} \quad (1)$$

Wzory do obliczeń maksymalnych naprężeń gnących (w miejscu zamocowania belki):

$$\sigma_g = \frac{Fl}{W} \quad W = \frac{bh^2}{6} \quad (2)$$

Wzór do obliczenia błędu ugięcia belki wyznaczonego za pomocą MES:

$$\delta_z = \frac{U_z - U_{zo}}{U_{zo}} 100\% \quad (3)$$

Wzór do obliczenia błędu naprężeń wyznaczonych za pomocą MES:

$$\delta_{\sigma} = \frac{\sigma_{MES} - \sigma_g}{\sigma_g} 100\% \quad (4)$$

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Dane projektowe i rysunek belki z wymuszeniami i warunkami brzegowymi;
- Uzupełnioną tabelę 2 oraz po 3 wybrane rozkłady naprężeń wg hipotezy von Misesa i przemieszczeń belki w kierunku osi „z”;
- Wykres zmian ugięć belki otrzymanych za pomocą MES w funkcji liczby węzłów $|U_{z_{max}}| = f(LW)$;
- Wykres zmian wartości błędu wyznaczenia ugięcia belki δ_z za pomocą MES w funkcji liczby węzłów $\delta_z = f(LW)$;
- Wykres zmian maksymalnych wartości naprężeń otrzymanych za pomocą MES w funkcji liczby węzłów $\sigma_{MES} = f(LW)$;
- Wykres zmian wartości błędu wyznaczenia naprężeń gnących za pomocą MES w funkcji liczby węzłów $\delta_{\sigma} = f(LW)$;
- Przeprowadzić analizę uzyskanych rezultatów;
- Przeanalizować wpływ rodzaju elementów skończonych na błędy wyznaczenia ugięć i naprężeń w belce;
- Sprawdzić, czy nie została przekroczona granica plastyczności (St3);
- Wnioski.

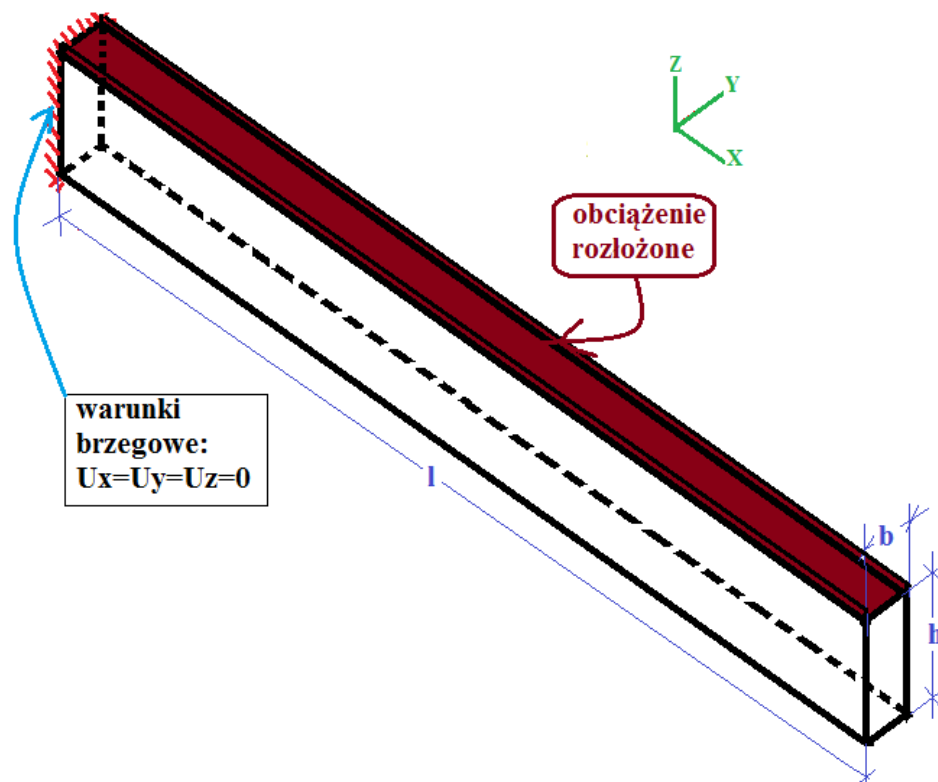
Ćwiczenie Nr 3:

Badanie wpływu siatki elementów skończonych na dokładność obliczeń MES (model 3D, obciążenie rozłożone)

CEL ĆWICZENIA: zapoznanie studentów z wpływem rodzaju i gęstości siatki elementów skończonych na dokładność obliczeń odkształceń i naprężeń.

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Zbudować model numeryczny belki zamocowanej jednostronnie i poddanej obciążeniu rozłożonemu (rys.3) zgodnie z danymi projektowymi podanymi przez prowadzącego ćwiczenie.



Rys. 3. Belka z warunkami brzegowymi i obciążeniem rozłożonym

Tabela 3. Dane projektowe

l	b	h	E	v	F	q
m	m	m	MPa	-	kN	kPa

2. Przeprowadzając podziały modelu belki zgodnie z poleceniami w tabeli 4 wykonać obliczenia numeryczne, a wymagane wyniki obliczeń wpisać do tabeli.

Tabela 4. Wyniki obliczeń i symulacji numerycznych

Podział x/y/z	Liczba węzłów LW	Max ugięcie belki (MES) $ U_{z_{max}} $	Ugięcie belki obliczone U_{z_0}	Błąd wyznaczenia ugięcia belki δ_z	Max wartość naprężenia (MES) σ_{MES}	Max wartość naprężeń gnących σ_g	Błąd wyznaczenia naprężeń gnących δ_σ
jednostki				%	MPa	MPa	%
1/1/1							
2/2/2							
3/3/3							
6/3/3							
8/3/3							
8/3/5							
8/3/6							
10/3/6 hexahedron							
Dowolny hexahedron							

5. Uzupełnić tabelę 4 obliczając niezbędne wartości (wzory studenci powinni znaleźć samodzielnie).

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Dane projektowe i rysunek belki z wymuszeniami i warunkami brzegowymi;
- Uzupełnioną tabelę 4 oraz po 3 wybrane rozkłady naprężeń wg hipotezy von Misesa (Hubera) i przemieszczeń belki w kierunku osi „z”;
- Wykres zmian ugięć belki otrzymanych za pomocą MES w funkcji liczby węzłów $|U_{z_{max}}| = f(LW)$;
- Wykres zmian wartości błędu wyznaczenia ugięcia belki δ_z za pomocą MES w funkcji liczby węzłów $\delta_z = f(LW)$;
- Wykres zmian maksymalnych wartości naprężeń otrzymanych za pomocą MES w funkcji liczby węzłów $\sigma_{MES} = f(LW)$;
- Wykres zmian wartości błędu wyznaczenia naprężeń gnących za pomocą MES w funkcji liczby węzłów $\delta_\sigma = f(LW)$;
- Przeprowadzić analizę uzyskanych rezultatów;
- Przeanalizować wpływ rodzaju elementów skończonych na błędy wyznaczenia ugięć i naprężeń w belce;
- Sprawdzić, czy nie została przekroczona granica plastyczności (St3);
- Wnioski.

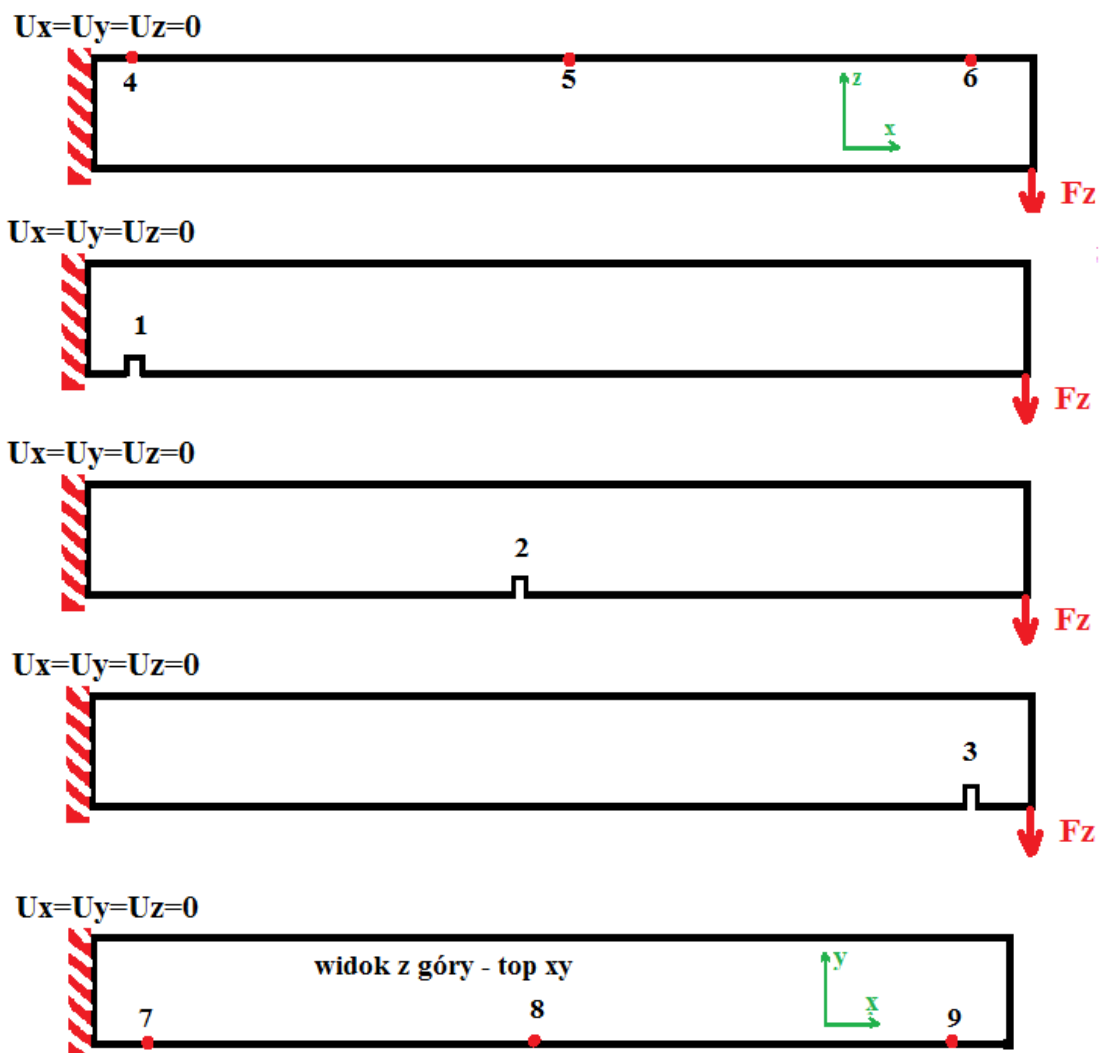
Ćwiczenie Nr 4:

Badanie wpływu karbu na rozkład naprężeń

CEL ĆWICZENIA: zapoznanie studentów z wpływem karbu na wytrzymałość elementów konstrukcyjnych

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Wykorzystując model numeryczny z ćwiczenia Nr 2 (siatka hexahedron i podział 10/4/6, materiał Al) przeprowadzić obliczenia przemieszczeń i naprężeń belki dla wariantów usytuowania karbów jak na rys. 5.



Rys. 5. Warianty umiejscowień karbu w belce

- Wykorzystując dane obliczeń uzupełnić tabelę 10.
- Wyznaczyć współczynnik zwiększenia ugięcia belki K_z i zwiększenia wartości naprężeń K_σ z następujących zależności:

$$K_z = \frac{|U_{z \max}|_i - |U_{z \max}|_{BK}}{|U_{z \max}|_{BK}} 100\%,$$

$$K_\sigma = \frac{\sigma_i - \sigma_{BK}}{\sigma_{BK}} 100\%,$$

gdzie: $|U_{z \max}|_i$ - wartość bezwzględna maksymalnego ugięcia belki przy i-tym położeniu karbu;

$|U_{z \max}|_{BK}$ - wartość bezwzględna maksymalnego ugięcia belki bez karbu;

σ_{BK} - wartość maksymalnego naprężenia w belce bez karbu (wg hipotezy von Misesa);

σ_i - wartość maksymalnego naprężenia w belce przy i-tym położeniu karbu;

Tabela 10. Wyniki obliczeń wpływu karbu na wartości ugięć i naprężeń w belce

Miejsce karbu	Max ugięcie belki (MES) $ U_{z \max} $ mm	Wzrost ugięcia belki K_z %	Max wartość naprężenia (MES) σ_{MES} MPa	Wzrost naprężeń gnących K_σ %
Brak karbu		0		0
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Dane projektowe i rysunki wariantów rozmieszczenia karbu w belce;
- Wybrane rozkłady przemieszczeń U_z i naprężeń wg hipotezy von Misesa
- Przeprowadzić analizę uzyskanych rezultatów;
- Sprawdzić, czy nie została przekroczona granica plastyczności (Al);
- Wnioski.

Ćwiczenie Nr 5:

Modelowanie wydłużeń i naprężeń termicznych

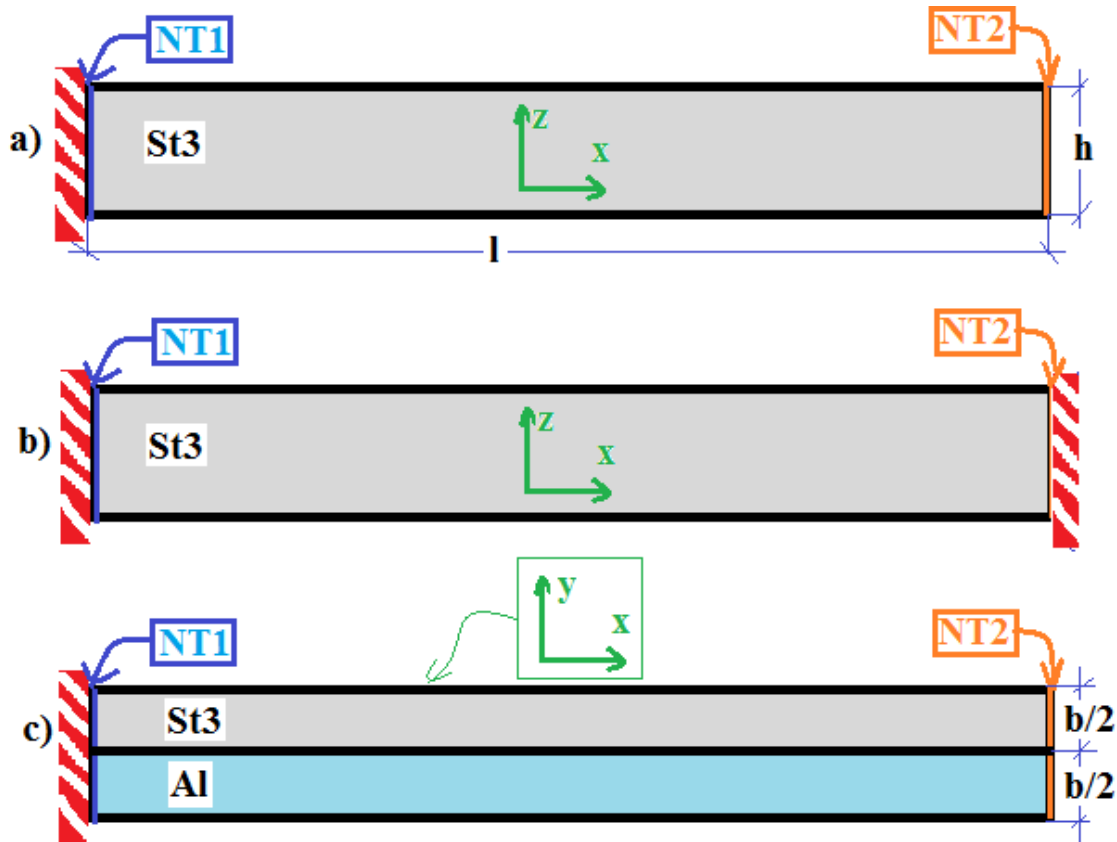
CEL ĆWICZENIA: zapoznanie studentów z tworzeniem modeli numerycznych do obliczeń wydłużeń i naprężeń termicznych, a także zbudowanie modelu bimetalu i przeprowadzenie obliczeń numerycznych.

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Zbudować model numeryczny belki zamocowanej jednostronnie - rys. 6a (siatka hexahedron i podział 10/3/6) i wprowadzić warunki brzegowe (nodal temp. – tabela 11), a następnie wykonać obliczenia numeryczne przemieszczeń i naprężeń belki.

Tabela 11. Dane projektowe

l	b	h	NT1	NT2	α_{St3}	α_{Al}
m	m	m	[°C]	[°C]	1/deg	1/deg
					$12,5 \cdot 10^{-6}$	$28,5 \cdot 10^{-6}$



Rys. 6. Geometria belki z warunkami brzegowymi: a) zamocowanej jednostronnie; b) zamocowanej dwustronnie; c) model bimetalu.

2. Zbudować model numeryczny belki zamocowanej dwustronnie - rys. 6b i wykonać obliczenia numeryczne przemieszczeń i naprężeń belki.
3. Zbudować model numeryczny bimetalu - rys. 6c i wykonać obliczenia numeryczne przemieszczeń i naprężeń w nim.
4. Dobrać tak wartość temperatury NT2, aby bimetel wygiął się o 5 mm.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Dane projektowe i rysunki wariantów analizowanych modeli;
- Rozkład przemieszczeń U_x i naprężeń wg hipotezy von Misesa (dla modelu z rys. 6a);
- Wynik obliczenia (z ogólnie znanego wzoru) wydłużenia belki w kierunku osi „x” i porównanie z wynikami obliczeń numerycznych;
- Rozkłady przemieszczeń U_x , U_y i U_z oraz naprężeń wg hipotezy von Misesa (dla modelu z rys. 6b);
- Rozkład przemieszczeń U_y oraz naprężeń wg hipotezy von Misesa (dla modelu z rys. 6c);
- Widoki deformacji wariantów modeli;
- Przeprowadzić analizę uzyskanych rezultatów i sprawdzić, czy nie została przekroczona granica plastyczności dla badanych materiałów;
- Wnioski.

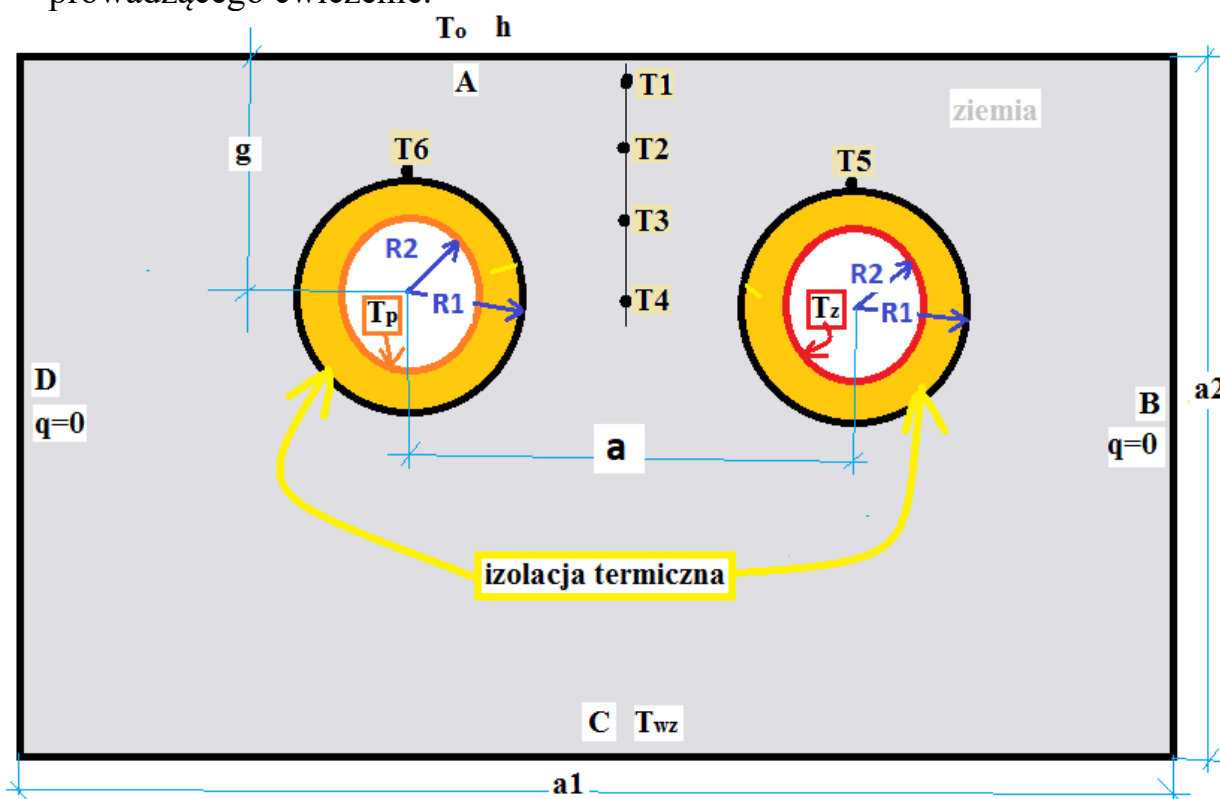
Ćwiczenie Nr 6:

Obliczanie rozkładu pola temperatury w stanie ustalonym

CEL ĆWICZENIA: zapoznanie studentów z rodzajami warunków brzegowych i wymuszeń występujących przy rozwiązywaniu zagadnień termicznych, zbudowanie modelu numerycznego i przeprowadzenie obliczeń numerycznych rozkładu pola temperatury w stanie ustalonym.

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Zbudować model numeryczny układu dwóch izolowanych termicznie rur metalowych (rys.4) zgodnie z danymi projektowymi podanymi przez prowadzącego ćwiczenie.



Rys. 4. Geometria układu dwóch rur zakopanych w ziemi i izolowanych termicznie

Tabela 5. Dane projektowe

a1	a2	b	a	R1	R2	Tz	Tp	Twz
m	m	m	m	m	m	°C	°C	°C
ziemia	λ	ρ	C_p	izolacja	λ	ρ	C_p	
	W/(m*deg)	kg/m ³	J/(kg*deg)		W/(m*deg)	kg/m ³	J/(kg*deg)	

- Wprowadzić wymuszenia i warunki brzegowe dla wariantu **W1** (tabela 6) i zapisać odpowiedni plik z rozszerzeniem *.nis oraz przeprowadzić obliczenia rozkładu pola temperatury.

Tabela 6. Parametry wariantów obliczeń

Warianty obliczeń	Warunki brzegowe na powierzchni ziemi		Przewodność cieplna izolacji
	T_o [°C]	h [W/(m ² *deg)]	λ_{iz} [W/(m*deg)]
W1			
W2			
W3			
W4			

- Wykorzystując dane z plików *.out obliczyć średnią wartość temperatury na obwodzie rury zasilającej T_{zsr} i powrotnej T_{psr} .
- Obliczyć straty ciepła Q_c układu rur na 1 mb rurociągu wykorzystując następujące zależności:

$$Q_c = Q_z + Q_p ;$$

$$Q_z = \frac{2\pi R_1 \cdot (T_z - T_{zsr}) \cdot \lambda_{iz}}{R_1 - R_2} ;$$

$$Q_p = \frac{2\pi R_1 \cdot (T_p - T_{psr}) \cdot \lambda_{iz}}{R_1 - R_2} .$$

- Powtórzyć czynności z punktów 2-4 dla pozostałych wariantów obliczeń (zmiany warunków brzegowych dokonywać w pliku *.nis poprzez edycję tekstu i zapis nowego pliku *.nis).

Tabela 7. Wyniki obliczeń

Warianty obliczeń	Wartości temperatur						Straty ciepła
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Q_c [W/mb]
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	
W1							
W2							
W3							
W4							

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Dane projektowe i rysunek układu rur z wymuszeniami i warunkami brzegowymi;
- Uzupełnioną tabelę 7;
- Rozkłady pola temperatury dla poszczególnych wariantów;
- Przeprowadzić analizę uzyskanych rezultatów;
- Przeanalizować wpływ wartości temperatury otoczenia, przewodności cieplnej izolacji i współczynnika konwekcyjnej wymiany ciepła h na rozkład pola temperatury i wartości strat ciepła;
- Wnioski

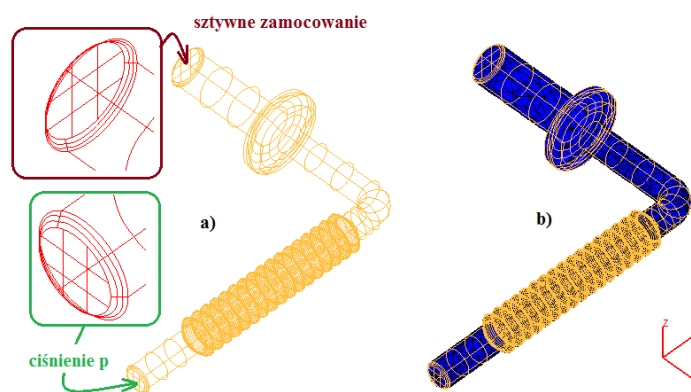
Ćwiczenie Nr7

Wykorzystanie plików *igs*, *dwg*, *dxf* do tworzenia modeli numerycznych

CEL ĆWICZENIA: zapoznanie studentów z możliwością importowania i wykorzystania plików z innych programów do budowy modeli numerycznych w programie NISA.

PRZEBIEG ĆWICZENIA:

1. Wczytać plik *.igs (udostępniony przez prowadzącego ćwiczenia – rys. 8a), a następnie zbudować modele numeryczne przy różnych metodach tworzenia siatki elementów skończonych, wprowadzić warunki brzegowe i wymuszenia (rys. 8a) oraz przeprowadzić obliczenia.



Rys. 8. Geometria analizowanego elementu konstrukcyjnego: a) po wczytaniu pliku *. igs z zaznaczonymi miejscami wprowadzania warunków brzegowych i wymuszeń, b) przykładowy podział na elementy skończone w opcji automesh.

Sprawozdanie powinno zawierać:

- Opis procedury tworzenia modelu numerycznego przy pomocy plików importowanych;
- Rysunki ilustrujące siatki elementów skończonych uzyskanych przy różnych opcjach dostępnych w „automeshu”;
- Tabelę z zestawieniami przemieszczeń wypadkowych oraz naprężeń tnących i wg hipotezy Hubera;
- Przykładowe ilustracje uzyskanych przemieszczeń i naprężeń analizowanych modeli.
- Analizę rezultatów obliczeń;
- Wnioski.

4. LITERATURA

1. Cranes Software: NISA DISPLAY-IV. Troy Michigan, USA 2011.
2. Jan Sikora: Numeryczne metody rozwiązywania zagadnień brzegowych. Podstawy metody elementów skończonych i metody elementów brzegowych. Wydawnictwo: Politechnika Lubelska, 2009.
3. Kazimierz Król: Metoda elementów skończonych w obliczeniach konstrukcji. Radom : Politechnika Radomska, 2007.
4. Eugeniusz Rusiński, Jerzy Czmochowski, Tadeusz Smolnicki: Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych. Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2000.
5. http://wiki.david-3d.com/david3_user_manual/overview.
6. http://downloads.david-3d.com/SLS-2/DAVID-SLS-2-Quickguide-EN_web.pdf.
7. http://downloads.david-3d.com/SLS-2/DAVID-SLS-2-Quickguide-RU_web.pdf.
8. <http://omni3d.com/files/pl/manual/manual.pdf.9>
9. <http://www.konstrukcjeinzynierskie.pl/analizy-symulacje/31-zyczenie-redakcji/wybor-redakcji-2010/76-raport-mes.html>
10. http://camdivision.pl/books/NX_ST_preview/FLASH/index.html