

Część **C**

**MODELOWANIE**

## Spis treści części C

C28. Kilka słów wstępu .....	5
C29. Nieco teorii o Tarczy (łagodnie) .....	6
29.1. Element trójkątny .....	8
29.2. Element czworokątny .....	9
29.3. Element pięciowęzłowy .....	10
29.4. Siły węzłowe obciążeń niewęzłowych .....	11
29.5. Podparcie w tarczy .....	11
C30. Modelowanie bez podkładu CAD .....	12
30.1. Obszar prosty .....	13
30.2. Obszar czworokątny .....	13
30.3. Obszar trójkątny .....	14
30.4. Obszar łukowy .....	15
30.5. Obszar kołowy .....	15
30.6. Obszar eliptyczny .....	16
30.7. Czytanie z plików .....	17
C31. Modelowanie z podkładem CAD .....	19
C32. Menu Elementy .....	21
32.1. Dodanie obszaru prostego .....	21
32.2. Dodanie obszaru czworokątnego .....	22
32.3. Dodanie obszaru trójkątnego .....	22
32.4. Dodanie obszaru łukowego .....	23
32.5. Dodanie wycinka koła .....	24
32.6. Dodanie obszaru kołowego .....	24
32.7. Dodanie elementu .....	24
32.8. Dodaj z plików .....	25
32.9. Dodaj linię .....	25
32.10. Dodaj łuk .....	26
32.11. Dodaj otwór .....	26
32.12. Zagęszczanie siatki .....	26
32.13. Powielanie wybranego fragmentu .....	28
32.14. Usuwanie elementów .....	29
32.15. Opcja Cofnij o krok .....	29
32.16. Opcja Zapisz do plików .....	29
32.17. Elementy pękające .....	30
C33. Operacje na węzłach .....	30
33.1. Przesuwanie węzłów .....	30
33.2. Przesuwanie węzłów po prostej .....	31
33.3. Opcja Ustaw szerokość .....	31
33.4. Obracanie węzłów .....	31

33.5. Ręczne łączenie węzłów .....	32
33.6. Automatyczne łączenie węzłów .....	32
33.7. Lustrzane odbicie .....	32
33.8. Ustawianie węzłów na prostej .....	32
33.9. Ustawianie węzłów na łuku .....	33
33.10. Ustawianie węzłów na elipsie .....	33
33.11. Zbędne węzły .....	34
33.12. Układy współrzędnych węzłowych .....	34
C34. Dane materiałowe .....	35
C35. Przycisk PSO .....	38
C36. Grubości .....	38
36.1. Grubość zmienna .....	39
C37. Linie poślizgu .....	40
C38. Podpory .....	41
38.1. Podpory sztywne .....	41
38.2. Podpory podatne .....	41
38.3. Podpory z pliku .....	42
38.4. Inne opcje menu Podpory .....	43
C39. Podłoże sprężyste Winklera .....	45
C40. Menu Więzy .....	46
40.1. Symetrie .....	46
40.2. Definicja stopni swobody .....	46
40.3. Opcje menu Więzy .....	47
40.4. Węzły zależne .....	47
C41. Obciążenia tarcz .....	48
41.1. Opis obciążenia .....	48
41.2. Obciążenie ciężarem własnym .....	49
41.3. Obciążenie siłami skupionymi .....	49
41.4. Obciążenie siłami liniowymi .....	51
41.4.1. Siły liniowe typu Ciężar .....	51
41.4.2. Siły liniowe typu Śnieg .....	52
41.4.3. Siły liniowe typu Wiatr .....	52
41.4.4. Menu Siły liniowe .....	52
41.5. Obciążenie warstwą .....	53
41.6. Obciążenie termiczne .....	54
41.7. Obciążenie skurczem .....	55
41.8. Obciążenie wstępnymi przemieszczeniami .....	55
41.9. Obciążenia dynamiczne .....	57
41.10. Menu Obciążenia .....	57
41.11. Rozkładanie obciążeń .....	58
41.12. Obciążenie z pliku .....	60
41.13. Obciążenie ruchome .....	61
41.13.1. Obciążenie drogowe .....	61

41.13.2. Obciążenie kolejowe .....	62
41.13.3. Obciążenie dowolne .....	62
41.14. Zmienna struktura .....	64
C42. Masy skupione .....	66
C43. Obliczenia liniowe .....	67
C44. Obliczenia nieliniowe .....	69
44.1. Cechy nieliniowe podpór sztywnych .....	70
44.2. Cechy nieliniowe podpór podatnych .....	71
44.3. Cechy nieliniowe podłoża .....	72
44.4. Elementy pękające .....	72
C45. Obliczenia dynamiczne .....	73
C46. Nieco o teorii Osiowej Symetrii .....	74
C47. Modelowanie osiowej-symetrii .....	76
47.1. Przyciski modułu DANE .....	76
47.2. Menu Węzły .....	76
47.3. Obciążenia .....	77
47.4. Obliczenia .....	78

## C 28. Kilka słów wstępu

Programy ABC analizę numeryczną prowadzą Metodą Elementów Skończonych (MES), jednak wszystkie etapy tej metody zostały tak oprogramowane, że użytkownik nie musi dysponować głęboką wiedzą w tym zakresie. Właściwie jest mu potrzebna jedna informacja, że MES jako metoda wykorzystująca interpolację jest wrażliwa na gęstość podziału modelu na obszary elementarne (elementy skończone). Stąd też dla tego samego obiektu, ale różnie podzielonego otrzymuje się zawsze różne wyniki. Oczywiście przy odpowiednio gęstym podziale różnice będą znikome, ale zawsze będą.

Obliczenia programem ABC składają się z trzech etapów: przygotowania danych, samych obliczeń i analizy wyników. Pierwszy i ostatni etap wymaga osobistego zaangażowania użytkownika, same obliczenia odbywają się od początku do końca samodzielnie i użytkownik może, co najwyżej śledzić stopień ich zaawansowania. Przy obecnych mocach obliczeniowych nie ma za wiele czasu na to śledzenie.

Sam proces przygotowania danych też składa się z kilku stałych kroków, które same w sobie, przy różnych obiektach mogą być zróżnicowane, ale zawsze trzeba wprowadzić dane opisujące geometrię obiektu, sposób jego podparcia i sposób obciążenia. Te trzy kroki należy zrobić dla każdego analizowanego obiektu i to w takiej, a nie innej kolejności. W wyniku tych działań powstaną odpowiednie grupy danych wzajemnie powiązanych i wewnętrznie spójnych, które do tego w procesie analizy mogą być zmieniane i modyfikowane. Jeśli chodzi o warunki podporowe i obciążenia, tok postępowania jest zasadniczo stały i niezależny od obiektu. Inaczej ma się sprawa z opisem geometrii obiektu. Narzędzia programowe, które są do dyspozycji użytkownika, oraz różnorodność analizowanych obiektów powodują, że nie ma jednej uniwersalnej drogi prowadzącej do celu. Można jednak wyróżnić dwie generalne tendencje, które krótko można opisać jako tworzenie modelu od ogółu do szczegółu i odwrotnie, od wymodelowania szczegółu do całego modelu. Oczywiście w trakcie modelowania często te postępowania będą się przeplatać. Zawsze jednak należy zastanowić się nad strategią postępowania, tak, aby osiągnąć cel minimalnym nakładem wysiłku. Warto w tym miejscu ustosunkować się do pewnych rozwiązań oferowanych przez inne programy, gdzie etap modelowania geometrii ograniczony jest do zadania brzegów, a podział na elementy skończone odbywa się automatycznie. Nawiązując do informacji podanych w pierwszym akapicie, należy zauważyć, że im siatka podziału na elementy skończone jest regularniejsza tym wyniki są wyznaczone z większą dokładnością. Stąd też oferowane w programie ABC narzędzia opierają się na tworzeniu obszarów o regularnym podziale. Obszary mogą obejmować cały obiekt lub tylko niewielki fragment, ale zawsze będą regularnie podzielone. Zapewnia to większą dokładność rozwiązania niż przy podziałach nieregularnych, a przede wszystkim ciągłość przebiegów, zwłaszcza sił wewnętrznych. W połączeniu z narzędziami pozwalającymi lokalnie zagęszczać podział np. w miejscu spodziewanych koncentracji sił wewnętrznych, programy ABC pozwalają przygotować model, w którym można osiągnąć rozsądny kompromis pomiędzy dokładnością obliczeń, a kosztami zależnymi wprost od czasu poświęconego na modelowanie, obliczanie i analizę wyników. Należy podkreślić, że obecna wersja nie ma praktycznych ograniczeń liczby elementów, na które podzielono model, czyli można sobie wyobrazić analizę prowadzoną na obiekcie podzielonym równomiernie o gęstości podziału wynikającym z miejsca o największej koncentracji sił wewnętrznych. Takie postępowanie technicznie możliwe jest jednak uzasadnione tylko w wyjątkowych przypadkach i nie powinno być przyjmowane jako reguła. Badania przeprowadzone przez prof. Wł. Starosolskiego i opublikowane w książce: „Komputerowe modelowanie ustrojów inżynierskich” wyraźnie wskazują na związek między wielkością elementu podziału, miejscem w modelu i dokładnością otrzymanych wyników.

## C 29. Nieco teorii o Tarczy (łagodnie)

Rozdział ten wprowadza pobieżnie do zagadnień MES w kontekście programu ABC Tarcza i może być spokojnie pominięty przez osoby niezbyt zainteresowane teorią. Natomiast dla osób, które chciałyby głębiej poznać przyjęte rozwiązania teoretyczne będzie zaledwie przewodnikiem po problemach. Zainteresowanych należy odesłać do książki O. C. Zienkiewicza pt.: „Metoda elementów skończonych” wydanej przez Arkady w 1972 roku. Ta książka stanowiła główne źródło wiedzy, która jest podstawą „kuchni” programu ABC Tarcza.

W programie ABC Tarcza przyjęto dwa typy elementów skończonego. Pierwszy jest prostym elementem trójkątnym o liniowych funkcjach kształtu, a drugi jest elementem czworokątnym typu „serendipowskiego” o liniowych funkcjach kształtu i o zmiennych poza węzłowych. Element pięciowęzłowy jest pewnego rodzaju superelementem zbudowanym z dwóch elementów czterowęzłowych. Każdy z tych elementów będzie krótko omówiony dalej.

W tarczy przyjęto dwa stopnie swobody w węzle:

$$\{q\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}$$

gdzie:

- $u$  – przemieszczenie w kierunku osi  $X$ ,
- $v$  – przemieszczenie w kierunku osi  $Y$ .

Tym dwóm składowym przemieszczenia odpowiadają dwie składowe sił węzłowych:

$$\{P\} = \begin{Bmatrix} P_x \\ P_y \end{Bmatrix}$$

Siły węzłowe wraz z siłami zewnętrznymi (obciążającymi) muszą być w równowadze, co prowadzi do prostej zależności, że suma wszystkich sił w węzle jest równa zero.

Podstawową zasadą Metody Elementów Skończonych jest stwierdzenie, że przemieszczenia wewnątrz elementu są interpolowane przez przemieszczenia węzłowe i tzw. funkcje kształtu.

$$\{q\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = [N] \cdot \{q\}^e$$

gdzie:

- $[N]$  – funkcja interpolująca zwana funkcją kształtu, ponieważ zależy od kształtu elementu skończonego,
- $\{q\}^e$  – przemieszczenia węzłowe elementu.

Całkowite odkształcenia w każdym punkcie elementu są zdefiniowane przez:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix} (j,k,...) \cdot \{q\}^e = [B] \cdot \{q\}^e$$

gdzie:

- i, j, k.. kolejne węzły elementu,
- [B] – macierz pochodnych funkcji kształtu.

Macierz sztywności elementu tarczowego można obliczyć z całki:

$$[k] = \int_A [B]^T [D] \cdot [B] \cdot t \cdot dA$$

gdzie:

- [D] – macierz sprężystości określająca związki konstytutywne,
- t – grubość elementu,
- A – pole elementu.

Dla Płaskiego Stanu Naprężenia (PSN) macierz [D] jest równa:

$$[D] = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$$

Dla Płaskiego Stanu Odkształcenia (PSO) macierz [D] jest równa:

$$[D] = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{bmatrix}$$

Macierz [D] można jawnie zdefiniować w danych opisujących materiał i wtedy użytkownik sam decyduje o wartościach składników  $D_{11}$ ,  $D_{12}$ ,  $D_{13}$ ,  $D_{22}$ ,  $D_{23}$ ,  $D_{33}$  tej macierzy:

$$[D] = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ & D_{22} & D_{23} \\ \text{sym.} & & D_{33} \end{bmatrix}$$

W PSN stan naprężenia opisany jest trzema składowymi:

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [D] \cdot \{\varepsilon\} = [D] \cdot [B] \cdot \{q\}^e$$

Jeśli obciążeniem jest wstępne odkształcenie  $\{\varepsilon_0\}$  wywołane np. temperaturą, to powyższy wzór ulega zmianie o ten składnik:

$$\{\sigma\} = [D] \cdot (\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}) = [D] \cdot [B] \cdot \{q\}^e - [D]\{\varepsilon_0\}$$

W PSO stan naprężenia opisany jest czterema składnikami. Obok składników  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  i  $\tau_{xy}$  pojawi się naprężenie  $\sigma_z$  prostopadłe do płaszczyzny elementu:

$$\sigma_z = \nu \cdot (\sigma_x + \sigma_y)$$

Jeśli w obciążeniu występuje temperatura to naprężenie jest równe:

$$\sigma_z = \nu \cdot (\sigma_x + \sigma_y) - \frac{\alpha \cdot T^e}{E}$$

## 29.1. Element trójkątny

Dla elementu trójkątnego przyjęto następujące funkcje kształtu:

$$[N_i] = \begin{bmatrix} L_i & 0 \\ 0 & L_i \end{bmatrix}$$

gdzie:

$L_i$  – współrzędne barocentryczne.

Współrzędna barocentryczna  $L_i$  opisująca położenie dowolnego punktu  $P(x,y)$  wewnątrz trójkąta jest stosunkiem pola trójkąta opartego na boku przeciwnym do wierzchołka (i) z trzecim wierzchołkiem w punkcie  $P(x,y)$  do pola trójkąta (i, j, k). Każdy punkt  $P(x,y)$  jest opisany trzema współrzędnymi  $L_i$ ,  $L_j$ ,  $L_k$  spełniającymi warunek:

$$L_i + L_j + L_k = 1$$

W układzie współrzędnych kartezjańskich  $X$ ,  $Y$  współrzędne barocentryczne są wyrażone wzorami:

$$L_i = (a_i + b_i x + c_i y) / 2\Delta$$

$$L_j = (a_j + b_j x + c_j y) / 2\Delta$$

$$L_k = (a_k + b_k x + c_k y) / 2\Delta$$

gdzie:

- $a_i = x_j y_k - x_k y_j$ ,
- $b_i = y_j - y_k$ ,
- $c_i = x_k - x_j$ , ( $a_j$ ,  $a_k$ ,  $b_j$ ,  $b_k$ ,  $c_j$ ,  $c_k$  powstają przez cykliczną zmianę indeksów i, j, k),
- $2\Delta$  - podwojone pole trójkąta.

Obliczając pochodne cząstkowe funkcji kształtu można otrzymać jawną postać macierzy [B]:

$$[B] = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_k & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_k \\ c_i & b_i & c_j & b_j & c_k & b_k \end{bmatrix}$$

Ponieważ macierz [B] jest stała, zatem w elemencie trójkątnym macierz sztywności [k] wyznacza się przez przemnożenie trzech macierzy:

$$[k] = [B]^T [D] \cdot [B] \cdot t \cdot \Delta$$



W elemencie trójkątnym odkształcenie jest stałe w całym elemencie, co powoduje, że elementy takie dają dokładne rozwiązanie dopiero przy gęstym podziale. Naprężenia wyznaczone w takim elemencie są też stałe w jego polu, zatem mogą być interpretowane tylko w stosunku do jego środka ciężkości.

W folderze \Przykłady\_Tarcz jest seria zadań Trojkaty\* ilustrujących wpływ podziału na dokładność wyników.

## 29.2. Element czworokątny

Element czworokątny przez odpowiednią transformację może zostać przedstawiony w układzie współrzędnych jednorodnych  $(\xi, \eta)$  jako kwadrat o boku równym 2 jednostki. Wierzchołki tego kwadratu będą miały współrzędne:  $(1,1)$ ,  $(-1,1)$ ,  $(-1,-1)$  i  $(1,-1)$ .

Funkcje kształtu dla tych wierzchołków są następujące:

$$N_1 = \frac{1}{4} (1+\xi) (1+\eta)$$

$$N_2 = \frac{1}{4} (1-\xi) (1+\eta)$$

$$N_3 = \frac{1}{4} (1-\xi) (1-\eta)$$

$$N_4 = \frac{1}{4} (1+\xi) (1-\eta)$$

Te cztery funkcje kształtu zostają uzupełnione dwiema funkcjami poza węzłowymi:

$$N_5 = (1+\xi^2)$$

$$N_6 = (1+\eta^2)$$

Macierz  $[B]$  składa się z sześciu bloków odpowiednich dla każdej z funkcji interpolujących:

$$[B_i] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix}$$

Macierz sztywności takiego elementu można obliczyć jako podwójną całkę:

$$[k] = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D] \cdot [B] \cdot t \cdot d\xi \cdot d\eta \cdot \det[J]$$

gdzie:

- $t$  – grubość elementu,
- $\det[J]$  – wyznacznik Jakobianu transformacji z układu jednorodnego do układu XY.

Transformację układów dokonuje się z wykorzystaniem tylko funkcji  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  i  $N_4$ . Jakobian takiej transformacji jest równy:

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial \xi} & \frac{\partial N_2}{\partial \xi} & \frac{\partial N_3}{\partial \xi} & \frac{\partial N_4}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_1}{\partial \eta} & \frac{\partial N_2}{\partial \eta} & \frac{\partial N_3}{\partial \eta} & \frac{\partial N_4}{\partial \eta} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \\ x_4 & y_4 \end{bmatrix}$$

A pochodne cząstkowe wg współrzędnych X i Y są obliczane z układu równań:

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} \end{Bmatrix} = [J]^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N_i}{\partial \eta} \end{Bmatrix}$$

W elementach czterowęzłowych macierz [B] nie jest już macierzą stałą, zatem do wyznaczenia macierzy [k] trzeba użyć procedury całkowania numerycznego:

$$[k] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m H_i H_j [B(\xi_i, \eta_j)]^T [D] \cdot [B(\xi_i, \eta_j)] \cdot \det[J]$$

gdzie:

- $\xi_i, \eta_j$  – współrzędne węzła całkowania,
- $H_i, H_j$  – wagi węzła całkowania,
- $n$  – liczba węzłów całkowania w kierunku  $\xi$ ,
- $m$  – liczba węzłów całkowania w kierunku  $\eta$ .

Dla funkcji przyjętych w tym elemencie wystarczy całkowanie po dwóch węzłach w każdym kierunku. Współrzędne tych punktów są równe:

$$\xi = \eta = \pm 0,577350269189626$$

a wagi:

$$H_i = H_j = 1,0$$

Zamiast liczyć naprężenia w węzłach całkowania i następnie np. wyznaczać wartość średnią, w elemencie czterowęzłowym oblicza się iloczyn:  $[D] [B(\xi, \eta)]$  w środku elementu. W układzie jednorodnym współrzędne tego punktu są równe (0,0).

W folderze \Przykłady\_Tarcz są dwa zadania: Czworokaty1 i Czworokaty2 ilustrujących wpływ podziału na dokładność wyników.

## 29.3. Element pięciowęzłowy

Element pięciowęzłowy powstaje ze złożenia dwóch elementów czworokątnych. Brakujący szósty węzeł zostaje przyjęty na środku boku leżącego naprzeciw węzła, w którym jest największy kąt wierzchołkowy. Następnie tworzone są dwa elementy czworokątne, obliczane dla nich macierze sztywności i agregowane w macierz o rozmiarach 12x12 (sześć węzłów po dwa stopnie swobody w węźle). Po agregacji na drodze kondensacji statycznej stopni swobody zostają wyeliminowane równania odpowiadające dodatkowemu węzłowi i otrzymuje się macierz sztywności o rozmiarze 10x10 (pięć węzłów po dwa stopnie swobody). Ta macierz może już być agregowana z macierzami innych elemen-

tów w oparciu w wektor alokacji. Naprężenia w elemencie pięciowęzłowym też są obliczane w środku ciężkości elementu.

## 29.4. Siły węzłowe obciążeń niewęzłowych

W tarczy obciążenie węzłowe może mieć tylko dwie składowe:  $P_x$  i  $P_y$ . Jeśli na tarczę działa moment skupiony o kierunku  $Z$  to musi być rozłożony na parę sił. Podobnie na siły węzłowe będą rozkładane obciążenia objętościowe, liniowe czy termiczne. Dla sił objętościowych (ciężar własny) siły węzłowe są wyznaczane z zależności:

$$\{P\} = \begin{Bmatrix} X \\ Y \end{Bmatrix} \int_A [N]^T dA$$

gdzie:

- $X$  – składowa grawitacyjna w kierunku  $X$ ,
- $Y$  – składowa grawitacyjna w kierunku  $Y$ .

Podobnie są rozkładane siły liniowe przykładane do wybranego boku elementu.

W przypadku obciążeń wywołanych wstępnym odkształceniem np. temperaturą  $T$ , siły węzłowe są obliczane z zależności:

$$\{P\} = - \int_A [B]^T [D] \cdot \begin{Bmatrix} \alpha T \\ \alpha T \\ 0 \end{Bmatrix} \cdot dA$$

## 29.5. Podparcie w tarczy

Element podporowy w tarczy ma dwa składniki:

$$[k] = \begin{bmatrix} k_x & 0 \\ 0 & k_y \end{bmatrix}$$

Jeśli są to składniki podpory niepodatnej to ich sztywność jest przyjmowana jako  $10^{10}$  kN/m. Jeśli będą to podparcia podatne to wartości tych sztywności są wprowadzane w danych. W tarczy nie ma możliwości utwierdzenia obrotowego węzła. Jeśli w zadaniu trzeba wprowadzić utwierdzenie obrotowe to musi ono być zastąpione podporami w dwóch węzłach. Podobnie jak przy obciążeniu momentem musi on być zastąpiony parą sił, tak tutaj moment utwierdzenia musi być zastąpiony parą reakcji. Reakcje są obliczane ze związku:

$$\{R_i\} = \begin{Bmatrix} R_x \\ R_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_x & 0 \\ 0 & k_y \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix}$$

## C 30. Modelowanie bez podkładu CAD

Po wybraniu przycisku [Nowe zadanie](#) i wprowadzeniu nazwy zadania oraz po kliknięciu, na planszy nazwy, przycisku [OK] otrzymuje się okno startowe nowego zadania. Jeśli było to pierwsze zadanie po instalacji programu, to zawsze pokaże się porada z opisem modelu typu Tarcza. Dopóki nie kliknie się włącznika „Nie pokazuj więcej”, to ta porada będzie pokazywała się przy każdym nowym zadaniu.

Po zamknięciu okna porady przyciskiem [OK] pozostanie tylko plansza startowa. Plansza ta może mieć dwie postacie: uproszczoną przy wyłączonym przycisku [M] oraz pełną po włączeniu tego przycisku. Na planszy uproszczonej w polu „Obszar” będzie dostępny tylko przełącznik „Prosty” oraz „Z plików”. W polu „Wymiary oczka” można wprowadzić inne, niż podpowiadane, wymiary oczka w kierunku osi X i Y. W polu „Grubość” będzie okno ze wstępną grubością tarczy. Na planszy będzie można też zadać materiał tarczy, wybierając beton zgodny z normą PN-EN 1999:2008. Zarówno grubość jak i materiał można później zmienić.

Przyciskiem [?] obok [M] można wyświetlić podstawowy opis modelu typu Tarcza. Klikając z kolei w przycisk [?] przy przełącznikach lub oknach można otrzymać poradę dotyczącą tej pozycji.

Po włączeniu przycisku [M] otrzyma się okno w postaci.

Będzie można utworzyć inne kształty obszarów, jak również od razu zdecydować, że będzie to model osiowo-symetryczny. Przygotowanie takiego modelu będzie opisane w osobnym rozdziale.

**Tarcza**

Obszar: ☒ Prosty ?

Wymiary oczka: 0,3 m Poziomo X, 0,3 m Pionowo Y

Równoległobok: 90 st Kąt boku, 3 m Wysokość, 3 m Podstawa

☐ Z plików ?

Podkład CAD ?

PN-EN 1999:2008 ?

Krusz.kwarcowe C20/25

? Grubość 0,25 m

[?] [M] [Anuluj] [OK]

**Tarcza**

Obszar: ☒ Prosty ?, ☐ Czworokąt ?, ☐ Trójkąt ?, ☐ Łukowy ?, ☐ Kołowy ?, ☐ Eliptyczny ?, ☐ Z plików ?

Wymiary oczka: 0,3 m Poziomo X, 0,3 m Pionowo Y

Równoległobok: 90 st Kąt boku, 3 m Wysokość, 3 m Podstawa

☐ Osiowa Symetria ?

Podkład CAD ?

PN-EN 1999:2008 ?

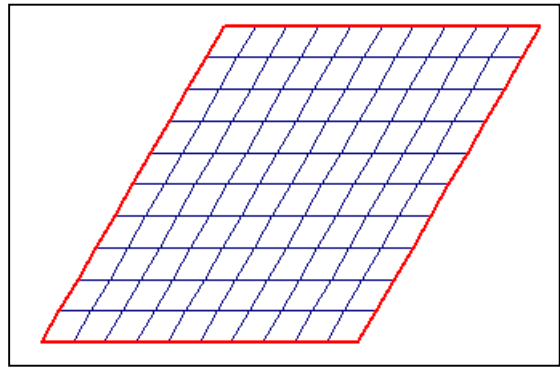
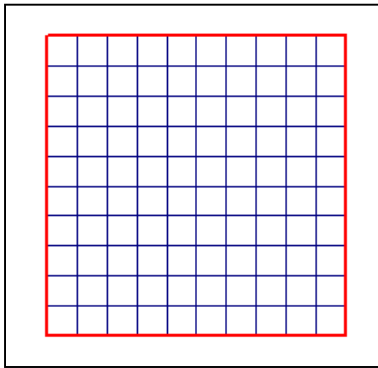
Krusz.kwarcowe C20/25

? Grubość 0,25 m

[?] [M] [Anuluj] [OK]

### 30.1. Obszar prosty

Obszar prosty może być prostokątem lub równoległobokiem. Będzie to zależało od wartości kąta boku. Kąt odmierzany jest od poziomu przeciwnie do ruchu wskazówek zegara. Poniżej pokazano siatkę kwadratową i równoległoboku o kącie boku równym  $60^\circ$  i tej samej podstawie i wysokości co obszar kwadratowy.



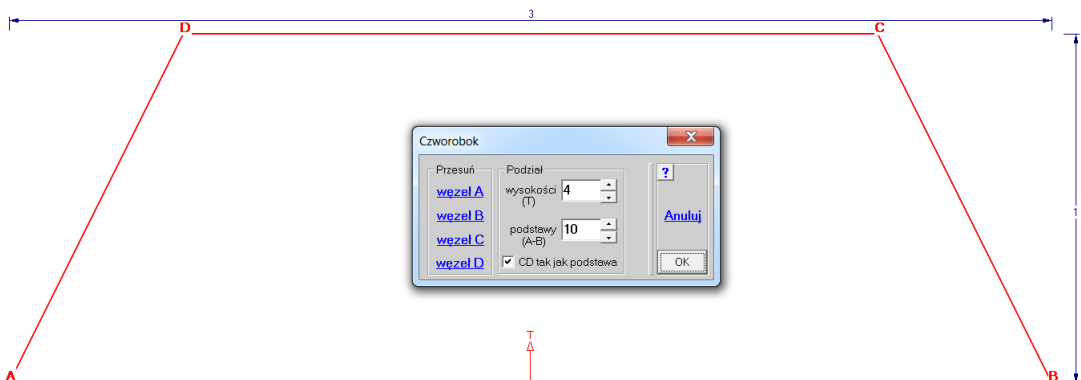
polu „Równoległobok” są trzy okienka, w których można wprowadzić kąt nachylenia pionowego boku obszaru (w orientacji ekranu monitora), jego szerokość – w kierunku osi X i wysokość w kierunku osi Y.

Naciskając przycisk [OK] otrzymuje się od razu siatkę dla tak zadanego obszaru równoległobocznego. Dalej będzie omawiane zadanie A\_Tarcza (folderze \Przykłady\_Tarcz), którego model powstał w ten właśnie sposób.

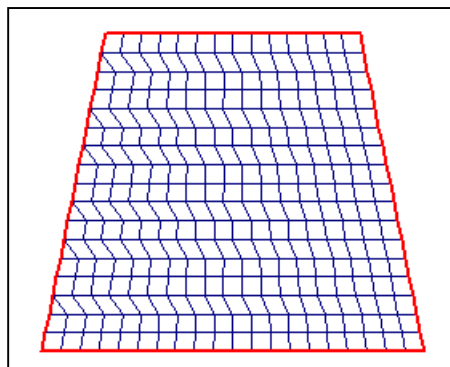
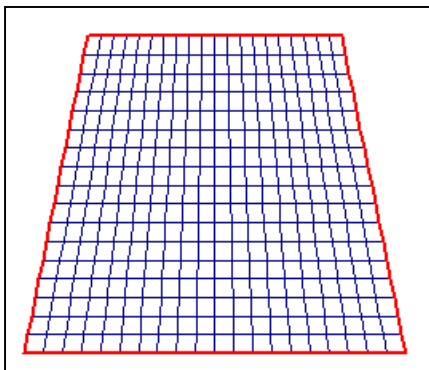
### 30.2. Obszar czworokątny

Dla obszaru czworokątnego zamiast kąta podaje się długość górnego boku i po kliknięciu w [OK] program narysuje trapez równoramienny i pokaże okno w którym będzie można przesunąć wierzchołki trapezu ([węzeł A](#), [węzeł B](#), [węzeł C](#), [węzeł D](#)) przyjąć podział podstawy i wysokości oraz zdecydować czy obie podstawy mają być podzielone na tę samą liczbę części.

Wybierając przyciski [węzeł A](#), [węzeł B](#), [węzeł C](#), [węzeł D](#) pokaże się okno przesuwania węzłów, przy pomocy którego można ustalić nowe położenie narożników. Opis tego okna będzie zamieszczony w rozdziale poświęconemu węzłom.



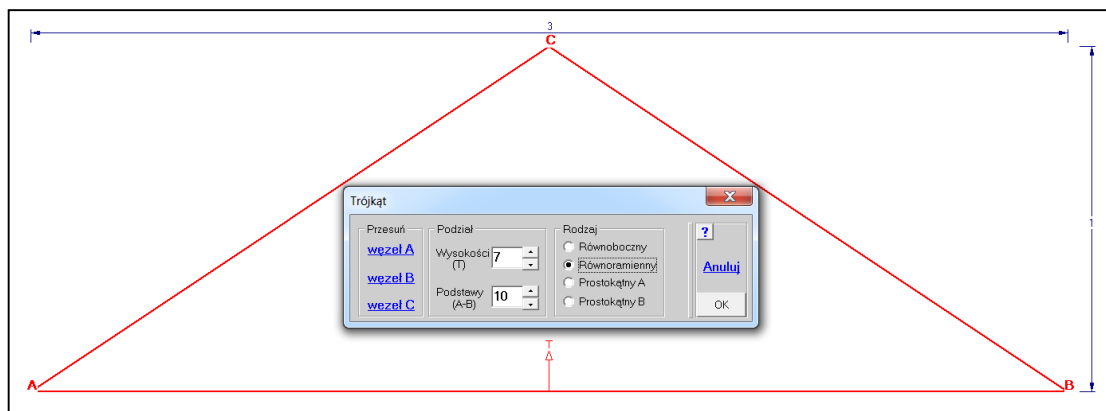
Po wciśnięciu [OK] otrzymano siatkę pokazaną po lewej stronie. Jeśli wyłączono „CD tak jak podstawa”, to siatka będzie wyglądał tak jak po prawej stronie.



W folderze \Przykłady\_Tarcz znajdują się dwa zadania Trapez\_R, w którym wprowadzono podział z warunkiem „CD tak jak podstawa” oraz Trapez\_N, w którym ten warunek był wyłączony. W tym zadaniu podział przyjęto taki, aby zachować średnie wymiary oczka.

### 30.3. Obszar trójkątny

Drugim obszarem, który można zadawać po włączeniu wszystkich możliwości planszy startowej jest obszar trójkątny. W predefinicji zadaje się jedynie wysokość (w kierunku osi Y) i wielkość podstawy (po osi X). Po naciśnięciu przycisku [OK] pokaże się kontur obszaru oraz plansza możliwych modyfikacji.



Przyciskami [węzeł A](#), [węzeł B](#) i [węzeł C](#) w polu „Przesuń” można zmienić położenie odpowiednich wierzchołków trójkąta. W polu „Podział” ustawia się podział wysokości i podział podstawy. Ponadto można utworzyć regularny obszar trójkątny wybrany z jednej z czterech możliwości pola „Rodzaj”.

W folderze \Przykłady\_Tarcz znajdują się przykładowe siatki trójkątne. Nie są to pełne zadania. W przykładzie Trojkat\_A jest siatka trójkątna równoboczna, w przykładzie Trojkat\_B znajduje się siatka trójkątna równoramienna, w przykładzie Trojkat\_C jest siatka trójkątna prostokątna i do tego równoramienna, a w przykładzie Trojkat\_D jest siatka dla dowolnego trójkąta.

## 30.4. Obszar łukowy

Trzecim obszarem, który można zadawać po włączeniu wszystkich możliwości planszy startowej jest obszar łukowy. W predefinicji zadaje się tylko kąt środkowy łuku, promień wewnętrzny łuku i jego szerokość. Przyjmuje się, że łuk ma stałą szerokość. Zamiast wymiarów oczka wprowadza się podział promienia (szerokości łuku) i podział kąta łuku. Podpowiadane wartości są obliczane przy założeniu oczka o wymiarze 0,3 x 0,3 m. Po kliknięciu przycisku [OK] otrzymuje się zarys łuku. Jeśli zostanie wprowadzony kąt środkowy równy 360° to zostanie wygenerowana siatka pierścieniowa.

W folderze \Przykłady\_Tarcz znajdują się przykłady siatek łukowych. W przykładzie Luk60\_R pokazano regularną siatkę utworzoną dla domyślnych danych, w przykładzie Luk180\_R pokazano siatkę pół pierścienia regularnego o stałej szerokości, w przykładzie Luk360\_R pokazano siatkę pierścieniową. Wszystkie te przykłady nie są kompletnymi zadaniami tylko przykładami możliwości generacyjnych.

## 30.5. Obszar kołowy

Program ABC Tarcza generuje cztery typy siatek dla obszaru kołowego. W zależności od typu podaje się różne parametry i otrzymuje się różne siatki.

W folderze \Przykłady\_Tarcz znajdują się przykłady siatek kołowych. W przykładzie Kołowy\_A pokazano siatkę utworzoną po wybraniu typu A. W przykładzie Kołowy\_B pokazano siatkę utworzoną po wybraniu typu B. W przykładzie Kołowy\_C pokazano siatkę utworzoną po wybraniu typu C. W przykładzie Kołowy\_D pokazano siatkę utworzoną po wybraniu typu D, wstępnie dla 90° i następnie dwa razy powielono elementy metodą lustrzanego odbicia.. Wszystkie te przykłady nie są kompletnymi zadaniami tylko przykładami możliwości generacyjnych.

Obszar		Podziały	
<input type="radio"/> Prosty	?	10	Promienia
<input type="radio"/> Czworokąt	?	36	Łuku
<input type="radio"/> Trójkąt	?		
<input type="radio"/> Łukowy	?		
<input checked="" type="radio"/> Kołowy	?	Kołowy typ C	
Typ C	?	360°	Kąt środ.
<input type="radio"/> Eliptyczny	?		
		3 m	Promień
<input type="radio"/> Z plików	?		
PN-EN 1999:2008			

Obszar		Podziały	
<input type="radio"/> Prosty	?	10	Promienia
<input type="radio"/> Czworokąt	?	10	Łuku
<input type="radio"/> Trójkąt	?		
<input type="radio"/> Łukowy	?		
<input checked="" type="radio"/> Kołowy	?	Kołowy typ D	
Typ D	?	90	Kąt środ.
<input type="radio"/> Eliptyczny	?		
		3 m	Promień
<input type="radio"/> Z plików	?		
PN-EN 1999:2008			

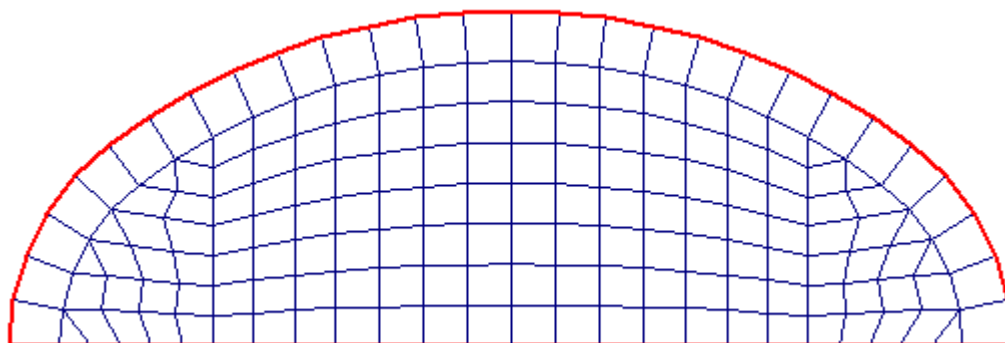
Tylko obszary typu C i D mogą być wycinkami koła o dowolnym kącie środkowym. W obszarach typu A i B wycinki kołowe muszą być wielokrotnością kąta prostego.

### 30.6. Obszar eliptyczny

W programie ABC Tarcza jest generator siatki eliptycznej opisanej dużą i małą osią. Można utworzyć pełną elipsę lub połowę czy ćwiartkę.

W folderze \Przykłady\_Tarcz znajdują się przykłady siatek eliptycznych. W przykładzie Elipsa\_90T jest siatka obszaru  $\frac{1}{4}$  elipsy, w przykładzie Elipsa\_180T jest siatka  $\frac{1}{2}$  elipsy, a w przykładzie Elipsa\_360T jest siatka pełnej elipsy. Nie są to zadania, tylko przykładowo wygenerowane siatki.

Obszar		Przeciętne wymiary oczka	
<input type="radio"/> Prosty	?	0,3 m	Poziomo X
<input type="radio"/> Czworokąt	?	0,3 m	Pionowo Y
<input type="radio"/> Trójkąt	?		
<input type="radio"/> Łukowy	?		
<input type="radio"/> Kołowy	?	Eliptyczny	
	?	360°	Kąt środ.
<input checked="" type="radio"/> Eliptyczny	?	2 m	Promień Y
		3 m	Promień X
<input type="radio"/> Z plików	?		
PN-EN 1999:2008			



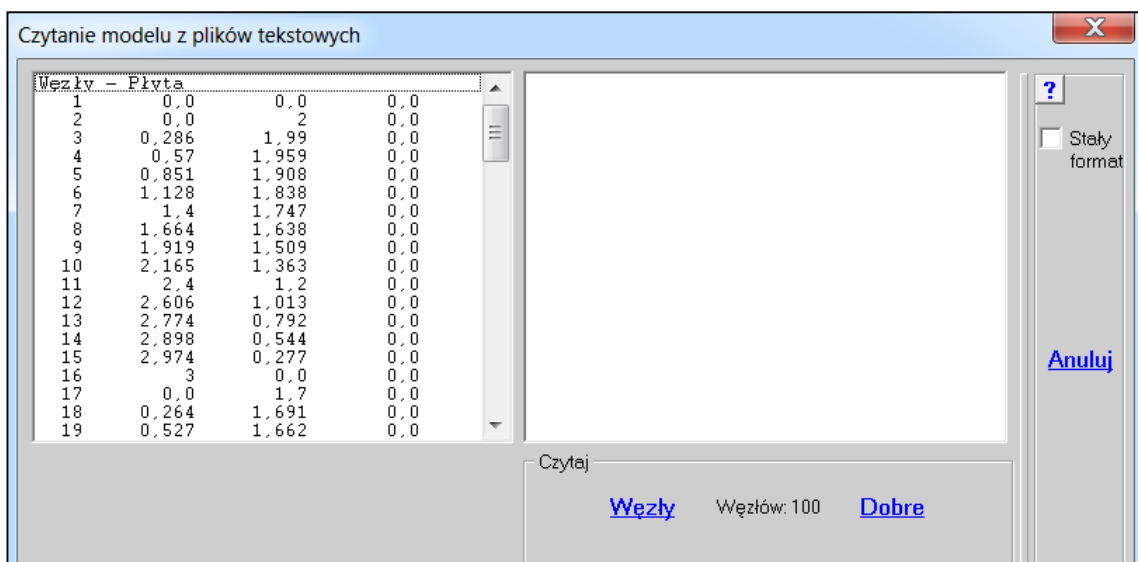


## 30.7. Czytanie z plików

Program ABC Tarcza pozwala wczytać model z plików tekstowych. Z plików można też dodawać nowe obszary do istniejącego już modelu. Potrzebne są dwa pliki. Pierwszy ze współrzędnymi węzłów i drugi z opisem elementów. Oba pliki są tekstowe i mają podobną strukturę. W pierwszym wierszu jest słowny komentarz, a potem są linie z danymi. W pliku ze współrzędnymi będzie to kolejny numer węzła i jego współrzędne X, Y i Z. W pliku z opisem elementów będzie to kolejny numer elementu, pięć numerów węzłów tworzących element i jego grubość. Jeśli element jest czworokątem to piąty numer jest zerem. Jeśli element jest trójkątem to dwa ostatnie numery są zerami.

Pliki można przygotować dowolnym edytorem tekstowym (dość pracochłonne zajęcie) lub innym programem. Można je też utworzyć w innym zadaniu ABC wywołując opcję Zapisz do plików.

Po wybraniu przełącznika „Z plików” pokaże się plansza, i okno wyboru pliku tekstowego z opisem węzłów. Po wybraniu pliku zostanie on odczytany i jego zawartość wyświetlony w lewym oknie. Jeśli dane nie są dobre, przyciskiem [Węzły](#) można odczytać inny plik. Natomiast jeśli jest dobry to przyciskiem [Dobre](#) można przejść do czytania pliku z opisem elementów.



Po wczytaniu opisu elementów znowu można sprawdzić ich poprawność i przyciskiem [Płaskie](#) wczytać inny plik, jeśli nie są właściwe. Jeśli dane są poprawne to przyciskiem [Dobre](#) można otworzyć ramkę zmian i skalowania. Przycisk [Zmiana wsp.](#) pozwala przeskalować współrzędne przez wartość z okna powyżej. Współrzędne w programie ABC muszą być w metrach, a skalowanie pozwoli odczytać nawet wartości w calach.

Poza zmianą jednostki można ustawić siatkę do źródła (0,0,0), można też dodać dowolną wartość do wybranych współrzędnych. Wystarczy wprowadzić niezerową wartość do okna a uaktywni się odpowiedni przycisk. Przełącznikiem „Stały format” można zmienić sposób wyświetlania współrzędnych węzłów.

Czytanie modelu z plików tekstowych

Węzły - Płyta

1	0,0	0,0	0,0
2	0,0	2	0,0
3	0,286	1,99	0,0
4	0,57	1,959	0,0
5	0,851	1,908	0,0
6	1,128	1,838	0,0
7	1,4	1,747	0,0
8	1,664	1,638	0,0
9	1,919	1,509	0,0
10	2,165	1,363	0,0
11	2,4	1,2	0,0
12	2,606	1,013	0,0
13	2,774	0,792	0,0
14	2,898	0,544	0,0
15	2,974	0,277	0,0
16	3	0,0	0,0
17	0,0	1,7	0,0
18	0,264	1,691	0,0
19	0,527	1,662	0,0

Płaskie - Płyta

1	17	18	3	2	0	0.2000
2	18	19	4	3	0	0.2000
3	19	20	5	4	0	0.2000
4	20	21	6	5	0	0.2000
5	21	22	7	6	0	0.2000
6	22	23	8	7	0	0.2000
7	23	24	9	8	0	0.2000
8	24	25	10	9	0	0.2000
9	25	26	11	10	0	0.2000
10	26	27	12	11	0	0.2000
11	27	28	13	12	0	0.2000
12	28	29	14	13	0	0.2000
13	29	30	15	14	0	0.2000
14	30	31	16	15	0	0.2000
15	38	39	32	1	0	0.2000

Model

X - (0,0 / 3)m

Do X 0,0 m

Y - (0,0 / 2)m

Do Y 0,0 m

Z - (0,0 / 0,0)m

Do Z 0,0 m

1x

Zmiana wsp. 0,0,0

Czytaj

Węzły

Węzłów: 100

Dobre

Płaskie

Płaskich: 84

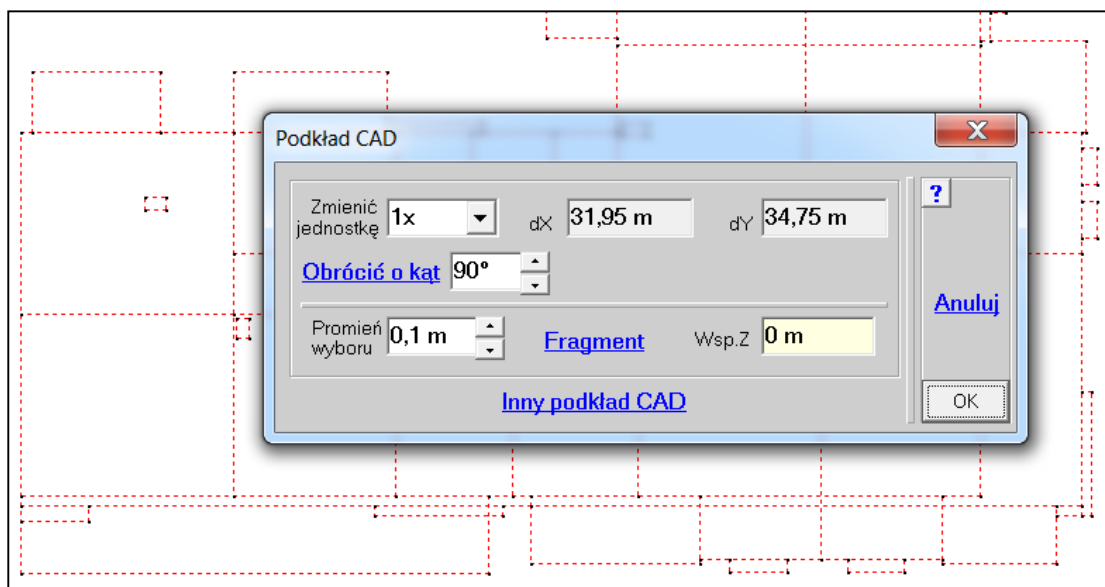
Dobre

Anuluj

OK

## C 31. Modelowanie z podkładem CAD

Modelowanie z podkładem CAD jest najbardziej efektywnym i wygodnym sposobem przygotowania siatki modelu. Podkład CAD po wczytaniu z planszy startowej może być wyświetlany w każdej fazie przygotowania danych ułatwiając np. zadawanie grubości, warunków podporowych, czy obciążeń. Również w module WYNIKI może być wykorzystywany np. przy zbrojeniu. Podkład CAD można wyłączyć wtedy, kiedy przeszkadza przy zadawaniu danych. Można go wymienić np. w sytuacji, kiedy zostają wprowadzone zmiany architektoniczne.



Po kliknięciu w przycisk [Podkład CAD](#) (na planszy startowej) otworzy się okno dialogowe, w którym zostaną wyświetlone tylko pliki o rozszerzeniu .DXF. Po znalezieniu właściwego pliku przyciskiem [Otwórz] można go wczytać. Na ekranie pokaże się rysunek podkładu oraz plansza „Podkład CAD”.

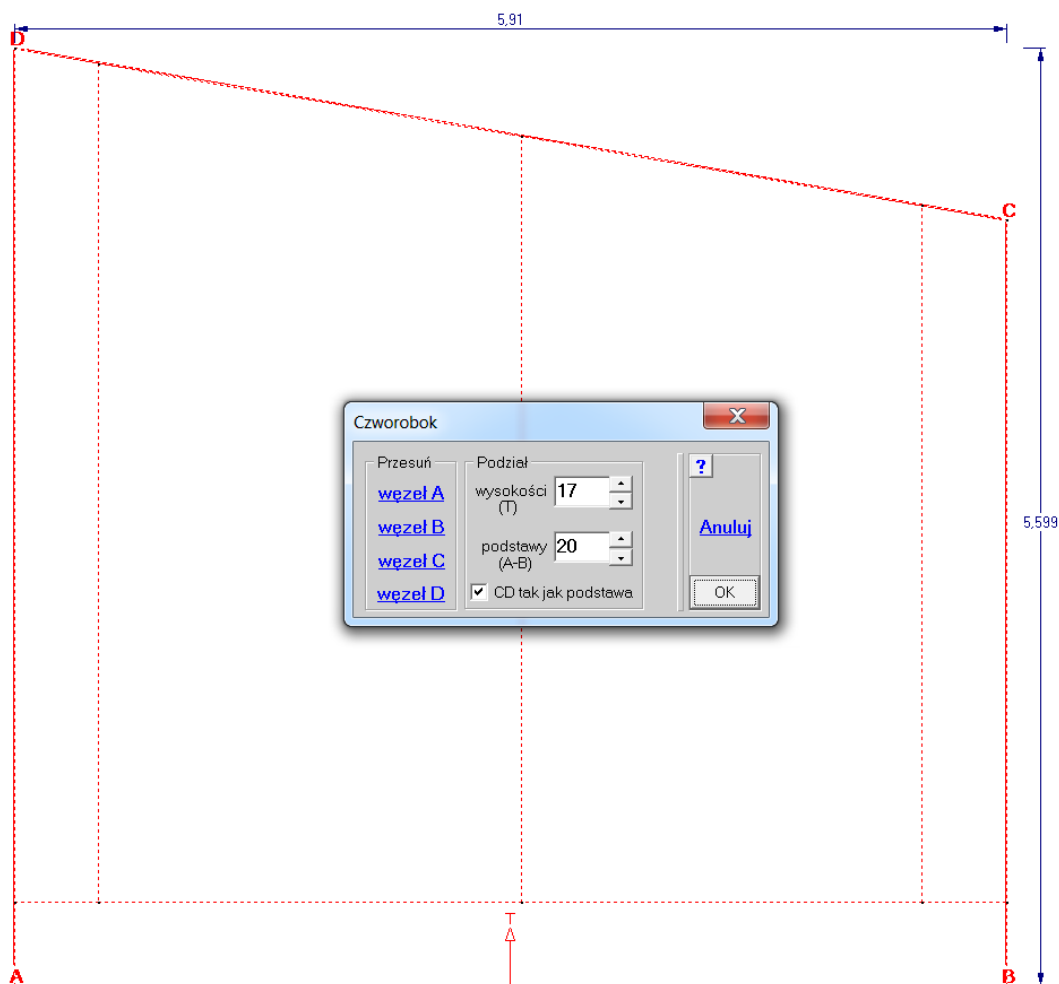
Jeśli wybrano niewłaściwy podkład to przyciskiem [Inny podkład CAD](#) można powtórnie wywołać okno dialogowe, w którym są nazwy plików .DXF i wybrać inny plik. Przyciskiem [Obróć o kąt](#) można podkład obrócić o kąt zadany w okienku. Podpowiadany jest kąt 90°. Warto skorzystać z tego przycisku np., aby ustawić podkład tak, aby większy wymiar był poziomy. Przyciskiem [Fragment](#) można wybrać tylko potrzebny fragment podkładu CAD.

W oknach pokazane są wymiary gabarytowe podkładu. Przy pomocy okna „Zmienić jednostkę” można doprowadzić wymiar dX i dY do właściwej dla metrów jednostki. Można jeszcze ustawić promień wyboru, który przyda się w czasie wybierania punktów podkładu CAD (czarne punkty najczęściej na przecięciach linii).

Po kliknięciu w przycisk [OK] zamyka się plansza „Podkład CAD” i pojawia się ponownie plansza startowa. Pokazuje się ona tym razem na tle podkładu CAD. Z przełączników pola „Obszar” są dostępne tylko kształty: „Prosty”, „Czworokąt” i „Trójkąt”.

Przy włączeniu przełącznika „Prosty” będzie można wygenerować siatkę obejmującą cały obszar podkładu o oczku zadany w polu „Przeciętne wymiary oczka”.

Wybierając „Czworokąt” lub „Trójkąt” należy w pierwszym kroku wskazać odcinek bazowy, a następnie pozostałe dwa punkty dla czworokąta i jeden dla trójkąta. Dalsze postępowanie jest identyczne jak przy wprowadzaniu tych obszarów bez podkładu.



Dla przypomnienia w menu [Pokaż](#) będą opcje [A]Podkład CAD, którą można włączać i wyłączać podkład, Cały zarys CAD, którą można skalować rysunek do całego podkładu, a nie tylko do siatki, oraz opcja Sprowadź podkład, którą można zsynchronizować wybrany węzeł z odpowiadającym mu punktem podkładu. Z kolei w menu [Ogólne](#) będą dwie opcje. Usuń podkład, którą można zrezygnować z podkładu oraz Pokład CAD, którą z kolei można wprowadzić nowy podkład.

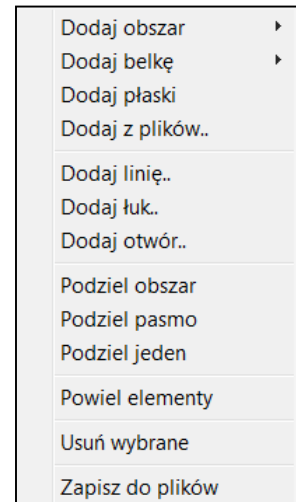
## C 32. Menu Elementy

Po wprowadzeniu obszaru, wybranego i zdefiniowanego na plan-szy startu, można poprzestać na nim i zacząć wprowadzać warunki podporowe i obciążenia. Taki przypadek występuje jednak rzadko. Częściej obszar początkowy jest punktem startu do dalszych działań, takich jak dodawanie dalszych obszarów, usuwanie elementów, zagęszczanie wybranych miejsc itp.. Wszystkie te operacje można wykonać wybierając odpowiednią opcję z menu **Elementy**. Zakres menu **Elementy** zależy od stanu przycisku **[M]**. Jeśli przycisk **[M]** jest wyłączony to w menu będą dostępne tylko trzy opcje:

- Dodaj obszar,
- Powiel,
- Usuń wybrane.

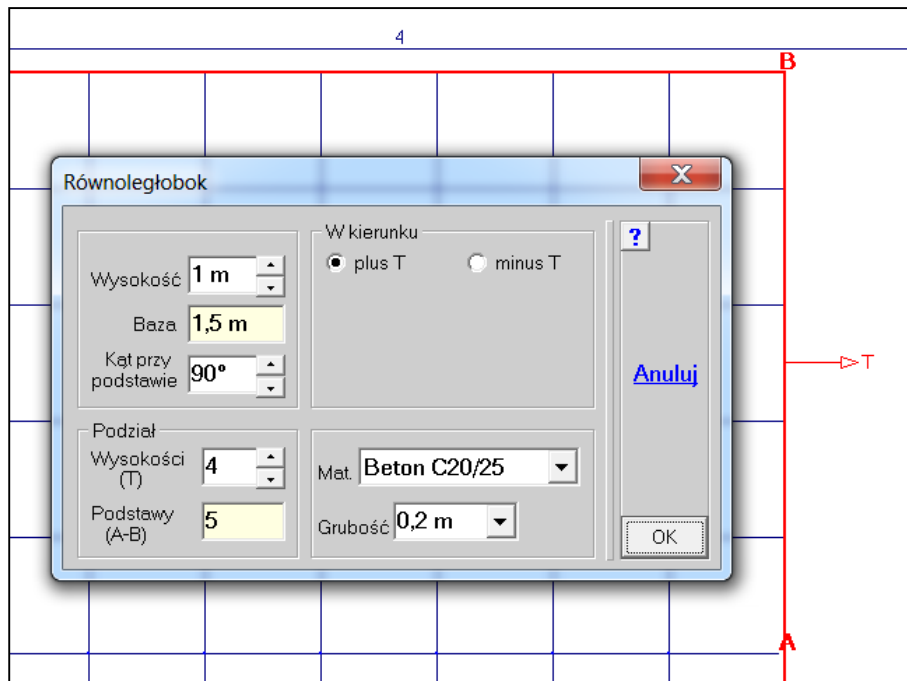
Zakres menu **Elementy** ulega znacznemu rozszerzeniu po włączeniu przycisku **[M]**. Pełny zestaw opcji widać na rysunku obok. Zakres opcji **Dodaj obszar** też zależy od stanu przycisku **[M]**. Przy wyłączonym przycisku będzie można dodawać tylko obszary: Proste, Czworokątne i Trójkątne.

Postępowanie przy dodawaniu nowego obszaru jest w każdym przypadku jednakowe. Najpierw należy wybrać odcinek bazowy, a następnie należy wskazać pozostałe wierzchołki obszaru. Zarówno odcinek bazowy, jak i pozostałe boki mogą być określone węzłami wybranymi z istniejącej już siatki, a mogą też być samodzielnie opisane współrzędnymi.



### 32.1. Dodanie obszaru prostego

Po wybraniu opcji **Dodaj obszar - Prosty** należy wybrać trzy węzły lub punkty. Po kliknięciu ekranu poza istniejącymi węzłami otrzyma się planszę, na której można wpisać współrzędne. Dwa pierwsze punkty tworzą bazę, a odległość trzeciego punktu od bazy będzie wstępną wysokością obszaru równoległego. Po określeniu

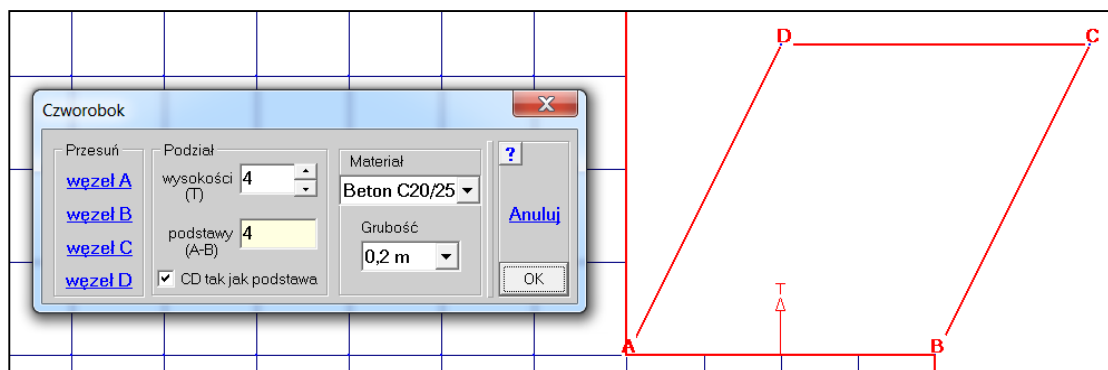


trzeciego punktu zostanie narysowana baza z kierunkiem T i pokaże się plansza danych obszaru równoległobocznego.

Na planszy będzie podpowiadana wysokość obszaru, kąt nachylenia do bazy równy  $90^\circ$  (obszar prostokątny) i podziały bazy i wysokości. Ponadto można wybrać kierunek utworzenia nowego obszaru zgodnie z kierunkiem T lub przeciwnie (np. wtedy, kiedy trzeci węzeł obszaru jest z wnętrza istniejącej siatki). W nowym obszarze można wybrać materiał, jeśli ich więcej niż jeden oraz można wybrać grubość już istniejącą lub **wpisać nową wartość**. Jeśli wybrano bazę z istniejącej siatki to podział podstawy będzie podany tylko informacyjnie (kremowe pole bez przycisków zmian). Jeśli będzie to nowo zdefiniowany odcinek to będzie można wprowadzić własny podział. Zawsze będzie można wprowadzać inną wysokość i liczbę podziału. Jeśli wysokość będzie zmieniana przyciskami z trójkątami to od razu będzie się zmieniać liczba podziału. W przypadku wpisywania wysokości z klawiatury należy zakończyć ten proces klawiszem [Enter] a otrzyma się nowy jej podział. Po zamknięciu okna przyciskiem [OK] otrzyma się nowy fragment siatki.

## 32.2. Dodanie obszaru czworokątnego

Po wybraniu opcji Dodaj obszar - Czworokąt należy wybrać cztery punkty narożne obszaru czworokątnego. Mogą to być węzły siatki lub punkty opisane współrzędnymi. Dwa pierwsze tworzą bazę. Po zadaniu czwartego punktu rysuje się obszar oraz pokazuje się plansza zadawania obszaru czworokątnego. Przyciskami [węzeł A](#), [węzeł B](#), [węzeł C](#) i [węzeł D](#) można zmienić położenie wybranych punktów. Jeśli będą to węzły siatki to nastąpi jej modyfikacja.



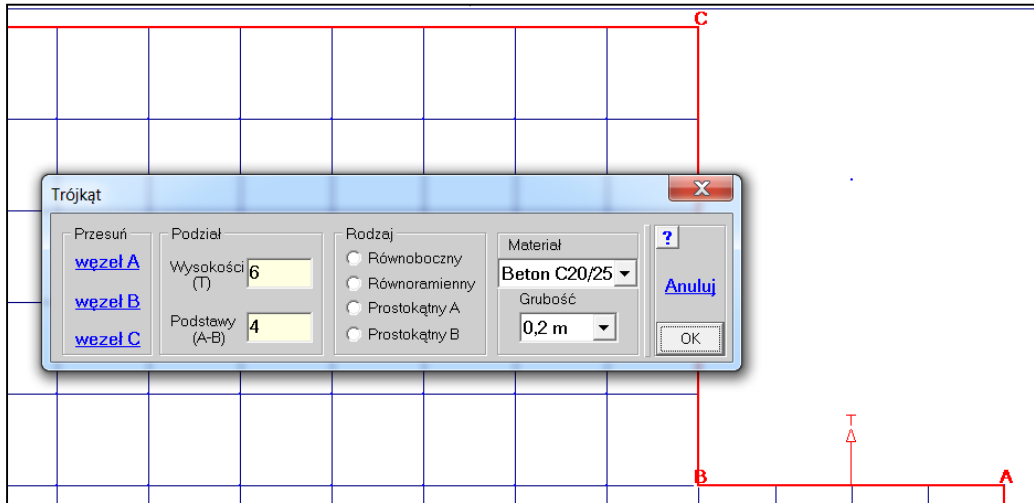
Na planszy w polu „Podział” można poznać lub zmienić podział podstawy (bazy) i wysokości. Jeśli odcinek A - B (baza) jest wybrany z istniejącej siatki to nie będzie można zmieniać podziału. To samo dotyczy podziału wysokości. Jeśli odcinek B - C będzie wybrany z istniejącej siatki to nie będzie można zmieniać jego podziału. Ponadto można zadeklarować taki sam podział bazy i odcinka leżącego naprzeciw niej.

W nowym obszarze można wybrać materiał, jeśli są zdefiniowane oraz można wybrać grubość już istniejącą lub wpisać nową wartość.

## 32.3. Dodanie obszaru trójkątnego

Zadawanie obszaru trójkątnego odbywa się podobnie jak czworokąta. Po wybraniu opcji Dodaj obszar – Trójkątny należy wybrać trzy punkty, które mogą być węzłami siatki lub będą opisane współrzędnymi. Po ustaleniu trzeciego punktu zostanie narysowany obszar oraz pojawi się plansza definiowania obszaru trójkątnego.

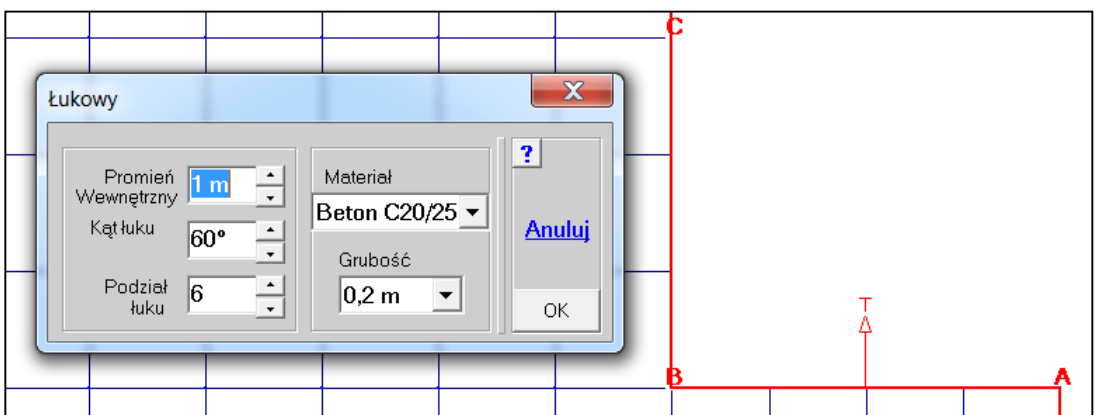
Przyciskami [węzeł A](#), [węzeł B](#) i [węzeł C](#) można zmienić położenie wybranego punktu. Jeśli będą to istniejące węzły to zostanie skorygowana istniejąca siatka. W polu „Podział” będzie można poznać podział podstawy A – B i wysokości. Jeśli zostaną wybrane odcinki należące do istniejącej siatki to liczby podziału nie będzie można zmieniać. Ponadto z pola „Rodzaj” można wybrać jeden z charakterystycznych kształtów trójkątnych. W nowym obszarze można wybrać materiał, jeśli są zdefiniowane oraz można wybrać grubość już istniejącą lub wpisać nową wartość.



### 32.4. Dodanie obszaru łukowego

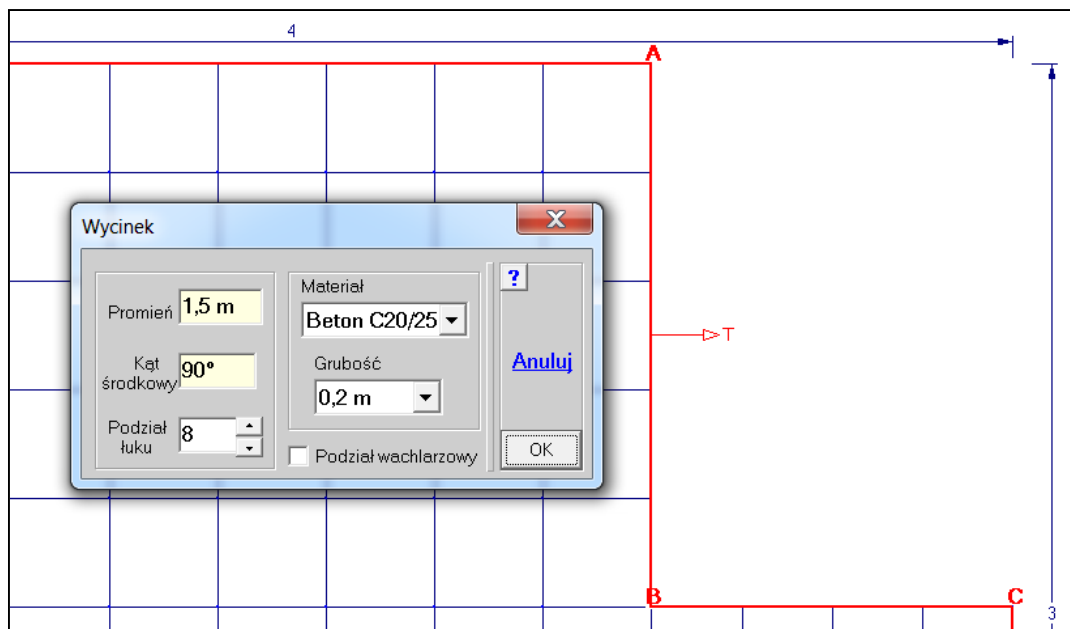
Po wybraniu opcji **Dodaj obszar – Łukowy** można wprowadzić nowy obszar łukowy. Podobnie jak we wcześniej opisanych obszarach w pierwszym kroku wyznacza się trzy punkty, które mogą być węzłami siatki lub będą opisane współrzędnymi.

Pierwsze dwa punkty tworzą bazę, a trzeci punkt będzie wyznaczał kierunek zadawania łuku. Na planszy będzie można wprowadzić promień wewnętrzny, kąt łuku i podział łuku. W folderze \Przykłady\_Tarcz jest zadanie DodajLuk90, które ilustruje tę opcję.



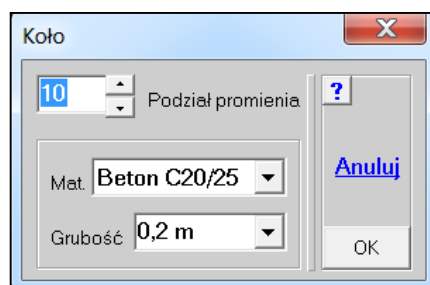
## 32.5. Dodanie wycinka koła

Po wybraniu opcji **Dodaj obszar – Wycinek koła** należy wybrać trzy punkty. Mogą to być węzły istniejącej siatki, a można wpisać ich współrzędne. Pierwsze dwa punkty tworzą bazę, drugi punkt wyznacza środek koła, z którego będzie tworzony wycinek. Trzeci punkt określi wstępny kąt wycinka. Na planszy, która pokaże się po wyznaczeniu trzeciego punktu będzie można poznać lub wpisać promień wycinka, kąt środkowy i podział łuku. Jeśli trzeci punkt będzie węzłem z istniejącej siatki to nie będzie można zmieniać wielkości kąta środkowego. Sposób podziału wycinka reguluje włącznik „Podział wachlarzowy”. W folderze \Przykłady\_Tarcz są dwa zadania **DodajWycinek\_1** i **DodajWycinek\_2** pokazujące różnice w siatkach utworzonych przez podział wachlarzowy i bez niego.



## 32.6. Dodanie obszaru kołowego

Po wybraniu opcji **Dodaj obszar – Kołowy..** można wprowadzić dane tego obszaru. Deklaruje się tylko podział promienia. Obszar kołowy wprowadza się do wcześniej wymodelowanego łuku. Będzie to wycinek koła określony pierwszym i ostatnim węzłem wyboru.



## 32.7. Dodanie elementu

Po wybraniu opcji **Dodaj płaski** (menu [Elementy](#)) można do modelu wprowadzić pojedyncze elementy. Ponieważ jest to zajęcie dość pracochłonne powinno być wykorzystywane w wyjątkowych sytuacjach. Ale są sytuacje, kiedy te działania stają się niezbędne, np. nie można wypełnić otworu jednym elementem wybierając opcję **Dodaj obszar – Czworokąt**.

Do modelu można wprowadzać elementy trójkątne i czworokątne. Elementy buduje się na węzłach istniejącej siatki lub na nowo wprowadzanych węzłach. Współrzędne tych ostatnich wpisuje



się na planszy danych węzłowych. Włączając warunek „Pion/Poziom” można ograniczyć się do wpisywania tylko jednej współrzędnej, a druga zostanie przyjęta z poprzednio wybranego węzła. O tym czy węzeł ustawi się pionowo lub poziomo decyduje kąt nachylenia odcinka wyznaczonego ostatnio wprowadzonym węzłem, a punktem gdzie kliknięto ekran. Przy wpisywaniu elementów czworokątnych wystarczy wybrać lub zdefiniować cztery węzła, a element zostanie przyjęty. Węzły należy wybierać obiegowo, przy czym kierunek obiegu nie ma znaczenia. Nie można wybierać węzłów na „korpertę”. Przy zadawaniu elementów trójkątnych należy powtórnie wybrać pierwszy węzeł lub nacisnąć prawy przycisk myszy po wybraniu trzeciego punktu.

Po każdym naciśnięciu prawego przycisku myszy pojawi się podręczne menu, w którym jest opcja **Cofnij** pozwalająca usunąć ostatnio wprowadzony element. Wprowadzanie elementów kończy opcja **Zakończ** z podręcznego menu lub przycisk [Zakończ](#) z prawego pola.

## 32.8. Dodaj z plików

Opcja **Dodaj z plików..** z menu [Elementy](#) pozwala odczytać dwa pliki tekstowe, jeden z opisem węzłów i drugi z opisem elementów. Postępowanie będzie identyczne jak w przypadku tworzenia nowego zadania (rozdział 31.7) tyle, że nowy obszar będzie dodany do modelu.

## 32.9. Dodaj linię

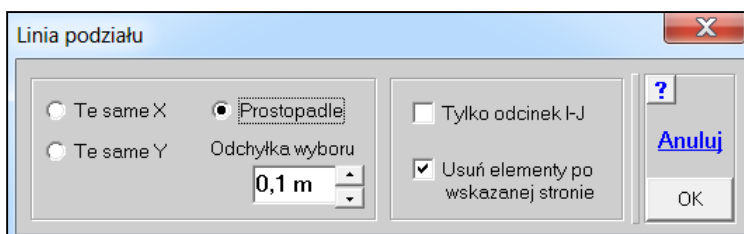
Opcja **Dodaj linię..** z menu [Elementy](#) pozwala wprowadzać dowolnie usytuowaną linię lub obcinek, do której dosuwane są węzły leżące w pobliżu, a elementy, które są tą linią przecięte zostaną podzielone na dwa. Ponadto można zadeklarować, aby elementy leżące po jednej lub drugiej stronie tej linii były usunięte z modelu.

Po wybraniu opcji **Dodaj linię** pojawi się plansza, na której można zadać wielkość odchyłki węzłów leżących w pobliżu linii. Jest to inny parametr niż odchyłka wyboru używana przy wybieraniu linii, łamaną lub łukiem.

Zadanie zbyt małej wartości może prowadzić do pojawienia się malutkich elementów powstałych po odcięciu wierzchołków starych elementów. Przesuwanie węzłów może odbywać się „Prostopadle” do linii, lub z zachowaniem wybranej współrzędnej.

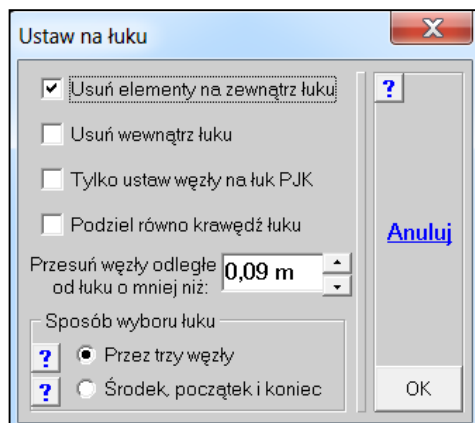
Modyfikację siatki można prowadzić wzdłuż całej długości linii lub ograniczyć tylko do odcinka wyznaczonego punktami kierunkowymi. Jeśli zostanie włączony warunek „Tylko odcinek I-J” nie będzie można usuwać elementów po wskazanej stronie linii (trzeci punkt wyboru). Po każdym wprowadzeniu linii można zakończyć modyfikację siatki, można cofnąć wprowadzoną zmianę i można wprowadzić kolejną linię. Należy pamiętać, że modyfikacje siatki dotyczą tylko pokazywanego fragmentu.

W zadaniu **DodajLinieT** w folderze \Przykłady\_Tarcz pokazano siatkę, w której po prawej stronie wprowadzono linię z usuwaniem elementów, a po lewej tylko z modyfikacją siatki.



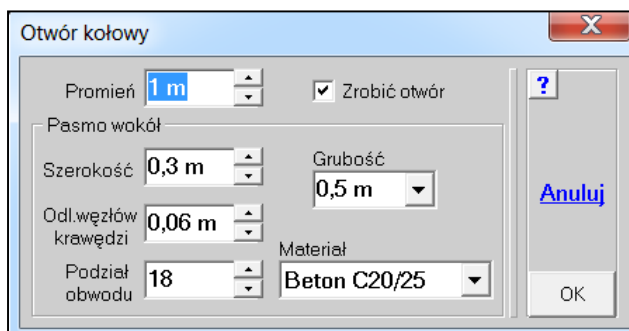
## 32.10. Dodaj łuk

Opcja Dodaj łuk.. z menu Elementy pozwala wprowadzić dowolny łuk, a nawet koło do modelu. Węzły leżące blisko łuku są dosuwane, a elementy przecięte łukiem są dzielone na dwa. Można wybrać usuwanie elementów leżących na zewnątrz łuku, można wybrać usuwanie elementów wewnątrz łuku, np.: można w ten sposób tworzyć otwory. Ponadto można tylko przesuwać węzły leżące na łuku określonym punktem początkowym, pośrednim i końcowym. Do tego można wprowadzić równy podział łuku. Łuk można wybierać na dwa sposoby: przez trzy węzły, lub przez wskazanie środka, początku i końca. Po każdym wprowadzeniu łuku można zakończyć modyfikację siatki, można cofnąć wprowadzoną zmianę i można wprowadzić kolejny łuk. Podobnie jak przy opcji Dodaj linię.. modyfikacje siatki dotyczą tylko pokazywanego fragmentu. W folderze \Przykłady\_Tarcz pokazano siatkę zmodyfikowaną tą opcją - zadanie DodajLukT



## 32.11. Dodaj otwór

Opcja Dodaj otwór.. z menu Elementy pozwala wprowadzić do modelu otwór o zadanym promieniu, otoczony regularnym obszarem pierścieniowym. Ten pierścień może mieć inną grubość i może mieć inny materiał, jeśli jest ich więcej w modelu. Ponadto można określić gęstość podziału obwodu oraz minimalną odległość węzłów, które zostaną sprowadzone do obszaru pierścieniowego. Po zamknięciu planszy przyciskiem [OK] wystarczy wskazać węzeł/punkt środka otworu.



## 32.12. Zagęszczanie siatki

Program ABC może zagęścić siatkę w wybranym fragmencie modelu. Zagęszczanie może polegać na podziale każdego elementu na cztery części lub na podziale elementu na dwie części. Pierwsza operacja wykonywana jest po wybraniu opcji Podziel obszar, a druga Podziel pasmo. Na dwie części dzieli też opcja Podziel jeden, ale tutaj podział ograniczony jest do jednego elementu.

Podziel obszar  
Podziel pasmo  
Podziel jeden

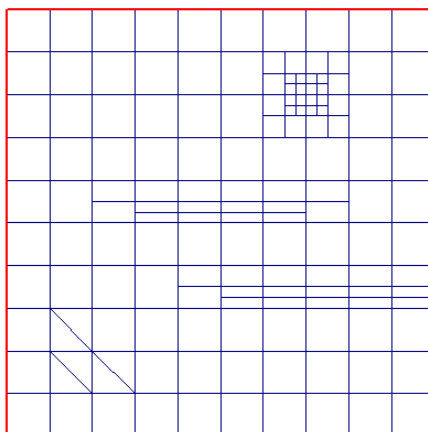
Klikając opcję Podziel obszar (menu [Elementy](#)) należy wybrać elementy używając do tego Okna lub Wielokąta. Procedura podziału dzieli wszystkie elementy, które może podzielić. Po naciśnięciu prawego przycisku myszy pojawi się podręczne menu, w którym opcją Cofnij można cofnąć ostatnio wykonany podział, można zmienić sposób wybierania obszaru i można zakończyć dzielenie. Procedurę dzielenia można też zakończyć wybierając na prawej kolumnie przycisk [Zakończ](#).

Po kliknięciu opcji **Podziel pasmo** (menu [Elementy](#)) można zacząć wybierać pasma proste lub łukowe. Będą one dzielone w podobny sposób jak wprowadzanie belek metodą podziału pasma, z tym, że w tym przypadku nie będą zmieniane położenia węzłów i nie będą zmieniane grubości elementów. Po naciśnięciu prawego przycisku myszy pojawi się podręczne menu, w którym opcją **Cofnij** można cofnąć ostatnio wykonany podział, można zmienić sposób wybierania obszaru (opcje **Odcinkiem** i **Łukiem**) oraz można zakończyć dzielenie. Procedurę dzielenia można też zakończyć wybierając na prawej kolumnie przycisk [Zakończ](#).

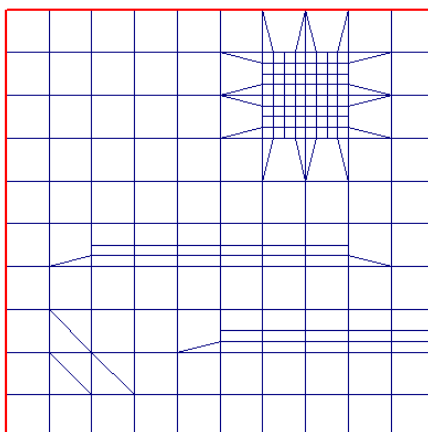
Po wybraniu opcji **Podziel jeden** należy wybrać dwa węzły z jednego elementu i zostanie on podzielony na dwa trójkąty, jeśli był czworokątem i na trójkąt i czworokąt, jeśli był to element pięciowęzłowy. Podobnie jak przy innych opcjach po naciśnięciu prawego przycisku myszy pojawi się podręczne menu, w którym opcją **Cofnij** można cofnąć ostatnio wykonany podział, oraz można zakończyć dzielenie. Procedurę dzielenia można też zakończyć wybierając na prawej kolumnie przycisk [Zakończ](#).

Niżej pokazano .dobre i złe zagęszczanie obszarów opcją **Podziel obszar** i **Podziel pasmo**.

Dobrze



Źle

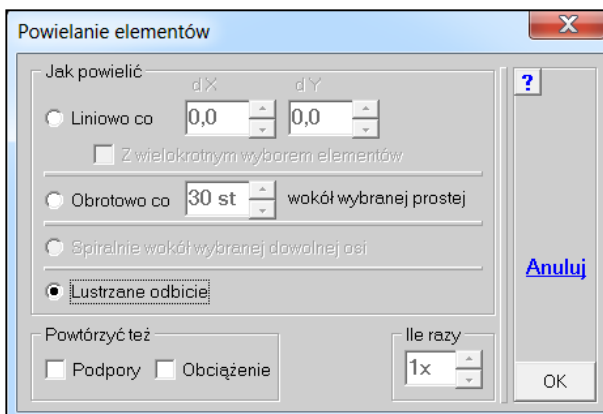


## 32.13. Powielanie wybranego fragmentu

Przy tworzeniu modelu metodą od szczegółu do ogółu najczęściej wykorzystuje się opcję **Powiel elementy** z menu [Elementy](#). Opcja ta pozwala w różnorodny sposób powtarzać wybrany fragment modelu. Na danym etapie modelowania może to być cały aktualny model. Pierwszym krokiem po włączeniu opcji **Powiel elementy** jest wybranie odpowiedniego fragmentu. Następnie zgłasza się plansza, na której można wybrać sposób powielenia i zdefiniować odpowiednie parametry.

Do wyboru jest powielanie liniowe, obrotowe lub lustrzane odbicie. Przy powielaniu liniowym i obrotowym można powtarzać wybrany fragment wiele razy (parametr w polu „Ile razy”).

Przy lustrzanym odbiciu otrzymuje się tylko jednokrotne powtórzenie. Jeśli w modelu zdefiniowano podpory i obciążenia to powielanie może dotyczyć też tych danych. Wystarczy włączyć odpowiednie pozycje w polu „Powtórz też”. Do tego przy powielaniu liniowym można włączyć „Z wielokrotnym wyborem elementów”. Wtedy można wielokrotnie wybierać różne fragmenty, które będą powielane tak samo.



Po wybraniu powielania liniowego trzeba zdefiniować przyrosty współrzędnych w kierunku osi X i Y. Od wartości tutaj wpisanych zależy, czy nowo utworzone obszary będą automatycznie łączyły się w poprzednimi, czy będą rozłączne lub czy wprowadzą elementy zachodzące na siebie, (co jest niedopuszczalne). Jeśli nowo powstałe węzły będą bliżej niż odchyłka wyboru (Menu [Pokaż](#) opcja **Różne - Odchyłka**), od wcześniej zdefiniowanych węzłów to program automatycznie połączy je razem.

Po wybraniu powielania obrotowego należy określić kąt, o który będzie obracany wybrany fragment modelu. Również tutaj, jeśli odległości węzłów będą mniejsze od zadanej odchyłki to zostaną one połączone razem. Oś obrotu jest zawsze prostopadła i wystarczy wybrać jeden punkt będący śladem przebiecia płaszczyzny osi obrotu.

Przy powielaniu lustrzanym odbiciem trzeba określić płaszczyznę lustra. W Płycie płaszczyzna lustra będzie zawsze prostopadła do płaszczyzny modelu i wystarczy wybrać dwa punkty określające linię symetrii lustrzanej. Punkty te mogą być węzłami modelu lub mogą mieć wprowadzane współrzędne.

W folderze \Przykłady\_Tarcz w zadaniu Powiel pokazano siatkę, którą następnie poddano różnym operacjom powielania. W zadaniu Powiel\_Liniowo jest siatka powstała po liniowym dwukrotnym powieleniu o  $dX=3m$ . W zadaniu Powiel\_Katowo jest siatka powstała po dwukrotnym powieleniu o kąt  $90^\circ$  wokół węzła w lewym górnym narożniku. W zadaniu Powiel\_Lustro jest siatka, która powstała w wyniku lustrzanego odbicia względem prostej pionowej przechodzącej przez prawą krawędź modelu Powiel.

## 32.14. Usuwanie elementów

W programie ABC Tarcza usuwanie elementów nie odbywa się bezpośrednio. Wybrane elementy do usunięcia zostają ukryte i można je powtórnie przywrócić do modelu, jeśli taka potrzeba się pojawi. Elementy ukryte zostają usunięte dopiero przy wywołaniu obliczeń. Model po obliczeniach nie będzie zawierał już ukrytych elementów, które jako zbędne zostaną usunięte. Ukryte elementy można wcześniej usunąć wybierając opcję **Skasuj ukryte**. Opcja ta jest dostępna po włączeniu pełnego zestawu opcji przyciskiem **[M]**. Przed usunięciem elementów program poprosi o akceptację tej decyzji. W menu **Węzły** może się pojawić opcja **Usuń zbędne**. Jej wywołanie też usunie ukryte elementy. Opcją **Przywróć ukryte** można łatwo przywrócić wcześniej usunięte elementy. Takie elementy zostaną narysowane na czerwono i będzie można wybrać potrzebne. Elementy wracają do modelu ze wszystkim danymi z nimi związanymi, grubościami, podporami i obciążeniami.

Usuń wybrane  
Skasuj ukryte  
Przywróć ukryte

## 32.15. Opcja Cofnij o krok

W czasie modelowania geometrii obiektu po każdej zmianie dane zostają zapisane i tworzą tzw. historię modelowania. Co dziesięć kroków, jeśli nie zadeklarowano inaczej w konfiguracji ABC, pojawi się komunikat o liczbie zapamiętanych kroków. Można wtedy kontynuować zapisywanie kolejnych dziesięciu kroków lub można skasować historię. Jeśli jest historia modelowania to opcją **Cofnij o krok** można wrócić do poprzednich postaci modelu. Wracając do poprzednich postaci można z powrotem przywrócić postać późniejszą. Służy do tego opcja **Wróć o krok**. Jeśli wróci się do pierwszego zapamiętanego stanu modelu to zniknie opcja **Cofnij o krok** i zostanie tylko **Wróć o krok**.

Cofnij o krok  
Wróć o krok

## 32.16. Opcja Zapisz do plików

Geometria modelu może zostać zapisana do dwóch plików tekstowych. W jednym będzie opis współrzędnych, a w drugim opis elementów. Pliki tekstowe mogą być wykorzystane w innych zadaniach. Po wybraniu opcji **Zapisz do plików..** pojawi się plansza, na której można wpisać komentarze, które zostaną umieszczone w pierwszej linii plików oraz można zmienić miejsce lokalizacji i nazwy plików. Przyciskiem **Zmień miejsce** można wywołać okno dialogowe do wyboru plików i można zadać nazwę i miejsce na dysku. Jeśli pliki te będą wykorzystywane w modelach przestrzennych (ABC Obiekt3D) można zadać współrzędną Z zapisywanego obszaru.

**Format pliku z węzłami.** Pierwsza linia zawiera słowny opis zadania. W następnych jest numer kolejny węzła i współrzędne X, Y i Z. Liczby są oddzielone minimum jedną spacją.

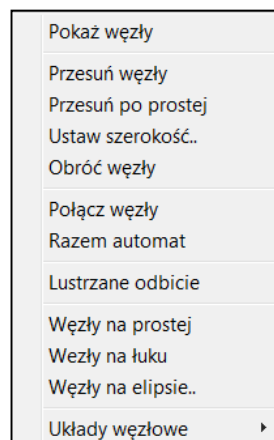
**Format pliku z elementami.** Pierwsza linia zawiera słowny opis zadania. W następnych jest numer kolejny elementu i numery węzłów, które go tworzą. Zawsze wpisuje się pięć liczb całkowitych. Jeśli element jest czworokątem to piąta liczba jest zerem. Jeśli element jest trójkątem to również czwarta jest zerem. Linijkę kończy grubość w metrach. Liczby są oddzielone minimum jedną spacją.

## 32.17. Elementy pękające

Opis elementów pękających będzie zamieszczony w rozdziale z opisem obliczeń nieliniowych.

## C 33. Operacje na węzłach

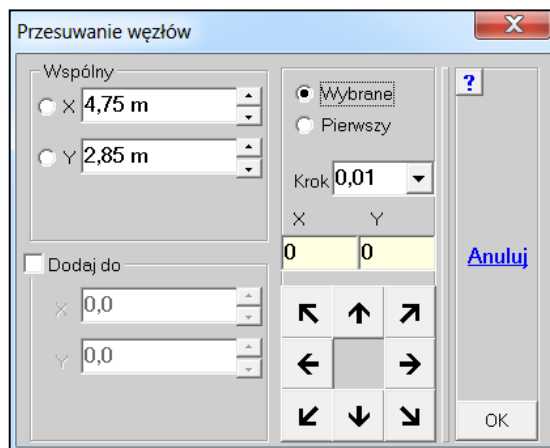
Węzły nie są samodzielnym składnikiem modelu. Są one zawsze związane z elementami. To elementy można dodawać, usuwać, modyfikować. Węzły powstają niejako przy okazji tworzenia elementów. Jednak w czasie wprowadzania modelu może zająć potrzeba zmiany współrzędnych i wtedy należy sięgnąć do menu [Węzły](#). Zakres menu [Węzły](#) zależy od stanu przycisku [M]. Jeśli jest wyłączony to jedyną dostępną operacją jest przesuwanie węzłów. Po włączeniu przycisku [M] menu [Węzły](#) może zawierać następujące pozycje: **Pokaż węzły** – opcja, która włącza i wyłącza rysowanie ikon węzłów w postaci kwadracików. Jej działanie jest zdublowane odpowiednią opcją w menu [Pokaż](#). Dalej w menu [Węzły](#) jest blok opcji związanych z przesuwaniami węzłów, blok opcji związanych z łączeniem węzłów, opcja lustrzanego odbicia, blok ustawiania węzłów na prostej, łuku i elipsie oraz opcja **Układy węzłowe**.



### 33.1. Przesuwanie węzłów

Opcja **Przesuń węzły** pozwala na wykonanie szeregu operacji na węzłach. W trakcie zmiany współrzędnych deformacji ulegają również elementy. Konfiguracja elementów zwłaszcza czworokątnych i pięciokątnych musi spełniać warunek obiegowego opisu przez węzły. Jeśli w trakcie przesuwania węzłów dojdzie do utworzenia elementów nie spełniających tego warunku to na ekranie pojawi się napis o błędnych elementach, zostaną one też wyróżnione. Dalsze przesuwanie innych węzłów pozwala zlikwidować takie miejsca. Na pewno nie można ignorować tego ostrzeżenia i z takim modelem wywoływać obliczenia. Skończy się to na pewno komunikatem o zerowych polach w elementach.

Po wywołaniu opcji **Przesuń węzły** należy wybrać węzły modelu. Zostaną one wyróżnione na czerwono. Następnie na planszy można wprowadzić wspólne współrzędne X lub Y (Pole Wspólne). Można do wybranych węzłów dodać tą samą wartość (Pole „Dodaj do”). Przyciskami ze strzałkami można przesuwać węzły o przyrost wybrany w polu „Krok”. Poniżej są okienka, w których pokazują się sumaryczne przesunięcia węzłów. Ponadto przesuwać można wszystkie wybrane węzły lub jeden z

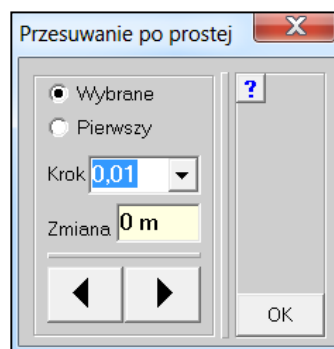


wybranych. Steruje tym przełącznik „Wybrane”, „Następny”. Zaraz po pokazaniu się planszy przełącznik ten będzie nazywał się „Pierwszy”. Po kolejnych kliknięciach w ten przełącznik dojdzie się do ostatniego węzła i taka nazwa pojawi się przy jego polu. Aktualny węzeł będzie wyróżniony innym kolorem.

Przyciski ze strzałkami poziomymi i pionowymi przesuwają węzły odpowiednio w poziomie lub w pionie. Przyciski z ukośnymi strzałkami przesuwają węzły ukośnie dodając do obu współrzędnych ten sam krok, ale ze znakiem odpowiednim do strzałki. Natychmiast po kliknięciu w strzałkę zostaje przerysowany obrazek, tak, że na bieżąco można śledzić zmiany. Przesuwanie węzłów kończy przycisk [OK].

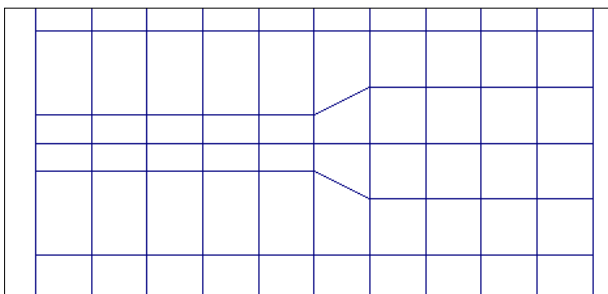
## 33.2. Przesuwanie węzłów po prostej

Poprzednia operacja pozwalała przesuwać węzły poziomo, w pionie lub pod kątem  $45^\circ$ . Ta operacja pozwala przesuwać węzły w kierunku dowolnie określonej prostej. W pierwszym kroku należy wskazać dwa węzły lub punkty o zadanych współrzędnych, które będą węzłami kierunkowymi prostej przesuwania, a następnie można wybierać węzły do przesuwania. Węzły kierunkowe nie mogą leżeć na wspólnej prostej z węzłami przesuwanymi. Na planszy przesuwu można zdefiniować krok przesuwania, oraz zdecydować czy przesuwanie ma dotyczyć wszystkich wybranych węzłów czy tylko jednego z nich. Przesuwanie odbywa się przez naciśnięcie przycisków ze strzałkami. Łączna wielkość przesunięcia pokazywana jest w okienku „Zmiana”.



## 33.3. Opcja Ustaw szerokość..

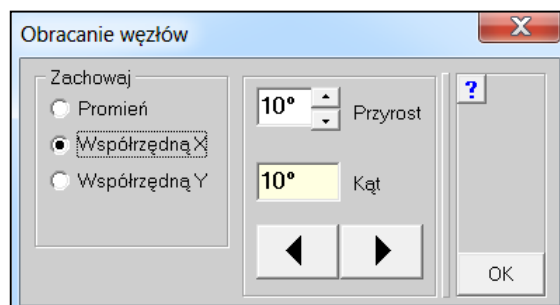
Jest to operacja pozwalająca na zmianę szerokości podwójnego pasma elementów. Pasma definiowane jest osią ustaloną wybranymi węzłami siatki. W pierwszym kroku należy podać szerokość pasma, a następnie należy wybrać dwa węzły kierunkowe osi pasma. Węzły należące do elementów, których boki leżą na wybranej osi zostaną sprowadzone do takich położeń, aby ich odległość od osi była równa połowie zadanej szerokości. Na rysunku pokazano siatkę po wprowadzeniu tego warunku na ograniczonym odcinku.



## 33.4. Obracanie węzłów

Jest to operacja pozwalająca na zmianę położenia wybranych węzłów przez obrót wokół wskazanej osi. W pierwszym kroku wybiera się punkt będący śladem przebiecia płaszczyzny modelu osią obrotu. Następnie należy wybrać węzły, które będą obracane. Po wyborze węzłów pokaże się plansza „Obracanie węzłów”.

Na planszy obrotu można wybrać, co ma być zachowane: promień, współrzędna X czy współrzędna Y.



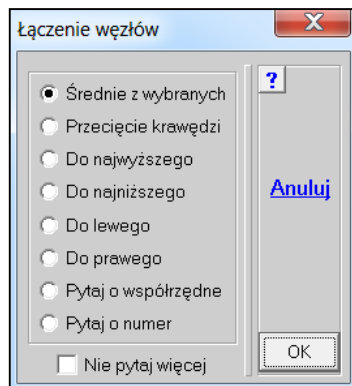


Dalej zadaje się przyrost kąta i przyciskami ze strzałkami można zacząć obracać węzły. Po każdym naciśnięciu przycisku węzły zmieniają położenie i model zostanie narysowany w nowej konfiguracji. W oknie „Kąt” będzie pokazywany łączny kąt obrotu. Jeśli w wyniku przesuwania wybranych węzłów powstaną elementy o niewłaściwej konfiguracji to na ekranie pokaże się odpowiedni napis, a złe elementy zostaną wyróżnione. Jeżeli obrót o zadany kąt jest niezbędny to po zakończeniu przesuwania węzłów należy poprawić błędne elementy.

### 33.5. Ręczne łączenie węzłów

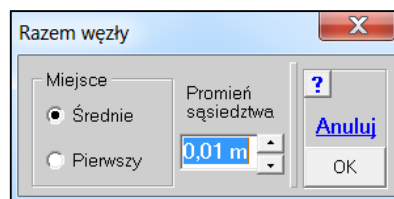
Opcja **Połącz węzły** pozwala połączyć wybrane węzły. Po kliknięciu w opcję **Połącz węzły** należy wybrać węzły, następnie pojawi się plansza, na której należy zdecydować, jakie miejsce ma przyjąć węzeł powstały w wyniku połączenia. Do wyboru jest: położenie średnie, do węzła najwyższego, najniższego, do lewego lub prawego oraz po każdym wyborze program może pytać o współrzędne lub o numer węzła z pośród wybranych. Przy pytaniu o współrzędne podpowiadane są wartości średnie.

Węzły do połączenia wybiera się każdym dostępnym sposobem, najczęściej oknem. Po każdym wyborze model zostaje przerysowany w nowej konfiguracji. Po włączeniu „Nie pytaj więcej” można wybierać kolejne pary węzłów, które będą łączone w ostatnio ustalony sposób.



### 33.6. Automatyczne łączenie węzłów

Opcją **Razem automat** można automatycznie połączyć węzły, których wzajemna odległość nie jest większa od zadanego promienia sąsiedztwa. Nowe położenie węzła wspólnego może być średnim z branych do połączenia lub równym węzłowi o najniższym numerze. W czasie automatycznego łączenia nie ma usuwania elementów, w których odległość węzłów jest mniejsza od promienia sąsiedztwa. Oznacza to, że nie będą usuwane wąskie elementy.



### 33.7. Lustrzane odbicie

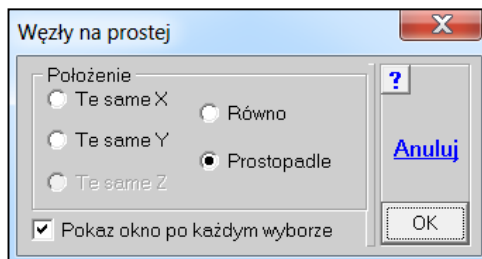
Jest to operacja pozwalająca tak zmienić współrzędne, aby powstało lustrzane odbicie. W odróżnieniu od podobnej operacji w menu **Elementy** (opcja **Powiel**) tutaj nie ma zwiększania liczby elementów. Opcja ta powinna być stosowana do całego modelu. W pierwszym kroku wybiera się węzły, a następnie dwa węzły lustra prostopadłego do modelu.

### 33.8. Ustawianie węzłów na prostej

Opcją **Węzły na prostej** można tak zmienić współrzędne, aby wybrane węzły ustawiły się na prostej. Prosta opisana jest dwoma punktami kierunkowymi, które mogą być węzłami modelu lub będą miały wpisane współrzędne. Po zdefiniowaniu punktów kierunkowych prostej jest rysowany odcinek leżący między tymi punktami i pokazuje się plansza, na której można zdefiniować jak będą wybierane węzły do przesunięcia, oraz jak mają być zmienione ich współrzędne.

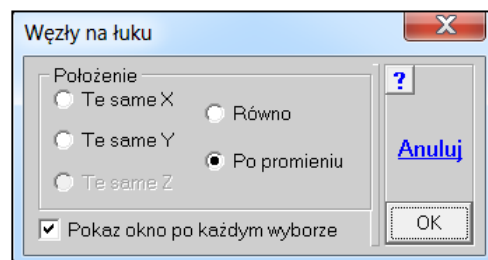


Wybierając przełącznik „Równo” węzły równomiernie podzielą odcinek między punktami kierunkowymi. Wybierając „Te same X” lub „Te same Y” będzie można zachować odpowiednią pierwotną składową. Przełącznik „Prostopadłe” spowoduje węzły na zadanej prostej po liniach do niej prostopadłych. Operacja ustawiania węzłów na prostej jest powtarzalna i można ją zakończyć po kliknięciu w przycisk [Zakończ](#) lub w opcję Zakończ z podręcznego menu. Podręczne menu pokazuje się na zakończenie ustawiania węzłów. Pozwala też na łatwe cofnięcie ostatniego ustawiania oraz umożliwia wybranie kolejnej prostej.



## 33.9. Ustawianie węzłów na łuku

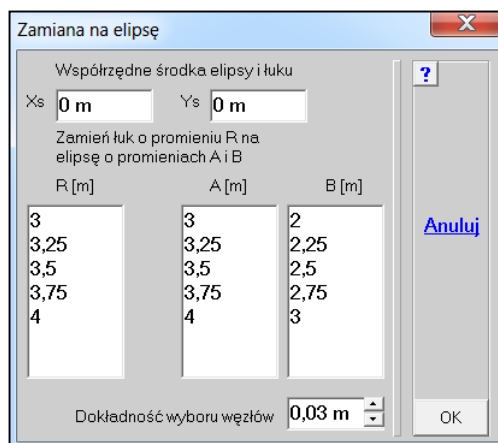
Opcją Węzły na łuku można ustawić wybrane węzły na łuku. Łuk opisany jest trzema punktami, które mogą być węzłami siatki lub będą miały wpisywane współrzędne. Po zdefiniowaniu punktu początkowego, pośredniego i końcowego, łuk pokaże się na ekranie. Na planszy będzie można zdefiniować jak będą wybierane węzły oraz jak mają być zmodyfikowane ich współrzędne, aby znalazły się na łuku. Wybierając przełącznik „Równo” rozstawi się węzły tak, aby łuk pomiędzy punktami początkowym i końcowym został podzielony równomiernie. Wybierając przełączniki „Te same X” lub „Te same Y” przesunie się węzły tak, aby zachowały odpowiednie stare współrzędne. Przełącznik „Promień” przesunie węzły po promieniach łuku.



Po przesunięciu węzłów pojawi się podręczne menu, z którego będzie można wybrać opcję cofającą ostatnie ustawienia węzłów, opcję pozwalającą wybrać nowy łuk i opcję [Zakończ](#), która kończy ustawianie węzłów na łuku. Przesuwanie węzłów można też zakończyć wybierając przycisk [Zakończ](#).

## 33.10. Ustawianie węzłów na elipsie

Opcją Węzły na elipsie można ustawić węzły leżące na łuku na węzły leżące na elipsie. Po wybraniu tej opcji należy wprowadzić promienie i osie elips na które mają być sprowadzone odpowiednie węzły. W folderze \Przykłady\_Tarcz jest zadanie Pierscien\_Kolowy w którym połowa kołowego pierścienia została przekształcona w połowę pierścienia eliptycznego (zadanie Pierscien\_Eliptyczny). W oknie wpisano dane pokazane obok.

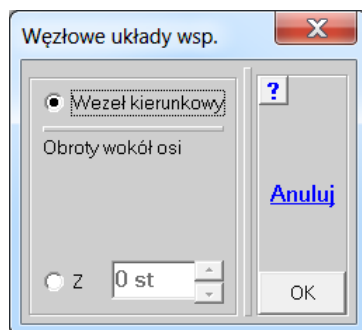


### 33.11. Zbędne węzły

Jeśli w modelu pojawią się zbędne węzły, to pokaże się opcja **Usuń zbędne**. Po wybraniu tej opcji z modelu zostaną usunięte zbędne węzły i ukryte elementy.

### 33.12. Układy współrzędnych węzłowych

W obiektach płaskich typu Tarcza węzłowy układ współrzędnych może zostać, co najwyżej obrócony wokół osi Z. Konfigurację takiego układu można ustalić na dwa sposoby: wybierając węzeł kierunkowy, do którego będzie skierowana oś x' układu węzłowego lub zadając kąt obrotu wokół osi Z. Węzeł kierunkowy może należeć do elementów lub może mieć indywidualnie wprowadzane współrzędne. W folderze \Przykłady\_Tarcz znajduje się przykład *Ukosne\_Podpory* pokazujący jak zadać podparcie wzdłuż ukośnej linii działające do niej prostopadle.



Jeśli w modelu są już wprowadzone układy węzłowe to menu będzie zawierało opcje pokazane obok. Przy pierwszym wywołaniu będzie dostępna tylko opcja **Zadaj układy...** Opcją **Usuń wszystkie** można usunąć wszystkie układy węzłowe. Ta operacja wymaga potwierdzenia. Opcją **Usuń wybrane** można wybrać węzły, w których ma być przywrócony układ globalny. Jeśli w wybranym węźle ma być zmieniony układ węzłowy to wystarczy zadać na nowo. Nie trzeba wcześniej usuwać układu. Opcja **Pokaż układy** pozwala pokazać wprowadzone do modelu węzły z układami węzłowymi. Jej działanie jest identyczne jak podobnej opcji w menu [Pokaż](#). Opcja **Odczyt danych** pozwala wyświetlić dane opisujące układy węzłowe w wybranych miejscach.

Pokaż układy  
Zadaj układy..  
Usuń wszystkie  
Usuń wybrane  
Odczyt danych

## C 34. Dane materiałowe

W odróżnieniu od modeli prętowych, w których można było prowadzić obliczenia bez zadania danych materiałowych, w obiektach typu Płyta materiał musi być wprowadzony. Na planszy startowej zadania płaskiego od razu można ustalić gatunek betonu. Natomiast w menu [Materiał](#) można zmienić dane materiałowe lub dodać kolejny materiał do modelu. Przy zmianie materiału wystarczy określić, jaki to ma być materiał i ewentualnie wpisać jego parametry. Jeśli do modelu jest wprowadzany kolejny materiał, to po określeniu jego danych trzeba będzie wskazać miejsca, w których on będzie. Na każdej planszy opisu danych materiałowych będzie przełącznik, którym będzie można zdecydować jak ten materiał ma być traktowany. Po wprowadzeniu drugiego materiału następne będzie można tylko zadawać. Każdy materiał można wprowadzić do bazy materiałów.

Wprowadzając materiał typu Stal wystarczy wybrać odpowiednią opcję w menu [Materiał](#). Można zmienić moduł sprężystości na wartość podaną w PN-EN oraz wyzerować współczynnik rozszerzalności liniowej (termiczny).

Trochę więcej możliwości wystąpi przy zadawaniu materiału typu Beton. W polu „Norma” będzie można wybrać normę wg, której są ustalane klasy betonu i jego parametry. Domyślnie są betony klasy typu C\*/\* z kruszywem kwarcowym, ale można wybrać każdy przewidziany w normie PN-EN, jak również zmienić kruszywo na: bazaltowe, wapienne i piaskowcowe. Można również zmienić liczbę Poisson'a na 0 (strefy zarysowane),

wprowadzić własny ciężar właściwy i współczynnik rozszerzalności liniowej. Ponadto można wybrać betony z trzech edycji normy PN-03264 oraz betony mostowe i betony lekkie. W każdym przypadku z listy po lewej stronie należy wybrać symbol betonu. Dla betonów lekkich trzeba będzie jeszcze wybrać jego gęstość. Po wyborze symbolu i ewentualnym wyborze gęstości w polu „Właściwości...” pojawiają się dane materiałowe, które będą wykorzystywane w modelu.

**Materiał**

Materiał: Stal  
 Norma: PN-90/B-03200  
 Moduł sprężystości E = 205000 MPa  
 Liczba Poisson'a  $\nu$  = 0,3  
 Ciężar właściwy  $\gamma$  = 77 kN/m<sup>3</sup>  
 Wsp. termiczny  $\alpha$  = 0,000012 1/°C

[alfa = 0.0](#)

☐ Dodaj nowy ☒ Zamień na PN-EN ☐ Zamień stary

Anuluj OK

**Beton wg PN-EN 1992-1-1:2008**

Kruszywo: C20/25 Kwarcowe

Właściwości po 28 dniach:  
 Moduł Young'a: 29961 MPa  
 Liczba Poisson'a: 0.2  
 Ciężar właściwy: 25 kN/m<sup>3</sup>  
 Wsp. rozszerzalności: 0.00001 1/°C

Norma:  
☒ PN-EN-1992-1-1:2008  
☐ PN-B-03264:2002  
☐ PN-B-03264:1999  
☐ PN-84/B-03264  
☐ PN-91/S-10042 (mosty)  
☐ PN-B-03263:2000 (lekkie)

☐ Dodaj nowy materiał ☒ Zamień stary materiał

Anuluj OK

**Drewno**

C18 ☒ Drewno lite

Właściwości:  
 Moduł sprężystości E: 9000 MPa  
 Moduł sprężystości G: 560 MPa  
 Ciężar właściwy: 3.14 kN/m<sup>3</sup>  
 Wsp. rozszerzalności: 3.7E-6 1/°C

Norma:  
☒ PN-EN 338  
☐ PN-EN 1194  
☐ PN-2000  
☐ PN-1981

☐ Dodaj nowy materiał ☒ Zamień stary materiał

Anuluj OK

Wybierając betony typu C\*/\* można wymiarowanie prowadzić wg PN-2002 lub PN-EN. Dla Betonu typu B z edycji PN-2002 można prowadzić wymiarowanie tylko wg PN-2002. Dla innych betonów program nie wymiaruje.

Podobną planszę ma materiał typu Drewno, tyle, że jest mniejszy wybór norm. Wymiarowanie może być prowadzone tylko dla drewna określonego wg norm PN-EN.

Jeśli zostanie wybrana opcja Inny mat.. to pokaże się plansza, w której trzeba będzie wprowadzić takie dane jak:

- Moduł sprężystości E,
- Liczba Poisson'a  $\nu$ ,
- Ciężar właściwy  $\gamma$ ,
- Współczynnik rozszerzalności termicznej.

Materiał może też otrzymać opis słowny, który przydaje się np. przy wyborze fragmentu wg danych materiałowych. Materiał ten też może zostać dodany do bazy.

The 'Materiał' dialog box shows the 'Inny' material type selected. The fields are filled with the following values:

Opis materiału	Wartość
Moduł sprężystości E	20000 MPa
Liczba Poisson'a $\nu$	0.1667
Ciężar właściwy $\gamma$	25 kN/m <sup>3</sup>
Wsp. termiczny alfa	0,00001 1/°C

At the bottom, there are two radio buttons: 'Dodaj nowy' (selected) and 'Zamień stary'. Below them is a blue button labeled 'Dodaj do bazy'. On the right side, there is a vertical bar with a question mark icon, an 'Anuluj' button, and an 'OK' button.

W tarczy można założyć materiał typu grunt. Poza zestawem danych takich jak w materiale typu Inny należy dodać kąt tarcia wewnętrznego i spójność gruntu.

The 'Materiał' dialog box shows the 'Grunt' material type selected. The fields are filled with the following values:

Opis materiału	Wartość
Moduł sprężystości E	50 MPa
Liczba Poisson'a $\nu$	0.2
Ciężar właściwy $\gamma$	16 kN/m <sup>3</sup>
Wsp. termiczny alfa	0.00001 1/stC
Kąt tarcia wewnętrznego	20°
Spójność gruntu	0,01 MPa

At the bottom, there are two radio buttons: 'Dodaj nowy' (selected) and 'Zamień stary'. Below them is a blue button labeled 'Dodaj do opisów materiałowych'. On the right side, there is a vertical bar with a question mark icon, an 'Anuluj' button, and an 'OK' button.

Po wyborze opcji **Pełny opis** pokaże się plansza, w której będzie można wpisać w jawnej postaci wyrazy macierzy sprężystości, kąt między osiami elementu, a osiami materiałowymi, ciężar własny i współczynniki rozszerzalności termicznej dla osi X i osi Y.

Jeśli w modelu są co najmniej dwa materiały to liczba dostępnych opcji w menu **Materiał** znacznie wzrasta. Poza opcjami z rodzajem materiału pokaże się opcja **Pokaż materiał**, która pozwala pokazać miejsca materiału wraz z planszą opisującą jego dane. Opcja **Zadaj mat.**, pozwala zadać wpisany już materiał w inne miejsce. Działanie tej opcji jest zdublowane oknem po lewej stronie, w którym jest lista dostępnych materiałów. Wystarczy dwukrotnie kliknąć na odpowiednią linię i można wybierać elementy, w których będzie ten materiał. Przyciskiem [x] można go wyłączyć.

Jeśli w opisie danych materiałowych będzie materiał nie zastosowany w żadnym elemencie, to opcją **Usuń zbędne** będzie można go usunąć z danych modelu.

Opcja **Zamień materiał..** pojawi się dopiero wtedy, kiedy będzie w modelu więcej niż jeden materiał.

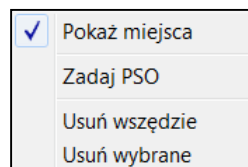
Na tej planszy można zamienić materiał bez konieczności powtórnego pokazywania miejsca jego występowania. Wystarczy kliknąć jedną linię w lewym oknie i inną w prawym oknie. Po włączeniu „Usuń opisy zbędnych materiałów” liczba materiałów zostanie zredukowana do niezbędnie potrzebnych w zadaniu.

Opcja **Lista mater.** pozwala pokazać dane materiałowe przyjęte w modelu. Jeśli w modelu jest więcej materiałów, to razem z danymi materiałowymi pokażą się też elementy z tym materiałem. Lokalizację materiału będzie można wydrukować naciskając przycisk **Rysuj** na planszy danych materiałowych.

## C 35. Przycisk PSO

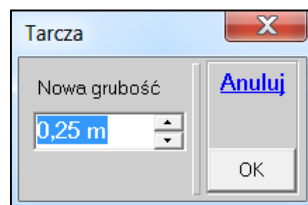
W modelu tarczowym można wprowadzić warunek Płaskiego Stanu Odształcenia - PSO. Warunek ten można wprowadzić we wszystkich elementach. Po zadaniu jednostkowej grubości otrzyma się teoretyczny model tego stanu. W programie ABC można stan PSO wprowadzić w wybranych elementach, do tego nie trzeba zadawać jednostkowej grubości. Jednak analiza takich modeli wymaga sporego doświadczenia użytkownika.

Po zadaniu strefy PSO pokaże się menu z którego będzie można usunąć ten stan.

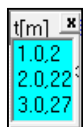
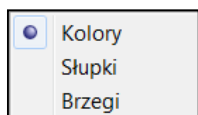


## C 36. Grubości

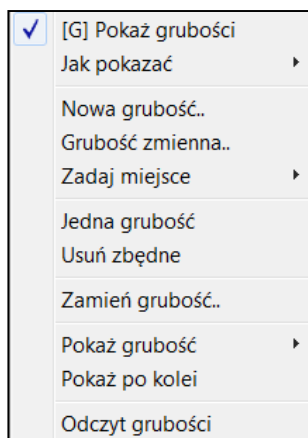
W odróżnieniu od modeli prętowych, w których można było prowadzić obliczenia bez zadania danych przekrojowych w obiektach typu Tarcza grubość musi być wprowadzona. Na planszy startowej zadania płaskiego od razu można ustalić grubość. Natomiast w menu **Grubość** można zmienić jej wielkość lub dodać kolejną grubość do modelu. Wybierając w menu **Grubość** opcję **Nowa grubość..** otrzymuje się planszę wpisu nowej wartości grubości. Po wpisaniu wartości będzie można wybrać elementy, w których będzie nowa grubość. Wybór jest tradycyjny: oknem, odcińkiem lub łukiem.



Opcją **[G]Pokaż grubość** lub klawiszem <G> można sterować pokazywaniem grubości. Opcją **Jak pokazać** można z kolei wybrać formę prezentacji grubości. Należy podkreślić, że prezentacja grubości w formie słupków nie ma nic wspólnego z rzeczywistością i jest wprowadzona tylko dla podniesienia czytelności. Jeśli w modelu jest już więcej grubości można je wykorzystać do zadania w nowym miejscu. Wybierając opcję **Zadaj miejsce** otrzyma się menu z wartościami grubości. Po lewej stronie u góry ekranu będzie się też pokazywać lista grubości, skąd klikając dwukrotnie w wybraną wartość można od razu przejść do wyboru miejsca.



Opcją **Jedna grubość..** można wprowadzić we wszystkich elementach jednakową grubość. Po wpisaniu wartości nie trzeba wybierać elementów. Automatycznie też zostaną usunięte wszystkie inne grubości.

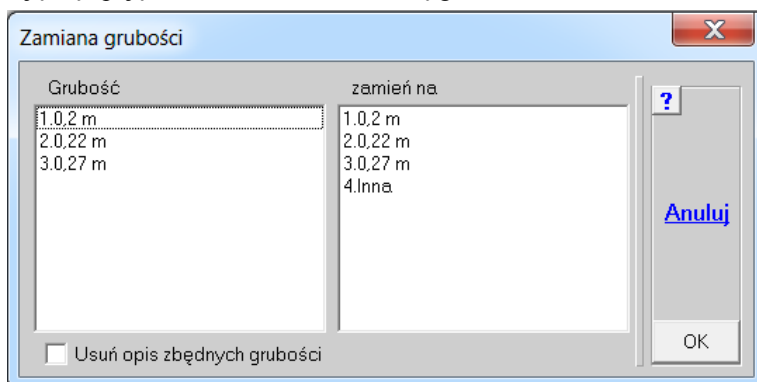


Opcją **Zamień grubość..** można zastąpić jedną grubość inną już istniejącą lub wpisać nową wartość - pozycja **Inna** w drugim oknie.

Opcją Pokaż grubość można pokazać lokalizację wybranej grubości. Opcją Pokaż po kolei można pokazać po kolei lokalizacje grubości.

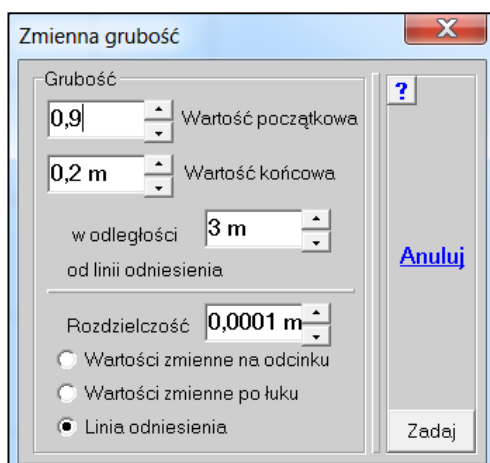
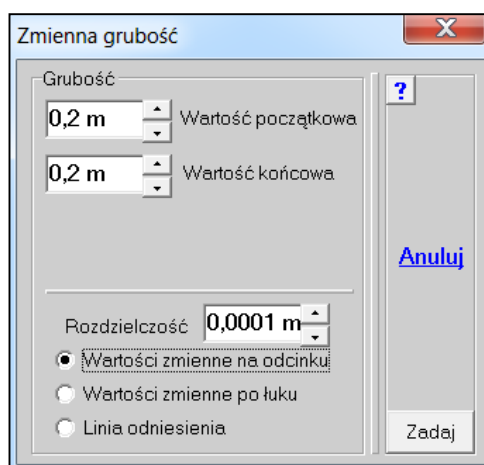
Opcją Odczyt grubości można odczytać grubość w wybranych elementach.

Jeśli w modelu są grubości nie używane w żadnym elemencie, to pojawi się opcja Usuń zbędne. Wybierając tę opcję można zredukować liczbę grubości w zadaniu.



### 36.1. Grubość zmienna

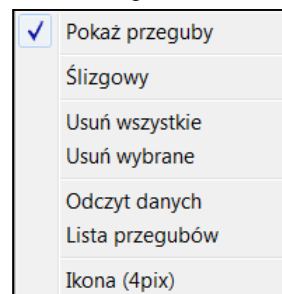
Wybierając opcję Grubość zmienna.. można wprowadzić w modelu zmienną grubość. Grubość może być zmienna w prostym paśmie elementów, w łukowym paśmie elementów i w wybranym polu elementów. W pierwszym i drugim przypadku podaje się grubość na początku i na końcu odcinka lub łuku i następnie wybiera elementy. Pasma wybiera się dwoma punktami, łuk trzema. Dodatkowo na planszy wpisuje się rozdzielczość grubości, która pozwala zakwalifikować grubości do jednej wartości jeśli różnią się mniej niż rozdzielczość. Po włączeniu „Linia odniesienia” na planszy pojawi się trzecie okienko opisane „w odległości ” tu podana jest odległość „od linii odniesienia”. Odległość podpowiadana jest równa 1 m, ale można zadać inną. Istotne aby w odległości wpisanej do tego okna była grubość końcowa. Grubość początkowa będzie na linii odniesienia. Teraz wystarczy wybrać linię odniesienia (dwa węzły) i trzecim wskazać kierunek zmian. W folderze \Przykłady\_Tarcz jest zadanie Sciana\_Oporowa w którym wprowadzono grubość zmienną zadaną danymi pokazami w oknie obok. Wcześniej opcją Fragment ograniczono obszar w którym wprowadzono grubość zmienną. Linią odniesienia była dolna pozioma krawędź. Kierunek zmian wybrano dowolnym węzłem leżącym poniżej górnej krawędzi.



## C 37. Linie poślizgu

W tarczy można zadać przeguby, będące tak naprawdę liniami poślizgu. W takich węzłach będzie wspólne jedno z przemieszczeń, np.: Y a inne drugie np.: X będzie niezależne. Węzły wybiera się metodą odcinkową. W połączeniu z układami węzłowymi ma się spore narzędzie modelujące.

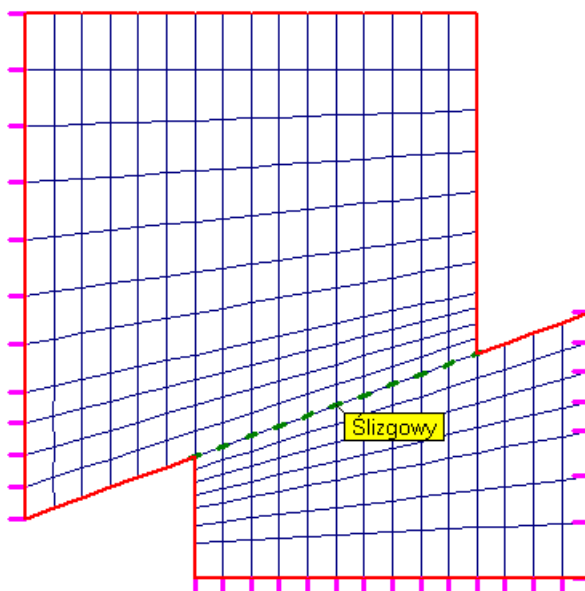
Opcja **Pokaż przeguby** pozwala wyłączyć pokazywanie przegubów. Dubluje działanie opcji **Pokaż ikony – Przeguby** w menu [Pokaż](#). Z tą opcją związana jest opcja **Ikona**, która pozwala zadać wielkość ikony przegubu. Po kliknięciu w opcję **Zadaj przeguby** będzie można wybierać linię przegubu. Linie przegubu mogą się krzyżować. Ikony przegubów są zielonymi kółeczkami rysowanymi w odpowiednich węzłach. Po zadaniu przegubów menu [Przeguby](#) ma postać pokazaną na rysunku obok.



Opcją **Usuń wszystkie** można usunąć wszystkie przeguby z modelu. Operacja ta wymaga potwierdzenia. Opcją **Usuń wybrane** można usunąć przeguby w wybranych węzłach. Opcją **Odczyt** pozwala odczytać dane przegubu. Opcja **Lista przegubów** pozwala wyświetlić zestawienie numerów węzłów z danymi o przegubie.

W folderze \Przykłady\_Tarcz znajduje się pełne zadanie o nazwie Linia\_Poslizgu, w którym wprowadzono przeguby.

Poniżej pokazano ikony przegubów w zadaniu Linia\_Poślizgu.





## C 38. Podpory

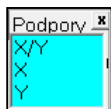
Warunek podporowy jest niezbędnym elementem każdego zadania. Podparcie tarczy może być zrealizowane na podporach przyłożonych do węzłów lub na podłożu przyłożonym do elementów. W tym rozdziale zostaną omówione sposoby podparcia węzłowego. Podpory mogą mieć charakter podpór teoretycznych: sztywnych - opcja Sztywne.. lub podatnych - opcja Podatne.. Można też układ podporowy przygotować w pliku.

Sztywne..  
Podatne..  
Z pliku..

**Podpory są zadawane w układzie współrzędnych węzłowych, czyli jeśli w miejscu podparcia nie ma układu węzłowego to podpora jest zadana w układzie globalnym. Jeśli jest układ węzłowy to wtedy jej działanie jest związane z układem węzłowym.**

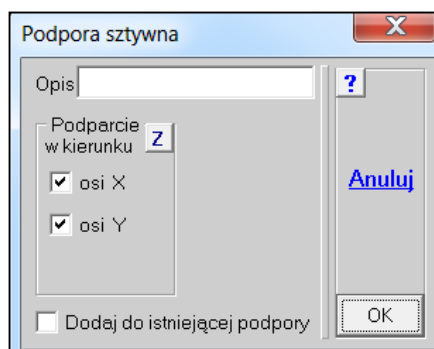
### 38.1. Podpory sztywne

Wybierając opcję Sztywne.. otrzyma się planszę definicji podpory sztywnej. W tarczy podpora może mieć tylko dwie składowe liniowe o kierunku osi X i/lub Y. Nowo zadawana podpora zamienia stare warunki podporowe w wybranym węźle, chyba, że na planszy definicji zostanie włączony warunek „Dodaj do istniejącej podpory”. Wtedy nowe składowe są dodawane do wcześniej wprowadzonych danych.



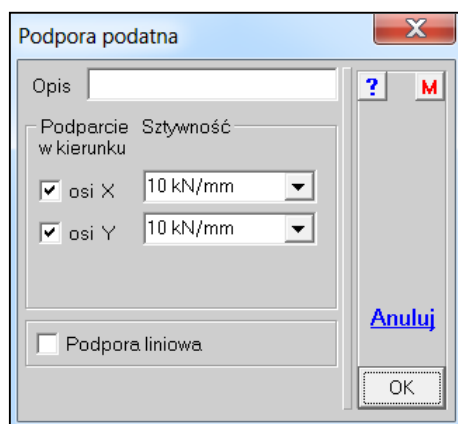
Po definicji składowych podporowych można przejść do wyboru węzłów podpartych. Jeśli w modelu jest wprowadzonych więcej niż jeden typ podpory, to pokaże się okno szybkiego zadawania, z którego podwójnym kliknięciem można wybrać potrzebny typ podparcia i

przejść bezpośrednio do wybierania węzłów.



### 38.2. Podpory podatne

Po wybraniu opcji Podatne.. pokaże się plansza, na której poza zaznaczeniem składowych podporowych będzie można wprowadzić ich sztywności. Sztywności liniowe wprowadza się w [kN/mm]. Wartości sztywności są zapisywane do bazy i przy powtórnym wywołaniu tej opcji można skorzystać ze wcześniej zadanych wartości. Jeśli wybrane składowe mają być niepodatne to należy wpisać sztywność równą 1E10, czyli jedynka i dziesięć zer (10000000000 kN/mm). Zagwarantuje to praktyczną niepodatność składowej. Jeśli zostanie włączona „Podpora liniowa” to jednostki sztywności zostaną zamienione na metr bieżący. Takie podpory będzie można zadawać tylko odcinkiem lub łukiem. Po zdefiniowaniu podpory można przyciskiem [OK] zamknąć planszę i przejść do wyboru węzłów podpartych.



Po wciśnięciu przycisku [M] będzie można zadać podporę podatną, ale o różnej sztywności w kierunku (+) i (-). Oczywiście ta cecha będzie wykorzystana tylko w obliczeniach nieliniowych.

### 38.3. Podpory z pliku

Podparcie można przygotować w pliku tekstowym. Postać tego pliku jest następująca. W pierwszej linii jest słowny opis pliku. Każda następna linia musi zawierać:

- numer kolejny,
- współrzędne X, Y i Z punktu przyłożenia podpory,
- sztywności liniowe dla kierunku X, Y i Z,
- sztywności skrętne wokół osi X, Y i Z - w tarczy zbędne, ale potrzebne z formalnego punktu.

Plik z podatnymi podporami

Nr	Wsp.X	Wsp.Y	Wsp.Z	Podat.X	Podat.Y	Podat.Z	Podat.Xx	Podat.Yy	Podat.Zz
Przykładowe podparcie tarczy									
1	0	0	0	Sztywna	Sztywna	0	0	0	0
2	0,3	0	0	0	10000000000	0	0	0	0
3	0,6	0	0	0	10000000000	0	0	0	0
4	0,9	0	0	0	1000000000	0	0	0	0
5	1,2	0	0	0	100000000	0	0	0	0
6	1,5	0	0	0	10000000	0	0	0	0
7	1,8	0	0	0	1000000	0	0	0	0
8	2,1	0	0	0	100000	0	0	0	0
9	2,4	0	0	0	10000	0	0	0	0
10	2,7	0	0	0	100	0	0	0	0
11	3	0	0	0	10	0	0	0	0

Format

☒ Zmienny    współrzędne: 3    siły: 0

☐ Stały

Dopasowanie

☒ Podpory do węzłów    ☐ Węzły do podpór

Sąsiedztwo nie większe od: 0,03 m

(X,Y,Z) [kN/mm]  
(Xx,Yy,Zz) [kNm/°]

Anuluj    OK

Przyjęto następujące kodowanie. Liczba 0 oznacza brak podparcia, liczba -1 oznacza podparcie sztywne. Sztywność liniową zadaje się w [kN/mm], sztywność skrętną w [kNm/°]. W pliku tekstowym można pominąć sztywności skrętne. Po wybraniu tej opcji otwiera się systemowe okno pozwalające odczytać pliki o rozszerzeniu .TXT.

W polu „Format” można zmienić postać liczb pokazujących współrzędne i siły, w polu „Dopasowanie” można zdecydować co dopasować do czego, jeśli tylko sąsiedztwo nie jest większe od zadanej wartości. Jeśli będą podpory zbyt odbiegające od węzłów to program poinformuje ile było takich przypadków. Podpory z pliku można łączyć z podporami zadawanymi wprost z menu.

W folderze \Przykłady\_Tarcz jest zadanie Podpory\_Z\_Pliku w którym wprowadzono podpory z pliku Podparcie.txt. Ten plik też jest w tym folderze.

## 38.4. Inne opcje menu Podpory

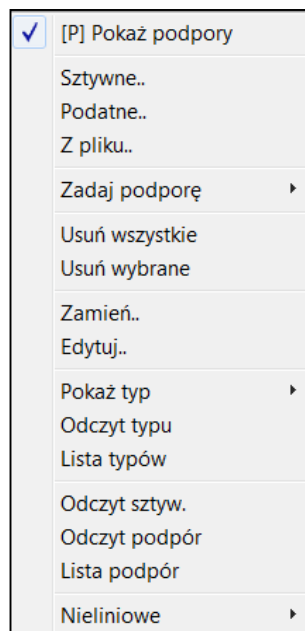
Po wprowadzeniu podpór menu **Podpory** będzie zawierało szereg różnych opcji pozwalających zadać, zmienić i poznać warunki podparcia. Opcja **[P]Pokaż podpory** steruje wyświetlaniem ikon podpór. To samo robi klawisz <P>.

Opcja **Zadaj podporę** wyświetla listę typów podpór już zdefiniowanych i można wybrać odpowiedni typ i zadać podparcie w nowych miejscach.

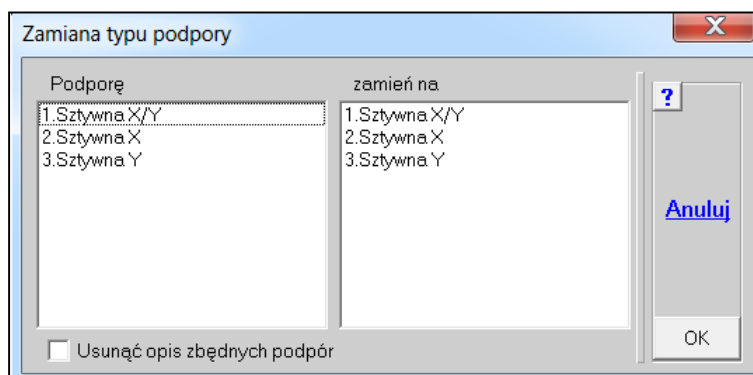
Opcją **Usuń wszystkie** można usunąć zarówno podparcie modelu jak i definicje podpór. Operacja ta wymaga potwierdzenia. Druga opcja **Usuń wybrane** pozwala usunąć podpory w wybranych miejscach. Jeśli liczba składowych podporowych w wybranych miejscach jest większa od jednej, to pokaże się plansza, na której będzie można zadeklarować, które składowe mają być usunięte. Pozwala to w łatwy sposób zrezygnować z składników stwierdzeniowych w słupach czy ścianach i przejść na układ przegubowy.

Opcja **Zamień..** pozwala łatwo zamienić jeden typ podpory na drugi. Po wybraniu tej opcji pokaże się plansza ze spisem typów podpór w zadaniu. Po włączeniu jednego typu w lewym oknie należy włączyć inny typ w prawym oknie. Dodatkowo można zadeklarować usuwanie opisów zbędnych typów podpór.

Opcją **Edytuj..** można zmienić opis podpory. Po wybraniu węzła podpartego zostaną zaznaczone wszystkie węzły z podporą tego typu i pokaże się plansza podobna do tej na której był zadawany opis i będzie można zmienić parametry



Kolejne trzy opcje pozwalają poznać opis typu podpór i ich lokalizację. Po kliknięciu na opcję **Pokaż typ** wyświetli się lista typów, taka sama jak przy opcji **Zadaj podporę**. Po wybraniu odpowiedniej pozycji pokaże się plansza z opisem podpory, oraz zostaną wyróżnione te punkty podparcia, w których występuje pokazywany typ. Na planszy opisu będą widoczne tylko te pozycje, które są w wybranym typie. Opisów nie będzie można zmienić.



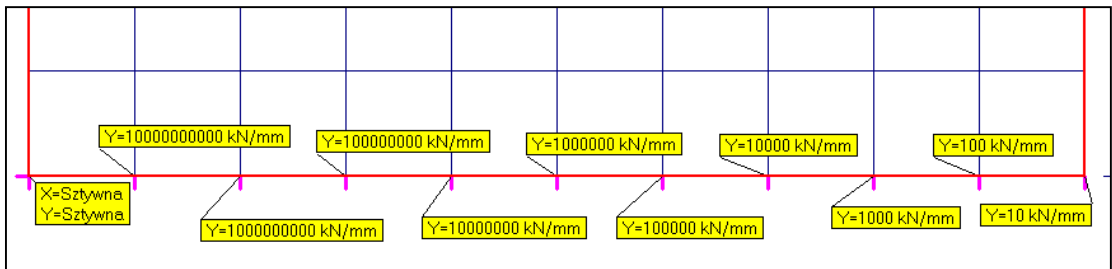
Po wybraniu opcji **Odczyt typu** należy wybrać jeden punkt podparcia. Pokaże się plansza z opisem typu podpory taka sama jakby typ został wybrany, a odczytany węzeł oraz wszystkie inne, w których są takie same typy zostaną wyróżnione. **Lista typów** wyświetla listę opisów typów podpór.

Opcja **Odczyt sztywności** pozwala poznać wartości sztywności podpory. Będą to napisy „Sztywna” dla składowych niepodatnych, wartości sztywności zadane przez użytkownika w podporach podatnych. Odczyty sztywności podpór mogą być drukowane.

Opcja **Odczyt podpór** pozwala pokazać w skróconej formie, jaki typ podpory jest w wybranych węzłach. Również te odczyty można drukować.

Ostatnia opcja **Lista podpór** pozwala pokazać w formie listy numery węzłów podpartych i wybranych do listy oraz numery typów podpór wraz z zaznaczeniem, jakie składowe są w danym węźle.

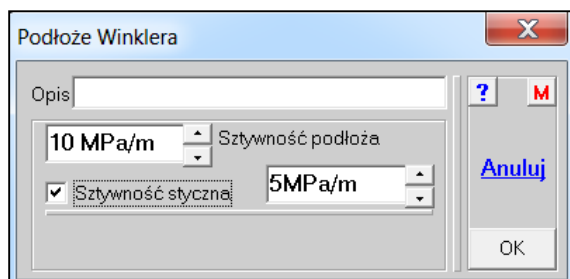
Opcją **Nieliniowe** wprowadza się cechy nieliniowe podpór. Będzie to omówione w rozdziale poświęconym obliczeniom nieliniowym.



## C 39. Podłoże sprężyste Winklera

Drugim sposobem na podparcie to podłoże sprężyste. W programie ABC Tarcza może to być tylko podłoże typu Winklera. Podłoże sprężyste jest przykładane do elementów, dlatego też model posadowiony na podłożu sprężystym jest niewrażliwy na modyfikacje siatki. Posadowienie na podłożu można łączyć z podporami.

Podłoże Winklera w tarczy może mieć dwie składowe. Składowa normalna jest zawsze prostopadła do krawędzi, do której podłoże jest przyłożone i styczna, które trzeba włączyć, aby się pojawiło. Podłoże można przykładać do dowolnie zorientowanych krawędzi. W modelu można zadawać podłoża o różnych współczynnikach sztywności.



W folderze \Przykłady\_Tarcz zamieszczono zadanie Winkler w którym pokazano jak można przykładać podłoże.

Po zadaniu podłoża Winklera zakres menu ulegnie rozszerzeniu o dodatkowe opcje, które pozwolą na zadawanie stref o innych parametrach, edycję parametrów podłoża uwarstwionego, na zmianę lokalizacji, zmieniać sposób prezentacji rozkładu posadowienia itp.

Opcją **Pokaż podłoże** można wyłączyć pokazywanie podłoża. Opcja ta dubluje podobną opcję w menu [Pokaż](#). Sposób prezentacji wybiera się w drugiej opcji **Jak pokazać**. Do wyboru jest kolorowa mapa, forma przestrzenna zwana **Słupki**, forma geometryczna wybierana opcją **Brzegi** i **Kreski**. Wtedy w środku każdego elementu podpartego jest rysowana pionowa kreska.

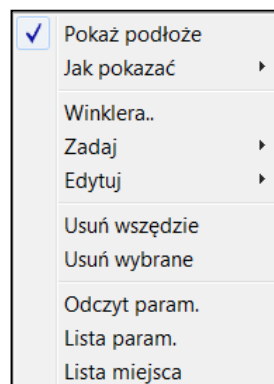
Wybierając opcję **Winklera..** można wpisać kolejne podłoże, o innym współczynniku sztywności.

Kolejna opcja **Zadaj** pojawi się tylko dla posadowienia na podłożu o różnych sztywnościach. Pozwala wybrać jedno z wcześniej zdefiniowanych podłoży i zadać je w nowych miejscach.

Opcja **Edytuj** pozwoli zmienić opis podłoża bez konieczności zmiany jego lokalizacji.

Opcja **Usuń wszędzie** pozwala usunąć zupełnie z modelu posadowienie na podłożu. Opcja **Usuń wybrane** pozwala usunąć opis z wybranych elementów. Jeśli w zadaniu są opisy podłoża nie wprowadzonego do elementów to pojawi się opcja **Usuń zbędne** którą można te opisy usunąć.

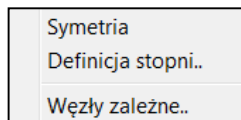
Opcje: **Odczyt parametrów**, **Lista parametrów** i **Lista miejsca** pozwala poznać przyjęte posadowienie.



## C 40. Menu Więzy

Opcje menu [Więzy](#) pozwalają zadać warunki brzegowe. Zasadniczo wykorzystuje się je do wprowadzenia symetrii, ale można sobie wyobrazić, że warunkami brzegowymi zapewni się tarczy podparcie. Byłby to trzeci sposób na podparcie modelu. Jednak wprowadzenie podparcia na drodze zadania warunków brzegowych ma poważną wadę. Nie pozwala na obliczenie reakcji.

Trzecią możliwością tego menu to wprowadzenie węzłów zależnych. Są to takie węzły, w których, w wybranych stopniach swobody, muszą być takie same przemieszczenia. Takie możliwości modelowe mogą być wykorzystane do bardzo zaawansowanych i finezyjnych analiz lub do sztuczek numerycznych. Dalej będą omówione dwa takie zadania.



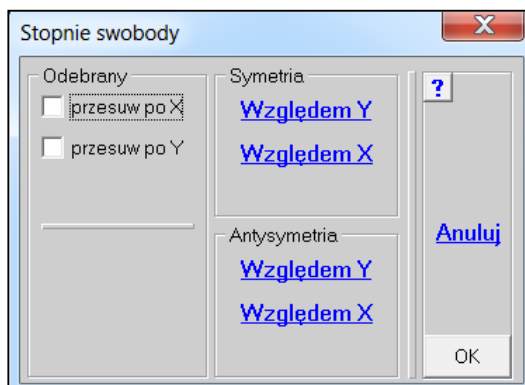
### 40.1. Symetrie

Symetria jest narzędziem, które kiedyś było często stosowane, ponieważ pozwalało zmniejszyć zadanie dwu- a nawet czterokrotnie. Obecne możliwości obliczeniowe spowodowały, że symetria straciła na znaczeniu. Należy pamiętać, że warunek symetrii musi dotyczyć nie tylko geometrii, ale również obciążeń. W warunkach rzeczywistych analiz ten ostatni warunek najczęściej nie był zachowywany.

Po wybraniu opcji **Symetria** należy wybrać dwa węzły, w których będą zadane warunki symetrii. Oś symetrii zadaje się zawsze odcinkiem. Jeśli będzie ukośna to w wybranych węzłach zostaną zadane węzłowe układy współrzędnych. Zadane warunki brzegowe są symbolizowane ciemnymi ikonami. W folderze \Przykłady\_Tarcza jest zadanie SymetriaT, w którym zadano pionową oś symetrii.

### 40.2. Definicja stopni swobody

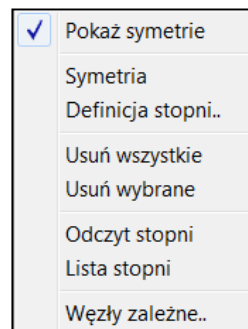
Opcja Definicja stopni w menu [Więzy](#) pozwala w sposób jawny i pełny zdefiniować odebrane stopnie swobody. Na planszy w polu „Symetria” można wybrać przycisk [Względem Y](#) i [Względem X](#), które odbiorą odpowiednie stopnie swobody w wybranych potem węzłach. Jeśli ma to być symetria dla linii nachylonej do osi globalnych to trzeba w tych węzłach wprowadzić odpowiednie układy węzłowe. W polu „Antysymetria” można wybrać ten warunek brzegowy względem osi X lub Y i następnie zadać go w wybranych węzłach. W polu „Odebrany” można indywidualnie odebrać stopnie swobody. Potem te warunki będą wprowadzone w wybrane węzły.



### 40.3. Opcje menu Więzy

W menu [Więzy](#) po zadaniu warunków brzegowych typu Symetria lub przez jawną definicję można opcją Pokaż symetrie pokazać ikony odebranych stopni swobody. Działanie tej opcji dubluje podobną opcję w menu [Pokaż](#). Opcją Symetria można zadawać kolejne miejsca z tą cechą. Podobnie opcją Definicja stopni.. można zdefiniować odebrane stopnie swobody i następnie wybrać węzły.

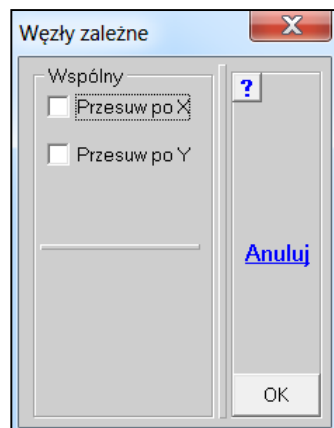
Opcją Usuń wszystkie można uwolnić wszystkie węzły modelu. Opcją Usuń wybrane można uwalnianie ograniczyć tylko do wybranych miejsc. Wybierając opcję Odczyt stopni można poznać, które stopnie swobody są odebrane, z kolei opcją Lista stopni można pokazać odebrane stopnie swobody w formie tabeli.



### 40.4. Węzły zależne

Węzły zależne są to węzły, w których zadano warunek, że w wybranych stopniach swobody muszą być takie same przemieszczenia. Jeśli wybrano stopnie liniowe to będą takie same ugięcia, a jeśli wybrano stopnie kątowe to będą takie same kąty obrotu. Węzły zależne na ogół znajdują się w różnych miejscach modelu. Jeśli znajdują się w tym samym miejscu to mogą być wykorzystywane do modelowania przegubu. W ten sposób jest modelowany ślizg w tarczy. W opcji Węzły zależne w pierwszym kroku zadaje się, które stopnie swobody mają być takie same. Na planszy, w polu „Wspólny” należy włączyć potrzebne stopnie swobody i następnie wybrać węzły parami. Jeden węzeł może należeć do więcej niż jedna para węzłów zależnych.

Po wprowadzeniu do modelu węzłów zależnych rośnie liczba opcji w menu [Więzy](#). Opcją Pokaż zależne można wyłączyć pokazywanie węzłów o wspólnych stopniach swobody. Opcją Węzły zależne.. można zdefiniować kolejne warunki i wybrać nowe miejsca. Opcją Usuń wszystkie można zupełnie zlikwidować opis węzłów zależnych w modelu. Opcją Usuń wybrane można usunąć zależność tylko w wybranych miejscach modelu. Po wybraniu opcji Odczyt zależnych pokazują się pary węzłów zależnych i po wskazaniu węzła wyświetli się okno ze wspólnymi stopniami swobody. Opcja Lista zależnych pozwala pokazać w formie tabeli węzły zależne wraz z opisem wspólnych stopni swobody.



W folderze \Przykłady\_Tarcz są dwa zadania. Wzly\_Zalezne\_1 pokazuje rozwiązanie bez wprowadzenia węzłów zależnych, a w zadaniu Wzly\_Zalezne\_2 jest wprowadzony ten warunek.

*Uwaga: ponieważ w pierwszym zadaniu układ jest niestabilny numerycznie ponowne rozwiązanie na innym procesorze może dać inne wyniki, Może też skończyć się komunikatem „Zero na przekątnej”.*

## C 41. Obciążenia tarcz

Obciążenia tarczy mogą być mechaniczne typu: siły skupione, liniowe lub powierzchniowe oraz niemechaniczne typu: termika, skurcz, przemieszczenia wstępne podpór. Można również zadać obciążenia dynamiczne wywołane obrotem. W jednym schemacie mogą wystąpić naraz wszystkie typy obciążeń. Jednak, ze względu na czytelność graficznej prezentacji, lepiej zadawać w schematach pojedyncze typy obciążeń. W programie ABC Tarcza nie ma formalnego ograniczenia na to, czy obciążenia mają mieć wartości charakterystyczne czy obliczeniowe, ale **wygodniej jest operować wartościami charakterystycznymi**. Jeśli w schemacie występują obciążenia o różnych mnożnikach obciążenia, to należy każde obciążenie wprowadzić w odrębnym schemacie. W programie nie ma ograniczenia liczby schematów. Schematy z założenia otrzymują atrybut obciążenia stałego. Jeśli będą to obciążenia zmienne, warunkowe lub zależne (dokładne omówienie tych pojęć będzie w rozdziale poświęconemu sposobom liczenia obwiedni) to atrybut będzie można nadać w module WYNIKI, już po obliczeniach. Jest jedno odstępstwo od tej reguły. Mianowicie obciążenia liniowe można rozkładać polami na osobne schematy, które otrzymują wtedy od razu atrybut zmienne. Sposób rozkładania obciążeń na schematy zmienne będzie omówiony dalej.

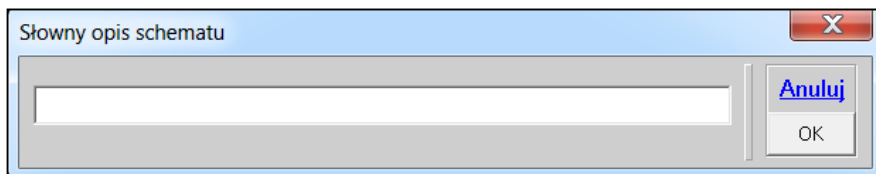
W programie ABC Tarcza wprowadzono jeszcze jedną ciekawą możliwość. Mianowicie w każdym schemacie może być **inny układ podporowy**. Takie zadanie jest rozwiązywane jako statyka wielokrotna i może potem być poddane analizie wyników tak jak każde inne zadanie.

Jeśli w zadaniu nie ma jeszcze obciążeń to po kliknięciu w przycisku [Obciążenia](#) pojawi się menu z obciążeniami dla pierwszego schematu. Po wciśnięciu przycisku [\[M\]](#) pojawią się przyciski [Termika](#), [Skurcz](#), [Przemiesz.](#) i [Obroty](#). Ten zestaw przycisków będzie dostępny w każdym schemacie. Jeśli zostaną zadane jakieś obciążenia uaktywni się przycisk [Nowy](#), którym można zmienić schemat na kolejny. Pod przyciskiem [Obroty](#) pojawi się wtedy zielony przycisk [Takie samo](#), którym będzie można skopiować obciążenie z któregoś wcześniej wprowadzonych schematów. Wygodne narzędzie jeśli schematy niewiele różnią się między sobą.



### 41.1.Opis obciążenia

Przyciskiem [Opis obc.](#) można wprowadzić własny komentarz do schematu. Jeśli ten opis nie zostanie wprowadzony, to przy zamykaniu schematu przyciskiem [\[Koniec obc.\]](#) lub [Nowy](#), program nada własną nazwę pochodzącą od rodzaju wprowadzonego obciążenia. Nazwy schematów można później zmieniać

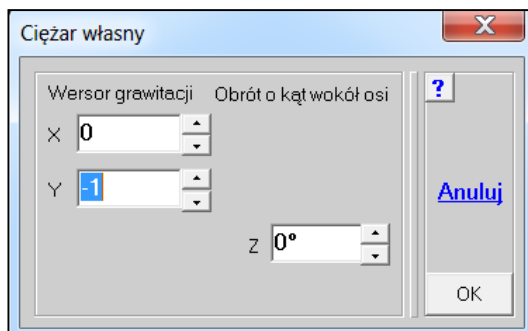


bez konieczności powtórnej obliczenia i można to robić zarówno w module DANE jak i WYNIKI. Wprowadzenie opisów dla schematów znacznie ułatwia analizę wyników i z tego względu warto zachować tutaj trochę dyscypliny.



## 41.2. Obciążenie ciężarem własnym

Obciążenie ciężarem własnym jest obciążeniem rozłożonym objętościowo o wartości proporcjonalnej do grubości i ciężaru właściwego materiału modelu. W przypadku tarczy kierunek obciążenia ciężarem własnym mieć dwie składowe o kierunkach X i Y. Domyślnie obciążenie ciężarem własnym ma kierunek -Y. Można wpisać dwa składniki wektora grawitacji i program sprawdzi, czy wypadkowa nie jest różna od 1. Pokaże się wtedy ostrzeżenie. Jeśli wektor grawitacji jest obrócony w stosunku do głównego układu współrzędnych wygodniej jest wpisać kąt obrotu, a program sam obliczy niezbędne składowe wektora, zachowując warunek, aby wypadkowa była równa 1.



Obciążenie ciężarem własnym zadane w ten sposób jest zupełnie niewrażliwe na wszelkie zmiany siatki i grubości elementów. Jeśli w schemacie zadano już obciążenie ciężarem własnym i ponownie wywołano planszę przyciskiem [Ciężar](#), to zamknięcie planszy przyciskiem [Usuń](#) (zmeni się napis na przycisku [Anuluj](#)) usunie to obciążenie ze schematu. Obciążenie ciężarem własnym jest symbolizowane konturową strzałką rysowaną w lewym dolnym rogu ekranu z plaketką podającą niezerowy składnik wektora.

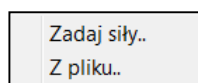
Jeśli w modelu, do obliczeń dynamicznych, założono masy skupione to będzie można je uwzględnić w obciążeniu ciężarem własnym.

Jeśli w schematach nie będzie obciążenia ciężarem własnym to przy wywołaniu obliczeń program wyświetli odpowiednie ostrzeżenie. Jeśli ciężar własny będzie wprowadzony w kilku schematach, to przy definiowaniu obwiedni - moduł WYNIKI - też będzie ostrzeżenie.

W zadaniu *Rozne\_Obc* zamieszczonym w folderze *\Przykłady\_Tarcz* będzie to pierwsze obciążenie. Z menu [Obciążenia](#) można wywołać opcję [Pokaż obciążenia](#), następnie wybrać pierwszy schemat i można zobaczyć konturową strzałkę symbolizującą obciążenie ciężarem własnym.

## 41.3. Obciążenie siłami skupionymi

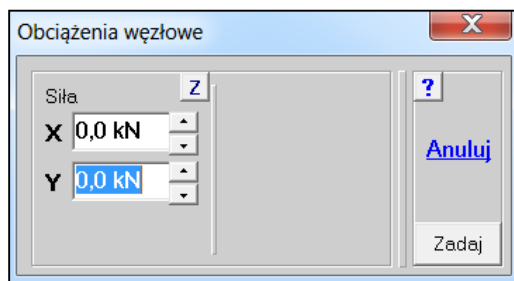
Siły skupione, które ze względu na konieczność przyłożenia ich w węzłach powinny się nazywać siłami węzłowymi, można zadawać wpisując wartości na planszy i wybierając węzły - opcja [Zadaj siły..](#) lub można je wczytać z pliku..



Po wybieraniu opcji [Zadaj siły..](#) otworzy się okno, w którym będzie można wprowadzić składowe siły o kierunku X i/lub Y. Jeśli w wybranych węzłach nie ma układów węzłowych wtedy siły będą wprowadzone w układzie głównym. Jeśli w miejscu przyłożenia będzie wprowadzony układ węzłowy to obciążenie będą wprowadzone właśnie w tym układzie.

Jeśli podczas wybierania węzłów obciążonych siłami skupionymi naciśnie się prawy przycisk myszy to w podręcznym menu pokaże się opcja [Nowa siła..](#) którą można ponownie otworzyć planszę deklarowania obciążenia węzłowego. Zadawanie sił węzłowych kończy przycisk [Zakończ](#) lub opcja [Zakończ](#) z menu podręcznego.

W zadaniu *Rozne\_obc* w drugim schemacie są zadane siły węzłowe.



Wybierając opcję Z pliku.. można otworzyć plik tekstowy z siłami. W pliku w pierwszej linii jest słowny opis, w każdym następnej linii jest:

- numer kolejny,
- numer schematu,
- współrzędne X, Y i Z punktu przyłożenia,
- składowe siły X, Y i Z,
- składowe momentów wokół X,Y i Z (w tarczy zbędne).

Plik z siłami skupionymi

Nr	Schemat	Wsp.X	Wsp.Y	Wsp.Z	Siła.X	Siła.Y	Siła.Z	Mom.Xx	Mom.Yy	Mom.Zz
1. Ciężar własny obliczeniowe										
1	1	0,9	2	0,0	0,0	-1,774	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1	1,2	2	0,0	0,0	-6,509	0,0	0,0	0,0	0,0
3	1	1,5	2	0,0	0,0	-6,407	0,0	0,0	0,0	0,0
4	1	1,8	2	0,0	0,0	-5,924	0,0	0,0	0,0	0,0
5	1	2,1	2	0,0	0,0	-5,642	0,0	0,0	0,0	0,0
6	1	2,4	2	0,0	0,0	-5,56	0,0	0,0	0,0	0,0
7	1	2,7	2	0,0	0,0	-5,642	0,0	0,0	0,0	0,0
8	1	3	2	0,0	0,0	-5,924	0,0	0,0	0,0	0,0
9	1	3,3	2	0,0	0,0	-6,407	0,0	0,0	0,0	0,0
10	1	3,6	2	0,0	0,0	-6,509	0,0	0,0	0,0	0,0
11	1	3,9	2	0,0	0,0	-1,774	0,0	0,0	0,0	0,0

Format  
☒ Zmienny    wsp. 3  
☐ Stały    siły 0

Zmiana układu wsp.  
do X 0 m  
do Y 0 m  
do Z 0 m

Typ sił skupionych  
☒ Siły węzłowe  
☐ Siły polowe

Dopasowanie  
☒ Sił do węzłów  
☐ Węzłów do sił

Sąsiedztwo nie większe od:  
0,03 m

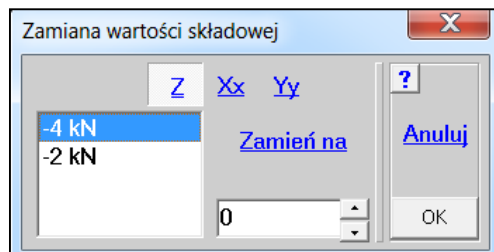
Anuluj OK

Jeśli w opisie obciążeń będą momenty, wtedy takie siły mają charakter sił węzłowych z możliwością doprowadzenia węzłów siatki do punktów przyłożenia sił lub na odwrót. Jeśli momentów nie ma, to można zdecydować, czy są to siły węzłowe czy polowych, które nie są związane z węzłami. Na planszy, która się otworzy po wczytaniu sił można jeszcze skorygować współrzędne przyłożenia obciążenia dodając odpowiednią liczbę do współrzędnej X i/lub Y. Siły w pliku mają wpisany numer schematu. Jeśli numer schematu z pliku nie zgadza się z aktualnym numerem schematu to pokaże się ostrzeżenie, ale będzie można zadać te siły. Jeśli punkt przyłożenia sił węzłowych będzie większy od zadanego sąsiedztwa to taka siła zostanie opuszczona. Podobnie przy siłach polowych. Jeśli punkt przyłożenia wyjdzie poza obszar modelu to zostanie opuszczona. Program zasygnalizuje ten fakt podając liczbę opuszczonych sił. Jeśli plik z siłami zostanie odczytany w schemacie w którym już są obciążenia skupione wtedy będzie można je dodać do istniejących sił lub zastąpić je.

Plik z siłami skupionymi można utworzyć w module WYNIKI podczas analizy reakcji. W ten sposób reakcje z jednego zadania mogą być obciążeniem w innym zadaniu.

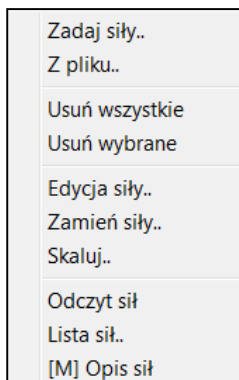
Z zadaniu Rozne\_obc w trzecim schemacie przyjęto obciążenie z pliku Siły\_1.txt wprost, natomiast w czwartym schemacie te same siły przeniesiono o 15,6 metrów. Plik Siły\_1.txt jest w folderze \Przykłady\_Tarcz.

Jeśli w schemacie będą już siły skupione to wtedy w menu będzie więcej opcji. Przy pomocy **Usuń wszystkie** będzie można usunąć wszystkie siły skupione w aktualnym schemacie. Wybierając opcję **Usuń wybrane** będzie można usunąć wskazane siły skupione. Opcja **Edycja siły..** pozwala zmienić siły w wybranych miejscach.

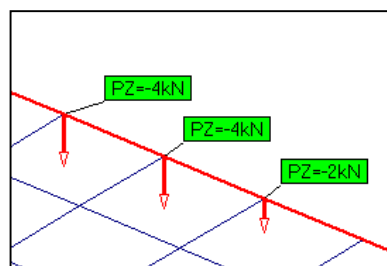


**Zamień siły..** z kolei pozwala zamienić wybraną wartość siły na inną. We wszystkich miejscach, gdzie działa siła o wskazanej wartości nastąpi zmiana.

Przy pomocy opcji **Skaluj..** można zmienić wszystkie siły skupione działające w tym schemacie.

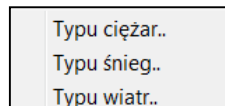


**Odczyt sił** pozwala poznać wartości obciążenia skupionego w wybranych miejscach. **Lista sił..** pozwala udokumentować siły skupione. Opcją **[M]Opis sił**, lub klawiszem <M> steruje się wyświetlaniem okienek przy siłach skupionych. Te okienka pokażą się przy wszystkich siłach skupionych.



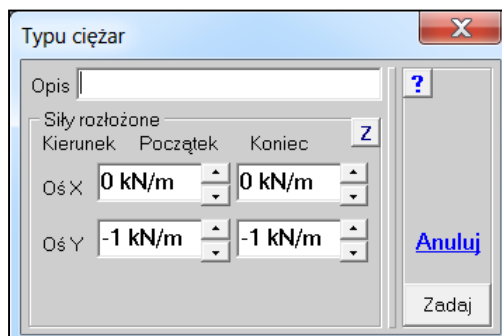
## 41.4. Obciążenie siłami liniowymi

W tarczy siły liniowe mogą mieć różny charakter. Do wyboru są siły typu ciężar, typu śnieg i typu wiatr. Przed zadaniem obciążenia należy wybrać jaki charakter ma mieć obciążenie. Siły liniowe zadaje się odcinkiem lub łukiem. Kolejne węzły muszą należeć do sąsiednich elementów. Jeśli ten warunek nie jest spełniony pokaże się komunikat błędu „Linia obciążenia z przerwami”. Jeśli po zadaniu sił liniowych będzie modyfikowana siatka przez zagęszczenie, wtedy mogą powstać przerwy w linii działania. Taka sytuacja będzie sygnalizowana przy przeglądaniu schematu z siłami liniowymi.



### 41.4.1. Siły liniowe typu Ciężar

Jeśli suma oddziaływań sił liniowych będzie proporcjonalna do długości odcinka na którym działają będą to siły typu: Ciężar. Siły liniowe w tarczy mogą mieć dwie składowe o kierunku X i Y. Obciążenia liniowe mogą być stałe na długości lub liniowo zmienne. Obciążenie zadaje się na planszy. Wprowadzając wartość w lewym okienku powoduje się, że na taką samą zmienia się prawe okno. Będzie to obciążenie stałe. Natomiast zmiana prawego okienka nie pociąga za sobą innych zmian i wtedy obciążenie będzie liniowo zmienne. Obciążenie typu Ciężar ma kolor czerwony.



Po zamknięciu okna przyciskiem **[Zadaj]** będzie można wybrać linie działania obciążenia. Zadawanie odcinków z siłami kończy przycisk **Zakończ**. Jeśli w czasie wybierania odcinków działania zostanie naciśnięty prawy przycisk myszy to opcją **Nowa siła** z podręcznego menu będzie można otworzyć planszę wartości i zmienić dane.

W zadaniu **Rozne\_obc** w piątym schemacie zadano siły liniowe stałe i zmienne.

### 41.4.2. Siły liniowe typu Śnieg

Jeśli suma oddziaływań będzie proporcjonalna do długości rzutu odcinka na którym działają będą to siły typu: Śnieg. Również ten typ obciążenia ma dwie składowe w głównym układzie współrzędnych X i Y. Identyczna jest plansza na której wprowadza się opis obciążenia. Tylko na górnym pasku będzie napis „Typu Śnieg”. Jeśli linia obciążenia będzie pozioma, a obciążenia typu Ciężar i Śnieg będą mieć tylko składnik Y to oddziaływanie ich na obiekt będzie identyczne. Różnice ujawnią się wtedy kiedy obciążone odcinki będą nachylone do poziomu.

Obciążenie typu Śnieg ma kolor fioletowy.

### 41.4.3. Siły liniowe typu Wiatr

Siły liniowe typu Wiatr są zadawane podobnie jak poprzednie do krawędzi elementu, ale są opisane w lokalnym układzie współrzędnych który będzie miał oś  $x'$  wzdłuż tej krawędzi, a oś  $y'$  będzie do niej prostopadła i skierowana do środka elementu.

Obciążenie typu Wiatr ma kolor zielony.

W zadaniu Rozne\_obc w szóstym schemacie zadano siły typu wiatr.

### 41.4.4. Menu Siły liniowe

Jeśli w aktualnym schemacie są już siły liniowe, to wybranie przycisku Siły liniowe spowoduje wyświetlenie menu obciążeń liniowych. Trzy pierwsze opcje pozwolą otworzyć planszę zadawania wartości i będzie można wprowadzić kolejne obciążenie. Opcja **Zadaj siły** wyświetla listę zdefiniowanych już obciążeń (we wszystkich schematach) i można wybrać potrzebny opis i zadać w nowym miejscu.

Opcja **Usuń wszystkie** pozwala, bez wybierania miejsc, usunąć obciążenia liniowe z aktualnego schematu. Nie są usuwane definicje obciążeń tylko informacje o miejscu ich przyłożenia. Operacja ta wymaga potwierdzenia. Opcją **Usuń wybrane** można usuwać obciążenie liniowe z wybranych miejsc. Opcja **Usuń zbędne** pojawi się wtedy, kiedy w zadaniu będą definicje obciążeń liniowych nie używane w żadnym schemacie.

Opcją **Zamień siły..** można zamienić jedne wartości na drugie, ale tylko w aktywnym schemacie. Opcja **Skaluj..** pozwala przeskalować wszystkie obciążenia liniowe z aktywnego schematu.

Opcja **Pokaż typ** wyświetla listę zdefiniowanych typów obciążeń liniowych i wybierając jedno z nich można pokazać jego definicję.

Lista **typów** pozwala pokazać typy obciążeń w formie listy.

Opcja **Odczyt liniowych** pozwala poznać samą wartość obciążenia w danym miejscu lub z podaniem odległości odcinka na którym działa. Jeśli obciążenie jest liniowo zmienne, to wartość będzie dokładnie z miejsca kliknięcia linii działania obciążenia. Taki rysunek może być wydrukowany i będzie dokumentacją przyjętych obciążeń w zadaniu.

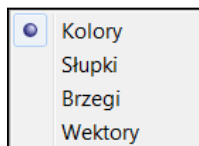
Opcja **Lista miejsc** pozwala, dla aktualnego schematu, pokazać w formie tabeli przyjęte obciążenie. Opcją **Opis sił** można sterować opisem obciążeń liniowych. W opisie będą podane wartości i długość odcinka na które dział.

## 41.5. Obciążenia warstwą

Siły rozłożone powierzchniowo są to obciążenia warstwą. Na planszy deklaruje się jednostkowy ciężar warstwy i kierunek grawitacji. Potem wybiera się elementy obciążone warstwą. Obciążenie to jest zamieniane na obciążenie węzłowe o kierunkach odpowiednich do zadanego wersora grawitacji.

Po wprowadzeniu do aktualnego schematu obciążeń powierzchniowych - warstwy, menu, jakie pokaże się po wybraniu przycisku [Warstwa](#) będzie zawierało więcej opcji. Opcja **Warstwa..** pozwoli wpisać kolejną wartość obciążenia i wybrać miejsce działania. Opcja **Jak pokazać** pozwala wybrać jedną z czterech możliwości formy prezentacji obciążeń powierzchniowych.

Domyślną formą są **Kolory**, w których każdej wartości ciśnienia odpowiada kolor. Ta forma uzupełniona jest legendą przyporządkowującą kolor wartości. Druga forma to **Słupki**. Ta forma jest czytelna, jeśli model jest pokazany w widoku z pionową osią Z. Trzecia forma to **Brzegi**. Jest przydatna, jeśli obciążenia są przyłożone do ograniczonych fragmentów płyty. Czwarta forma **Wektory** pokazuje wektory obciążenia zaczepione w środkach elementów. Przy prezentacji w formie słupków, brzegów lub wektorów opcją **Bez opisu** można sterować pokazywaniem plakietek z wartościami obciążeń.

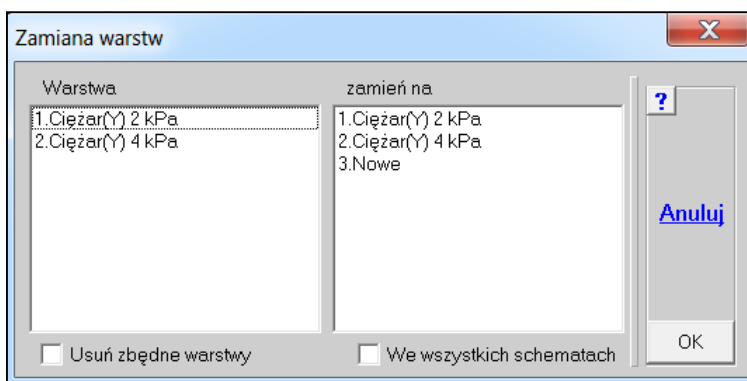
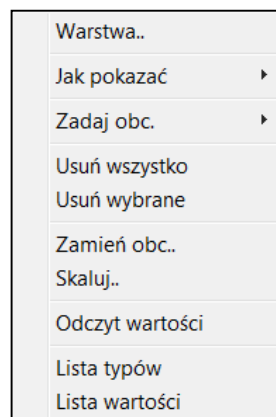
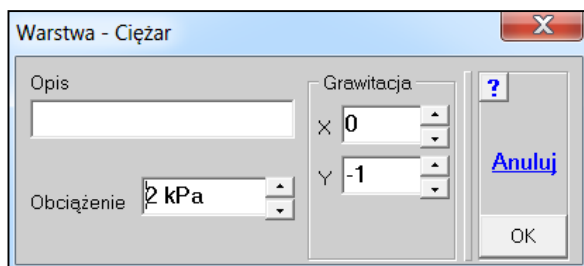


Opcja **Zadaj obc.** wyświetla listę zdefiniowanych obciążeń powierzchniowych i po wybraniu potrzebnego można zadać je w nowych miejscach. Na liście są obciążenia zdefiniowane w całym zadaniu.

Opcja **Usuń wszystko** pozwala szybko skasować obciążenia powierzchniowe w aktualnym schemacie. Opcja ta nie usuwa definicji obciążeń. Te działania wymagają potwierdzenia. Opcja **Usuń wybrane** pozwala usunąć obciążenia z wybranych elementów. Należy przypomnieć, że jeśli obciążenia mają być zmienione to wystarczy je ponownie zadać, a nie trzeba ich wcześniej usuwać.

Opcja **Zamień obc.** pozwala zmienić definicję obciążenia i zmienić jego działanie we wszystkich schematach, w których występował.

Po wybraniu tej opcji pojawi się plansza zmiany. Teraz w lewym oknie należy zaznaczyć, które obciążenie ma ulec zmianie, a w prawym zaznaczyć, na które ma się zamienić. Jeśli w modelu nie ma wymaganego obciążenia, to należy wskazać linię „Nowe”. Można wtedy wpisać nową wartość. Ponadto na planszy można włączyć warunek, aby usunąć opis zbędnych definicji warstw. Zmiana dokonana w tej planszy może dotyczyć wszystkich schematów.



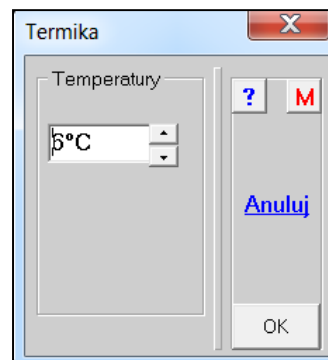
Opcja Skaluj.. pozwala przeskalować wszystkie obciążenia działające w aktywnym schemacie.

Opcja Odczyt wartości pozwala odczytać wartości obciążeń w wybranych miejscach płyty. Taki odczyt można wydrukować jako dokumentację przyjętych obciążeń. Podobnie Lista wartości pozwala w formie tabeli pokazać miejsca obciążone wraz z wartościami.

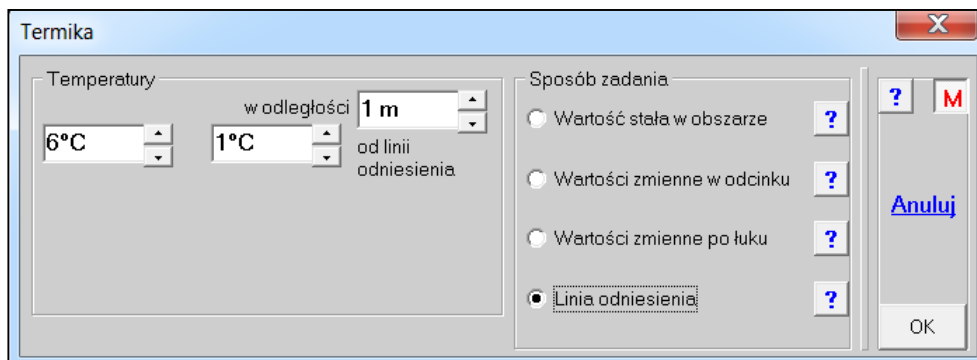
W zadaniu Różne\_Obc w siódmym schemacie zadano stałe w przeszłe obciążenie typu warstwa, ale o różnej wartości w każdym z przeszł.

## 41.6. Obciążenia termiczne

W tarczy obciążenia termiczne mogą być tylko stałe na grubości, ale mogą być zmienne w planie. Plansza z wartością początkowo pozwala zadać stałą temperaturę w wybranym obszarze. Po włączeniu przycisku [M] będzie można zadawać temperaturę zmienną liniowo. Wpisuje się wtedy wartość początkową i końcową. Przy pomocy linii odniesienia można zadawać temperaturę zmienną po płaszczyźnie całej tarczy lub wybranego fragmentu. Sposób zadawania jest identyczny jak przy zmiennej grubości.



Opcja Temperatura.. pozwoli wpisać nową wartość i wybrać nowe miejsce obciążeń termicznych. Opcja Jak pokazać pozwala wybrać formę prezentacji jako barwne mapy, słupki, brzegi i wektory.

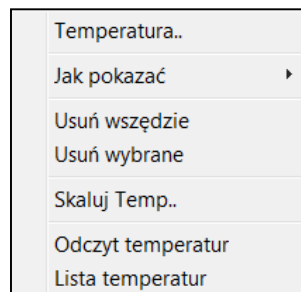


Opcja Usuń wszędzie pozwala skasować obciążenie termiczne w aktualnym schemacie. Operacja ta będzie wymagała potwierdzenia. Druga opcja Usuń wybrane pozwala usunąć obciążenie termiczne w wybranych miejscach.

Opcją Skaluj Temp.. można zmienić temperatury w tym schemacie.

Opcja Odczyt temperatur pozwala pokazać wartości obciążeń termicznych w wybranych miejscach modelu. Odczyty można wydrukować tworząc w ten sposób dokumentację przyjętych obciążeń. Podobnie Lista temperatur pozwala pokazać miejsca i wartości obciążeń termicznych w formie tabeli.

W zadaniu Różne\_Obc w ósmym schemacie zadano obciążenia termiczne wywołane temperaturą +20°C na górze tarczy i 0°C na dole tarczy.

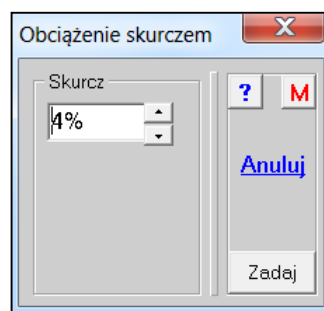




## 41.7. Obciążenia skurczem

W tarczy można założyć skurcz elementów. Skurcz zadaje się w [%] wybierając na planszy danych zmienność. Jeśli będzie wartość stała w wybranym obszarze to wystarczy jedna wartość skurczu. Jeśli zmienna w odcinku lub łuku z jednego pasma elementów to wpisuje się dwie wartości. Przy linii odniesienia podaje się wartość skurczu w zadanej odległości od linii. Sposób zadawania jest identyczny jak przy zmiennej grubości.

Za zadaniu Rozne\_obc w dziewiątym schemacie zadano stały skurcz na całą tarczę.

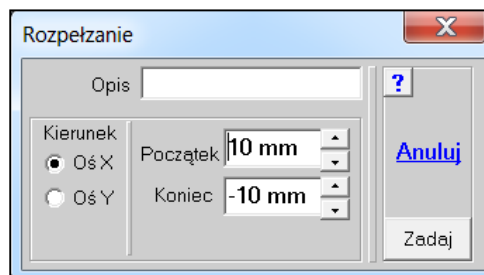
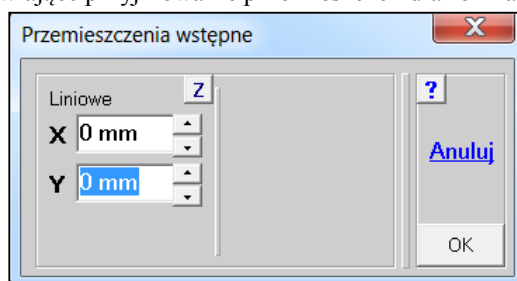
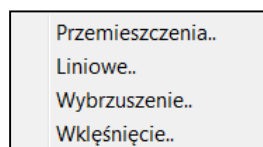


## 41.8. Obciążenia wstępnymi przemieszczeniami

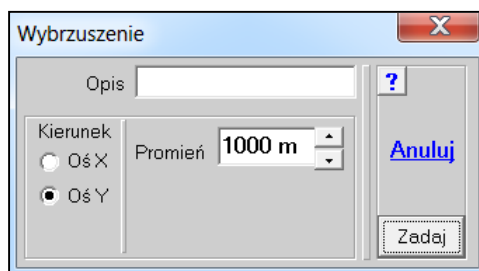
Wstępne przemieszczenia można zadać tylko w węzłach podpar-tych. Podpory w takich miejscach powinny być typu sztywne, ponieważ tylko takie gwarantują odpowiednią dokładność wymuszenia przemieszczeń. Program pozwala zadać również wstępne przemieszczenia w podporach podatnych, ale wtedy należy spodziewać się gorszej dokładności wymuszenia. Wstępne przemieszczenia można zadać w jednej lub wielu podporach. W programie przewidziano mechanizmy ułatwiające przyjmowanie przemieszczeń dla rozkładów liniowych (opcja Liniowe..) lub łukowych (opcje Wybrzuszenie.. i Wklęsnięcie..).

Wybierając opcję **Przemieszczenia..** w pierwszej kolejności należy wybrać węzły, w których będą zadane wstępne przemieszczenia. Po wybraniu węzłów pokaże się plansza, na której będzie można wpisać wartości wstępnych przemieszczeń. Składowe możliwe do wpisania będą zależały od liczby składowych podporowych w wybranych węzłach. Wartości wprowadzone na planszy zostaną przyjęte we wszystkich wybranych podporach.

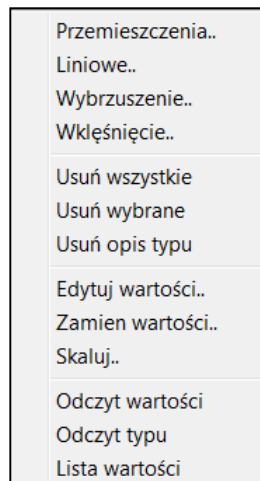
Po wyborze opcji **Liniowe..** w pierwszej kolejności pokaże się plansza definicji przemieszczenia. Tym razem przemieszczenie będzie mogło zmieniać się liniowo od wartości początkowej do końcowej. W tarczy będzie można wybrać kierunek X lub Y. Po zadaniu wartości i zamknięciu planszy przyciskiem [Zadaj] należy wybrać węzły podparte. Węzły wybiera się sposobem **Odcinek**.



Po wyborze opcji **Wybrzuszenie..** lub **Wklęsnięcie..** pokaże się plansza definicji rozkładu przemieszczeń wstępnych. Na planszy zadaje się promień krzywizny. W tarczy można wybrać kierunek przemieszczeń. Po zadaniu wartości i zamknięciu planszy przyciskiem [Zadaj] należy wybrać węzły podparte. Węzły wybiera się sposobem **Odcinek**. Po wybraniu węzłów zostają obliczone wstępne przemieszczenia podpór tak, aby był zachowany warunek wypukłości lub wklęsnięcia.



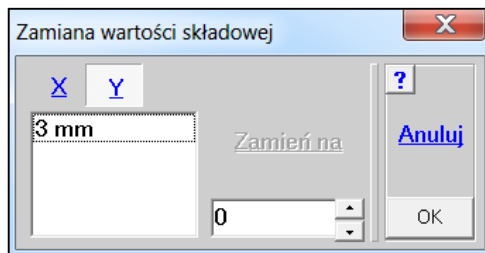
Po wprowadzeniu w aktualnym schemacie przemieszczeń wstępnych liczba opcji menu **Przemiesz.** ulega zwiększeniu. Opcja **Usuń wszystkie** pozwala skasować wszystkie wstępne przemieszczenia w aktualnym schemacie. Operacja ta wymaga potwierdzenia. Opcja **Usuń wybrane** pozwala usunąć wstępne przemieszczenia w wybranych podporach. Opcja **Usuń opis typu** pozwala usunąć opisy typów przemieszczeń wstępnych. Pozostaną tylko wartości przemieszczeń, ale nie będą znane wstępne założenia np. promień krzywizny przy wybrzuszeniu lub wklęsnięciu. Opcja **Edytuj wartości..** pozwala odczytać wartości wstępnych przemieszczeń w wybranej podporze, pokazać je na planszy takiej samej jak przy opcji **Przemieszczenia..** i można zmienić jej wartości.



Opcja **Zamień wartości..** pozwala zamienić wybraną wartość wybranej składowej na inną wartość. Zmiana dotyczyć będzie wszystkich miejsc, w których jest takie przemieszczenie, oczywiście tylko w aktywnym schemacie. Najpierw wybiera się składową **X** lub **Y**. Po wybraniu w oknie pokażą się wszystkie wartości wybranej składowej. Należy teraz wybrać odpowiednią linię, wpisać w prawym oknie nową wartość i nacisnąć **Zamień na**.

Opcją **Skaluj..** można przeskalować wprowadzone przemieszczenia.

Opcja **Odczyt wartości** pozwala poznać zadaną wartość wstępnego przemieszczenia. Taki rysunek może być wydrukowany jako dokumentacja przyjętych obciążeń. Jeśli przemieszczenia wstępne są wprowadzone jako Liniowe, Wypukłość lub Wklęsłość to można odczytać dane na podstawie, których obliczono to przemieszczenie – opcja **Odczyt typu**. Opcja **Lista wartości** pozwala pokazać w formie tabelarycznej wartości przemieszczeń wstępnych i numery węzłów, w których one występują.



W zadaniu **Rozne\_Obc** w dziesiątym schemacie zadano podniesienie środkowej podpory o 3 mm.



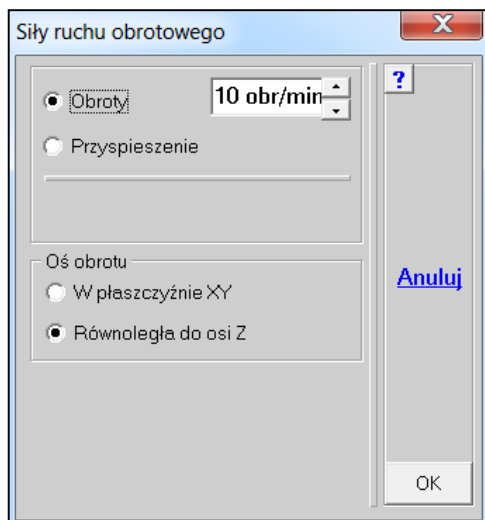
## 41.9. Obciążenia dynamiczne

W modelu tarczowym obciążeniami dynamicznymi mogą być siły bezwładności wywołane obrotem (siły odśrodkowe), jak i przyspieszeniem kątowym ruchu obrotowego. W przypadku sił odśrodkowych oś obrotu może leżeć w płaszczyźnie modelu lub będzie do niego prostopadła. Dla przyspieszeń kątowych oś obrotu może być tylko prostopadła do płaszczyzny modelu, czyli równoległa do osi Z. Takie obciążenie musi wystąpić samodzielnie, ponieważ program oblicza siły węzłowe będące siłami bezwładności mas skupionych w węzłach. Masy te powstają ze skupienia w węzłach mas rozłożonych elementów.

Po wybraniu przycisku [Obroty](#) pokaże się plansza, na której będzie wybrać rodzaj przyczyny i ewentualnie kierunek osi obrotu. Następnie należy wybrać oś obrotu. Punkty kierunkowe osi obrotu mogą być węzłami modelu lub mogą mieć wpisane jawnie współrzędne. Po wybraniu osi obrotu program obliczy siły bezwładności i pokaże je w formie zwykłych obciążeń węzłowych. Obciążenia dynamiczne są niewrażliwe na modyfikację siatki, zatem po zadaniu takiego obciążenia można siatkę dowolnie modyfikować.

W zadaniu *Rozne\_Obc* w jedenastym schemacie są obciążenia dynamiczne wynikające z obrotu wokół osi zgodnej z główną osią Y.

Edycja schematu z obciążeniami od ruchu obrotowego pokaże menu z którego można wybrać opcję do zadania nowego obciążenia, można zupełnie usunąć obroty i można pokazać przyjęte dane.



Zadaj nowe  
Usuń obroty  
Pokaż dane

## 41.10. Menu Obciążenia

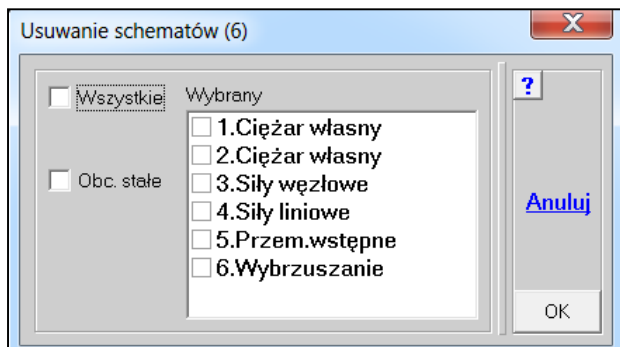
Po zadaniu przynajmniej jednego schematu po kliknięciu w przycisk [Obciążenia](#) pojawi się menu.

Opcją [Nowy schemat](#) można zadać kolejny zestaw obciążeń. Opcja [Edycja starego](#) pozwoli wybrać jeden z wcześniej wprowadzonych schematów i umożliwić jego zmianę. W edytowanym schemacie nie będzie przycisku [Nowy](#), za to może pokazać się czerwony przycisk [Struktura](#). Przycisk ten pokaże się przy włączonym pełnym zakresie możliwości menu.

Jego działanie będzie omówione w rozdziale z opisem zadań o zmiennej strukturze.

Jeśli jakiś schemat ma zostać zupełnie usunięty należy wywołać opcję [Usuń schematy](#).

Po kliknięciu w opcję [Usuń schematy](#) pokaże się plansza z listą schematów zadania. Na liście można wskazać,



Nowy schemat  
Edycja starego  
Usuń schematy  
Rozłóż obciążenie  
Obciążenia z pliku  
Obc. ruchome  
Lista sum sił  
Pokaż obciążenia

które schematy mają zostać usunięte. Włącznikiem „Wszystkie” można zaznaczyć całą listę. Jeśli w zadaniu zdefiniowano już atrybuty schematów można je wykorzystać do wybiórczego zaznaczania schematów np. tylko zmiennych. Po naciśnięciu przycisku [OK] pojawi się pytanie o potwierdzenie tej operacji i schematy zostaną usunięte. Jeśli usuwane są wybrane schematy to definicje obciążeń zostają w zadaniu. Jeśli są wsuwane wszystkie schematy to również znikają definicje obciążeń.

Opcja **Rozłóż obciążenia** pokaże się tylko wtedy, kiedy w którymś schemacie zadano obciążenia liniowe. Pozwala ona na wybranie takiego schematu i rozłożeniu go szeregu schematów zmiennych. Operacja ta będzie szczegółowo opisana w następnym rozdziale.

Opcja **Obciążenia z pliku** pozwala zadać obciążenia np.: ruchome dla dowolnych torów jazdy. Mogą to być też obciążenia od sprzężenia. Opcja **Obc.ruchome** ma generatory obciążeń drogowych, kolejowych i Dowolnych, np.: suwnic. Będą opisywane szczegółowo w kolejnym rozdziale.

Lista sum sił wyświetla tabelaryczne zestawienie sum sił zadanych w kolejnych schematach. Jeśli w jakimś schemacie zadano tylko obciążenia nie mechaniczne to suma sił będzie zerowa. Listę można wydrukować i umieścić w dokumentacji obliczeń.

Nr	Z[kN]	Xx[kNm]	Yy[kNm]	Opis
1	-45	0	0	Ciężar własny
2	0	0	0	Ciężar własny
3	-10	0	0	Siły węzłowe
4	-13,14	0	0	Siły liniowe
5	0	0	0	Przem.wstępne
6	0	0	0	Wybrzuszenie

[Drukuj](#)  
[Zapisz](#)  
[Schowek](#)  
 OK

Opcja **Pokaż obciążenia** pozwala włączyć tryb przeglądania zadanych schematów. W pierwszym kroku wybiera się schemat, który ma być pokazany jako pierwszy. Dla pokazywanych schematów

podawane są sumy sił. Menu pokazywanego schematu jest ograniczone tylko do obciążeń, które są w nim zadane. Opcje obciążeń są też ograniczone tylko do opcji odczytu i list. Jedynym parametrem, który może być zmieniany w czasie przeglądania schematów jest słowny opis. Schematy mogą być pokazywane sekwencyjnie, zmieniane przyciskiem z trójkątami, jaki pojawi się w tym trybie obok numeru schematu (w prawym górnym rogu ekranu) lub klawiszem [W]. W menu przeglądanego schematu będzie zielony przycisk **Zmień obc.**, którym można przejść do trybu edycji aktualnego schematu. Przejście do trybu edycji kończy przeglądanie schematów. Po włączeniu przycisku **Zmień obc.** pokażą się przyciski wszystkich typów obciążeń, a w ich opcjach pokażą się wszystkie pozycje. Jeśli jest włączony pełny zakres obciążeń - przycisk [M] to zamiast przycisku **Zmień obc.** pokaże się czerwony przycisk **Struktura**. Jego działanie będzie opisane w osobnym rozdziale.

## 41.11. Rozkładanie obciążenia

Program ABC pozwala półautomatycznie rozłożyć obciążenia ciągłe na obciążenia zmienne. Jeśli wprowadzono schematy z obciążeniami liniowymi, to każde z nich będzie mogło być rozłożone na pola, tak, aby powstały schematy obciążeń zmiennych.

Po wybraniu przycisku **Obciążenia** pokaże się menu, w którym opcja **Rozłóż obciążenie** wyświetli listę tylko tych schematów, w których jest obciążenie powierzchniowe. Po wybraniu schematu do rozłożenia program narysuje działające w nim obciążenia i będzie można wybierać pola z obciążeniami działającymi jako schematy zmienne. Po

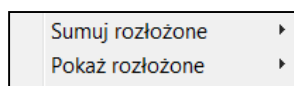
- ☒ Następny schemat
- ☐ Ten sam schemat
- ☒ Wybór oknem
- ☐ Odcinkiem
- ☐ Linią łamaną
- ☐ Łukiem
- ☐ Wielokątem
- ☐ Odchyłka..
- ☐ Zakończ

każdym wyborze na ekranie pokaże się podręczne menu, w którym będzie można zdecydować czy jest to **Następny schemat**, czy obszar przyporządkowany ostatnio wybranemu schematowi (opcja **Ten sam schemat**). Wybranie opcji **Ten sam schemat** pozwoli zadać obciążenia w tradycyjną szachownicę. Należy podkreślić, że przy braku ograniczenia na liczbę schematów lepiej każdy obszar wprowadzić do osobnego schematu. Ponadto w menu będzie można zmienić sposób wyboru kolejnego obszaru.

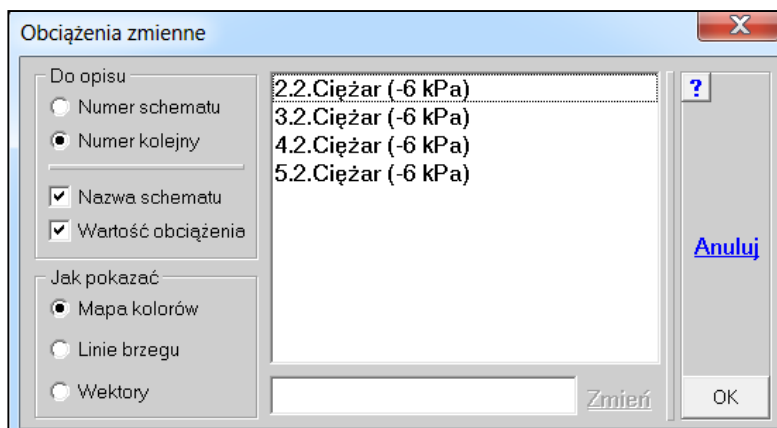
Wybrane pole zostanie obwiedzione brzegiem i w jego środku pokaże się numer kolejny. Rozkładanie obciążenia kończy przycisk [Zakończ](#) lub opcja **Zakończ** z podręcznego menu. Program sprawdzi czy wszystkie obciążone elementy z bazowego schematu zostały przydzielone do schematów zmiennych i jeśli zostaną jakieś to program utworzy jeszcze jeden schemat zmienny.

Przeglądając teraz schematy można zauważyć, że liczba schematów wzrosła. Schematy zmienne będą numerowane dwuczłonowo. Pierwszy człon to będzie numer schematu pierwotnego, a drugi numer schematu rozłożonego. Schematy zmienne można przeglądać i ewentualnie edytować. Jednak w tym ostatnim przypadku można utracić możliwość automatycznego sumowania ich z powrotem.

Po rozłożeniu obciążeń zmiennych w menu [Obciążenia](#) pojawi się opcja **Sumuj rozłożone**, która z powrotem połączy schematy zmienne w jeden schemat stały. Po połączeniu program od razu przejdzie do edycji tego schematu. W



menu pojawi się też opcja **Pokaż rozłożone**, która pozwala pokazać na jednym rysunku granice obszarów przyjętych w kolejnych schematach. Taki rysunek może być uzupełniony opisem, którego strukturę można ustalić na planszy. Ponadto można ustalić, w jakiej formie będą pokazywane obciążenia zmienne. W dużym oknie planszy wyświetlana



jest lista opisów schematów zmiennych. Wskazując wybraną linię można w dolnym oknie wprowadzić nowy opis i przyciskiem [Zmień](#) zamienić opis wybranego schematu. Wprowadzone tutaj nowe opisy będą pamiętane w danych zadania.

Po zamknięciu planszy przyciskiem [OK] będzie można wybrać miejsca, w których mają być umieszczone plakietki z opisem. Po wprowadzeniu opisów do wszystkich obszarów można sporządzić rysunek rozkładu obciążeń zmiennych i wprowadzić go do dokumentacji obliczeń.

## 41.12. Obciążenia z pliku

Opcją Obciążenia z pliku.. można wprowadzić do modelu obciążenia polowe, czyli siły skupione nie przywiązane do węzłów. W odróżnieniu od sił z pliku wczytywanych opcją z menu [Sił skupionych](#) w tym przypadku będą obowiązywały numery schematów. Po wybraniu opcji Obciążenia z pliku można najpierw go odszukać na dysku, a następnie odczytać. Wyświetli się plansza podobna do tej z rozdziału 42.3 ale nie zawierająca momentów. Numery schematów mogą być zmienione, tak aby najniższy z obciążeń z pliku był równy kolejnemu w modelu.

Nr	Schemat	Wsp.X	Wsp.Y	Wsp.Z	Siła X	Siła Y	Siła Z
1. Ciężar własny obliczeniowe							
1	2	1,2	0,0	0,0	0,0	0	-1,774
2	3	1,2	0,3	0,0	0,0	0	-6,509
3	4	1,2	0,6	0,0	0,0	0	-6,407
4	5	1,2	0,9	0,0	0,0	0	-5,924
5	6	1,2	1,2	0,0	0,0	0	-5,642
6	7	1,5	1,5	0,0	0,0	0	-5,56
7	8	1,8	1,8	0,0	0,0	0	-5,642
8	9	2,1	2,1	0,0	0,0	0	-5,924
9	10	2,4	2,4	0,0	0,0	0	-6,407
10	11	2,7	2,7	0,0	0,0	0	-6,509
11	12	3	3	0,0	0,0	0	-1,774

Format: ☒ Zmienny (wsp. 3, siły 0) ☐ Stały

Zmiana układu wsp.: do X 0 m, do Y 0 m, do Z 0 m

Typ sił skupionych: ☒ Siły polowe

Sąsiedztwo nie większe od: 0,03 m

Anuluj, OK

Można przeskalować współrzędne dodając wartości wpisane w oknach i ewentualnie zmienić promień sąsiedztwa. Program sprawdzi, czy siły nie wychodzą poza model i jeśli będzie taka sytuacja poinformuje ile takich sił wypadło. Po kliknięciu w przycisk [OK] zostaną utworzone nowe schematy i program poinformuje ile ich doszło. Każdy taki schemat zostanie nazwany siły pozawęzłowe.

Wywołując edycję takiego schematu otrzyma się przycisk [Siły polowe](#), którym można wywołać następujące działania.

Opcją **Dodaj siłę..** można wpisać kolejną siłę polową. Na planszy definicji siły polowej zadaje się wartość obciążenia Z i współrzędne punktu przyłożenia. Opcją **Z pliku..** można odczytać kolejny plik z siłami i wymienić obciążenie w tym schemacie lub dodać do istniejącego układu obciążenia. Opcją **Edytuj siłę..** można zmienić dane o wybranej siłę polowej. Opcją **Usuń wybrane** można usunąć wskazane siły z tego schematu. Opcje **Odczyt sił** i **Lista sił** działają standardowo.

**Jeśli siły z pliku modelują obciążenie ruchome należy im zadać atrybut Warunkowe.**

W zadaniu **Siły Z Pliku** znajdującym się w folderze \Przykłady\_Tarcz zadano siły odczytane z pliku **Siły\_2.txt**. Ten Plik też jest w tym folderze.

Dodaj siłę..  
Z pliku..  
Edytuj siłę..  
Usuń wybrane  
Odczyt sił  
Lista sił

Siła polowa

Siła: Pionowa 10 kN

Punkt: X 0 m, Y 0 m

Anuluj, OK

## 41.13. Obciążenia ruchome

Program ABC pozwala wprowadzić następujące obciążenia ruchome:

- Drogowe,
- Kolejowe,
- Dowolne.

Dwa pierwsze typy obciążenia są zdefiniowane normowo i wystarczy wybrać odpowiedni rodzaj pojazdu, klasę mostu/obciążenia i wskazać tor jazdy. W opcji **Dowolne..** użytkownik sam definiuje układ obciążenia, może go zachować dla innych zadań lub może skorzystać z wcześniej zdefiniowanych obciążeń.

W każdym przypadku siły ruchome opisane są we własnym układzie współrzędnych, w którym oś  $X_r$  jest skierowana wzdłuż toru jazdy, jeśli tor jest prostoliniowy lub jest do niego styczna, jeśli tor jest łukowy, oś  $Y_r$  leży w płaszczyźnie płyty i jest skierowana w lewo od kierunku jazdy, a oś  $Z_r$  jest pionowa zgodna z osią  $Z$  układu opisowego. Ujemne w układzie globalnym, siły pionowe mają znak (+). Pierwsze położenie obciążenia ruchomego jest przyjmowane w taki sposób, aby skrajne siły zaczynały najazd na płytę w miejscu rozpoczęcia toru jazdy. Ostatnie położenie obciążenia ruchomego jest tak przyjmowane, aby drugie skrajne siły opuszczały płytę w miejscu gdzie kończy się tor jazdy. Kolejne położenia obciążenia ruchomego są tak przyjmowane, aby odległość między nimi nie była większa od zadanego kroku. Krok przesunięcia obciążenia ruchomego jest stały dla całego przejazdu. Schematy obciążeń ruchomych otrzymują automatycznie atrybut obciążeń wzajemnie się wykluczających.

### 41.13.1. Obciążenia drogowe

Po wybraniu opcji **Drogowe** pokaże się plansza wyboru i definicji obciążeń drogowych. Do wyboru są obciążenia ruchome wywołane pojazdem typu K, typu S, ciągnikiem NA-TO klasy 100 i klasy 150 oraz tramwajami. Dla dwóch pierwszych pojazdów należy jeszcze wybrać klasę obciążenia. Każde obciążenie może otrzymać własny opis, mnożnik obciążenia i współczynnik dynamiczny. Można też uwzględnić poziome siły hamowania jako procent sił pionowych.

Na planszy definiuje się maksymalną długość kroku pomiędzy kolejnymi położeniami układu sił ruchomych. W tarczy można wybrać tylko prosty tor jazdy. Po naciśnięciu przycisku [OK] program przechodzi do wyboru toru jazdy. Tor prosty zdefiniowany jest dwoma węzłami siatki lub punktami, których współrzędne zadaje się. Po wybraniu toru jazdy w zadaniu pojawią się schematy, które można przeglądać wybierając przycisk [Obciążenia](#), a następnie [Pokaż obciążenia](#).

W folderze \Przykłady\_Tarcz jest zadanie Ruch\_Drogowe ilustrujące ten typ obciążenia ruchomego.

### 41.13.2. Obciążenia kolejowe

Obciążenia Kolejowe generują schematy odpowiadające przejazdowi lokomotywy oraz odpowiadające przetaczanym wagonom. Te pierwsze tworzą układ schematów wzajemnie wykluczających się, a te drugie obciążenia zmienne. Ponieważ w miejscu gdzie jest lokomotywa nie ma wagonów, a przy analizie obwiedniowej będą one przyjmowane, stąd też **obciążenia odpowiadające naciskom kół lokomotywy są pomniejszane o obciążenia wagonowe**.

Na planszy wybiera się klasę obciążenia, ustala nacisk na os lokomotywy i obciążenie wagonami. Podpowiadane są wartości normowe, ale można wprowadzić dowolne. Ponadto zadaje się mnożnik obciążenia i współczynnik dynamiczny i ewentualnie siły hamowania Dla przejazdu lokomotywy wprowadza się długość kroku, a dla obciążeń wagonami długość przęsa (odległość między poprzecznicami).

Po naciśnięciu przycisku [OK] program przechodzi do wyboru toru jazdy. Dla obciążeń kolejowych zadaje się tylko tory proste i w zadaniu można przyjąć tylko jeden przejazd. Po wybraniu toru jazdy w zadaniu pojawią się schematy, które można przeglądać wybierając przycisk Obciążenia, a następnie Pokaż obciążenia.

W folderze \Przykłady\_Tarcz jest zadanie Ruch\_Kolejowe ilustrujące ten typ obciążenia ruchomego.

### 41.13.3. Obciążenia dowolne

Obciążenia ruchome Dowolne definiuje się przyjmując wartości sił i współrzędne punktów działania we własnym układzie  $X_r$ ,  $Y_r$  i  $Z_r$ . Oś  $X_r$  tego układu skierowana jest zgodnie z kierunkiem ruchu, pokrywa się z prostoliniowym torem jazdy i jest styczna do toru łukowego. Oś  $Z_r$  jest pionowa i skierowana zgodnie z osią  $Z$  układu opisowego zadania. Oś  $Y_r$  jest pozioma i jest skierowana w lewo od kierunku ruchu. Wartości obciążenia i współrzędne punktów przyłożenia wprowadza się w górnych oknach planszy, następnie przyciskiem Dodaj siłę wprowadza się do dużego okna listy. Po zaznaczeniu wybranej linii można siłę tam opisaną usunąć z zestawu sił ruchomych – przycisk Usuń siłę lub klawisz Delete. Przyciskiem Zapisz układ sił ruchomych można zapisać do pliku. Nazwę tego pliku oraz miejsce lokalizacji zadaje się w standardowym oknie zapisu systemu Windows. Pliki z obciążeniem ruchomym mają rozszerzenie .DRU. Przyciskiem Czytaj takie pliki można odczytać, ewentualnie zmodyfikować i zastosować w nowym zadaniu. W oknach Mnożnik obciążenia i Wsp. dynamiczny wprowadza się odpowiednie wartości, w oknie Długość kroku wprowadza się odległość między kolejnymi położeniami, a po ustaleniu czy tor jazdy będzie Prosty czy Łukowy można przyciskiem [OK] zamknąć planszę i przystąpić do wybierania punktów kierunkowych toru jazdy.



Jeśli w menu sił ruchomych zostanie wybrana opcja **Nowy tor jazdy** na planszy w polu **Tor jazdy** pojawi się włącznik **Ten sam pojazd**, którym będzie można zdecydować czy będzie to nowy tor tego samego pojazdu (ta sama grupa wykluczenia) czy inny pojazd, który będzie miał inny numer grupy wykluczenia. Ponadto przy następnym torze jazdy nie będzie można zmieniać parametrów opisujących układ sił ruchomych. Na planszy będzie można tylko zmienić wielkość kroku oraz zdecydować o kształcie toru jazdy.

**Obciążenie ruchome definiowane**
X

**Składowe obciążenia i wsp.punktu przyłożenia**

	Siła pionowa	w kierunku	prostokąta	Wsp. Xr	Wsp. Yr
	20 kN	0 kN	0 kN	1,5 m	0 m
1.	10	2	0,0	0,0	0,0
2.	20	4	0,0	1,5	0,0

Opis

Mnożnik obciążenia 1,2

Wsp. dynamiczny 1,5

☒ Siły hamowania 20%

Długość kroku 2 m

Odchyłka wyboru 0,03 m

Tor jazdy

☒ Prosty

[Dodaj siłę](#)   [Usuń siłę](#)   [Zapisz](#)   [Czytaj](#)

[Anuluj](#)

OK

Po zadaniu obciążenia ruchomego liczba opcji w menu [Obciążenia](#) ulega zmianie. Opcją **Pokaż tory jazdy** można pokazać przyjęte linie przejazdu, opcją **Opis ruchomego** można pokazać planszę z opisem przyjętego obciążenia. Opcja **Nowy tor jazdy** będzie dostępna tylko dla obciążeń drogowych i dowolnych. Pozwala zadać kolejny tor jazdy tego samego lub innego pojazdu. Opcja **Usuń ruchome** pozwala usunąć definicje obciążeń ruchomych, tory jazdy i schematy związane z tym obciążeniem. Samo usuwanie schematów wynikających z obciążeń ruchomych przeprowadzone w opcji **Usuń schematy** jest postępowaniem błędnym, ponieważ nie usuwa definicji sił ruchomych. A bez usunięcia definicji nie można zadać innych typów obciążeń ruchomych. W jednym zadaniu można przyjąć tylko jeden typ obciążeń ruchomych.

Edytując taki schemat na liście przycisków będzie [Ruchome](#). Klikając w ten przycisk otrzyma się identyczne menu jak opisane w rozdziale 42.12.

W folderze \Przykłady\_Plyt jest zadanie **Ruch\_Dowolne**, w którym zadano obciążenia ruchome. Warto zwrócić uwagę na to zadanie ponieważ obciążenie ruchome nie zjeżdża z modelu. Osiągnięto przez odpowiedni wybór punktów początku i końca toru jazdy. W ten sposób można uwzględnić skrajne położenia suwnicy.

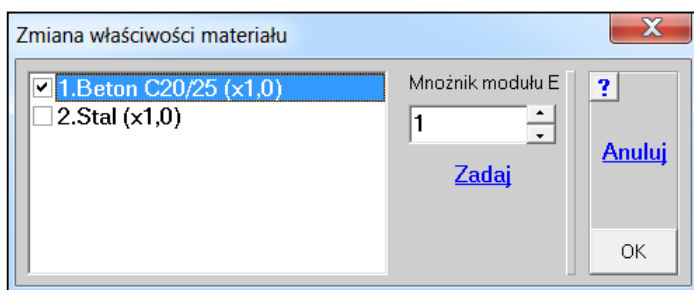
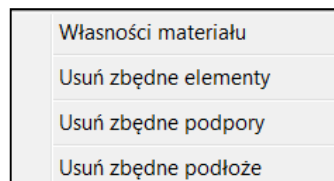
- Pokaż tory jazdy
  - Opis obc.ruchom.. ▶
  - Nowy tor jazdy ▶
  - Usuń ruchome

## 41.14. Zmienna struktura

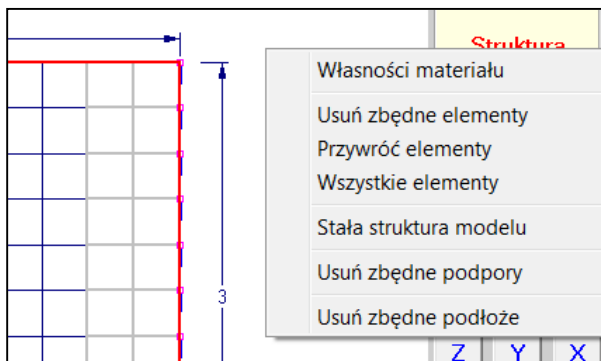
Program ABC Tarcza pozwala w każdym schemacie wprowadzić inną geometrię i inny sposób podparcia modelu. Tutaj zostanie omówiony tylko zmienny układ podporowy. W podobny sposób można modyfikować geometrię obiektu. Jeśli w modelu jest podłoże, można również to podparcie zmieniać w różnych schematach.

Po zadaniu obciążeń można powtórnie wywołać dany schemat wybierając z menu **Obciążenia** opcję **Edycja starego** i numer odpowiedniego schematu. Na planszy z typami obciążeń po włączeniu przycisku **[M]** pojawi się czerwony przycisk **Struktura**. Przy pierwszym wywołaniu w menu będą tylko opcje: **Własności materiału**, **Usuń zbędne elementy**, **Usuń zbędne podpory** i **Usuń zbędne podłoże**. Dwie ostatnie opcje pojawią się tylko po wprowadzeniu odpowiedniego typu podparcia.

Wybierając opcję **Własności materiału** można zmienić moduł sprężystości wybranych materiałów, tylko w tym schemacie.

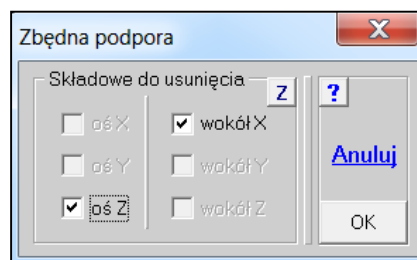


Po wybraniu opcji **Usuń zbędne elementy** będzie można wybrać elementy, które nie będą uwzględniane w tym schemacie. Takie elementy będą pokazywane szarą linią. Ponowne wybranie przycisku **Struktura**, pokaże nowe opcje. Będzie można przywrócić wybrane elementy, wszystkie elementy w tym schemacie lub w ogóle zrezygnować ze zmiennej struktury.



Po wybraniu opcji **Usuń zbędne podpory** będzie można wybrać miejsca podparte. Jeśli podpory będą miały więcej składowych to będzie można określić, które z nich mają być wyłączone w danym schemacie. Po wybraniu wyłączonych podpór, będzie można przywrócić w tym schemacie wskazane lub wszystkie podpory. Również będzie można zrezygnować zupełnie ze zmiennej struktury.

Jeśli w modelu będzie podłoże to może być opcja **Usuń zbędne podłoże**. Działa podobnie jak w przypadku podpór, tylko nie trzeba określać składników podłoża. Wystarczy wybrać miejsce. Również będzie można przywracać w tym schemacie wybrane lub wszystkie elementy z podłożem. Również będzie można zrezygnować zupełnie ze zmiennej struktury.





Założenie zmiennego układu podporowego powoduje, że na planszy **Obliczenia** pokaże się włącznik **Zmienna struktura**. Będzie on aktywny, ale można go wyłączyć i wtedy obliczenia zostaną przeprowadzone tak, jakby we wszystkich schematach był ten sam układ podpór.

The screenshot shows a software window titled "Obliczenia". It contains several settings for calculations. Under "Rodzaj", the "Statyka liniowa" option is selected. The "Optymalizacja" section displays frequency ranges. The "Zmienna struktura" checkbox is checked, indicating that variable support structures are being used. There are buttons for "Anuluj" and "Licz".

Należy pamiętać, że rozwiązanie układu ze zmienną strukturą powoduje, że dla każdego schematu jest układana macierz sztywności i prowadzone jest osobne rozwiązanie, co może znacznie wydłużyć czas obliczeń.

W folderze \Przykłady\_Tarcz jest zadanie **Zmienne\_Podpory**, w którym przyjęto pięć jednokowych schematów zakładając w nich ciągłe obciążenie ciężarem własnym. Ale w każdym schemacie wprowadzono inny układ podporowy, dzięki czemu otrzymano cztery różne rozwiązania.

## C 42. Masy skupione

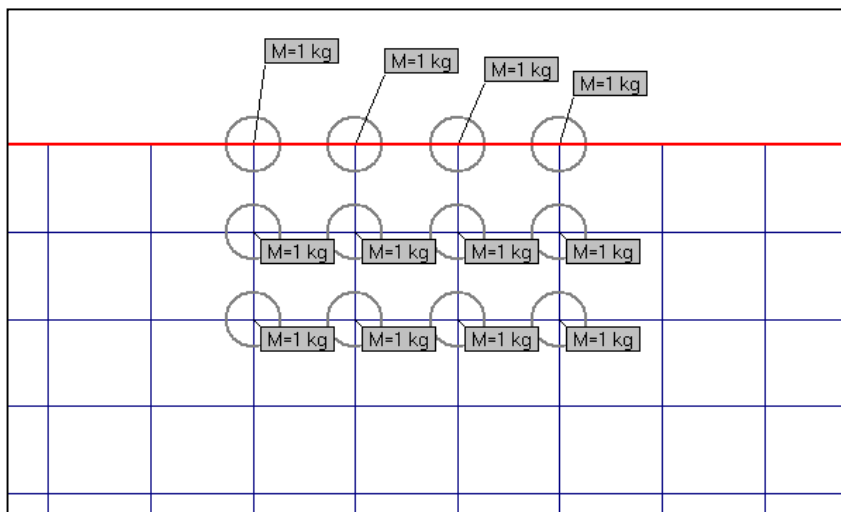
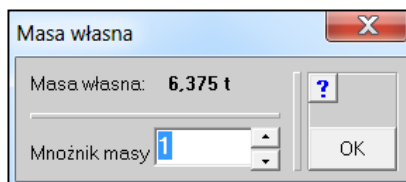
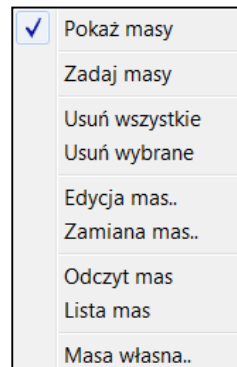
W obliczeniach dynamicznych można uwzględnić masy skupione. Masy te mogą też wchodzić do obciążenia ciężarem własnym, ale trzeba to specjalnie zadeklarować. Masy wprowadzane są w [kg] i można je zadać w dowolnym węźle siatki. Jeśli masy są już w modelu, to menu [Masy](#) jest takie jak na rysunku obok.

Opcję **Pokaż masy** można wyłączać pokazywanie mas skupionych. Ta opcja dubluje podobną znajdującą się w menu [Pokaż](#). Opcję **Zadaj masy** najpierw wywołuje się planszę, gdzie można wpisać wielkość masy, a następnie należy wybrać odpowiedni węzeł. Masy na ekranie są zaznaczane kółkami o średnicy proporcjonalnej do wielkości masy.

Opcję **Usuń wszystkie** można usunąć z modelu wszystkie masy. Operacja ta wymaga potwierdzenia. Druga opcja **Usuń wybrane** pozwala usuwać wybrane masy. Jeśli w modelu mają być masy o innej wielkości, ale w tych samych miejscach to nie trzeba ich usuwać. Wystarczy wybrać opcję **Edycja mas..** lub **Zamiana mas.** Ta ostatnia pozwala grupowo zamienić jedne wartości na inne.

Opcja **Odczyt mas** pozwala odczytać wielkości wprowadzonych mas. Taki rysunek może być wydrukowany jako dokumentacja modelu. Podobnie dokumentacją może być **Lista mas**, która w formie tabelarycznej podaje numer węzła i wielkość masy.

Opcja **Masa własna** pozwala skorygować masę własną tarczy o takie masy, które w statyce modeluje się obciążeniami rozłożonymi powierzchniowo np. wykładziny. Mają one wpływ na masę, ale nie mają wpływu na sztywność. Po wybraniu tej opcji pokaże się plansza, z której można odczytać masę modelu oraz wprowadzić mnożnik zwiększający masę własną modelu.



## C 43. Obliczenia liniowe

Po zdefiniowaniu geometrii tarczy, sposobu jej podparcia i obciążenia można wybrać przycisk [Obliczenia](#). Jeśli przycisk **[M]** jest wyłączony to będzie od razu wywołany moduł obliczeniowy i zostaną przeprowadzone obliczenia liniowej statyki. Inaczej wygląda sprawa, kiedy przycisk **[M]** jest włączony. Wtedy po kliknięciu w przycisk [Obliczenia](#) pojawi się plansza, na której można wprowadzić szereg ustaleń. W polu „Rodzaj” można wybrać „Statyka liniowa” lub „Częstości drgań własnych”. Jeśli w modelu wprowadzono jakieś cechy nieliniowe to pojawi się jeszcze możliwość „Statyka nieliniowa”.

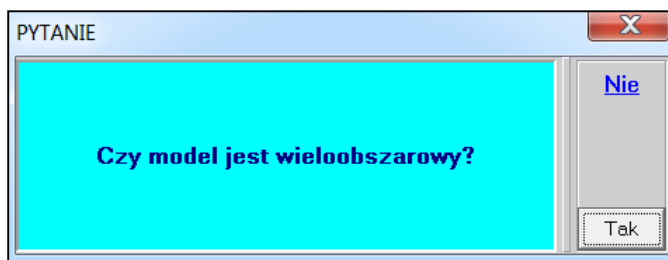
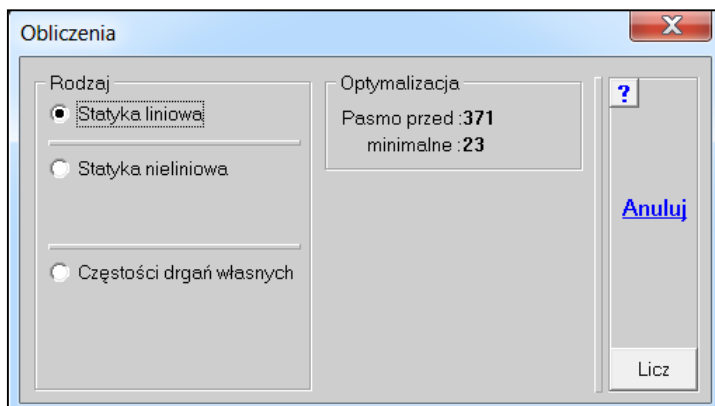
Przy obliczeniach dynamicznych należy podać liczbę poszukiwanych częstości, zadeklarować czy uwzględnić podatność podpór, oraz zadać graniczną liczbę iteracji i dokładność rozwiązania. W obliczeniach dynamicznych domyślnie podpory są zastępowane więzami, ale jeśli podpory są podatne i potrzebne są częstości i postacie z uwzględnieniem ich podatności to należy ten włącznik aktywować. Wprowadzenie podatnych podpór do obliczeń dynamicznych może spowodować, że nie uda się obliczyć częstości, ponieważ układ będzie poruszał się jako ciało sztywne.

Obliczenia nieliniowe są omówione w następnym rozdziale. W modelu typu Tarcza nie można prowadzić obliczeń wg teorii II-go rzędu.

Jeśli w zadaniu zdefiniowano układ o zmiennej strukturze (w schematach wystąpią różne układy podpór) to włącznik „Zmienna struktura” będzie aktywny. Wyłączając go można przeprowadzić obliczenia tak, jak dla stałego układu podporowego.

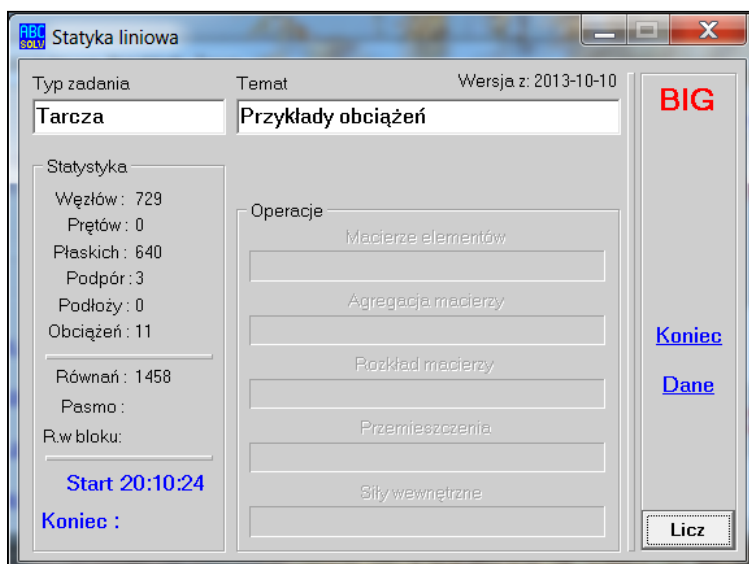
W polu „Optymalizacja” są informacje o parametrach topologicznych zadania przed i po optymalizacji.

Na ogół model przyjęty do obliczeń składa się z jednego, spójnego obszaru, ale program ABC Tarcza pozwala rozwiązywać też zadania składające się z osobnych obszarów. W takiej sytuacji pojawia się pytanie, czy obszar modelu jest wielospójny? Jeśli użytkownik potwierdzi ten fakt to zostanie wyłączona procedura poszukiwania osobnych elementów, czy fragmentów. W przeciwnym razie program zaznaczy zgubiony element i będzie można go usunąć, jeśli jest niepotrzebny lub dołączyć do reszty modelu.



Na planszy programu rozwiązującego są trzy przyciski. [Koniec](#) pozwala zatrzymać obliczenia, [Dane](#) pozwala wrócić do modułu DANE, a przycisk [Licz] uruchamia obliczenia.. W polu „Operacje” znajdują się paski zaawansowania obliczeń w kolejnych etapach. W pewnych sytuacjach, duże zadanie i słaby procesor, paski mogą tworzyć wrażenie, że program się zawiesił. Należy spokojnie poczekać. Ponadto na planszy są informacje statystyczne. Po zakończeniu obliczeń automatycznie zostaną pokazane ugięcia modelu dla pierwszego schematu. Jeśli w trakcie obliczeń pojawi się niestabilność rozwiązania, to poinformuje o tym odpowiedni komunikat. Należy wtedy samemu ocenić, czy miało to istotny wpływ na wyniki.

Obliczenia liniowe odbywają się od razu dla wszystkich schematów. Jeśli w zadaniu wprowadzono zmienną strukturę, to wtedy każdy schemat będzie rozwiązywany osobno. Może to w istotny sposób przedłużyć rozwiązanie.



## C 44. Obliczenia nieliniowe

W programie ABC Tarcza można prowadzić obliczenia nieliniowe. Obliczenia nieliniowe w modelu typu Tarcza mogą uwzględnić nieliniowość podpór lub podłoża oraz uwzględnić tzw. elementy pękające. Nieliniowe podpory mogą mieć cechy:

- jednostronności,
- ograniczenia nośności,
- jednostronności z ograniczeniem nośności,
- podpór z luzem,
- podpór z tarcieniem,
- nieliniową charakterystykę,
- różną sztywność dla kierunku (+) i (-).

Nieliniowe podłoże może mieć trzy pierwsze cechy podpór. Można też połączyć składnik styczny podłoża ze składnikiem normalnym współczynnikiem tarcia.

Jednostronność podparcia polega na tym, że podpora zostaje automatycznie wyłączona z modelu, jeśli pojawi się w niej ujemna reakcja. Można też zdefiniować graniczną wartość ujemnej reakcji i podpora ulegnie wyłączeniu dopiero wtedy, kiedy ujemna reakcja będzie większa, (co do modułu) od wartości granicznej. Takie podpory mogą modelować połączenia klejone o ograniczonej nośności połączenia.

Ograniczoność podparcia polega na tym, że jeśli dodatnia reakcja będzie większa od granicznej wartości to nie będzie ona dalej rosła. Taka podpora może modelować siłownik hydrauliczny, w którym zawór bezpieczeństwa ogranicza ciśnienie w cylindrze. Z kolei w podłożu można w ten sposób modelować warunek plastycznego płynięcia.

Warunki jednostronności i ograniczonej nośności można zadać łącznie. W zależności od sytuacji będzie włączany jeden lub drugi warunek. Jeśli reakcja będzie zawarta pomiędzy stanem wyłączenia spowodowanym oderwaniem się podpory, a stanem granicznej nośności to podpora będzie zachowywać się jak zwykła podpora liniowa.

W podporach można zadać warunek luzów, czyli taki stan, że dopóki w węźle nie pojawi się przemieszczenie większe od wartości luzu, to w modelu nie będzie taka podpora uwzględniana. Po pojawieniu się przemieszczeń większych od luzu podpora zostaje włączona do modelu, a w węźle podpartym pojawi się wstępne przemieszczenie równe luzowi.

Podpory o różnych sztywnościach w kierunku (+) i (-) jest to osobna kategoria podpór podatnych.

Obliczenia nieliniowe wykonywane są iteracyjnie stąd na planszy „Obliczenia” należy zadać zarówno graniczną liczbę iteracji oraz maksymalną dokładność wyznaczenia przemieszczeń. Obliczenia nieliniowe zostają zakończone albo po osiągnięciu zadanej dokładności, albo po wyczerpaniu liczby iteracji. W każdym przypadku w wynikach będą informacje o faktycznej liczbie iteracji oraz osiągniętej dokładności przemieszczeń. W zadaniu można zadać wiele schematów, ale obliczenia nieliniowe są wykonywane osobno dla każdego schematu obciążenia. Ma to swoje konsekwencje czasowe.

Schematy obciążenia do obliczeń nieliniowych muszą być przygotowane inaczej niż to się na ogół robi dla obliczeń liniowych. **Schematy do obliczeń nieliniowych muszą być zawsze kompletne.**

Oznacza to, że w każdym należy zadać obciążenia stałe (ciężar własny i inne obciążenia stałe) oraz wybrane obciążenia zmienne. Łatwo sobie wyobrazić, że np. obciążenia częściowe każde z osobna nie wywoła reakcji większej od granicznej nośności podpory, ale już łączne działanie tych obciążeń spowoduje przekroczenie wartości granicznej. Należy też pamiętać, że wartości obciążeń muszą być końcowe, ponieważ w module Wyniki nie mogą być skalowane mnożnikami obciążenia. **Również wyłączona będzie superpozycja wyników.** Analizę obwiedniową będzie można prowadzić tylko metodą wyboru wartości ekstremalnych.

Ponieważ przygotowanie kompletnego obciążenia w sytuacji, kiedy obciążenia zmienne tworzą złożony układ może być trudne, stąd w programie ABC Tarcza przewidziano inną ścieżkę uwzględniania efektów nieliniowych. Ścieżka ta polega na tym, że w modelu z zadanymi podporami nieliniowymi przyjmuje się obciążenia częściowe, tak jak to robi się w zadaniach liniowych. Następnie prowadzi się obliczenia LINIOWE. W module Wyniki prowadzi się zwykłą analizę obwiedniową z wynikami o różnych atrybutach. Dla wybranej wartości ekstremalnej można utworzyć dodatkowy wariant o składnikach, które wywołują tę wartość. Potem można przygotować nowe zadanie, w którym będzie tylko to nowe obciążenie i cechy nieliniowe. Przygotowanie zadanie odbywa się automatycznie i jedynymi danymi, które należy wprowadzić to numery wariantów, dla których będą prowadzone obliczenia. Obliczenia wywołuje się z modułu WYNIKI przyciskiem [Nieliniowe](#). Po takich obliczeniach, już iteracyjnych, można stwierdzić, jaki wpływ na wyniki mają nieliniowe cechy podparcia. O szczegółach tak prowadzonych obliczeń będzie mowa dalej.

## 44.1. Cechy nieliniowe podpór sztywnych

Po zadaniu podparcia w menu [Podpory](#) pojawi się opcja Nieliniowe. Pozwala ona zadać, usunąć i odczytać parametry nieliniowe podpór. Wybierając opcję **Zadaj** należy w pierwszej kolejności wybrać węzły podparte, może to być jeden węzeł lub kilka. Po wybraniu pojawi się plansza zadawania warunków nieliniowych. Plansza przygotowana jest do różnych typów zadań stąd jest na niej pole składowych liniowych podpory nie występujących w tarczy. Będą one jednak niedostępne.

Teraz należy zdecydować, jaki charakter ma mieć podpora. Wybierając przełącznik „Jednostronna” będzie można wpisać graniczną wartość ujemnej reakcji. Podpowiadana jest wartość zero, która zapewnia usunięcie podpory z modelu zaraz po pojawieniu się ujemnej reakcji.

Jeśli zostanie wybrany przełącznik „Ograniczona” to będzie można wpisać dwie wartości graniczne, dla odrywania od podpory i nośność podpory. Jeśli wprowadzi się zerową wartość „W górę” i bardzo dużą wartość „W dół” to, pomimo, że zadeklarowano podporę „Ograniczoną” będzie ona de facto podporą jednostronną.

Jeśli w podpartym węźle będą dwie składowe podporowe to po wybraniu „Jednostronna” lub „Ograniczona” będzie można włączyć powiązanie tarcie drugiej składowej.

Wybierając przełącznik „Z luzem” można wprowadzić wartości luzu nad i pod położeniem neutralnym. Taka podpora, jeśli już wejdzie w kontakt z modelem będzie zachowywała się jak podpora liniowa.

**Nieliniowa podpora**

Skład.

☐ X ☐ Y ☐ Z

W górę: ☐ Jednostronna 0 kN ☐ Ograniczona -1 kN

W dół: 1 kN

☐ Z tarcie o współczynniku 0,1

☐ Z luzem -1 mm 1 mm

☒ Opis sztywności

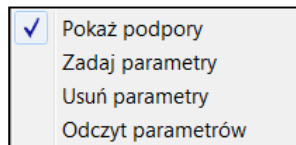
Siła	Ugięcie
10 kN	1 mm
30 kN	2 mm
60	3 mm

[Dodaj punkt](#) [Usuń punkt](#)

[Anuluj](#) [OK](#)

Kolejną cechą podpory może być nieliniowa charakterystyka opisana linią łamaną. Może być do pięciu punktów charakterystyki. Przyciskami [Dodaj punkt](#) można dodawać punkty (do pięciu). Przyciskiem [Usuń punkt](#) można usuwać punkty charakterystyki.

Po zadaniu cech nieliniowych podpór pokaże się menu takie jak na rysunku obok.



Opcja **Pokaż** pozwala wyróżnić podpory z zadanymi warunkami nieliniowymi. Na ogół podpory te zostają wyróżnione w momencie wybrania opcji **Nieliniowe**, ale gdyby tego nie było to tą pozycją można to włączyć. Podpory o nieliniowych cechach są wyróżniane kwadratem.

Opcją **Zadaj parametry** można wybierać kolejne miejsca podparte, w których zostaną zadane cechy nieliniowe.

Opcją **Usuń parametry** można przywrócić liniowy charakter wybranym podporom.

Opcją **Odczyt parametrów** pozwala poznać założone warunki nieliniowe w wybranych podporach. W okienku odczytu pokazana jest składowa, następnie napis „Jstr” dla podpory jednostronnej, „Gran” dla podpory ograniczonej i „Luz” dla podpory z luzem. W okienku są jeszcze podane wartości graniczne lub wielkości luzów.

W folderze \Przykłady\_Tarcz zamieszczono cztery zadania z nieliniowym opisem podpór. Pierwsze o nazwie Podp\_Nieliniowe jest dwuprzęsłową tarczą obciążoną tylko w jednym przęśle. Lewa podpora ma cechy jednostronności.

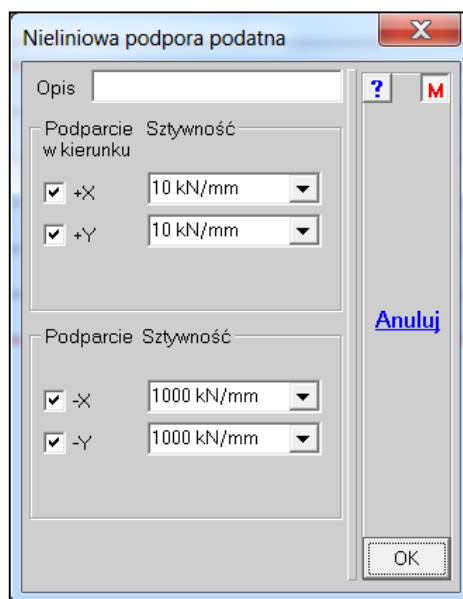
W drugim zadaniu Podp\_Ograniczone o takiej samej postaci jak poprzednie założono, że środkowa podpora nie jest w stanie przenieść więcej niż 18 kN.

W trzecim zadaniu Podp\_Z\_Luzem o takiej samej postaci jak poprzednie założono, że w środkowej podporze jest luz tak dobrany, aby pod obciążeniem uległ skasowaniu.

W czwartym zadaniu Podp\_Z\_Tarciem wprowadzono podpory z tarciami. Składowa pozioma podparcia nie może przekroczyć 20% składowej pionowej. Dla tego zadania jest też rozwiązanie liniowe Podp\_Z\_Traciem\_Lin w którym jest rozwiązanie liniowe.

## 44.2. Cechy nieliniowe podpór podatnych

W podporach podatnych po włączeniu przycisku **[M]** można zdefiniować podporę o różnej sztywności w kierunku +X i w kierunku -X oraz w kierunku +Y i w kierunku -Y, czyli taka podpora będzie inaczej się zachowywała kiedy będzie wciskana i kiedy będzie wyciągana.



### 44.3. Cechy nieliniowe podłoża

Cechy nieliniowe podłoża zakłada się od razu przy jego definicji. Wystarczy na planszy danych o podłożu włączyć przycisk [M], plansza rozszerzy się o pole danych nieliniowych. Można zakładać podłoże jednostronne, podłoże ograniczone i połączyć składnik styczny z normalnym współczynnikiem tarcia.

Podłoże o cechach nieliniowych nie jest w jakiś szczególny sposób wyróżniane. Natomiast przy odczycie w oknie z danymi o podłożu pokaże się linia z informacją, czy jest to tylko podłoże jednostronne, czy ograniczone czy jedno i drugie. Podane zostaną też wartości graniczne.

W folderze \Przykłady\_Tarcz jest są dwa zadania Winkler\_Lin i Winkler\_Nielin. W obu zadaniach są takie same dane i w obu zadano nieliniowe podłoże Winklera o cechach jednostronności i włączono tarcie. Przyjęto jeden schemat obciążenia i zadanie rozwiązano liniowo i nieliniowo. Można porównać przemieszczenia oraz rozkłady odporów gruntu.

### 44.4. Elementy pękające

W elementach tarczy można założyć warunek pęknięcia i znikania takiego elementu z modelu po spełnieniu jednego z siedmiu warunków. Wartości  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  mogą być większe lub mniejsze od zadanej wartości, a wartości  $\tau_{xy}$ ,  $\tau_{max}$ , i  $\sigma_{red}$  mogą być tylko większe od zadanej wartości. Po zadaniu warunku pęknięcia można wybrać elementy które będą w rozwiązaniu nieliniowym znikać z modelu. Dane o elementach pękających wprowadza się w menu [Elementy](#) w opcji [Pękające](#). Jeśli w zadaniu nie ma jeszcze zadanych takich elementów to będzie tylko opcja [Zadaj](#). Po wprowadzeniu takich elementów pojawiają się jeszcze opcje [Pokaż](#), [Odczyt](#) i [Usuń](#). Ich działanie jest jednoznacznie określone ich nazwą.

W folderze \Przykłady\_Tarcz jest zadanie Pękające w którym pokazano te elementy, a ponadto dwa zadania RamaCeglana i RamaCeglanaN w których pokazano rozwiązanie liniowe i nieliniowe obiektu ceglano z żelbetowymi stropami.



## C 45. Obliczenia dynamiczne

W programie ABC Tarcza można przeprowadzić obliczenia dynamiczne. Obejmują one wyznaczenie zadanej liczby najniższych częstości i postaci drgań własnych. Do obliczeń dynamicznych nie potrzeba obciążeń. Obliczenia dynamiczne można prowadzić tylko po włączeniu pełnego zakresu opcji. Model do obliczeń dynamicznych jest przygotowywany tak samo, jak do obliczeń statycznych. Model do obliczeń dynamicznych może mieć dość zgrubny podział, aby otrzymać dokładne wartości częstości. W takim modelu **nie można wprowadzać warunków symetrii ani antysymetrii**.

Do obliczeń dynamicznych zasadniczo wystarcza zamodelowanie siatki, ale można uzupełnić ją o masy skupione. Można też skorygować masę własną. Jeśli w modelu wprowadzi się masy skupione to można przyjąć bez masowy opis materiału elementów. Jednak liczba możliwych do wyznaczenia częstości drgań własnych może drastycznie spaść. Ale zawsze będzie można określić najniższą częstość własną i odpowiadającą jej postać drgań. W obliczeniach dynamicznych na ogół warunki podporowe są zastępowane warunkami brzegowymi, czyli podpory są zastępowane odpowiednimi więzami, ale można włączyć warunek, aby w obliczeniach dynamicznych uwzględnić podatność podpór. Ma to sens wtedy, kiedy ich podatność będzie miała wpływ na wartości częstości i postaci drgań. Z drugiej strony w takiej sytuacji należy się liczyć, że może wystąpić ruch modelu jako ciała sztywnego i program nie wyznaczy wartości własnych.

Obliczenia dynamiczne są wykonywane iteracyjnie tzw. metodą iteracji podprzestrzennych, w której ważna jest dokładność najwyższej częstości. Liczbę iteracji oraz wymaganą dokładność zadaje się na planszy uruchomienia obliczeń. Po włączeniu przełącznika „Częstości drgań własnych” będzie można zadać potrzebną liczbę częstości, oraz włączyć uwzględnianie podatności podpór. Początkującym użytkownikom proponuje się przyjmować wartości domyślne.

Wyniki obliczeń dynamicznych to lista częstości drgań własnych i odpowiadające im postacie. Postacie są pokazywane tak samo jak ugięcia statyczne, z tym, że postacie można pokazać jeszcze w formie animowanej. Szczegółowy opis prezentacji wyników obliczeń dynamicznych znajduje się w części D.

W folderze \Przykłady\_Tarcz znajdują się dwa zadania: DynamikaBelki i DynWspornika.

## C 46. Nieco teorii o Osiowej Symetrii (też łagodnie)

W programie ABC Tarcza można również rozwiązywać zagadnienia osiowo-symetryczne. Model taki jest opisany w układzie współrzędnych (R, Y). Oś R pokrywa się z osią X. Oś Z jest prostopadła do płaszczyzny modelu. Każdy element stanowi wtedy torus o przekroju trójkąta, czworokąta lub pięciokąta. Cała analiza jest ograniczona do płaszczyzny (R, Y). Przeszczenia dowolnego punktu w przekroju takiego modelu mają też dwie składowe:

$$\{q\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}$$

gdzie:

- u – przeszczenie promieniowe,
- v – przeszczenie poosiowe.

Przeszczenie to jest interpolowane wewnątrz elementu przeszczeniami węzłowymi i funkcjami kształtu:

$$\{q\} = [N] \cdot \{q\}^e$$

W węzłach elementu mogą być dwie składowe sił węzłowych:

$$\{P\} = \begin{Bmatrix} P_r \\ P_y \end{Bmatrix}$$

gdzie:

- $P_r$  – składowa promieniowa,
- $P_y$  – składowa poosiowa.

Siły te są sprowadzonymi do węzła siłami liniowymi rozłożonymi na całym obwodzie. Stan odkształcenia w osiowej symetrii ma cztery składowe:

$$\{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_r \\ \epsilon_y \\ \epsilon_o \\ \gamma_{ry} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial r} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{u}{r} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial r} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial r} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{N_i}{r} & 0 \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial r} \end{Bmatrix} (j, k..) \cdot \{q\}^e$$

gdzie: i, j, k.. kolejne węzły elementu.

Macierz sztywności elementu jest obliczana z zależności:

$$[k] = \int_V [B]^T [D] \cdot [B] \cdot dV$$

gdzie:

- [B] – macierz zależna od kształtu elementu,
- [D] – macierz sprężystości (związków konstytutywnych),
- V – objętość elementu.

Macierz sztywności [D] ma postać:

$$[D] = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{bmatrix}$$

Ponieważ element jest torusem to macierz może być obliczona ze wzoru:

$$[k] = 2\pi \cdot \int_A [B]^T [D] \cdot [B] \cdot r \cdot dA$$

Stan naprężenia w osiowej symetrii ma też cztery składowe:

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_y \\ \sigma_o \\ \tau_{ry} \end{Bmatrix}$$

gdzie:

- $\sigma_r$  – naprężenie promieniowe,
- $\sigma_y$  – naprężenie poosiowe,
- $\sigma_o$  – naprężenie obwodowe,
- $\tau_{ry}$  - naprężenie styczne.

Siły termiczne w osiowej symetrii są obliczane ze wzoru:

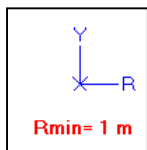
$$\{P\} = - \int_A [B]^T [D] \cdot \begin{Bmatrix} \alpha_r T \\ \alpha_y T \\ \alpha_o T \\ 0 \end{Bmatrix} \cdot dA$$

gdzie:

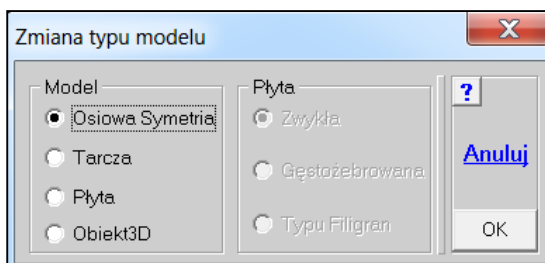
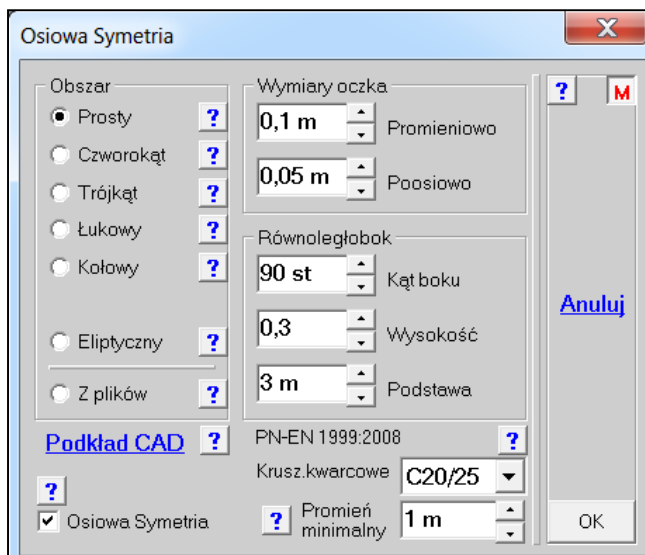
- $\alpha_r$  - współczynnik rozszerzalności liniowej w kierunku promieniowym,
- $\alpha_y$  - współczynnik rozszerzalności liniowej w kierunku poosiowym,
- $\alpha_o$  - współczynnik rozszerzalności liniowej w kierunku obwodowym.

## C 47. Modelowanie osiowej-symetrii

Model osiowo-symetryczny można budować już od planszy startowej. Po włączeniu: „Osiowa Symetria” pojawi się okno „Promień minimalny”. Jeśli zostanie tam 0 m wtedy będzie to model krążka. Jeśli zostanie tam wpisana inna liczba będzie to pierścień. W jednym i drugim przypadku obraz siatki będzie taki sam. W folderze \Przykłady\_OS są dwa zadania: Krazek i Pierscien. Można zobaczyć że jedyną różnicą na ekranie będzie oznaczenie osi głównych (R,Y) i napis Rmin =, podający minimalny promień modelu. Domyślnie węzły minimalnego promienia będą po lewej stronie ekranu.



Model osiowo-symetryczny można też utworzyć zmieniając model płyty lub tarczy opcją Zmień model z menu [Ogólne](#) modułu DANE. Po wybraniu pozycji „Osiowa Symetria” trzeba będzie podać promień minimalny. W zadaniu zostanie tylko siatka.

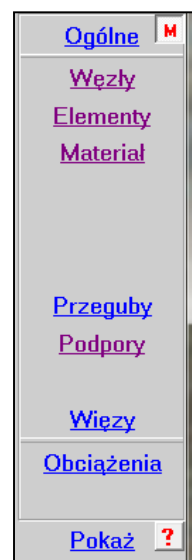


### 47.1. Przyciski modułu DANE

W modelu osiowo-symetrycznym zostaną tylko przyciski pokazane obok. Zakres poszczególnych menu będzie identyczny jak w modelach tarczowych z wyjątkiem menu [Węzły](#) i [Obciążenia](#). Będzie można zadawać te same materiały co w tarczy, linie poślizgowe, ten sam typ podpór, tylko symetrie będą ograniczone do kierunku poosiowego. W modelach osiowo-symetrycznych nie można wprowadzić grubości.

### 47.2. Menu Węzły

W modelu osiowo-symetrycznym w menu [Węzły](#) zostaną te same opcje co w modelu tarczy. Pojawi się tylko dodatkowa opcja **Promień minimalny**, którą można zmienić wartość. Po zmianie promienia minimalnego wszystkie węzły zostaną przesunięte o tę wartość. Trochę inaczej zachowuje się opcja **Przesuń węzły**, która pozwala przesuwając wszystkie węzły z wyjątkiem tych leżących na promieniu minimalnym.



### 47.3. Obciążenia

W modelu osiowo-symetrycznym obciążenia będą się dość różniły od obciążeń w tarczy. Ciężar własny będzie mógł działać tylko w kierunku osi Y. Siły skupione będą tylko przykładane do węzłów. Nie będzie można odczytać sił z plików. Nie będzie sił liniowych, ponieważ tak naprawdę są to ciśnienia. Przyciskiem [Ciśnienia..](#) będzie można zadać obciążenia do wybranych krawędzi elementów. Znak plus obciążenia ciśnieniem oznacza działanie do środka elementu, znak minus na zewnątrz elementu. Jeśli zostanie wciśnięty przycisk [M] to pojawi się menu Ciśnienia zawierający dodatkowo zadawanie ciśnień hydrostatycznych, materiału sypkiego i warstw ciężarowych lub typu śnieg. Ponadto pojawią się takie przyciski jak [Termika](#), [Skurcz](#), [Przemiesz.](#) i [Obroty](#).

Ciśnienia..  
Hydrostatyczne..  
Materiał sypki..  
Warstwa Śnieg..  
Warstwa Ciężar..

Po wybraniu opcji Hydrostatyczne.. pokaże się plansza na której będzie można wpisać ciężar właściwy cieczy i współrzędną lustra cieczy w głównym układzie współrzędnych. Będzie tylko składnik Y wersora grawitacji. Po zamknięciu okna przyciskiem [OK] należy wybrać odcinek który będzie zwilżony.

Hydrostatyczne

Opis

Ciężar właściwy 10 kN/m³

Współrzędna lustra cieczy 0,3 m

Grawitacja

Y -1

Anuluj

OK

Po wybraniu opcji Materiał sypki.. pokaże się plansza na której będzie można wpisać ciężar właściwy, współrzędną powierzchni zasypu w głównym układzie współrzędnych oraz kąt tarcia wewnętrznego lub stosunek P/V. Będzie tylko składnik Y wersora grawitacji. Po zamknięciu okna przyciskiem [OK] należy wybrać odcinek który będzie obciążony.

Sypkie

Opis

Ciężar właściwy 15kN/m³

Współrzędna powierzchni zasypu 3 m

Kąt tarcia wewnętrznego 20°

lub stosunek parcia H/V

Grawitacja

Y -1

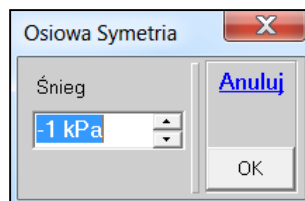
Anuluj

OK

Po wybraniu opcji Warstwa Śnieg.. lub Warstwa Ciężar.. będzie można wpisać obciążenie w kPa i następnie zaznaczyć krawędzie do których jest przyłożone to obciążenie. Przyłożenie warstwy typu Śnieg do pionowej krawędzi nie da żadnego obciążenia.

Obciążenie termiczne oraz skurcze w obiekcie osiowo-symetrycznym można zakładać tak samo jak w modelu tarczowym. Podobnie przemieszczenia wstępne podpór. Inaczej jest w przypadku sił dynamicznych wywołanych obrotami. Jedyną przyczyną obciążeń mogą być obroty do tego wokół osi symetrii, tak więc nie trzeba wybierać węzłów kierunkowych osi obrotu.

W folderze \Przykłady\_OS są dwa zadania Krazek i Pierscien w których zadano takie samo obciążenie, ale ze względu na kształt otrzymano zupełnie inne wyniki. W trzecim zadaniu Rura zadano różne obciążenia typu ciśnienie.



## 47.4. Obliczenia

W modelu osiowo-symetrycznym można przeprowadzić obliczenia liniowe i nieliniowe, pod warunkiem zadania cech nieliniowych podpór, podłoża lub wprowadzenia elementów pękających. Sposób zadawania cech nieliniowych i sposób prowadzenia obliczeń nieliniowych jest identyczny jak w modelu tarczowym. ***Dla modelu osiowo-symetrycznego nie można obliczać częstości drgań własnych.***