

ROZDZIAŁ III.

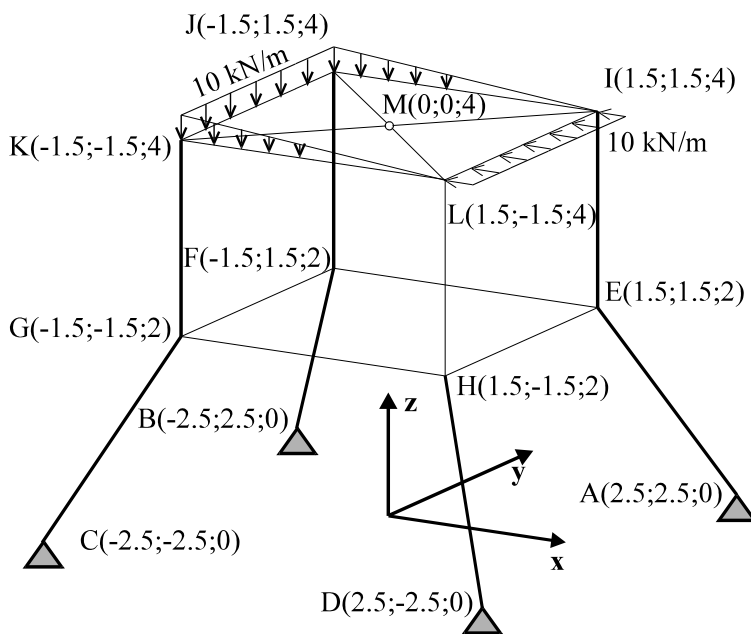
ZADANIE 2 - STATYKA RAMY TRÓJWYMIAROWEJ

Treść zadania

Wyznaczyć siły wewnętrzne w elementach oraz przemieszczenia węzłów ramy pokazanej na Rys.3.1. Rama obciążona jest ciężarem własnym i obciążeniami ciągłymi, podparta jest na podporach przegubowych. Konstrukcja wykonana jest ze stali o module Younga $E=2.08 \cdot 10^8$ kPa, współczynnika Poissona $\nu=0.3$, ciężarze objętościowym $\gamma=78.5$ kN/m³.

Konstrukcja zbudowana jest z elementów o dwóch rodzajach przekrojów poprzecznych:

- ♦ słupy pionowe i ukośne - rura $\phi 101.6$ g=10 mm
- ♦ elementy poziome - dwuteownik I200



Rys.3.1

W Tab.3.1 zestawiono charakterystyki geometryczne poszczególnych prętów.

Tab. 3.1.

Lp	Pręt	Przekrój	A [m ²]	J ₁ [m ⁴]	J ₂ [m ⁴]	J ₃ [m ⁴]	W ₂ [m ³]	W ₃ [m ³]
1.	AE	rura φ101.6 g=10 mm	28.8e-4	610e-8	305e-8	305e-8	60.1e-6	60.1e-6
2.	BF							
3.	CG							
4.	DH							
5.	EI							
6.	FJ							
7.	GK							
8.	HL							
9.	EF	dwuteo wnik I200	33.5e-4	14.6e-8	117e-8	2140e-8	26e-6	214e-6
10.	FG							
11.	GH							
12.	HE							
13.	IJ							
14.	JK							
15.	KL							
16.	LI							
17.	IM							
18.	JM							
19.	KM							
20.	LM							

Wprowadzenie danych

Przygotowanie danych w przypadku elementów ramowych należy podzielić na dwie części:

- ♦ Utworzenie modelu geometrycznego konstrukcji za pomocą modułu **SuperDraw**. Każdemu elementowi konstrukcji ramowej należy przypisać trzy atrybuty istotne przy dalszym modelowaniu konstrukcji, są nimi: kolor (**Color** - decyduje on o kierunkach osi lokalnego układu współrzędnych, związanego z elementem), grupa (**Group** -

odpowiada za rodzaj materiału) i warstwa (**Layer** - decyduje o charakterystykach geometrycznych przekroju).

- ♦ Uzupełnienie informacji o konstrukcji tj.: warunki podparcia, obciążenie, charakterystyki geometryczne, stałe materiałowe, typ wykonywanej analizy (statyczna, dynamiczna), warianty obciążenia. Informacje te podajemy za pomocą modułu **Bedit (BEDITH.EXE)**.

Zadanie rozpoczynamy od modelowania geometrycznego, które wymaga uruchomieniu modułu **SuperDraw**. Uruchomienie tego modułu wykonujemy w sposób opisany w zadaniu 1.

Definiowanie geometrii ramy podobnie, jak w zadaniu 1, polega na narysowaniu odcinków prostych, które symbolizować będą pręty. Najpierw narysujemy kwadrat EFGH, skorzystamy w tym celu z opcji **Add, Rectangle**. Następnie ten kwadrat skopiujemy w taki sposób, aby otrzymać kwadrat IJKL (elementy IJ, JK, KL, LI) oraz elementy pionowe, łączące węzły obu kwadratów. Tę czynność wykonamy opcją **Modify, Copy** przy aktywnej opcji **Join**. Słupy ukośne AE, BF, CG i DH narysujemy jako cztery odcinki za pomocą opcji **Add, Line**. W ten sam sposób narysujemy odcinek IK, który później podzielimy na dwie części tak, aby powstał środkowy węzeł M. Dzielenie odcinka IK wykonamy opcją **Construct, Divide**. Ostatnie dwa elementy ramy MJ i ML rysujemy korzystając z opcji **Add, Line**.

Podczas rysowania geometrii ramy zostanie także narysowany okrąg (opcja **Add, Circle**), który nie jest częścią ramy, ale jego środek posłuży w module **Bedit** do definiowania orientacji osi lokalnych układów współrzędnych części elementów.



Elementy ramy o różnych orientacjach lokalnych układów współrzędnych będą miały różne kolory, a elementy o różnych przekrojach zostaną przypisane do różnych warstw rysunku. Jeżeli te atrybuty linii nie zostaną odpowiednio ustawione podczas tworzenia rysunku, to ich zmiana możliwa jest za pomocą opcji **Modify, Update**.

W przypadku elementów ramowych definiowanie warunków brzegowych i obciążenia wykonuje się w module **Bedit**.











Opis poleceń, które doprowadzą nas do rozwiązywania zadania, rozpoczynamy z poziomu głównego menu modułu **SuperDraw**.

Pierwszymi elementami ramy, które narysujemy, są pręty tworzące kwadrat EFGH, który narysujemy w płaszczyźnie XY, a później przesuniemy do właściwego położenia. Ten sposób postępowania dotyczy kwadratów i okręgów, które rysowane są zawsze na aktualnej rzutni

równoległej do płaszczyzny ekranu. Najpierw umożliwimy wprowadzanie danych za pomocą klawiatury wydając polecenia:

-  nacisnąć klawisz **F3** i nacisnąć klawisz z literą **K**
-  kliknąć lewym klawiszem w napis **3Inp**, znajdujący się na dole lewej strony ekranu, i kliknąć lewym klawiszem w napis **Keyboard**

Rozpoczynamy modelowanie od narysowania kwadratu w płaszczyźnie XY:

1. wybieramy opcję **Draw**,
 -  nacisnąć klawisz **F10**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **0Draw**
2. wybieramy rzutnię - płaszczyznę XY,
 -  nacisnąć klawisz z literą **V** i nacisnąć klawisz z cyfrą **1**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **View** oraz kliknąć lewym klawiszem w napis **7) Isome**
3. wychodzimy z opcji **Draw**,
 -  nacisnąć klawisz **Esc**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**
4. wybieramy polecenie rysowania kwadratów,
 -  nacisnąć klawisz z literą **A**, a następnie nacisnąć klawisz z literą **R**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **Add**, a następnie kliknąć lewym klawiszem w napis **Rectangle**
5. zmieniamy kolor rysowania,
 -  nacisnąć klawisz **Alt** i przytrzymując ten klawisz nacisnąć klawisz z literą **C**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **ALGOR+D**, wybrać z palety kolorów kolor czerwony oznaczony numerem 2 i kliknąć lewym klawiszem.

Uwaga: *Ponieważ kolor rysowanych linii związany będzie z kierunkiem osi y lokalnego układu współrzędnych elementu, to w czasie ich*

rysowania dobieramy tak kolor aby lokalne układy współrzędnych miały właściwe kierunki. Moduł **Bedit** zakłada, że elementy narysowane pierwszymi sześcioma kolorami (od 1 - zielony do 6 - jasny fiolet) mają osie y lokalnych układów współrzędnych skierowane następująco:

Tab. 3.2.


Nr	Kolor	Kierunek podstawowy	Kierunek zastępczy
1	zielony	Y	-X
2	czerwony	Z	Y
3	żółty	X	Z
4	jasny niebieski	-Y	X
5	brązowy	-Z	-Y
6	jasny fiolet	-X	-Z
7-255	kierunek definiowany jest przez punkt, który jest środkiem okręgu o kolorze identycznym z kolorem elementu		


Kierunek zastępczy przyjmowany jest wtedy, gdy oś elementu jest równoległa do osi określającej kierunek podstawowy. Dla elementów rysowanych sześcioma pierwszymi kolorami utworzony zostaje trzeci punkt leżący na odpowiedniej osi globalnego układu współrzędnych w odległości $1 \cdot 10^{14}$ od początku układu współrzędnych.

Uwaga: Kwadrat EFGH rysowany jest kolorem czerwonym (nr 2), ponieważ przyjęto, że osie y lokalnych układów współrzędnych tych elementów będą skierowane równoległe do osi Z globalnego układu współrzędnych.


Uwaga: Układy współrzędnych: lokalny, w którym opisywane są elementy ramowe i globalny, w którym podawane są współrzędne węzłów całej konstrukcji, będą odróżniane w tekście w ten sposób, że osie układu globalnego opisywane są wielkimi literami (X, Y, Z) a układu lokalnego małymi literami (x, y, z).

6. podajemy współrzędne pierwszego wężła kwadratu (oznaczonego literą E na Rys.3.1),

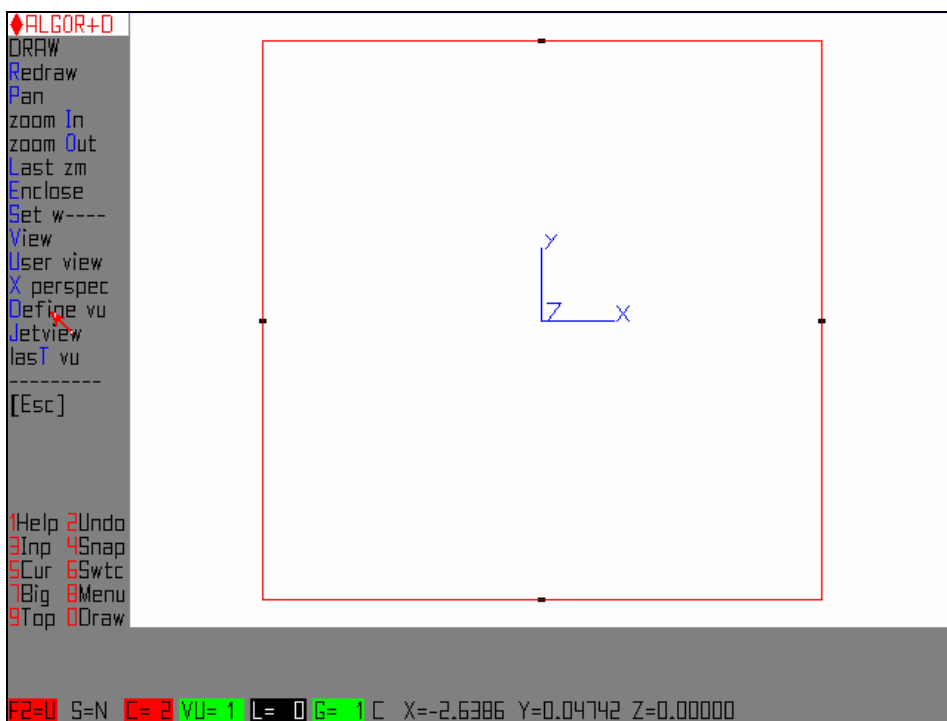
 **X=1.5 Y=1.5 Z=0** i nacisnąć **ENTER**

 tych operacji nie można wykonać myszką

7. podajemy współrzędne wężła znajdującego się po przekątnej kwadratu (oznaczonego literą G na Rys.3.1),

 **X=-1.5 Y=-1.5 Z=0** i nacisnąć **ENTER**


 tego punktu nie można wskazać myszką





Rys.3.2



8. oglądamy cały rysunek (Rys.3.2),

 nacisnąć klawisz **F10** i nacisnąć klawisz **E**



 kliknąć lewym klawiszem w napis **0Draw**, a następnie w napis **Enclose**



9. wracamy do głównego menu,

-  nacisnąć klawisz **F9**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**



10. wybieramy opcję przesuwania - **Move**,
 nacisnąć klawisz z literą **M**, a następnie nacisnąć klawisz z literą **M**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Modify**, a następnie kliknąć lewym klawiszem w napis **Move**

Uwaga: *Elementy, które mamy zamiar przesunąć są już zaznaczone, gdyż zostały przed chwilą narysowane. Gdy chcemy przesunąć inne, nie zaznaczone obiekty należy wcześniej je wybrać korzystając z opcji **Select**. Sposób korzystania z opcji **Select** opisany był szczegółowo w zadaniu 1.*

11. podajemy współrzędne początku wektora przesunięcia,
 **X=0 Y=0 Z=0** i nacisnąć **ENTER**
 nie można wykonać tego myszką

12. podajemy współrzędne końca wektora przesunięcia,
 **X=0 Y=0 Z=2** i nacisnąć **ENTER**
 nie można wykonać tego myszką

Następnym etapem tworzenia modelu ramy będzie kopiowanie kwadratu EFGH tak, aby uzyskać kwadrat IJKL i pionowe elementy ramy. Wykonamy to w następujący sposób:

1. wybieramy opcję **Copy**,
 nacisnąć klawisz z literą **C**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Copy**

Uwaga: *Linie, które chcemy skopiować są już zaznaczone, nie ma więc potrzeby wyboru elementów (por. Rys.3.2).*

2. uaktywniamy opcję **Join**, która powoduje, że podczas kopiowania rysowane są linie pomiędzy węzłem w pierwotnym położeniu i jego kopią,



nie można wykonać tego za pomocą klawiatury



kliknąć lewym klawiszem w napis **Join**, tak aby pojawiła się *

3. kopiujemy kwadrat,



nie można tego wykonać za pomocą klawiatury



kliknąć lewym klawiszem w napis **Last move**

*Uwaga: Zwykle w czasie kopiowania należy podać współrzędne początku i końca wektora. W tym przypadku wykorzystamy fakt, że wektor, o który przesuwaliliśmy kwadrat EFGH, jest identyczny z wektorem kopiującym EFGH do położenia IJKL. Opcja **Last move** przyjmuje jako wektor kopiujący ostatnio zdefiniowany wektor.*

Zmienimy teraz widok konstrukcji, aby obejrzeć wszystkie narysowane elementy:

1. wybieramy opcję **Draw**,



nacisnąć klawisz **F10**



kliknąć lewym klawiszem w napis **0Draw**

2. wybieramy rzut izometryczny,



nacisnąć klawisz z literą **V** i nacisnąć klawisz z cyfrą **7**



kliknąć lewym klawiszem w napis **View** oraz kliknąć lewym klawiszem w napis **7) Isome**

3. oglądamy cały rysunek,



nacisnąć klawisz **E**
















kliknąć lewym klawiszem w napis **Enclose**

Ponieważ osie y pionowych elementów ramy nie mogą być skierowane pionowo, musimy zmienić kolor tych elementów, gdyż decyduje on o kierunkach osi lokalnego układu współrzędnych.

Zakładamy, że osie y elementów pionowych równoległe będą do osi X układu globalnego, zmienimy więc ich kolory na kolor żółty, który związany jest z tym kierunkiem (por. Tab. 3.2).

Zmieniamy kolor elementów:

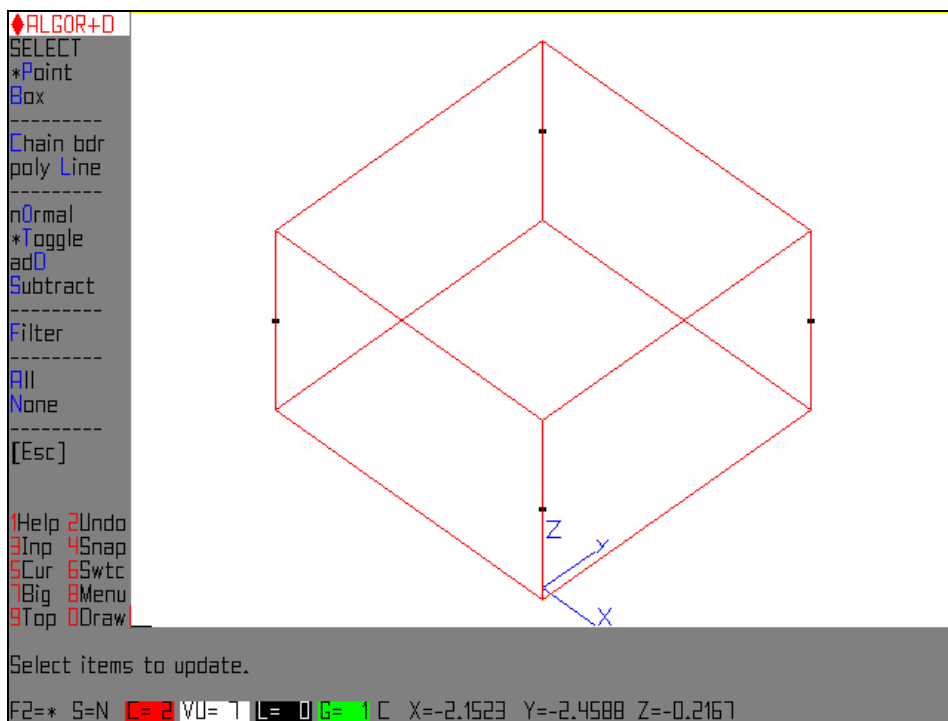
1. wracamy do głównego menu,
 nacisnąć klawisz **F9**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**
 2. wybieramy opcję **Update**,
 nacisnąć klawisz z literą **M**, a następnie nacisnąć klawisz z literą **U**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Modify**, a następnie kliknąć lewym klawiszem w napis **Update**
 3. wybieramy opcję **Select**,
 nacisnąć klawisz **S**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Select**
 4. usuwamy znaczniki wyboru elementów,
 nacisnąć klawisz **N**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **None**
 5. uaktywniamy opcję, pozwalającą na wybór więcej niż jednego elementu,
 nacisnąć klawisz **T**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Toggle**
 6. wybieramy linie pionowe (Rys.3.3),
 nie można tego wykonać za pomocą klawiatury
 kliknąć lewym klawiszem myszki w pobliżu każdej linii pionowej
- Uwaga: *Jeżeli aktywna jest opcja Toggle, to ponowne kliknięcie w wybrany element usuwa znacznik wyboru.*
7. wychodzimy z opcji **Select**,
 nacisnąć klawisz **Esc**

☞ kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**

8. wybieramy opcję **Color**,

☞ nacisnąć klawisz **C**

☞ kliknąć lewym klawiszem w napis **Color**



Rys.3.3

9. wybieramy kolor dla linii pionowych,

☞ nacisnąć klawisz z cyfrą 3 i nacisnąć **ENTER**

☞ kliknąć lewym klawiszem w kolor żółty oznaczony numerem 3 na palecie kolorów











10. wracamy do głównego menu,

☞ nacisnąć klawisz **F9**

☞ kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**


Na rysunku brakuje nam jeszcze czterech elementów ukośnych. Kierunki osi y lokalnych układów współrzędnych tych elementów dobierzemy tak, aby skierowane one były do wnętrza ramy. Ponieważ nie ma takiego standardowego kierunku (por. Tab. 3.2) zdefiniujemy punkt, przez który przechodzić będą płaszczyzny xy elementów ukośnych. Punkt ten będzie środkiem koła narysowanego tym samym kolorem jak elementy. Wybieramy dla tych elementów kolor nr 7 (biały), gdyż sześć pierwszych kolorów jest zarezerwowanych dla standardowych kierunków.


Rysujemy elementy ukośne:

1. wybieramy opcję rysowania linii,
 nacisnąć klawisz z literą **A**, a następnie nacisnąć klawisz z literą **L**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Add**, a następnie kliknąć lewym klawiszem w napis **Line**
2. uaktywniamy opcję rysowania pojedynczych linii - **Single**,
 nie można tego wykonać za pomocą klawiatury
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Single**
3. zmieniamy kolor rysowania,
 nacisnąć klawisz **Alt** i przytrzymując go naciskać klawisz **C** tyle razy, aż w dolnej linii ekranu ujrzymy napis **C=7** na białym tle
 kliknąć lewym klawiszem w napis **ALGOR+D**, wybrać z palety kolorów kolor biały oznaczony numerem 7 i kliknąć lewym klawiszem.
4. podajemy współrzędne węzła początkowego elementu AE (Rys.3.4),
 **X=2.5 Y=2.5 Z=0** i nacisnąć **ENTER**
 tego punktu nie można wskazać myszką
5. wskazujemy węzeł końcowy elementu AE (Rys.3.4),
 **X=1.5 Y=1.5 Z=2** i nacisnąć **ENTER**
 kliknąć prawym klawiszem w węzeł E


Uwaga: Oznaczenia punktów A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L widoczne na Rys.3.4 zostały wprowadzone poza modulem **SuperDraw** dla ułatwienia opisu zadania.


6. podajemy współrzędne węzła początkowego elementu BF (Rys.3.4),

 **X= -2.5 Y=2.5 Z=0** i nacisnąć **ENTER**


 tego punktu nie można wskazać myszką


7. wskazujemy węzeł końcowy elementu BF (Rys.3.4),

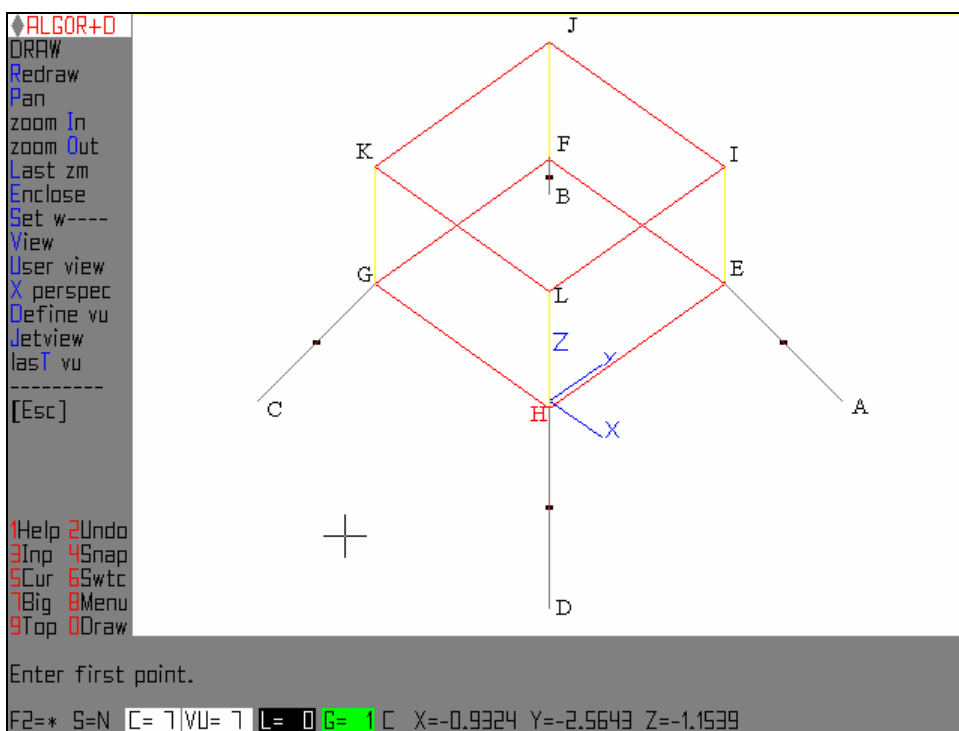
 **X=-1.5 Y=1.5 Z=2** i nacisnąć **ENTER**

 kliknąć prawym klawiszem w węzeł F









8. podajemy współrzędne węzła początkowego elementu CG (Rys.3.4),

 **X=-2.5 Y=-2.5 Z=0** i nacisnąć **ENTER**

 tego punktu nie można wskazać myszką











Rys.3.4

9. wskazujemy węzeł końcowy elementu CG (Rys.3.4),
 **X=-1.5 Y=-1.5 Z=2** i nacisnąć **ENTER**
 kliknąć prawym klawiszem w węzeł G
10. podajemy współrzędne węzła początkowego elementu DH (Rys.3.4),
 **X=2.5 Y=-2.5 Z=0** i nacisnąć **ENTER**
 tego punktu nie można wskazać myszką
11. wskazujemy węzeł końcowy elementu DH (Rys.3.4),
 **X=1.5 Y=-1.5 Z=2** i nacisnąć **ENTER**
 kliknąć prawym klawiszem w węzeł H
12. oglądamy cały rysunek (Rys.3.4),
 nacisnąć klawisz **F10** i nacisnąć klawisz **E**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **0Draw**, a następnie w napis **Enclose**


Narysujemy teraz okrąg, którego środek będzie węzłem kierunkowym dla elementów ukośnych. Okrąg narysujemy w płaszczyźnie XY, chociaż nie ma to istotnego znaczenia dla rozwiązywanego zadania.


Zmieniamy rzutnię:

1. wybieramy nową rzutnię - płaszczyznę XY,
 nacisnąć klawisz z literą **V** i nacisnąć klawisz z cyfrą **1**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **View** oraz kliknąć lewym klawiszem w napis **1) XY top**
2. oglądamy cały rysunek na ekranie,
 nacisnąć klawisz **E**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Enclose**
3. wracamy do głównego menu,
 nacisnąć klawisz **F9**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**
4. wybieramy opcję rysowania okręgów,


 nacisnąć klawisz z literą **A**, a następnie nacisnąć klawisz z literą **C**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Add**, a następnie kliknąć lewym klawiszem w napis **Circle**


5. podajemy współrzędne środka okręgu,

 **X=0 Y=0 Z=0** i nacisnąć **ENTER**


 tego punktu nie można wskazać myszką

6. podajemy współrzędne dowolnego punktu leżącego na okręgu,

 **X=1 Y=0 Z=0** i nacisnąć **ENTER**


 kliknąć lewym klawiszem w dowolnym miejscu


7. wchodzimy do opcji **Draw**,

 nacisnąć klawisz **F10**


 kliknąć lewym klawiszem w napis **0Draw**


8. wybieramy rzut izometryczny,

 nacisnąć klawisz z literą **V** a następnie nacisnąć klawisz z cyfrą **7**


 kliknąć lewym klawiszem w napis **View** oraz kliknąć lewym klawiszem w napis **7) Isome**

9. oglądamy cały rysunek na ekranie,

 nacisnąć klawisz **E**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **Enclose**














10. wracamy do głównego menu,

 nacisnąć klawisz **F9**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**

Przystąpimy teraz do rysowania stężeń płaszczyzny górnej ramy. Stężenia składają się z czterech elementów połączonych przegubem kulistym. Ponieważ warunki brzegowe i sposób łączenia elementów ramowych z węzłami należy określić w module **Bedit**, tutaj ograniczymy się do narysowania elementów. Narysujemy przekątną kwadratu IJKL, a następnie podzielimy ją na dwie równe części, otrzymując węzeł M.


Następnie ten węzeł połączymy z pozostałymi węzłami narożnymi. Przystąpimy teraz do rysowania stężeń:

1. wybieramy opcję rysowania linii,
 nacisnąć klawisz z literą **A**, a następnie nacisnąć klawisz z literą **L**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Add**, a następnie kliknąć lewym klawiszem w napis **Line**
2. zmieniamy kolor rysowania na czerwony, aby oś y lokalnego układu współrzędnych skierowana była równoległa do osi Z układu globalnego,
 nacisnąć klawisz **Alt** i przytrzymując go naciskać klawisz **X** tyle razy, aż w dolnej linii ekranu ujrzymy napis **C=2** na czerwonym tle
 kliknąć lewym klawiszem w napis **ALGOR+D**, wybrać z palety kolorów kolor czerwony oznaczony numerem 2 i kliknąć lewym klawiszem.
3. wskazujemy węzeł początkowy elementu IK (Rys.3.4),
 **X=1.5 Y=1.5 Z=4** i nacisnąć **ENTER**
 kliknąć prawym klawiszem w węzeł I
4. wskazujemy węzeł końcowy elementu IK (Rys.3.4),
 **X=-1.5 Y=-1.5 Z=4** i nacisnąć **ENTER**
 kliknąć prawym klawiszem w węzeł K
5. wracamy do głównego menu,
 nacisnąć klawisz **F9**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**
6. wybieramy opcję **Divide**, aby podzielić narysowaną linię,
 nacisnąć klawisz **C**, a następnie **D**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Construct** i w napis **Divide**
7. dzielimy linię na dwie części,
 nacisnąć klawisz **D**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **Divide**


Uwaga: *Należy sprawdzić na dole ekranu wartość parametru **Number of sections**, powinna ona być równa **2**. Wartość tego parametru decyduje o ilości części, na które podzielony zostanie zaznaczony odcinek.*


8. wracamy do głównego menu,

 nacisnąć klawisz **F9**


 kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**

9. wybieramy opcję rysowania linii,

 nacisnąć klawisz z literą **A**, a następnie nacisnąć klawisz z literą **L**


 kliknąć lewym klawiszem w napis **Add**, a następnie kliknąć lewym klawiszem w napis **Line**


10. wskazujemy węzeł początkowy elementu MJ (Rys.3.4),

 **X=0 Y=0 Z=4** i nacisnąć **ENTER**


 kliknąć prawym klawiszem w węzeł M


11. wskazujemy węzeł końcowy elementu MJ (Rys.3.4),

 **X=-1.5 Y=1.5 Z=4** i nacisnąć **ENTER**


 kliknąć prawym klawiszem w węzeł J

12. wskazujemy węzeł początkowy elementu ML (Rys.3.4),

 **X=0 Y=0 Z=4** i nacisnąć **ENTER**

 kliknąć prawym klawiszem w węzeł M













13. wskazujemy węzeł końcowy elementu ML (Rys.3.4),

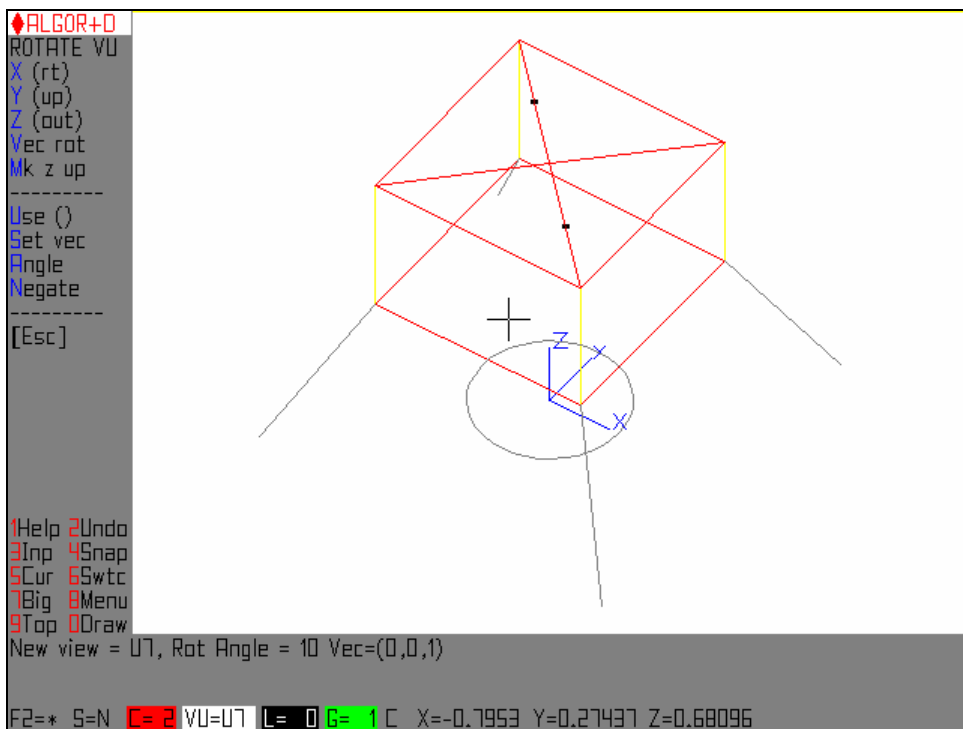
 **X=1.5 Y=-1.5 Z=4** i nacisnąć **ENTER**

 można kliknąć prawym klawiszem w węzeł L

Uwaga: *Węzły oraz linie rysowanych elementów w rzucie izometrycznym często pokrywają się na ekranie. W takim przypadku należy podawać współrzędne węzłów za pomocą klawiatury lub zmienić kierunek rzutowania.*

Dalsze operacje będą wymagały wskazywania elementów przez kliknięcie myszką. W celu ułatwienia wykonywania tej czynności zmienimy kierunek rzutowania:

1. wchodzimy do opcji **Draw**,
 nacisnąć klawisz **F10**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **0Draw**
2. wybieramy opcję pozwalającą na obrót rysunku - **Rotate**,
 nacisnąć klawisz **D**, a następnie klawisz **R**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Define vu** i w napis **Rotate**
3. wybieramy opcję **Angle**,
 nacisnąć klawisz **A**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Angle**
4. podajemy kąt obrotu w stopniach (np. 10°),
 wpisać liczbę 10 i nacisnąć **ENTER**
 nie można wykonać myszką
5. obracamy rzutnię wokół osi Z,
 nacisnąć klawisz **Z**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Z (out)**
6. wracamy do głównego menu,
 nacisnąć klawisz **F9**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**





Rys.3.5

Rys.3.5 przedstawia ekran po zmianie kierunku rzutowania.


Przyporządkujemy teraz elementom warstwom, które związane są z parametrami geometrycznymi przekroju:

1. wybieramy opcję **Update**,

 nacisnąć klawisz z literą **M**, a następnie nacisnąć klawisz z literą **U**


 kliknąć lewym klawiszem w napis **Modify**, a następnie kliknąć lewym klawiszem w napis **Update**

2. wybieramy opcję **Select**,

 nacisnąć klawisz **S**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **Select**

3. usuwamy znaczniki wyboru elementów,

 nacisnąć klawisz **N**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **None**

4. uaktywniamy opcję, pozwalającą na zaznaczenie więcej niż jednego elementu,



nacisnąć klawisz **T**



kliknąć lewym klawiszem w napis **Toggle**

5. zaznaczamy cztery linie w kolorze żółtym i cztery linie ukośne w kolorze białym,



nie można tego wykonać za pomocą klawiatury



kliknąć lewym klawiszem w pobliżu każdej z linii

6. wychodzimy z opcji **Select**,



nacisnąć klawisz **Esc**



kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**

7. wybieramy opcję **Layer**,



nacisnąć klawisz **L**



kliknąć lewym klawiszem w napis **Layer**

8. wybieramy numer warstwy, do której będą należały zaznaczone elementy,



nacisnąć klawisz z cyfrą 0 i nacisnąć **ENTER**



kliknąć lewym klawiszem w kolor czarny oznaczony numerem 0 na palecie kolorów

Uwaga: *Przyporządkowywanie warstw należy rozpocząć od 0 po to, aby w module **Bedit** numery przekrojów były liczone od 1.*

9. wybieramy opcję **Select**,



nacisnąć klawisz **S**



kliknąć lewym klawiszem w napis **Select**

10. usuwamy znaczniki wyboru elementów,





nacisnąć klawisz **N**




kliknąć lewym klawiszem w napis **None**

11. wybieramy opcję **Filter**, po to aby łatwo zaznaczyć wszystkie linie czerwone,

 nacisnąć klawisz **F**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **Filter**


12. wybieramy opcję **Color**,

 nacisnąć klawisz **C**


 kliknąć lewym klawiszem w napis **Color**

13. wybieramy kolor czerwony,

 nacisnąć klawisz z cyfrą 2 i nacisnąć **ENTER**


 kliknąć lewym klawiszem w kolor czerwony oznaczony numerem 2 na palecie kolorów

14. wychodzimy z opcji **Filter**,

 nacisnąć klawisz **Esc**


 kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**

15. zaznaczamy wszystkie czerwone linie,

 nacisnąć klawisz **A**


 kliknąć lewym klawiszem w napis **All**

16. wychodzimy z opcji **Select**,

 nacisnąć klawisz **Esc**


 kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**

17. wybieramy opcję **Layer**,

 nacisnąć klawisz **L**







 kliknąć lewym klawiszem w napis **Layer**

18. wybieramy numer warstwy, do której będą należały zaznaczone elementy,

 nacisnąć klawisz z cyfrą 1 i nacisnąć **ENTER**

-  kliknąć lewym klawiszem w kolor zielony oznaczony numerem 1 na palecie kolorów





Zakończyliśmy modelowanie geometryczne zadania. Ponieważ moduł **Bedit** nie czyta obciążeń i warunków brzegowych z plików utworzonych przez moduł **Superdraw**, nie jest potrzebne rysowanie obciążeń i podpór. Zadanie zapiszemy teraz na dysku pod nazwą **ZAD2**. Wykonujemy to w następujący sposób:

1. wracamy do głównego menu,
 -  nacisnąć klawisz **F9**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**
2. wybieramy opcję **Files**,
 -  nacisnąć klawisz **F**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **Files**
3. zapisujemy plik,
 -  nacisnąć klawisz **S**, wpisać nazwę pliku **ZAD2** (bez rozszerzenia) i nacisnąć **ENTER**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **Save**, a pozostałe czynności należy wykonać za pomocą klawiatury.

Jak już wspominaliśmy, pozostałe dane, niezbędne do opisanie modelu MES tzn. określenie warunków brzegowych i obciążenia konstrukcji w przypadku elementów ramowych można podać tylko przy użyciu modułu **Bedit**. W tej części zadania zdefiniujemy między innymi warunki brzegowe (opcja **Add/Mod, Node BC**) w węzłach A, B, C i D, przeguby łączące elementy z węzłami (opcja **Add/Mod, End rel**) w węźle M, obciążenie ciężarem własnym (opcja **Add/Mod, Load, Gravity**) i obciążenie ciągle (opcja **Add/Mod, Load, Distribut**). W przypadku konstrukcji złożonych z innych elementów niż ramowe, wymienione informacje podaje się w module **SuperDraw**. Wyjątek stanowi obciążenie ciężarem własnym (grawitacyjne), które dla pozostałych elementów podaje się w module **Decods**. W module **Decods** uzupełnia się też zwykle informacje o materiale i przekrojach poprzecznych. Dla elementów ramowych dane dotyczące materiału czyli moduł Younga, współczynnik Poissona, ciężar objętościowy, współczynnik rozszerzalności cieplnej







podaje się korzystając z opcji **Add/Mod, Property**, a charakterystyki geometryczne przekrojów takie jak: pole przekroju, momenty bezwładności, wskaźniki wytrzymałości podaje się korzystając z opcji **Add/Mod, Sectional** modułu **Bedit**.

Przejście do modułu **Bedit** możliwe jest bezpośrednio z modułu **SuperDraw**. Wykonujemy to w następujący sposób:

1. wybieramy opcję **Transfer**,
 nacisnąć klawisz **T**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Transfer**
2. wybieramy opcję **Bedit**,
 nacisnąć klawisz **B**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **B) Bedit**

Przejście do modułu **Bedit** z modułu **SuperDraw** spowoduje, że **Bedit** przeczyta dane geometryczne zadania z pliku **ZAD2.ESD**. Przy niezależnym uruchomieniu modułu **Bedit**, to samo można osiągnąć wydając polecenie **load Esd**, które znajduje się w opcji **Files**.

Na ekranie widoczna jest rama w takim rzucie, w jakim zapisaliśmy ją w module **SuperDraw**. Ponieważ wygodniej nam będzie posługiwać się teraz rzutem na płaszczyznę **XY** zmieniamy sposób rzutowania:

1. wchodzimy do opcji **Draw**,
 nacisnąć klawisz **F10**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **0Draw**
2. wybieramy nową rzutnię - płaszczyznę **XY**,
 nacisnąć klawisz z literą **V** i nacisnąć klawisz z cyfrą **1**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **View** oraz kliknąć lewym klawiszem w napis **1) XY top**
3. oglądamy cały rysunek na ekranie,
 nacisnąć klawisz **E**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Enclose**

4. wracamy do głównego menu,



nacisnąć klawisz **F9**



kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**

Przystąpimy teraz do definiowania podpór konstrukcji. Podpory ramy w rozwiązywanym zadaniu są przegubami kulistymi, które uniemożliwiają przesunięcia węzłów a pozwalają na swobodny ich obrót. Warunki brzegowe dla takiej podpory definiujemy w module **Bedit** następująco:

1. wybieramy opcję, która pozwala określić warunki brzegowe,



nacisnąć klawisz z literą **A**, a następnie nacisnąć klawisz z literą **N**



kliknąć lewym klawiszem w napis **Add/Mod**, a następnie kliknąć lewym klawiszem w napis **Node BC**

2. wybieramy opcję, która pozwala wybrać rodzaje podpór,



nacisnąć klawisz z literą **V**



kliknąć lewym klawiszem w napis **Value**

3. usuwamy znaczniki blokady obrotów wokół trzech osi (por. Rys.3.6),



nacisnąć kolejno klawisze z literą **4, 5 i 6**



kliknąć lewym klawiszem w napisy **4) rx, 5) ry i 6) rz**

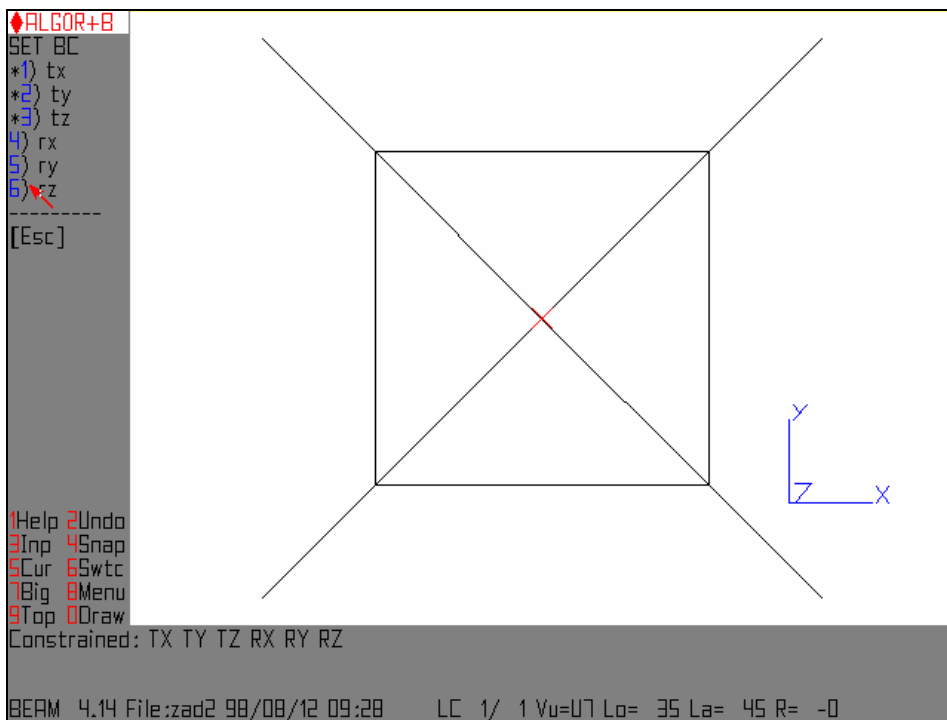
4. wychodzimy z opcji **Value**,



nacisnąć klawisz **Esc**





kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**



Rys.3.6


5. umieszczamy podpory w węzłach A, B, C i D,

 wykonanie tej czynności za pomocą klawiatury jest niewygodne, gdyż klawiatura musi sterować kursorem myszki

 kliknąć lewym klawiszem w pobliżu kolejnych węzłów tak, aby pojawiły okręgi wokół węzłów, będące symbolami podpór

*Uwaga: W przypadku błędnego wskazania węzła można usunąć podpórę przez zaznaczenie tego węzła w opcji **Select**, a później wybierając opcję **Delete**.*

6. wychodzimy z opcji **Node BC**,





 nacisnąć klawisz **Esc**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**







Przystąpimy teraz do modelowania przegubu kulistego w węźle M (por. Rys.3.1). Przegub taki możemy utworzyć zwalniając obrotowe stopnie swobody w trzech elementach dołączonych do węzła M. Element czwarty musi być połączony sztywno z węzłem, gdyż w przeciwnym

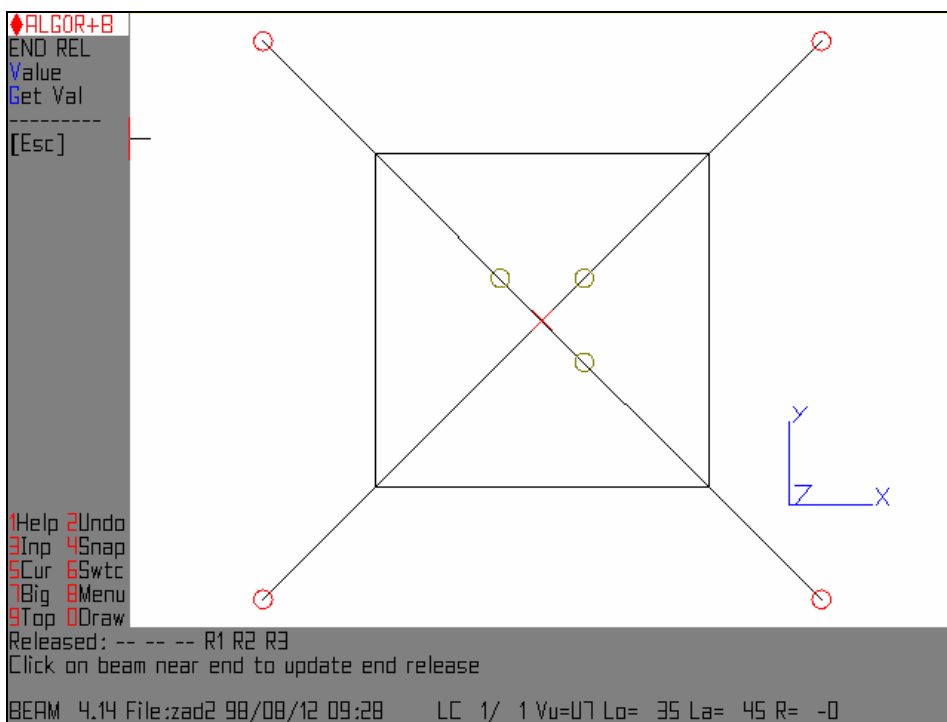
wypadku węzeł uzyskałby swobodę obrotów, co powoduje geometryczną zmienność konstrukcji i uniemożliwia obliczenia.

Utworzymy teraz przeguby w elementach stężeń :

1. wybieramy opcję **End rel**,
 nacisnąć klawisz z literą **E**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **End rel**
2. wybieramy opcję, która pozwala określić stopnie swobody węzła,
 nacisnąć klawisz z literą **V**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Value**

Uwaga: *Symbol **t1**, **t2**, **t3** dotyczą przesunięć węzła a **r1**, **r2**, **r3** obrotów węzła. Znak * ustawiony obok symbolu stopnia swobody oznacza swobodny ruch węzła w tym kierunku. Przeguby kuliste występujące w tym zadaniu pozwalają tylko na swobodne obroty węzła. Powinniśmy zatem ustawić znak * przy symbolach **r1**, **r2** i **r3**.*

3. wybieramy właściwe stopnie swobody,
 nacisnąć kolejno klawisze z literą **4**, **5** i **6**
 kliknąć lewym klawiszem w napisy **4) r1**, **5) r2** i **6) r3**
4. wychodzimy z opcji **Value**,
 nacisnąć klawisz **Esc**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**
5. umieszczamy przeguby w trzech elementach stężeń w pobliżu węzła M.,
 wykonanie tej czynności za pomocą klawiatury jest niewygodne
 kliknąć lewym klawiszem myszki w kolejne trzy elementy w pobliżu węzła M tak, aby uzyskać wygląd ekranu pokazany na Rys.3.7



Rys.3.7

6. wracamy do głównego menu,



naciśnąć klawisz **F9**



kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**

Przystąpimy do definiowania obciążeń konstrukcji, na które składają się: obciążenie grawitacyjne i liniowe obciążenia ciągłe. Ponieważ aktualny widok konstrukcji nie pozwala precyzyjnie wskazać elementów, do których przyłożone jest obciążenie, zmieniamy go:

1. wchodzimy do opcji **Draw**,



naciśnąć klawisz **F10**
















kliknąć lewym klawiszem w napis **0Draw**













2. zmieniamy rzutnię rysunku na rzut izometryczny,



naciśnąć klawisz z literą **V** i naciśnąć klawisz z cyfrą **7**

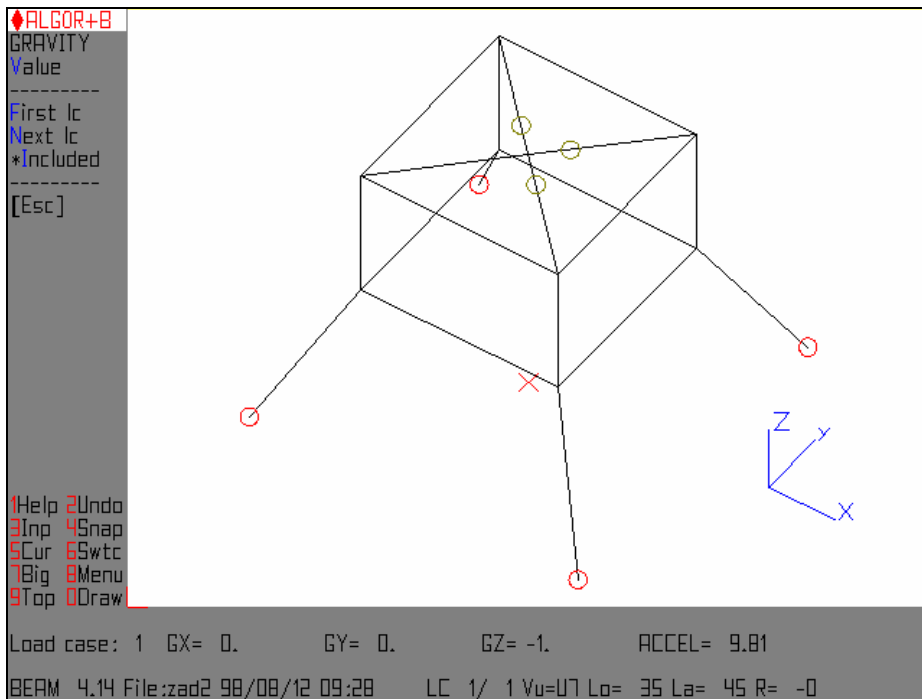
-  kliknąć lewym klawiszem w napis **View** oraz kliknąć lewym klawiszem w napis **7) Isome**
- 3. oglądamy cały rysunek na ekranie,
 -  nacisnąć klawisz **E**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **Enclose**
- 4. zasłaniające się elementy będą lepiej widoczne, gdy obrócimy rzutnię,
 -  nacisnąć klawisz **D**, a następnie klawisz **R**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **Define vu** i w napis **Rotate**
- 5. wybieramy opcję **Angle**,
 -  nacisnąć klawisz **A**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **Angle**
- 6. podajemy kąt obrotu w stopniach (np. 10°),
 -  wpisać liczbę 10 i nacisnąć **ENTER**
 -  nie można wykonać myszką
- 7. obracamy rzutnię wokół osi Z,
 -  nacisnąć klawisz **Z**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **Z (out)**
- 8. wracamy do głównego menu
 -  nacisnąć klawisz **F9**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**

Zajmiemy się teraz obciążeniem grawitacyjnym (ciężarem własnym) konstrukcji. W opisie tego obciążenia ważną rolę odgrywa globalny układ współrzędnych, który został tak wybrany, że siła ciężkości jest równoległa i przeciwnie skierowana do osi Z. W czasie wprowadzania danych należy podać składowe (**GX**, **GY**, **GZ**) jednostkowego wektora, mającego zwrot i kierunek przyspieszenia ziemskiego oraz wartość tego przyspieszenia (**Accel**) wyrażoną w jednostkach używanego układu miar. Składowe **GX**, **GY**, **GZ** wyrażone są w globalnym układzie współrzędnych. Przystąpimy teraz do definiowania obciążenia grawitacyjnego:

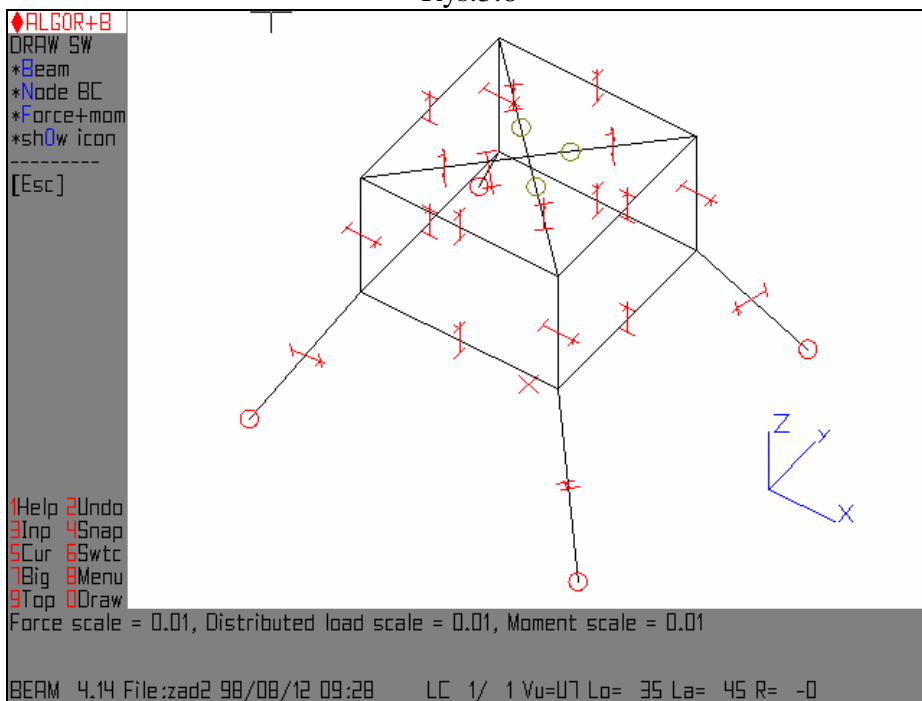
1. wybieramy opcję **Load**,
 nacisnąć klawisz **A**, a następnie klawisz **L**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Add/Mod**, a następnie kliknąć lewym klawiszem w napis **Load**
2. wybieramy opcję **Gravity**,
 nacisnąć klawisz **G**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Gravity**
3. wybieramy opcję, która pozwala na ustawienie parametrów decydujących o wartości i kierunku obciążenia grawitacyjnego,
 nacisnąć klawisz z literą **V**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Value**
4. podajemy parametry obciążenia grawitacyjnego,
 **GX=0, GY= 0, GZ=-1, Accel=9.81** i nacisnąć **ENTER** (por. Rys.3.8)
 operacji tych nie można wykonać myszką
5. uaktywniamy obciążenie grawitacyjne wstawiając znak ***** przy napisie **Included**,
 nacisnąć klawisz **I**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Included**
6. wychodzimy z opcji **Gravity**,
 nacisnąć klawisz **Esc**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**

Uwaga: *Operację numer 5 należy wykonać tylko wtedy, jeżeli znaku ***** nie ma przy napisie **Included**.*

Obciążenie ciągle konstrukcji wymaga znajomości orientacji elementu, w szczególności położenia węzła początkowego i końcowego elementu. Moduł **Bedit** wyświetla symbole orientacji elementów. Symbole te składają się z czterech linii (por. Rys.3.9), opis znaczenia poszczególnych linii podany jest na Rys.3.10.

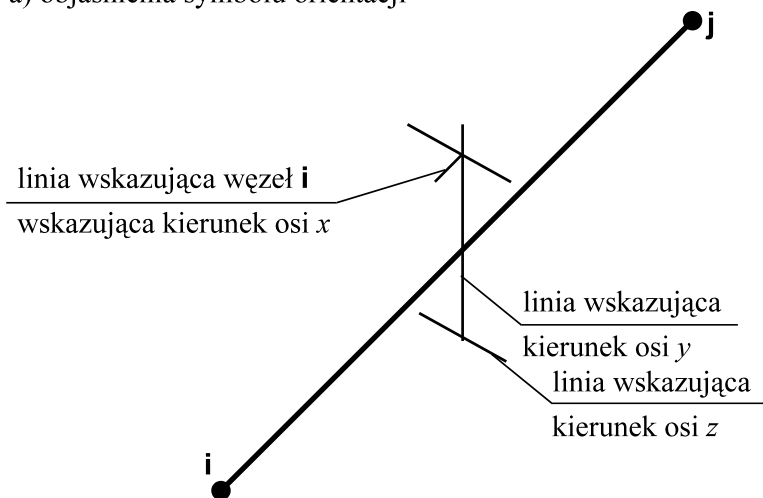


Rys.3.8

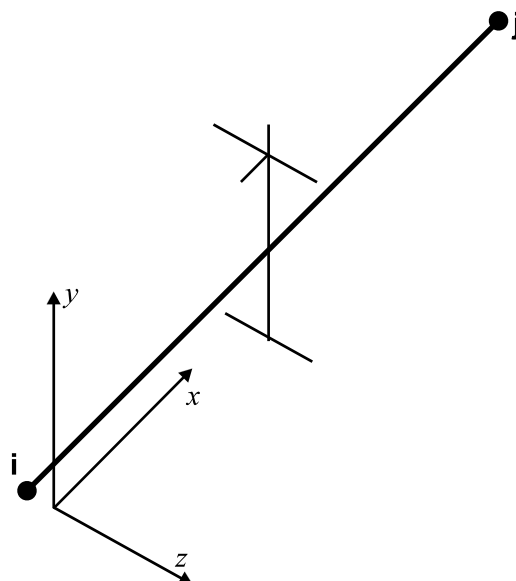


Rys.3.9

a) objaśnienia symbolu orientacji









b) lokalizacja lokalnego układu współrzędnych elementu









Rys.3.10

Po ustaleniu lokalizacji węzłów **i** (węzeł początkowy) oraz **j** (węzeł końcowy) należy zrezygnować z wyświetlania symboli orientacji, ponieważ symbole te zmniejszają czytelność rysunku.


Przystąpimy teraz do wyświetlania symboli orientacji:





1. wybieramy opcję **Current**,
 nacisnąć klawisz **F5**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **5Cur**
2. uaktywniamy opcję rysującą symbole orientacji,
 nacisnąć klawisz **D**, a następnie klawisz **O**
 kliknąć lewym klawiszem kolejno w napisy **Draw sw** i **Show icon**
3. odświeżamy ekran, aby wyświetlić symbole orientacji,
 nacisnąć klawisz **F10** i klawisz **R**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **0Draw** oraz w napis **Redraw**

Uwaga: Zazwyczaj moduły graficzne (**SuperDraw**, **Bedit**, **SuperView**) są tak skonfigurowane, że po opcji **Redraw** program wraca automatycznie do wcześniejszej opcji. Jeżeli to nie nastąpi należy nacisnąć klawisz **Esc** lub kliknąć w napis **[Esc]**.


4. usuwamy symbole orientacji ,
 nacisnąć klawisz **O**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Show icon**
5. przerysowujemy rysunek, aby zobaczyć schemat konstrukcji bez symboli orientacji,
 nacisnąć klawisz **F10** i klawisz **R**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **0Draw** oraz w napis **Redraw**
6. wracamy do opcji **Load**,
 nacisnąć dwa razy klawisz **Esc**
 kliknąć dwa razy lewym klawiszem w napis **[Esc]**

Przyłożymy teraz obciążenie ciągłe, równomiernie rozłożone na elemencie JK, o wartości 10 kN/m, skierowane przeciwnie do osi Z:



1. wybieramy opcję **Distribut**,
 nacisnąć klawisz **D**

-  kliknąć lewym klawiszem w napis **Distribut**
- 2. wybieramy opcję, która pozwala na określenie parametrów obciążenia ciągłego,
-  nacisnąć klawisz z literą **V**
-  kliknąć lewym klawiszem w napis **Value**
- 3. podajemy parametrów obciążenia ciągłego pręta JK
-  przy kolejnych napisach wpisać następujące wartości:

Node i	Wx: 0	Wy: 0	Wz: -10
Node j	Wx 0	Wy: 0	Wz: -10

-  nacisnąć **ENTER**
-  tych operacji nie można wykonać myszką


*Uwaga: Składowe obciążenia ciągłego w opcji **Value** należy podawać w globalnym układzie współrzędnych.*

- 4. wskazujemy obciążany element,
-  wykonanie tej czynności za pomocą klawiatury jest niewygodne
-  kliknąć lewym klawiszem w element JK tak, aby pojawiły się strzałki, symbole obciążenia ciągłego

Analogicznie opisujemy obciążenie ciągłe, równomiernie rozłożone na elemencie IL, o wartości 10 kN/m, skierowane przeciwnie do osi X:

Node i	Wx: -10	Wy: 0	Wz: 0
Node j	Wx -10	Wy: 0	Wz: 0

Obciążenie liniowo zmienne, działające na elementy IJ oraz LK, opisujemy w następujący sposób:

- 1. wybieramy opcję, która pozwala na określenie parametrów obciążenia ciągłego,
-  nacisnąć klawisz z literą **V**

☞ kliknąć lewym klawiszem w napis **Value**

2. podajemy parametry obciążenia ciągłego elementów IJ i KL,

☞ przy kolejnych napisach wpisać następujące wartości

Node i	W _x : 0	W _y : 0	W _z : -10
Node j	W _x : 0	W _y : 0	W _z : 0

☞ nacisnąć **ENTER**

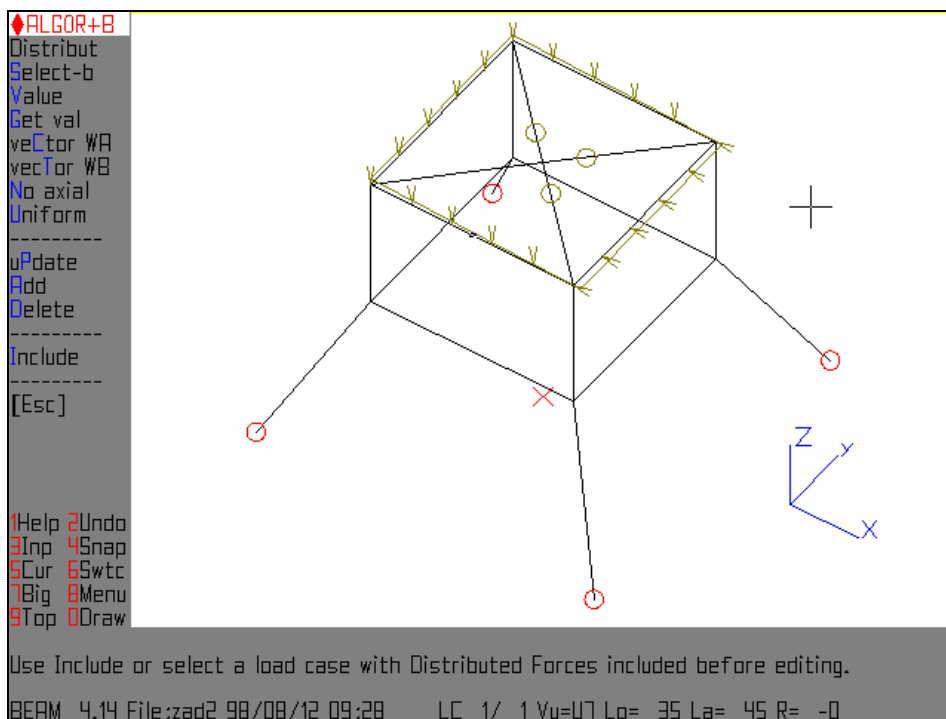
☞ tych operacji nie można wykonać myszką

3. wskazujemy obciążane elementy

☞ wykonanie tej czynności za pomocą klawiatury jest niewygodne

☞ kliknąć lewym klawiszem w elementy IJ oraz LK


Po przyłożeniu wszystkich obciążeń ekran powinien wyglądać jak na Rys.3.11.



Rys.3.11

Na Rys.3.11 widać, że opcja **Included** dla obciążenia ciągłego nie jest aktywna. Należy ją uaktywnić, gdyż w przeciwnym wypadku obciążenie ciągle nie zostanie uwzględnione w obliczeniach. Uaktywnienie opcji **Included** wykonujemy następująco:


 nacisnąć klawisz **I**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **Included**

Do zakończenia wprowadzania danych pozostało jeszcze określenie stałych materiałowych i charakterystyk geometrycznych przekrojów poprzecznych elementów. Założyliśmy, że materiałem z którego wykonana jest cała konstrukcja, jest stal o parametrach podanych w Tab.3.1.

Przystąpimy do wprowadzenia tych danych:

1. wracamy do głównego menu,

 nacisnąć klawisz **F9**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**

2. wybieramy opcję **Property**, która pozwala określić wartości stałych materiałowych,

 nacisnąć klawisz **A**, a następnie klawisz **P**

 kliknąć lewym klawiszem kolejno w napisy **Add/Mod** i **Property**

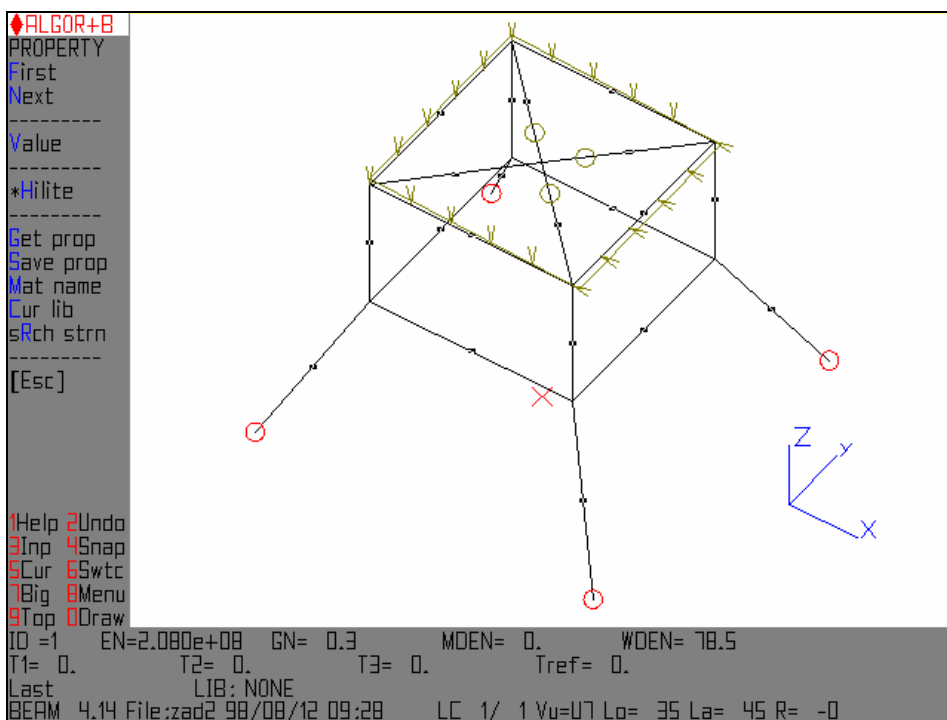
3. wybieramy opcję, pozwalającą na zmianę tych stałych,

 nacisnąć klawisz z literą **V**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **Value**

Uwaga: *Jeżeli jest aktywna opcja **Hilite**, (przy napisie widoczny jest znak *), to elementy, którym zmieniamy stałe materiałowe są podświetlone.*

Uwaga: *Stale materiałowe mają różne od zera wartości początkowe. Przed wpisaniem każdej wartości należy usunąć poprzednią klawiszem **Backspace**.*



Rys.3.12

4. wprowadzamy wartości stałych materiałowych (por. Rys.3.12),
☐ przy kolejnych napisach wprowadzić następujące wartości:
EN=2.08e8 GN=0.3 MDEN=0 WDEN=78.5 T1=0 T2=0 T3=0 Tref=0
 i nacisnąć **ENTER**
☐ tych operacji nie można wykonać myszką

Uwaga: **EN** oznacza moduł Younga, **GN** - współczynnik Poissona, **MDEN** - gęstość materiału, **WDEN** - ciężar właściwy, **T1**, **T2**, **T3** są współczynnikami rozszerzalności cieplnej odpowiednio wzdłuż osi x, y, z lokalnego układu współrzędnych, **Tref** - temperaturą, przy której w konstrukcji nie występują naprężenia spowodowane obciążeniem termicznym.

Uwaga: Jeżeli wstawimy **MDEN=0**, to wartość ta zostanie obliczona następująco:

MDEN=WDEN/Accel. *Wartości T1, T2, T3 i Tref przyjęto równe zero, ponieważ konstrukcja nie jest obciążona termicznie.*

5. wychodzimy z opcji **Property**,



nacisnąć klawisz **Esc**



kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**

Podajemy teraz wartości charakterystyk geometrycznych obu przekrojów poprzecznych:

1. wybieramy opcję **Sectional**,



nacisnąć klawisz **S**



kliknąć lewym klawiszem napis **Sectional**

2. wybieramy opcję, pozwalającą na zmianę charakterystyk geometrycznych elementów należących do warstwy pierwszej,



nacisnąć klawisz z literą **V**



kliknąć lewym klawiszem w napis **Value**

3. podajemy wartości charakterystyk geometrycznych,



wprowadzić wartości:

**A=28.8e-4 Sa2=0 Sa3=0 J1=610e-8 I2=305e-8 I3=305e-8
W2=60.1e-6 W3=60.1e-6**

i nacisnąć **ENTER**



tych operacji nie można wykonać myszką

Uwaga: **A** oznacza pole powierzchni przekroju, **Sa2** - wskaźnik oporu przy ścinaniu wzdłuż osi y, **Sa3** - wskaźnik oporu przy ścinaniu wzdłuż osi z, **J1** - charakterystyka geometryczna przekroju przy skręcaniu (dla przekrojów kołowo symetrycznych: koło lub rura jest to biegunowy moment bezwładności), **I2** - moment bezwładności względem osi y, **I3** - moment bezwładności względem osi z, **W2** - wskaźnik wytrzymałości na zginanie względem osi y, **W3** - wskaźnik wytrzymałości na zginanie względem osi z.

Uwaga: *Ponieważ nie chcemy uwzględniać wpływu sił poprzecznych na odkształcenia ramy przyjęliśmy **Sa2=0** oraz **Sa3=0**. Wartości wskaźników wytrzymałości **W2** i **W3** dla większości przekrojów zostaną w pliku danych zapisane z bardzo małą precyzją (jedno miejsce znaczące) wynikającą z ograniczeń formatu pliku danych. Należy więc ostrożnie podchodzić do wartości naprężeń w elementach zginanych, które podaje system **ALGOR**, gdyż mogą być obciążone bardzo dużym błędem (w wersjach dla Windows usunięto to ograniczenie).*

5. przechodzimy do określania charakterystyk geometrycznych elementów, należących do drugiej warstwy,



nacisnąć klawisz z literą **N**



kliknąć lewym klawiszem w napis **Next**

6. wybieramy opcję, pozwalającą na zmianę charakterystyk geometrycznych,



nacisnąć klawisz z literą **V**



kliknąć lewym klawiszem w napis **Value**

7. podajemy wartości charakterystyk geometrycznych,



wprowadzić wartości:

**A=33.5e-4 Sa2=0 Sa3=0 J1=14.6e-8 I2=117e-8 I3=2140e-8
W2=26e-6 W3=214e-6**

i nacisnąć **ENTER**



tych operacji nie można wykonać myszką

Zakończyliśmy wprowadzanie danych. Określone są już wszystkie parametry konieczne do utworzenia modelu MES konstrukcji. Pozostaje nam jedynie zapisanie danych do pliku binarnego **ZAD2.BED** oraz utworzenie pliku danych niezbędnego dla modułu rozwiązującego zadanie. Wykonujemy to w następujący sposób:





1. wracamy do głównego menu,



nacisnąć klawisz **F9**







kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**

2. wybieramy opcję **Files**,
 nacisnąć klawisz **F**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Files**
3. zapisujemy pliki danych,
 nacisnąć klawisz **S**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Save**

Uwaga: Na dysku zapisane zostaną dwa pliki: **ZAD2.BED**, który jest binarnym plikiem danych dla modułu **Bedit** oraz **ZAD2.**, w którym zapisane są dane dla modułu rozwiązującego zadanie (np. **Ssap0**). Plik **ZAD2.** nie zostanie zapisany, jeżeli nie będzie aktywna opcja **Make INP** (nie będzie przy niej znaku *****), znajdująca się w opcji **Files**. Możliwe jest też utworzenie trzeciego pliku **ZAD2.SST** po wybraniu opcji **Transfer** a następnie opcji **Make sst**. Plik ten niezbędny jest dla modułu **Combsst**.

Rozwiązanie zadania

Jeżeli chcemy teraz rozwiązać zadanie możemy bezpośrednio z modułu **Bedit** przejść do modułu rozwiązującego. Moduły rozwiązujące zadania liniowe mają nazwy rozpoczynające się literami **Ssap** i zakończone numerem modułu. Zadanie wyznaczenia przemieszczeń dla liniowej statyki wykonuje moduł **Ssap0**. Przejdziemy teraz do rozwiązania zadania:





1. wybieramy opcję **Transfer**,
 nacisnąć klawisz **T**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Transfer**
2. uruchamiamy moduł **Ssap0** (**SSAP0H.EXE** lub **SSAP0.EXE** pod Windows),
 nacisnąć klawisz **0** (zero)
 kliknąć lewym klawiszem w napis **run sap0**

Po wywołaniu modułu **Ssap0** rozpoczyna się natychmiastowe jego działanie bez konieczności wpisywania komendy **RUN**. Po prawidłowym zakończeniu rozwiązania przechodzimy do analizy wyników.

Analiza wyników

Analizę otrzymanych wyników można wykonać w module **Bedit** lub w module **SuperView**. Ponieważ sposób analizy wyników przy użyciu modułu **SuperView** został pokazany w zadaniu pierwszym dla kratownicy a dla konstrukcji ramowej nie wiele się różni, pokażemy teraz analizę przy użyciu modułu **Bedit**.




Po uruchomieniu do modułu **Bedit** czytamy plik danych **ZAD2**:


1. wybieramy opcję czytanie danych,
 nacisnąć klawisz z literą **F**, a następnie klawisz **L**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Files**, a następnie w napis **Load**
2. podajemy nazwę pliku,
 wpisać nazwę pliku **zad2** i nacisnąć **ENTER** lub nacisnąć klawisz **F8**
 kliknąć w nazwę pliku (jeżeli jest widoczna na ekranie) - możliwe tylko po naciśnięciu klawisza **F8**

Na ekranie pokazuje się rysunek konstrukcji w widoku, w jakim zapisaliśmy zadanie przed wykonaniem obliczeń.


Dla ułatwienia analizy wyników niezbędne są czasem informacje o numerach elementów i węzłów. Pokażemy teraz jak wyświetlić na ekranie te informacje.


Wyświetlamy numery elementów:

1. wybieramy opcję **Bn number**, umożliwiającą wyświetlanie numerów węzłów i elementów,
 nacisnąć klawisz **F5** i klawisz **B**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **5Cur** i w napis **Bn number**
2. uaktywniamy opcję numerowania elementów **Beam n**,
 nacisnąć klawisz **B**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **Beam n**


3. przerysowujemy rysunek, aby zobaczyć numery elementów (Rys.3.13)


 nacisnąć klawisz **R**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **Redraw**


Wyświetlamy numery węzłów:

1. usuwamy numery elementów z rysunku,

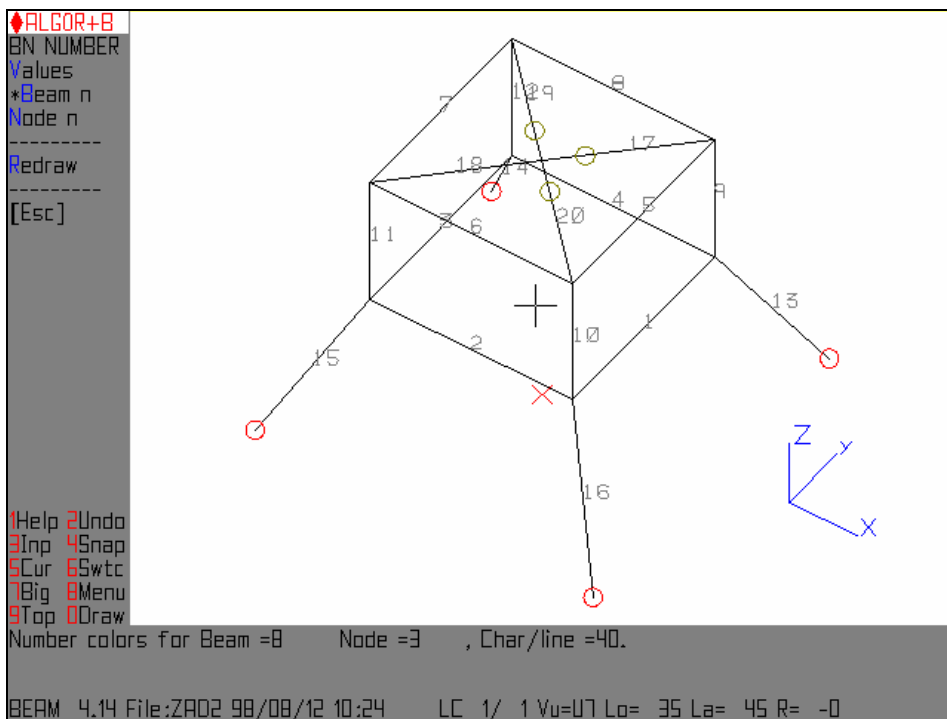
 nacisnąć klawisz **B**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **Beam n**







2. uaktywniamy opcję numerowania węzłów,

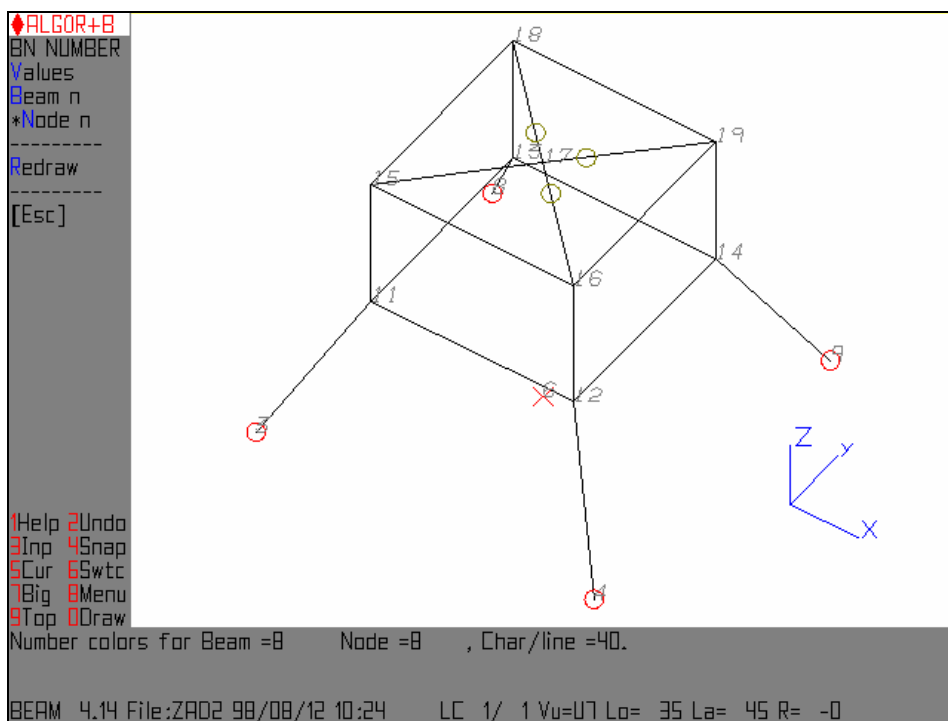
 nacisnąć klawisz **N**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **Node n**







Rys.3.13

3. przerysowujemy rysunek, aby zobaczyć numery węzłów (Rys.3.14),
 nacisnąć klawisz **R**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Redraw**
4. usuniemy teraz numery węzłów, aby nie zaciemniały nam rysunku,
 nacisnąć klawisz **N**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Node n**
5. przerysowujemy rysunek,
 nacisnąć klawisz **R**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Redraw**



Rys.3.14








Przystąpimy teraz do analizy wyników, polecenia służące analizie zgrupowane są w opcji **Post**:

1. przechodzimy do głównego menu,
 nacisnąć klawisz **F9**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**
2. wybieramy opcję analizy wyników,
 nacisnąć klawisz **P**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Post**

Analiza wyników może obejmować:

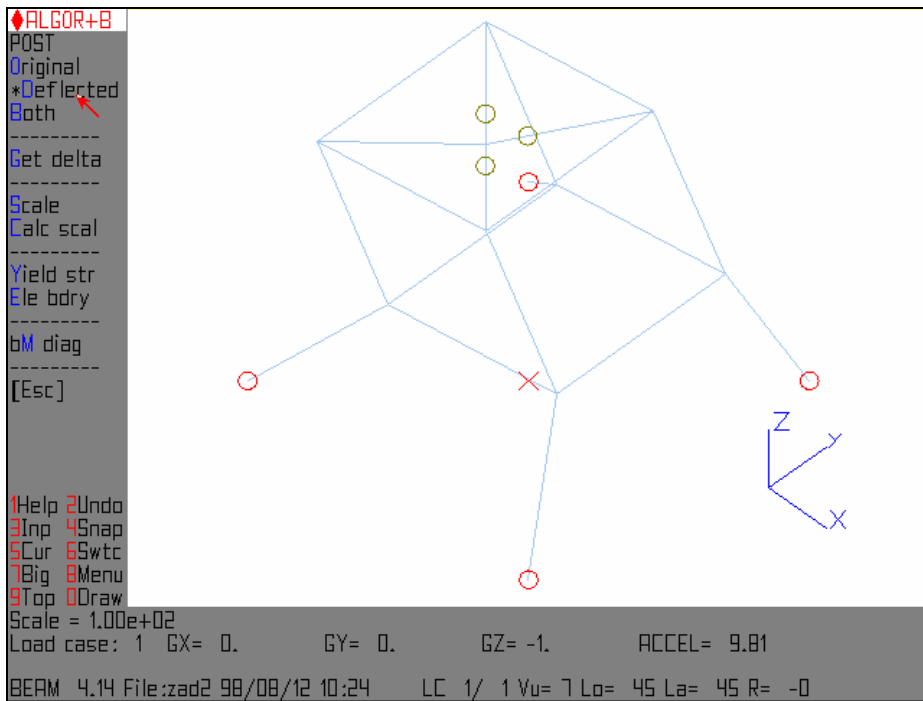
- ♦ deformację ramy,
- ♦ przemieszczenia węzłów,
- ♦ położenie elementów ściskanych i rozciąganych,
- ♦ naprężenia w elementach konstrukcji (można analizować naprężenia spowodowane przez siłę osiową - **P/A**, momenty zginające - **M2/S2** i **M3/S3**, oraz ekstremalne wartości naprężeń - **Worst=sgn(P/A) (abs(P/A)+abs(M2/S2)+abs(M3/S3))**, **sgn(P/A)**, oznacza znak wyrażenia P/A.
- ♦ wykresy sił wewnętrznych: sił poprzecznych **S2**, **S3**, momentów zginających **M2**, **M3**.

Rysujemy obraz deformacji elementów konstrukcji:

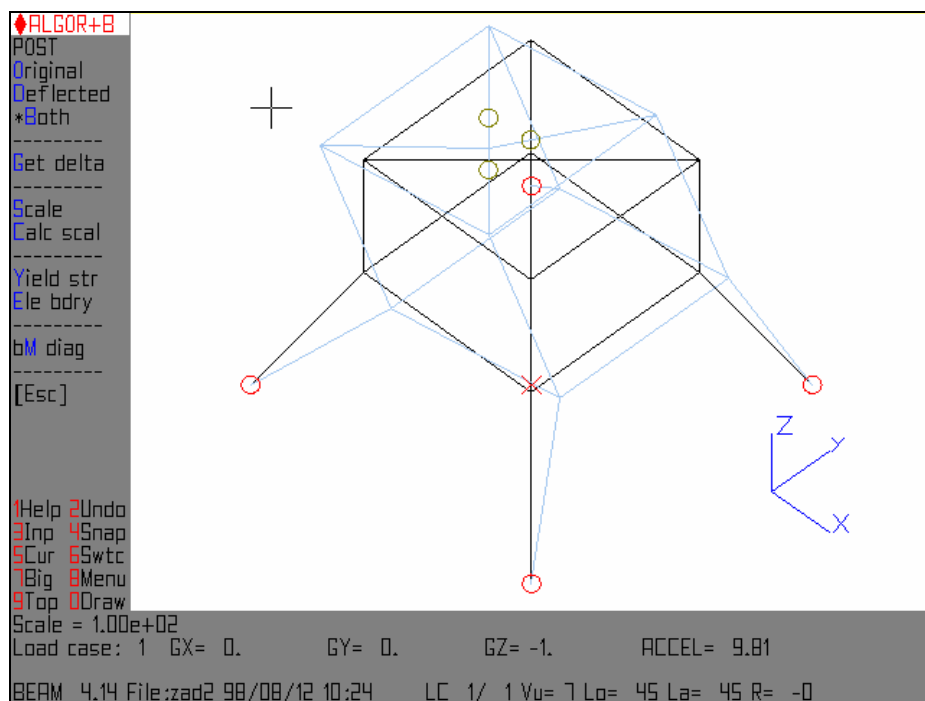
1. uaktywniamy opcję rysowania deformacji,
 nacisnąć klawisz **D**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Deflected**
2. szacujemy skalę deformacji,
 nacisnąć klawisz **C**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Calc scal**
3. zmienimy skalę deformacji tak, aby współczynnik deformacji był liczbą całkowitą,
 nacisnąć klawisz **S**
 kliknąć lewym klawiszem w napis **Scale**
4. podajemy własną skalę deformacji (np.100),
 wpisać 100 i nacisnąć **ENTER**



Uwaga: Oszacowanie skali dało wartość mnożnika równą 60.2. Ponieważ rysunek deformacji w tej skali był mało czytelny, zwiększyliśmy ją do 100.





Rys.3.15





Rys.3.16



Na Rys.3.15 przedstawiony jest widok zdeformowanej ramy. Możemy wyświetlić też dwa schematy konstrukcji na jednym rysunku: pierwotny i zdeformowany (Rys.3.16):



-  nacisnąć klawisz **B**
-  kliknąć lewym klawiszem w napis **Both**

Powróćmy do widoku nie odkształconych elementów ramy:

-  nacisnąć klawisz **O**
-  kliknąć lewym klawiszem w napis **Original**

Wartości liczbowe przemieszczeń węzłów uzyskujemy następującym sposobem:

1. uaktywniamy opcję **Get delta**,
 -  nacisnąć klawisz **G**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **Get delta**
2. wskazujemy interesujący nas węzeł,

-  wskazanie węzła za pomocą klawiatury nie jest wygodne
-  klikać lewym klawiszem w kolejne węzły ramy

3. opuszczamy opcję sprawdzania przemieszczeń,

-  nacisnąć klawisz **Esc**
-  kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**

W tabeli (Tab.3.3) pokazane zostały przemieszczenia węzłów ramy. Symbole dx , dy , dz oznaczają składowe wektora przemieszczenia w globalnym układzie współrzędnych a ds oznacza moduł tego wektora.

Tab.3.3.

Węzeł	Numer	ds [mm]	dx [mm]	dy [mm]	dz [mm]
A	9	0.0	0.0	0.0	0.0
B	8	0.0	0.0	0.0	0.0
C	3	0.0	0.0	0.0	0.0
D	4	0.0	0.0	0.0	0.0
E	14	5.635	5.0408	0.0002	2.5178
F	13	5.783	5.0763	-0.0339	-2.7710
G	11	5.783	5.0763	0.0339	-2.7710
H	12	5.635	5.0408	-0.0002	2.5178
I	19	8.080	-7.6794	-0.0006	2.5123
J	18	8.177	-7.6541	0.0021	-2.8762
K	15	8.177	-7.6541	-0.0027	-2.8762
L	16	8.080	-7.6794	0.0006	2.5123
M	17	8.383	-7.6705	0.0	-3.3815

Analizę naprężeń wykonujemy przy użyciu opcji **Yield str**, która zawiera szereg poleceń umożliwiających wszechstronne analizy naprężeń w elementach:



nacisnąć klawisz **Y**



kliknąć lewym klawiszem w napis **Yield str**

Analizę rozpoczniemy od sprawdzenia wartości naprężeń w elementach:

1. sprawdzenie wartości naprężeń w konkretnym elemencie opcją **Get strss**



nacisnąć klawisz **G**



kliknąć lewym klawiszem w napis **Get strss**

Uwaga: *Uaktywnianie opcji **Get strss** nie jest zaznaczone gwiazdką.*

2. sprawdzenie wartości naprężeń w konkretnym elemencie



wskazanie elementu za pomocą klawiatury jest nie wygodne



klikać lewym klawiszem w kolejne elementy ramy

Uwaga: *Np.: w pręcie AE (por. Rys.3.1) naprężenie siłą podłużnej **P/A**= -190.52 kPa, momentem zginającym **M2/S2**=41 714.43 kPa i **M3/S3**=41 173.55 kPa oraz **Worst**= -83 078.48 kPa. Wartości naprężeń wyświetlane są na dole ekranu. Jednostki kPa wynikają stąd, że długości zostały podane w m, siły zostały podane w kN, a moduł Younga $\text{kN/m}^2 = \text{kPa}$. Jednostką naprężenia jest więc $\text{kN/m}^2 = \text{kPa}$.*

3. zrezygnowanie ze sprawdzania wielkości naprężeń.



nacisnąć klawisz **Esc**



kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**

Uwaga: *Zwykle opcje modułu są tak ustawione, że przy opcji **Comp hi.** jest znak *. W związku z tym na rysunku ramy zaznaczone są elementy ściskane. Jeżeli opcja **Comp hi** nie jest zaznaczona, to można ją uaktywnić klikając w napis myszką lub wciskając klawisz **C**.*

Opcja **Yield hi.** wskazuje elementy, w których wartości bezwzględne naprężeń (wybranych w opcji **Type**) przekraczają podaną granicę. Elementy te zostaną oznaczone prostokątami. Sprawdźmy teraz, w których elementach naprężenia spowodowane siłą osiową przekraczają granicę 10 MPa:

1. wybieramy opcję **Type**,



nacisnąć klawisz **T**



kliknąć lewym klawiszem w napis **Type**

2. ustalamy rodzaj interesujących nas naprężeń,



nacisnąć klawisz **1**



kliknąć lewym klawiszem w napis **1) P/A**

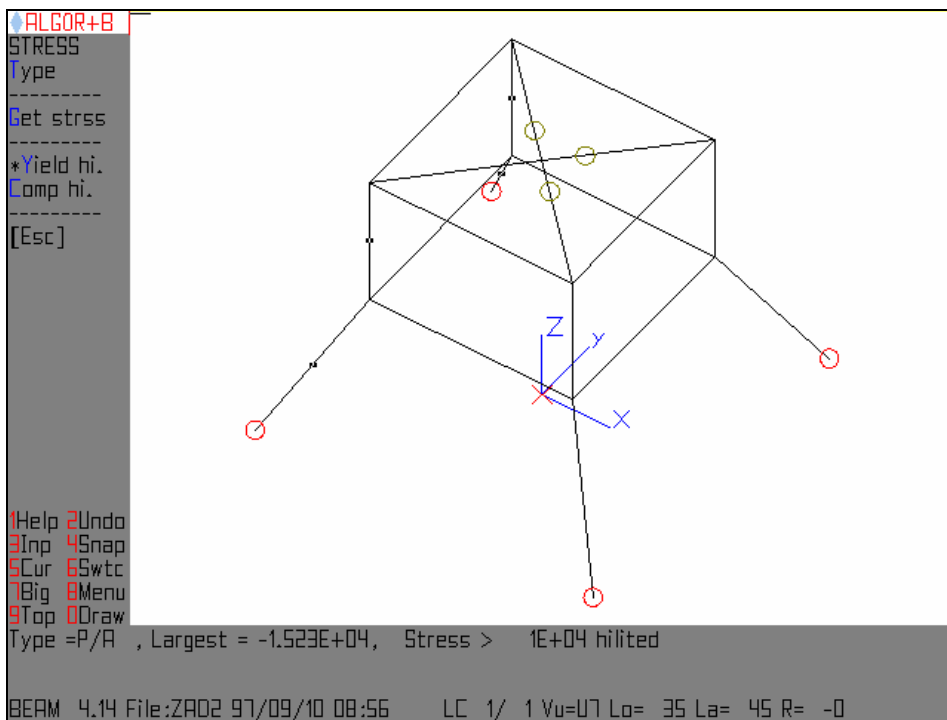
3. uaktywniamy opcję **Yield hi.** i podajemy granicę naprężeń,



nacisnąć klawisz **Y**



kliknąć lewym klawiszem w napis **Yield hi.**



Rys.3.17

4. podajemy granicę naprężeń (10 000 kPa),

wpisać **1e4** i nacisnąć **ENTER**

nie można tego wykonać myszką

Uwaga: Na Rys.3.17 pokazany jest widok ekranu z zaznaczonymi elementami po ostatnich operacjach.

5. wracamy do opcji **Post**,














nacisnąć klawisz **Esc**

kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**

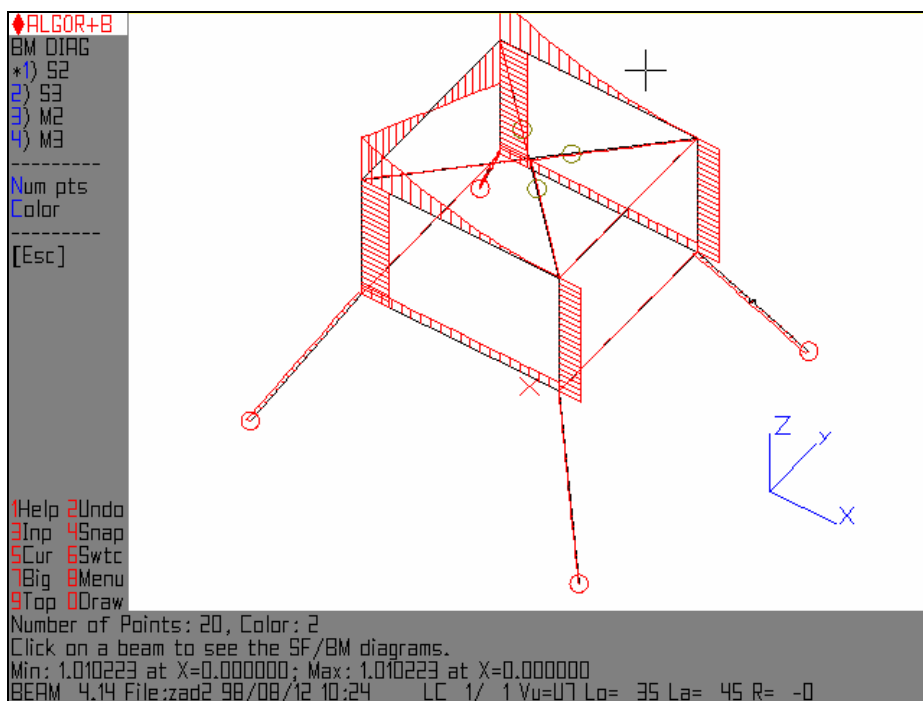
Inną możliwością analizy wyników jest oglądanie wykresów sił poprzecznych i momentów zginających. Umożliwia to opcja **bM diag**:

1. wybieramy opcję oglądania wykresów,

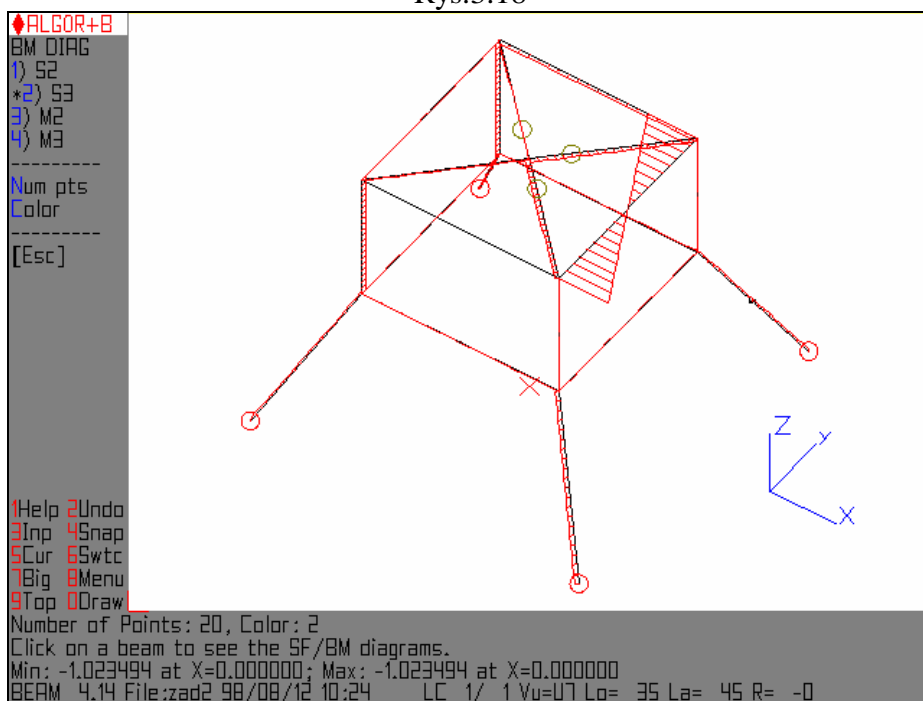
nacisnąć klawisz **M**

-  kliknąć lewym klawiszem w napis **bM diag**
- 2. wybieramy opcję zmiany skali wykresu,
 -  nacisnąć klawisz **F5** i klawisz **E**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **5Cur** i w napis **dl scale**
- 3. podajemy skalę wykresu (np. 0.05),
 -  wpisać **0.05** i nacisnąć **ENTER**
 -  nie można wykonać myszką
- 4. wracamy do opcji **bM diag**,
 -  nacisnąć klawisz **Esc**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **[Esc]**
- 5. wybieramy rodzaj sił wewnętrznych, które chcemy obejrzeć na wykresie (np. siłę poprzeczną równoległą do osi y lokalnego układu współrzędnych),
 -  nacisnąć klawisz **1**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **1) S2**
- 6. odświeżamy ekran,
 -  nacisnąć klawisz **F10** i klawisz **R**
 -  kliknąć lewym klawiszem w napis **0Draw** oraz w napis **Redraw**
- 7. wybieramy elementy, których siły wewnętrzne pokazane będą na wykresie,
 -  wskazanie elementów za pomocą klawiatury je nie wygodne
 -  klikać lewym klawiszem myszki w interesujące nas elementy

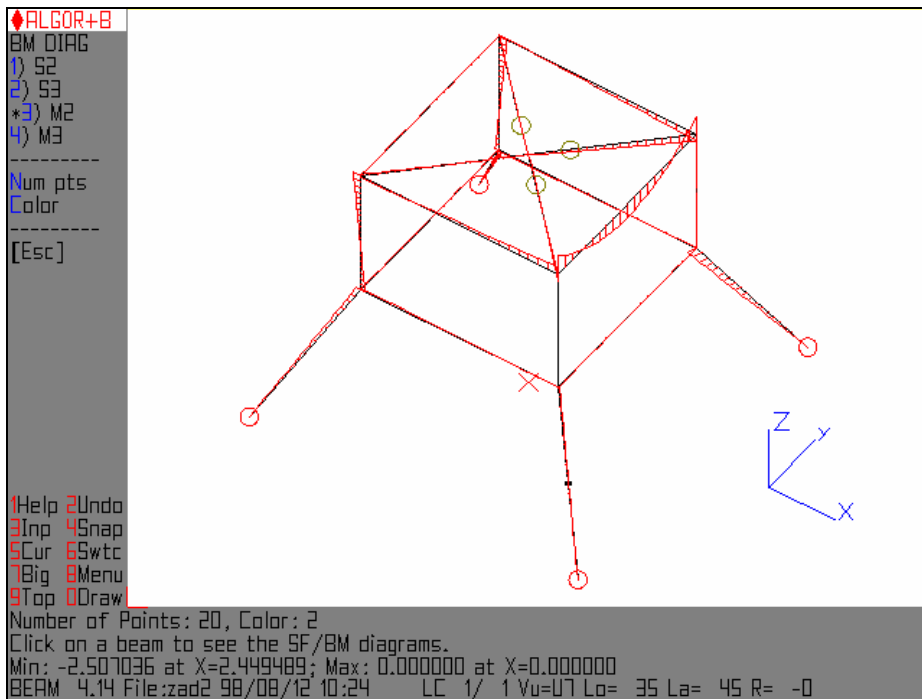
Po wskazaniu wszystkich elementów uzyskuje się wykresy jak na Rys.3.18. Wykresy sił poprzecznych **S2** są rysowane w płaszczyznach xy lokalnych układów współrzędnych. Na Rys.3.19 pokazane są wykresy sił poprzecznych **S3**. Wykresy te są rysowane w płaszczyznach xz lokalnych układów współrzędnych.



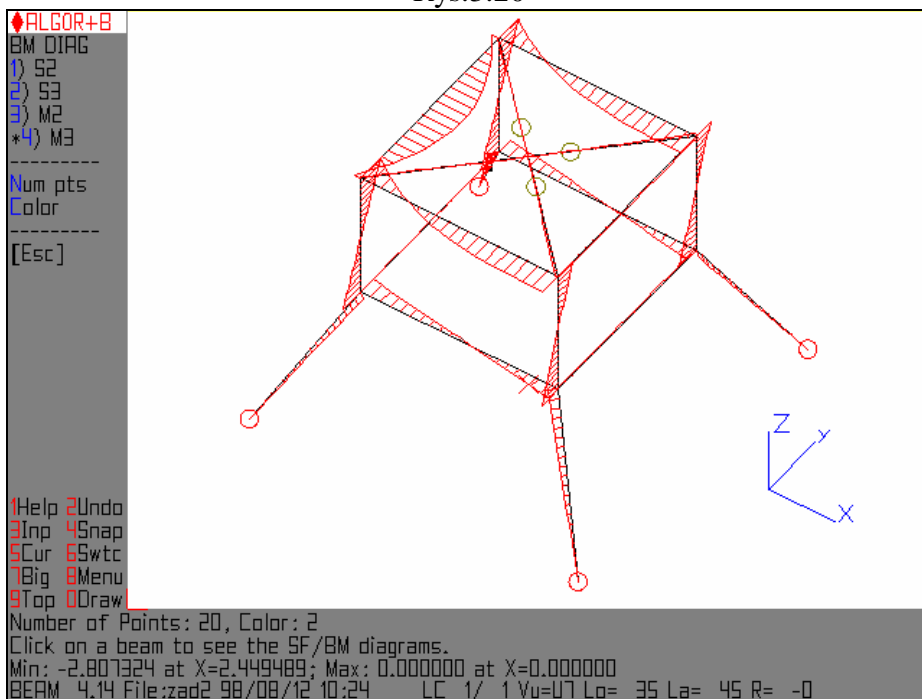
Rys.3.18



Rys.3.19



Rys.3.20




Rys.3.21

Wykresy momentów uzyskuje się analogicznie. Przed wykonaniem wykresów momentów zginających należy odświeżyć ekran, aby usunąć poprzednie wykresy. Rys.3.20 pokazuje wykresy momentów zginających **M2** (momenty o wektorach równoległych do osi y), Rys.3.21 pokazuje wykresy momentów zginających **M3** (momenty o wektorach równoległych do osi z). Wykresy momentów rysowane są w płaszczyznach zawierających wektor momentu, tzn. odmiennie niż przyjęto zwykle w mechanice, w płaszczyźnie prostopadłej do wektora momentu. Wykres **M2** narysowany jest zatem w płaszczyznach xy lokalnych układów współrzędnych, a **M3** - w płaszczyznach xz .


Rysowaniem wykresów momentów zakończymy analizę wyników. Zakończymy teraz pracę z modulem **Bedit** i powrócimy do głównego menu systemu **ALGOR**:

1. wracamy do głównego menu modułu **Bedit**,

 nacisnąć klawisz **F9**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **9Top**

2. kończymy pracę modułu,

 nacisnąć klawisz **Q**

 kliknąć lewym klawiszem w napis **Quit**

Po zakończeniu pracy modułu wracamy do głównego menu systemu (**Algor Main Menu**).

Jak już wcześniej wspomnieliśmy wyniki obliczeń konstrukcji prętowej można przeanalizować korzystając nie tylko z modułu **Bedit**, ale także za pomocą modułu **SuperView**. Moduł **SuperView** ma więcej możliwości analizy wyników np.:

- ♦ umożliwia wyświetlenie i zapisanie do pliku mapy bitowej obrazującej wartości sił osiowych i momentów skręcających w prętach oraz zapisanie do pliku samych wartości tych sił wewnętrznych,
- ♦ mapy wartości naprężeń spowodowanych siłami osiowymi, momentami zginającymi i momentami skręcającymi i zapisanie wartości do pliku,
- ♦ mapy ekstremalnych naprężeń, które są sumą wszystkich wymienionych w poprzednim punkcie i zapisanie wartości do pliku.

W module **SuperView** można także analizować siły poprzeczne i momenty zginające. Niestety opis graficzny wszystkich wyników jest taki sam jak pokazany w zadaniu 1 dla kratownicy (np. por. Rys.2.20), tzn.

moduł **SuperView** dostarcza nam wartości tylko na końcach elementów i są one oznaczane kwadracikami w kolorach, które odpowiadają skali sił pokazanej w legendzie. W **SuperView** nie można wyświetlić standardowych wykresów sił wewnętrznych.

Na zakończenie wykonamy kontrolę poprawności wyników przez sprawdzenie równowagi węzła K. Wartości sił poprzecznych S2 i S3 oraz momentów zginających M2 i M3 widoczne były na ekranie podczas rysowania wykresów tych wielkości, w interesujących nas elementach wynoszą one:

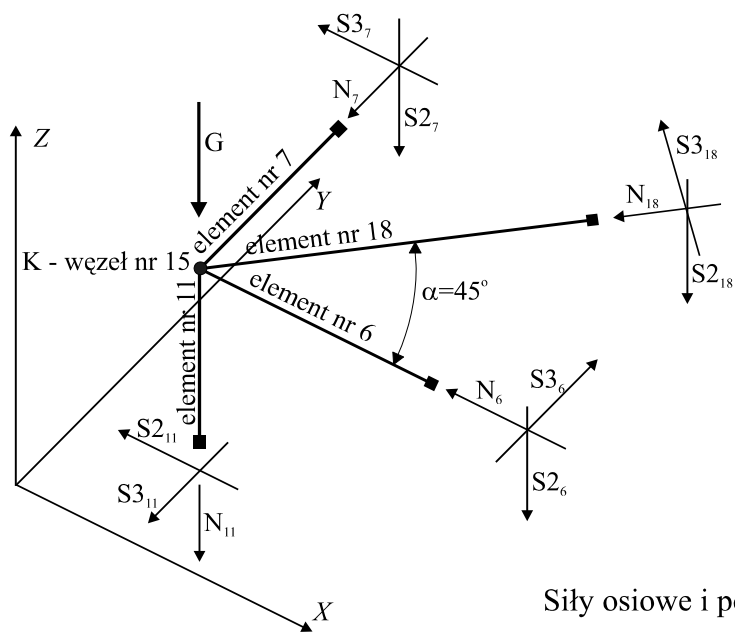
$S_{2_6}=15.0642 \text{ kN},$	$S_{3_6}=-0.9533 \text{ kN},$	$M_{2_6}=0.7044$	kNm,
$M_{3_6}=8.3412 \text{ kNm},$			
$S_{2_7}=15.0000 \text{ kN},$	$S_{3_7}=0,$	$M_{2_7}=-0.2487$	kNm,
$M_{3_7}=2.1112 \text{ kNm},$			
$S_{2_{11}}=-8.2789 \text{ kN},$	$S_{3_{11}}=-1.7584 \text{ kN},$	$M_{2_{11}}=-2.3359$	kNm,
$M_{3_{11}}=8.5724 \text{ kNm},$			
$S_{2_{18}}=0.1541 \text{ kN},$	$S_{3_{18}}=0.2498 \text{ kN},$	$M_{2_{18}}=-0.5299$	kNm,
$M_{3_{18}}=0.3269 \text{ kNm}.$			

Pozostałe wielkości potrzebne do sprawdzenia równowagi czyli siły normalne i momenty skręcające można odczytać w **SuperView** i wynoszą one:

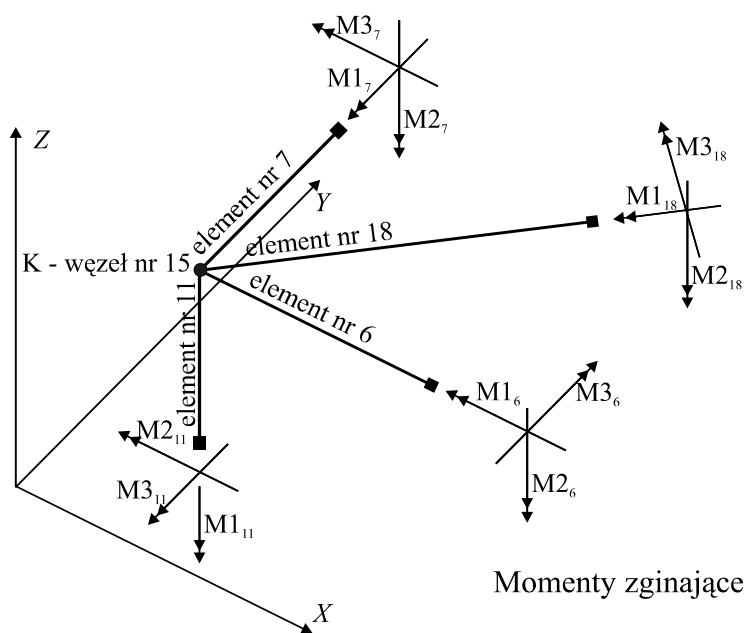
$N_6=5.8624 \text{ kN},$	$M_{1_6}=0,$	$N_7=-1.2581 \text{ kN},$	$M_{1_7}=0,$
$N_{11}=-31.5122 \text{ kN},$	$M_{1_{11}}=0.0742 \text{ kNm},$	$N_{18}=3.1676 \text{ kN},$	$M_{1_{18}}=0.$

Nie podajemy tu szczegółowo sposobu odczytywania tych wartości, ponieważ zostało to opisane w zadaniu 1.

Obciążenie ciężarem własnym, moduł **Ssap0** zamienił na obciążenie siłami skupionymi przyłożonymi do węzłów. Wartości tych sił równe są połowie ciężaru elementów połączonych z danym węzłem. Siły, które zastępują ciężar własny, nie są widoczne w żadnym z modułów graficznych a ich wartości nie są umieszczane w tekstowym pliku danych. W węźle K (węzeł nr 15) działa zatem siła skupiona $G=1.2939 \text{ kN}$, która jest równa połowie ciężaru elementów nr 6, 7, 11 i 18.



Siły osiowe i poprzeczne



Momenty zginające i skręcające

Rys.3.22.

Suma rzutów wektorów sił na oś X

$$\begin{aligned}\sum X &= -S_{2_{11}} - N_6 - N_{18} \cos \alpha - S_{3_{18}} \sin \alpha - S_{3_7} = \\ &= 8.2789 \text{ kN} - 5.8624 \text{ kN} - 3.1676 \text{ kN} \cos 45^\circ - 0.2498 \text{ kN} \sin 45^\circ - 0 = 0\end{aligned}$$

Suma rzutów wektorów sił na oś Y

$$\begin{aligned}\sum Y &= -S_{3_{11}} + S_{3_6} - N_{18} \sin \alpha + S_{3_{18}} \cos \alpha - N_7 = \\ &= 1.7584 \text{ kN} - 0.9533 \text{ kN} - 3.1676 \text{ kN} \sin 45^\circ + 0.2498 \text{ kN} \cos 45^\circ + 1.2581 = \\ &= 0\end{aligned}$$

Suma rzutów wektorów sił na oś Z

$$\begin{aligned}\sum Z &= -N_{11} - S_{2_6} - S_{2_{18}} - S_{2_7} - G = \\ &= 31.5122 \text{ kN} - 15.0642 \text{ kN} - 0.1541 \text{ kN} - 15.000 \text{ kN} - 1.2939 \text{ kN} = 0\end{aligned}$$

Suma rzutów wektorów momentów na oś X

$$\begin{aligned}\sum M_x &= -M_{2_{11}} - M_{1_6} - M_{1_{18}} \cos \alpha - M_{3_{18}} \sin \alpha - M_{3_7} = \\ &= 2.3359 \text{ kNm} + 0.0065 - 0 - 0.3269 \text{ kNm} \sin 45^\circ - 2.1112 \text{ kNm} = 0\end{aligned}$$

Suma rzutów wektorów momentów na oś Y

$$\begin{aligned}\sum M_y &= -M_{3_{11}} + M_{3_6} - M_{1_{18}} \sin \alpha + M_{3_{18}} \cos \alpha - M_{1_7} = \\ &= -8.5724 \text{ kNm} + 8.3412 \text{ kNm} - 0 + 0.3269 \text{ kNm} \cos 45^\circ - 0 = 0\end{aligned}$$

Suma rzutów wektorów momentów na oś Z

$$\begin{aligned}\sum M_z &= -M_{1_{11}} - M_{2_6} - M_{2_{18}} - M_{2_7} = \\ &= -0.0742 \text{ kNm} - 0.7044 \text{ kNm} + 0.5299 \text{ kNm} + 0.2487 \text{ kNm} = 0\end{aligned}$$

