

Część **C**

MODELOWANIE

Spis treści części C

C28. Kilka słów wstępu	5
C29. Nieco teorii (łagodnie)	6
C30. Modelowanie bez podkładu CAD	14
30.1. Obszar prosty	15
30.2. Obszar czworokątny	16
30.3. Obszar trójkątny	17
30.4. Obszar łukowy	17
30.5. Obszar kołowy	18
30.6. Obszar eliptyczny	20
30.7. Czytanie z plików	20
C31. Modelowanie z podkładem CAD	22
C32. Menu Elementy	24
32.1. Dodanie obszaru prostego	24
32.2. Dodanie obszaru czworokątnego	25
32.3. Dodanie obszaru trójkątnego	25
32.4. Dodanie obszaru łukowego	26
32.5. Dodanie wycinka koła	27
32.6. Dodanie obszaru kołowego	27
32.7. Dodanie belki	28
32.7.1. Belka przez podział pasma	28
32.7.2. Belka przez przesunięcie węzłów	29
32.7.3. Belka krawędziowa	29
32.7.4. Belka o osi wyznaczonej punktami	29
32.8. Dodanie elementu	31
32.9. Dodaj z plików	31
32.10. Dodaj linię	31
32.11. Dodaj łuk	32
32.12. Dodaj otwór	32
32.13. Zagęszczanie siatki	32
32.14. Powielanie wybranego fragmentu	34
32.15. Usuwanie elementów	35
32.16. Opcja Cofnij o krok	35
32.17. Opcja Zapisz do plików	35
C33. Operacje na węzłach	36
33.1. Przesuwanie węzłów	36
33.2. Przesuwanie węzłów po prostej	37
33.3. Opcja Ustaw szerokość	37
33.4. Obracanie węzłów	38
33.5. Ręczne łączenie węzłów	38

33.6. Automatyczne łączenie węzłów	38
33.7. Lustrzane odbicie	39
33.8. Ustawianie węzłów na prostej	39
33.9. Ustawianie węzłów na łuku	39
33.10. Ustawianie węzłów na elipsie	40
33.11. Zbędne węzły	40
33.12. Układy współrzędnych węzłowych	40
C34. Dane materiałowe	41
C35. Menu Filigran	44
C36. Grubości	45
36.1. Grubość zmienna	46
C37. Przeguby	47
C38. Podpory	48
38.1. Podpory sztywne	48
38.2. Podpory podatne	49
38.3. Podpory z pliku	49
38.4. Podparcie na słupach	50
38.5. Podparcie na ścianach	51
38.6. Inne opcje menu Podpory	52
C39. Podłoże sprężyste	54
39.1. Podłoże uwarstwione	54
39.2. Półprzestrzeń sprężysta	56
39.3. Podłoże Winklera	56
39.4. Zakres menu podłoże	56
39.5. Wymiana podłoża	57
C40. Menu Wieży	58
40.1. Symetrie	58
40.2. Definicja stopni swobody	58
40.3. Opcje menu Wieży	59
40.4. Węzły zależne	59
C41. Obciążenia płyt	60
41.1. Opis obciążenia	60
41.2. Obciążenie ciężarem własnym	61
41.3. Obciążenie siłami skupionymi	61
41.4. Obciążenie siłami liniowymi	63
41.5. Obciążenie ciągłe	65
41.6. Obciążenie termiczne	66
41.7. Obciążenie wstępnymi przemieszczeniami	67
41.8. Obciążenia dynamiczne	69
41.9. Menu Obciążenia	69
41.10. Rozkładanie obciążeń	70
41.11. Obciążenie z pliku	72
41.12. Obciążenie ruchome	73

41.12.1. Obciążenie drogowe	73
41.12.2. Obciążenie kolejowe	74
41.12.3. Obciążenie dowolne	74
41.13. Zmienna struktura	76
C42. Masy skupione	78
C43. Obliczenia liniowe	79
C44. Obliczenia nieliniowe	81
44.1. Cechy nieliniowe podpór sztywnych	82
44.2. Cechy nieliniowe podpór podatnych	83
44.3. Cechy nieliniowe podłoża	84
C45. Obliczenia dynamiczne	85

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 wrażliwy 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 (łagodnie)

Rozdział ten wprowadza pobieżnie do zagadnień MES w kontekście programu ABC Płyta 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 Płyta.

W programie ABC Płyta przyjęto jeden typ elementu skończonego. Jest to trójkątny element płytowy, w którym są takie same założenia jak w klasycznej teorii płyt cienkich. Oznacza to, że płyta została zredukowana do płaszczyzny środkowej, a jej grubość jest ujęta we wprowadzonym przez Timoshenkę wyrażeniu na sztywność płyty:

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$$

gdzie:

- E – moduł sprężystości Younga,
- ν - liczba Poisson’a,
- t – grubość płyty (elementu).

Elementy czterowęzłowe i pięciowęzłowe używane w programie ABC Płyta są pewnego rodzaju super elementami. Ich budowa będzie opisana dalej.

Przyjęcie modelu płyty cienkiej oznacza, że elementy o różnej grubości mają wspólną płaszczyznę odniesienia, co pociąga za sobą fakt, że w takim modelu nie ma zachowanej, stosowanej w budownictwie wspólnej powierzchni górnej. Zatem belki użyte w modelu pracują trochę inaczej niżby to wynikało z rzeczywistej konfiguracji obiektu. Od wersji 6.2 wprowadzono korektę sztywności giętnej i skrętnej belek tak by ich zachowanie w modelu płyty były takie same jak belek jednostronnych. Wymaga to podania szerokości współpracującej części płyty. Więcej informacji na ten temat będzie w rozdziale poświęconym zadawaniu belek.

Odształcenia płyty cienkiej są opisane jednym parametrem – przemieszczeniem (w) prostopadłym do powierzchni środkowej płyty. Warunki ciągłości wymagają, aby pomiędzy elementami zachodziła ciągłość nie tylko przemieszczeń, ale ich pierwszych pochodnych. Gwarantuje to ciągłość postaci odształcenia bez załamywania na granicach elementów. Założenie, że przemieszczenia są małe pozwala przyjąć, że pierwsze pochodne odpowiadają kątom ugięcia płyty. W układzie współrzędnych XY leżącym w płaszczyźnie elementu i przy osi Z prostopadłej do elementu w każdym węźle można przyjąć trzy stopnie swobody: przemieszczenie prostopadłe do płaszczyzny środkowej Z i dwa kąty obrotu wokół osi X i Y.

$$\{q\} = \begin{Bmatrix} w \\ \varphi_X \\ \varphi_Y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} w \\ -\frac{\partial w}{\partial x} \\ \frac{\partial w}{\partial y} \end{Bmatrix}$$

Tym trzem węzłowym stopniom swobody odpowiadają trzy siły węzłowe:

$$\{P\} = \begin{Bmatrix} P_Z \\ M_X \\ M_Y \end{Bmatrix}$$

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

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

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

gdzie:

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

Dla elementu trójkątnego przyjęto następujące funkcje kształtu:

$$[N_i]^T = \begin{Bmatrix} L_i + L_i^2 L_j + L_i^2 L_k + L_i L_j^2 + L_i L_k^2 \\ b_k (L_i^2 L_j + \frac{1}{2} L_i L_j L_k) - b_j (L_i^2 L_k + \frac{1}{2} L_i L_j L_k) \\ c_k (L_i^2 L_j + \frac{1}{2} L_i L_j L_k) - c_j (L_i^2 L_k + \frac{1}{2} L_i L_j L_k) \end{Bmatrix}$$

gdzie:

$[N_i]^T$ - funkcja kształtu dla węzła (i),

L_i, L_j, L_k – współrzędne barocentryczne,

i, j, k – numery węzłów opisujących element trójkątny.

$b_i = y_j - y_k$,

$c_i = x_k - x_j$,

b_j, b_k, c_j, c_k powstają przez cykliczną zmianę indeksów i, j, k .

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 współzrędnymi 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:

$a_i = x_j y_k - x_k y_j$ – pozostałe powstają przez cykliczną zmianę indeksów,

2Δ - podwojone pole trójkąta.

Przyjęte funkcje kształtu zapewniają ciągłość drugich pochodnych w węzłach, natomiast nie ma zachowanego tego warunku wzdłuż krawędzi sąsiednich elementów. Takie funkcje kształtu zwane są niedostosowanymi. Pomimo tego ograniczenia teoretycznego dają dokładne wyniki i są chętnie stosowane w programach inżynierskich.

Przyjmując macierz odkształceń w cienkiej płycie jako:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix}$$

Można obliczyć macierz [B] dla każdego węzła:

$$[B_i] = \begin{Bmatrix} -\frac{\partial^2}{\partial x^2} [N_i] \\ -\frac{\partial^2}{\partial y^2} [N_i] \\ 2\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} [N_i] \end{Bmatrix}$$

Przyjmując macierz sprężystości [D] w postaci:

$$[D] = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}$$

gdzie:

E – moduł sprężystości Younga'a,

ν - liczba Poisson'a,

t – grubość płyty (elementu).

Można macierz sztywności elementu płytowego obliczyć jako całkę po elemencie:

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

Ponieważ funkcja podcałkowa jest drugiego rzędu, stąd całka jest obliczana numerycznie kwadraturą Gaussa-Radau po trzech węzłach. Węzły całkowania są przyjmowane na środkach boków trójkąta. Macierz sztywności elementu trójkątnego ma rozmiar 9x9.

Elementy czworokątne i pięciokątne zbudowane są z czterech lub pięciu trójkątów. W środku ciężkości takiego elementu przyjmowany jest dodatkowy węzeł, do którego dochodzą wierzchołki

trójkątów opartych na bokach elementu. Stąd ważne jest, aby środek ciężkości znajdował się wewnątrz elementu. Dla każdego trójkąta składowego obliczana jest macierz sztywności, następnie dokonuje się agregacji dla czterech lub pięciu trójkątów. Otrzymana macierz ma odpowiednio 15x15 lub 18x18 elementów. Teraz na drodze statycznej kondensacji stopni swobody eliminuje się wyrazy związane z dodatkowym węzłem otrzymując w efekcie macierz 12x12 dla czworokąta i 15x15 dla pięciokąta. Na końcu można przeprowadzić agregację elementowych macierzy sztywności w macierz sztywności struktury wykorzystując w tym celu wektory alokacji związane z zadaniem podziałem na elementy skończone i przyjętą numeracją.

W macierzy sztywności struktury uwzględnia się warunki podporowe i brzegowe. Warunki podporowe są zadawane w postaci elementów podporowych o macierzy sztywności:

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

gdzie:

k_z – sztywność liniowa wzdłuż osi Z,

k_x – sztywność skrętna wokół osi X,

k_y – sztywność skrętna wokół osi Y.

Oczywiście liczba składowych podporowych zależy od rodzaju podpory i np. dla podpór przegubowych występuje tylko składnik k_z , a pozostałe są zerowe.

Dla podpór teoretycznych niepodatnych program przyjmuje wartości:

$$k_x = k_y = k_z = 10^{10}$$

Jeśli użytkownik założył podparcie na słupach to program oblicza wartości sztywności podparcia w zależności od wymiarów słupa i jego warunków brzegowych. Sztywność pionowa słupa jest równa:

$$k_z = \frac{EA}{h}$$

Sztywność giętna słupa jest równa sztywności skrętnej podpory i dla słupa obustronnie utwierdzonego jest wyrażona wzorem:

$$k_{x/y} = \frac{4EJ_{x/y}}{h}$$

Natomiast dla słupa jednostronnie utwierdzonego i przegubowego jest równa:

$$k_{x/y} = \frac{3EJ_{x/y}}{h}$$

gdzie:

E – moduł sprężystości materiału słupa,

A – pole powierzchni poprzecznej słupa,

$J_{x/y}$ – moment bezwładności odpowiednio względem osi X lub Y,

h – wysokość słupa.

Jeśli słup połączony jest z fundamentem o wymiarach b_{fx} i b_{fy} spoczywającym na sprężystym podłożu Winklera o współczynniku C to sztywność liniowa (pionowa) takiego fundamentu jest równa:

$$k_{fz} = C b_{fx} b_{fy}$$

a sztywności kątowe są równe:

$$k_{fx} = C \frac{b_{fx} b_{fy}^3}{12} \quad k_{fy} = C \frac{b_{fy} b_{fx}^3}{12}$$

Pionowa sztywność układu słup + fundament jest równa:

$$k_Z = \frac{k_{SZ} + k_{fZ}}{k_{SZ} k_{fZ}}$$

a sztywności giętne układu słup+ fundament są równe:

$$k_{X/Y} = 3 \frac{(h + r_{X/Y}) E J_{X/Y}}{(0,75h + r_{X/Y}) h}$$

gdzie:

$$r_{X/Y} = \frac{3 E J_{X/Y}}{k_{fX/Y}}$$

Jeśli w modelu zostanie założony słup pod płytą i nad płytą to dla każdego słupa i jego warunków brzegowych zostają wyznaczone sztywności giętne: $k_{gX/Y}$ i $k_{dX/Y}$, a następnie zostaje obliczona sztywność łączna:

$$k_{X/Y} = k_{gX/Y} + k_{dX/Y}$$

Przyjęcie elementów podporowych pozwala prosto obliczyć reakcje, ponieważ są one wyrażone wzorem ważnym dla każdego podpartego węzła (i):

$$\{R\}_i = \begin{Bmatrix} R \\ Mu_X \\ Mu_Y \end{Bmatrix}_i = \begin{bmatrix} k_Z & 0 & 0 \\ 0 & k_X & 0 \\ 0 & 0 & k_Y \end{bmatrix}_i \begin{Bmatrix} w_Z \\ \phi_X \\ \phi_Y \end{Bmatrix}_i$$

Inaczej są wprowadzane warunki brzegowe np. symetrie. Równania odpowiadające odebranym stopniom swobody są od razu usuwane z wektorów alokacji i nie wchodzi do globalnej macierzy sztywności. Przez to w miejscu symetrii nie są obliczane siły wewnętrzne.

Siły wewnętrzne w elemencie płytowym są to trzy momenty jednostkowe: dwa gnące i jeden skręcający obliczane po wyznaczeniu przemieszczeń węzłowych:

$$\{m\} = \begin{Bmatrix} m_X \\ m_Y \\ m_S \end{Bmatrix} = [D] [B] \{q\}^e$$

Siły wewnętrzne są obliczane w każdym elemencie w jego środku ciężkości jako średnie ze wszystkich węzłów całkowania numerycznego. Dla trójkąta będzie to wartość średnia z trzech węzłów, dla czworokąta z 12 węzłów całkowania, a dla pięciokąta z 15 węzłów. Przyjęcie jednego miejsca, w

którym obliczane są siły wewnętrzne prowadzi do spójności w zakresie form prezentacji wyników, a wprowadzenie wartości uśrednionych znakomicie wygładza przebiegi.

Obciążenia przyjmowane w płycie to siły węzłowe, siły liniowe, siły rozłożone powierzchniowo oraz obciążenia termiczne i przemieszczenia wstępne w podporach. Siły węzłowe są wprost wprowadzane do końcowego układu równań:

$$[K]\{q\} = [P]$$

Siły rozłożone liniowo i powierzchniowo są zastępowane układem sił węzłowych złożonych z sił pionowych o kierunku Z i momentów węzłowych. Wartości tych obciążeń węzłowych są wyznaczane z zależności:

$$\{P\}_e = - \int_A [N]^T q dA$$

gdzie:

$[N]$ – funkcje kształtu elementu trójkątnego dla sił powierzchniowych lub dla elementu belkowego dla sił liniowych.

Takie postępowanie zapewnia odpowiednią dokładność zastępczego obciążenia przy nieregularnym podziale. W elementach czterowęzłowych i pięciowęzłowych wymaga to procedury eliminacji zgodnej ze statyczną kondensacją stopni swobody obciążenia z dodatkowego węzła.

W przypadku obciążenia termicznego, które w płycie jest przyrostem temperatury na grubości (gradientem termicznym) zastępcze siły węzłowe są wyznaczane ze wzoru:

$$\{P\}_e^t = - \int_A [B]^T [D] \{\alpha \Delta T / t\} dA$$

gdzie:

α – współczynnik liniowej rozszerzalności termicznej,
 $\Delta T / t$ – gradient termiczny.

Również dla tych sił węzłowych musi być przeprowadzona eliminacja z węzła dodatkowego (elementy czworokątne i pięciokątne). Dla takich obciążeń macierz sił wewnętrznych musi być obliczana ze wzoru:

$$\{m\} = \begin{Bmatrix} m_X \\ m_Y \\ m_S \end{Bmatrix} = [D] \left([B] \{q\}^e - \{\alpha \Delta T / t\} \right)$$

Przemieszczenie wstępne w podporach wprowadzane jest jako odpowiedni wyraz prawej strony końcowego układu równań równy:

$$P_i = K_{ii} \delta$$

gdzie:

K_{ii} – wyraz z przekątnej macierzy sztywności po uwzględnieniu elementów podporowych odpowiadający stopniowi swobody ze wstępnym przemieszczeniem.
 δ - zadane przemieszczenie wstępne w podporach.

Takie podejście pozwala wymusić potrzebny pierwiastek na końcowym układzie równań. Skuteczność tego postępowania jest w zupełności zadowalająca w przypadku podpór niepodatnych, których sztywności są równe 10^{10} . W podporach podatnych należy spodziewać się kilkuprocentowych błędów.

Do rozwiązania końcowego układu równań zastosowano procedurę eliminacji Gaussa zmodyfikowaną do jednoczesnego rozwiązywania wielu prawych stron układu równań. Procedura ta wykorzystuje całą dostępną pamięć operacyjną komputera, a buforowanie z dyskiem wykonuje na poziomie systemu operacyjnego. Takie rozwiązanie zapewnia znakomitą szybkość rozwiązania.

Przedstawiona wcześniej macierz sprężystości $[D]$ dotyczy zagadnień izotropowych. W praktyce inżynierskiej mogą wystąpić płyty ortotropowe, których sztywności giętne są różne w kierunku osi X i Y . Przykładem takiej płyty jest strop gęsto żebrowy. Jeśli takiego stropu nie będzie modelowało się jawnie, zadając żebra w formie pogrubienia, to macierz sprężystości $[D]$ jest opisana następująco:

$$[D] = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 \\ D_{21} & D_{22} & 0 \\ 0 & 0 & D_{33} \end{bmatrix}$$

$$D_{11} = \frac{Et_x^3}{12(1-\nu)},$$

$$D_{22} = \frac{Et_y^3}{12(1-\nu)},$$

$$D_{12} = D_{21} = \nu \sqrt{D_{11} D_{22}}$$

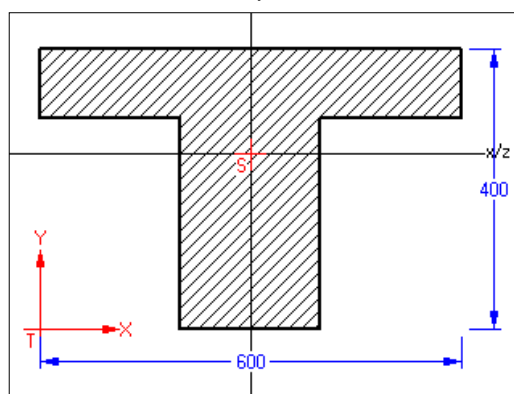
$$D_{33} = \frac{(1-\nu)}{2} \sqrt{D_{11} D_{22}}$$

gdzie:

t_x – zastępcza grubość dla zginania w kierunku X ,

t_y – zastępcza grubość dla zginania w kierunku Y .

Grubości t_x i t_y są wyznaczane z warunku równości momentów bezwładności pasma płyty o



szerokości podziałki żebra i pasma płyty o stałej grubości i takiej samej szerokości. Pasma płyty uźebrowanej może być wybrane dowolnie, ale tak, aby było symetryczne. Przedstawione na rysunku pasmo pochodzi z płyty, w której rozstaw żebra wynosi 60cm. Moment bezwładności tego pasma względem osi poziomej jest równy:

$$J_{\text{zebra}} = 170000 \text{ cm}^4,$$

Moment bezwładności płyty o zastępczej grubości jest równy:

$$J_{\text{zast}} = \frac{bt_{\text{zast}}^3}{12}$$

Zakładając teraz $J_{\text{zebra}} = J_{\text{zast}}$ i przyjmując $b=60\text{cm}$ można obliczyć, że zastępcza grubość płyty wynosi:

$$t_{\text{zast}} = 32,4 \text{ cm}$$

W programie ABC wartości elementów macierzy sprężystości $[D]$ można zadać w sposób bezpośredni. Opisując pełne dane materiałowe można wprowadzić wartości D_{11} , D_{12} , D_{13} , D_{22} , D_{23} i D_{33} . W takim zadaniu należy wprowadzić jednostkową grubość we wszystkich elementach, w których zadano pełny opis materiału. W rozdziale poświęconym danym materiałowym pokazano planszę wpisu materiału pełnego i podano, jakie inne parametry można w takim materiale zadać.

Program ABC pozwala zadać stopień przenoszenia przez płytę momentów skręcających. Sprowadza się to do korekcy wyrazu D_{33} macierzy sprężystości współczynnikiem f :

$$D_{33}^* = fD_{33}$$

gdzie:

f – stopień przenoszenia momentu skręcającego; $f \in (0,1>$.

Przy iteracyjnych obliczeniach ugięcia płyty zarysowanej modyfikacji podlegają wyrazy:

$$D_{11}^* = m_1 D_{11} \quad \text{ i } \quad D_{22}^* = m_2 D_{22}$$

Współczynniki modyfikacji m_1 i m_2 są wyznaczane w zależności od stopnia zarysowania i wielkości reologicznych. Algorytm obliczenia współczynników modyfikacji oparty jest o normę PN-B-03264:2002. Wyrazy D_{12} i D_{21} są obliczane tak samo jak w płycie ortotropowej, natomiast wyraz D_{33} jest obliczany następująco:

$$D_{33} = \frac{(D_{11}^* + D_{22}^* - 2\nu\sqrt{D_{11}^* D_{22}^*})}{4}$$

Ponieważ zarysowanie związane jest z kierunkami momentów głównych stąd macierz sprężystości $[D]$ jest pierwotnie wyznaczana w układzie współrzędnych obróconych w stosunku do układu opisowego elementu o kąt momentu głównego. Do całkowania macierzy sztywności brana jest macierz sprężystości po transformacji:

$$[D]_{xy} = [T] [D] [T]^T$$

gdzie:

$[T]$ – macierz transformacji określona następująco:

$$[T] = \begin{bmatrix} \cos^2 \beta & \sin^2 \beta & -2 \sin \beta \cos \beta \\ \sin^2 \beta & \cos^2 \beta & 2 \sin \beta \cos \beta \\ \sin \beta \cos \beta & -\sin \beta \cos \beta & \cos^2 \beta - \sin^2 \beta \end{bmatrix}$$

β - kąt nachylenia momentu głównego do osi X.

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 Płyta. 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 „Typ płyty” będzie tylko pozycja „Krzyżowo zbrojona”. W polu „Grubość” będzie okno ze wstępną grubością płyty. Na planszy będzie można też zadać materiał płyty, wybierając beton zgodny z normą PN-EN 1999:2008. Zarówno grubość jak i materiał można później zmienić. Również typ płyty można zmienić.

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

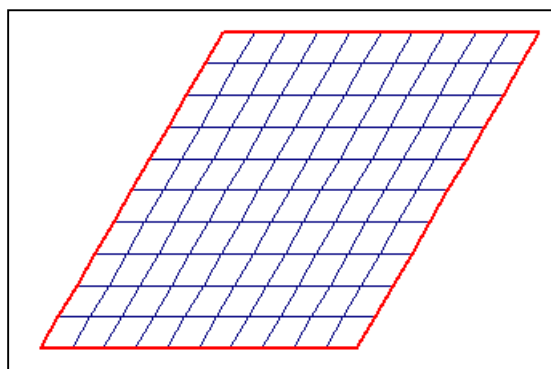
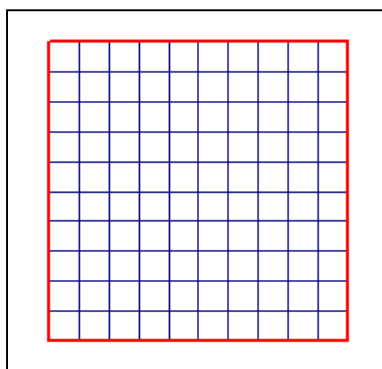
Po włączeniu przycisku [M] otrzyma się okno w postaci.

Po wybraniu płyty typu „Krzyżowo żebrowa” w polu „Grubość” trzeba będzie wpisać cztery grubości: grubość modelu, która jest grubością fizyczną płyty potrzebną przy wymiarowaniu po to, by właściwie obliczyć ramie sił wewnętrznych, zastępczą grubość w kierunku osi X i zastępczą grubość w kierunku osi Y oraz grubość Ciężarową. Ta ostatnia grubość jest wykorzystywana tylko przy automatycznym uwzględnianiu obciążeń ciężarem własnym i jest wyznaczana z warunku ciężaru rzeczywistej płyty i płyty o grubości ciężarowej. Sposób obliczania zastępczych grubości jest opisany na końcu rozdziału 29.

W przypadku płyty typu „Filigran” w polu „Grubość” trzeba będzie podać dodatkowo grubość prefabrykatu.

30.1. Obszar prosty

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



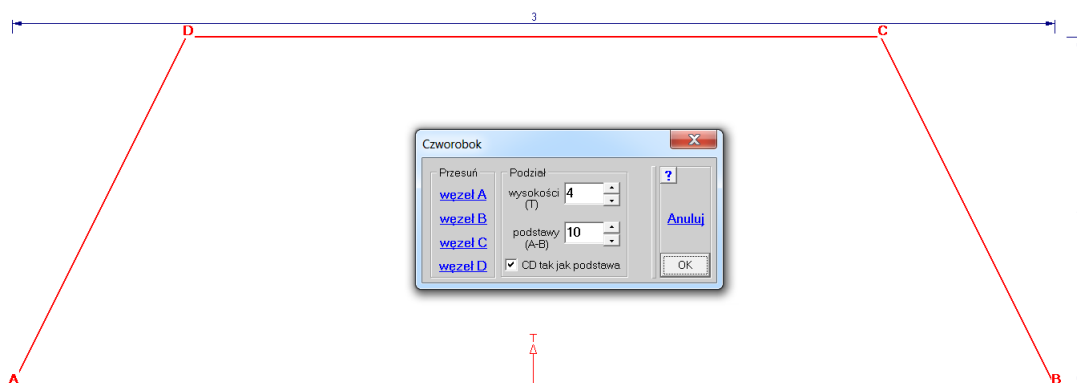
W polu „Równoległobok” są trzy okienka, w których można wprowadzić kąt nachylenia pionowego boku obszaru (w orientacji ekranu monitora), jego szerokość – w kierunku osi X i wysokość w kierunku osi Y.

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

30.2. Obszar czworokątny

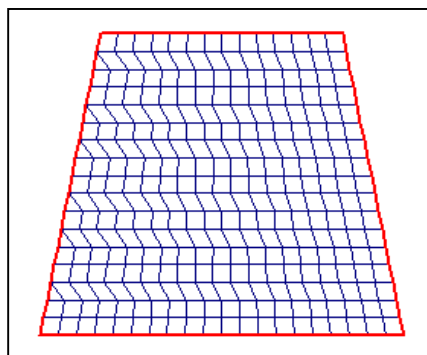
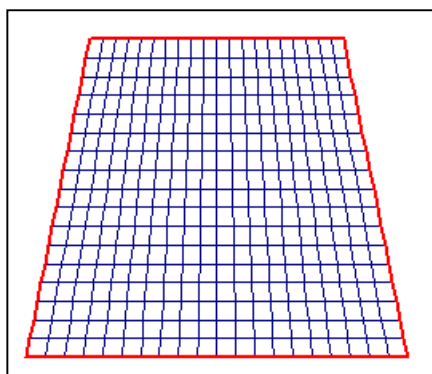
Dla obszaru czworokątnego zamiast kąta podaje się długość górnego boku i po kliknięciu w [OK] program narysuje trapez równoramienny i pokaże okno w którym będzie można przesunąć wierzchołki trapezu ([węzeł A](#), [węzeł B](#), [węzeł C](#), [węzeł D](#)) przyjąć podział podstawy i wysokości oraz zdecydować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

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



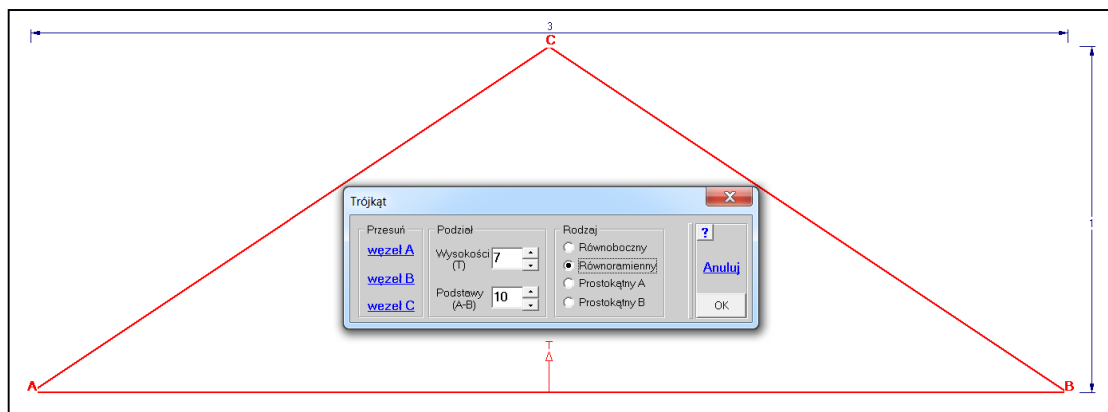
Po wciśnięciu [OK] otrzymano siatkę pokazaną po lewej stronie. Jeśli wyłączono „CD tak jak podstawa”, to siatka będzie wyglądał tak jak po prawej stronie.

W folderze \Przykłady_płyt 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. Oba zadania będą szczegółowo omówione dalej.



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 możliwości modyfikacji.

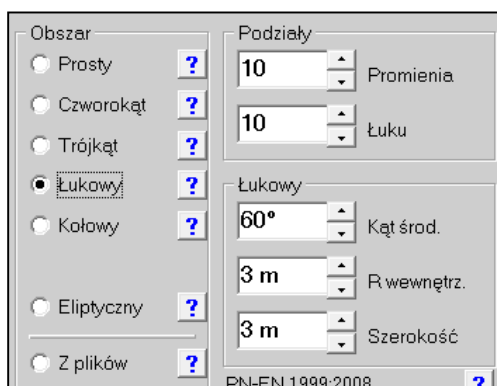


Przyciskami [Węzeł A](#), [Węzeł B](#) i [Węzeł C](#) w polu „Przesuń” można zmienić położenie odpowiednich wierzchołków trójkąta. W polu „Podział” ustawia się podział wysokości i podział podstawy. Ponadto można utworzyć regularny obszar trójkątny wybrany z jednej z czterech możliwości pola „Rodzaj”.

W folderze \Przykłady_Płyt 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.



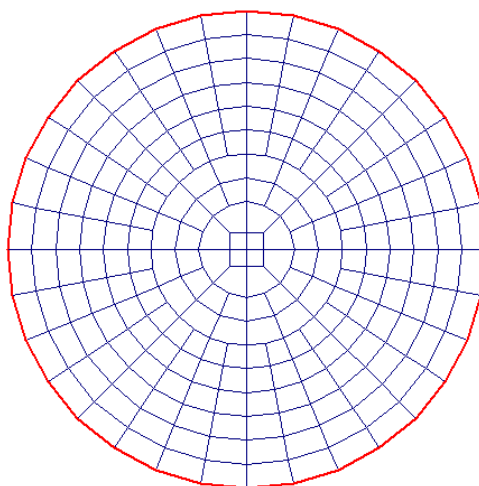
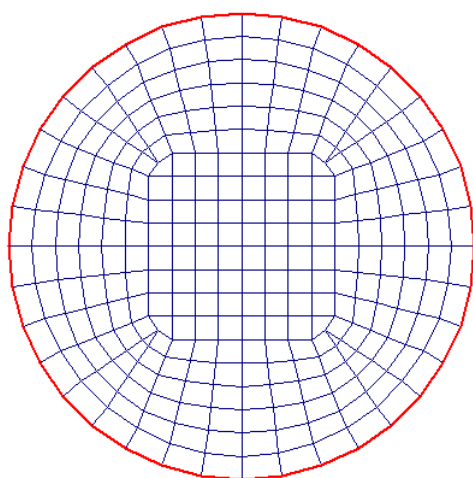
W folderze \Przykłady_Płyt znajdują się przykłady siatek łukowych. W przykładzie Luk60_R pokazano regularną siatkę utworzoną dla domyślnych danych, w przykładzie Luk180_R pokazano siatkę pół pierścienia regularnego o stałej szerokości, w przykładzie Luk360_R pokazano siatkę pierścieniową. Wszystkie te przykłady nie są kompletnymi zadaniami tylko przykładami możliwości generacyjnych.

30.5. Obszar kołowy

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

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

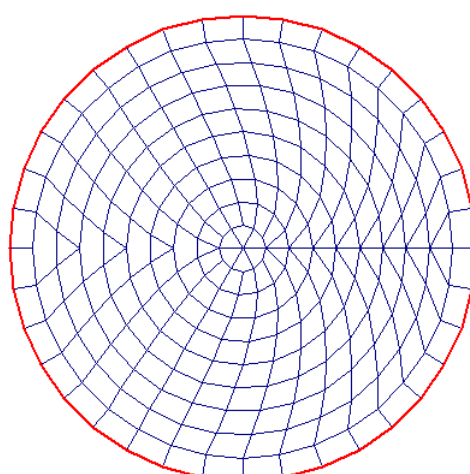
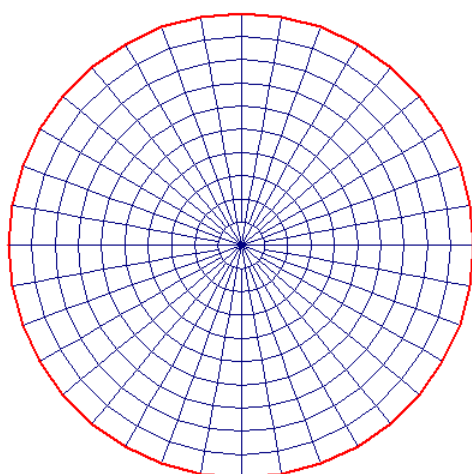
Obszar		Podziały	
<input type="radio"/> Prosty	?	10	Promienia
<input type="radio"/> Czworokąt	?	64	Łuku
<input type="radio"/> Trójkąt	?		
<input type="radio"/> Łukowy	?		
<input checked="" type="radio"/> Kołowy	?	360°	Kąt środ.
Typ B	?	Kołowy typ B	
<input type="radio"/> Eliptyczny	?	3 m	Promień
<input type="radio"/> Z plików	?	PN-EN 1999:2008	



W folderze \Przykłady_Płyt 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			



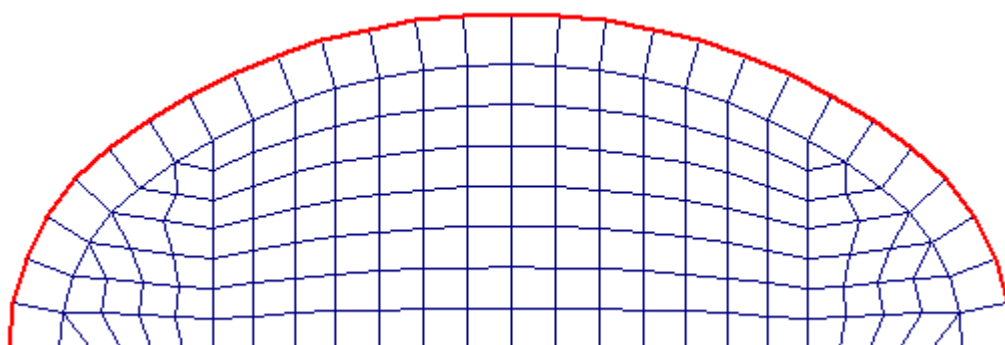
Tylko obszary typu C i D mogą być wycinkami koła o dowolnym kącie środkowym. W obszarach typu A i B wycinki kołowe muszą być wielokrotnością kąta prostego.

30.6. Obszar eliptyczny

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

W folderze \Przykłady_Płyt znajdują się przykłady siatek eliptycznych. W przykładzie Elipsa_90 jest siatka obszaru $\frac{1}{4}$ elipsy, w przykładzie Elipsa_180 jest siatka $\frac{1}{2}$ elipsy, a w przykładzie Elipsa_360 jest siatka pełnej elipsy. Nie są to zadania, tylko przykładowo wygenerowane siatki. Pełnym zadaniem jest przykład Elipsa. Będzie on omówiony dalej.

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	?		
<input checked="" type="radio"/> Eliptyczny	?		
<input type="radio"/> Z plików	?		
		Eliptyczny	
		360°	Kąt środ.
		2 m	Promień Y
		3 m	Promień X
		PN-EN 1999:2008	



30.7. Czytanie z plików

Program ABC Płyta pozwala wczytać model z plików tekstowych. Z plików można też dodawać nowe obszary do istniejącego już modelu. Potrzebne są dwa pliki. Pierwszy ze współzrzednymi 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 współzrzednymi będzie to kolejny numer węzła i jego współzrzedne 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.

X
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

Staly format
Anuluj

Węzły
Węzłów: 100
Dobre

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 utworzyć 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.

X
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

Węzły
Węzłów: 100
Dobre

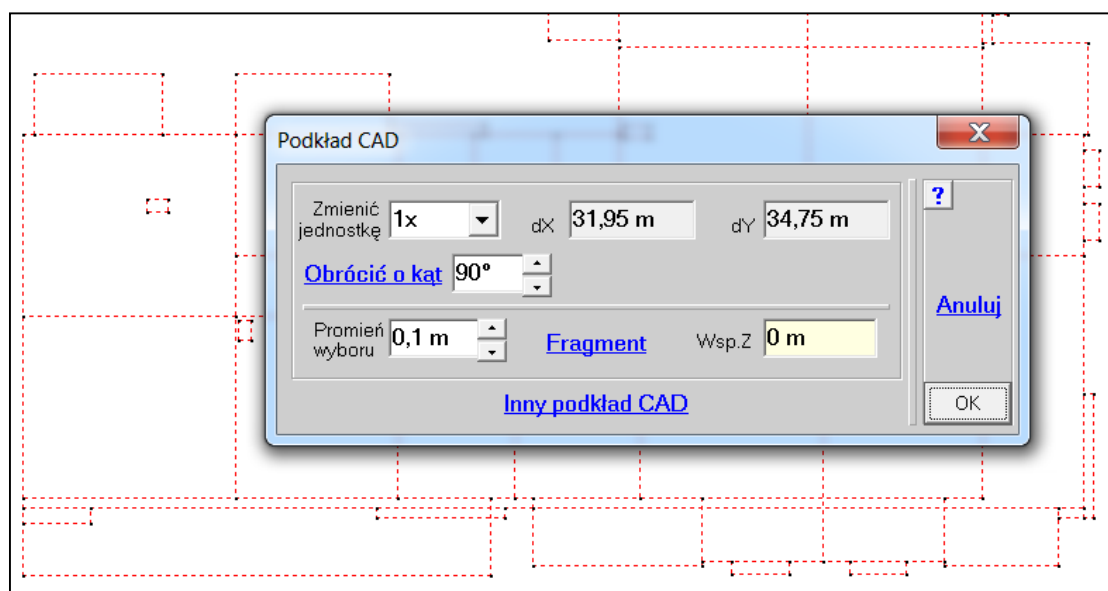
Płaskie
Płaskich: 64
Dobre

OK

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.

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”.

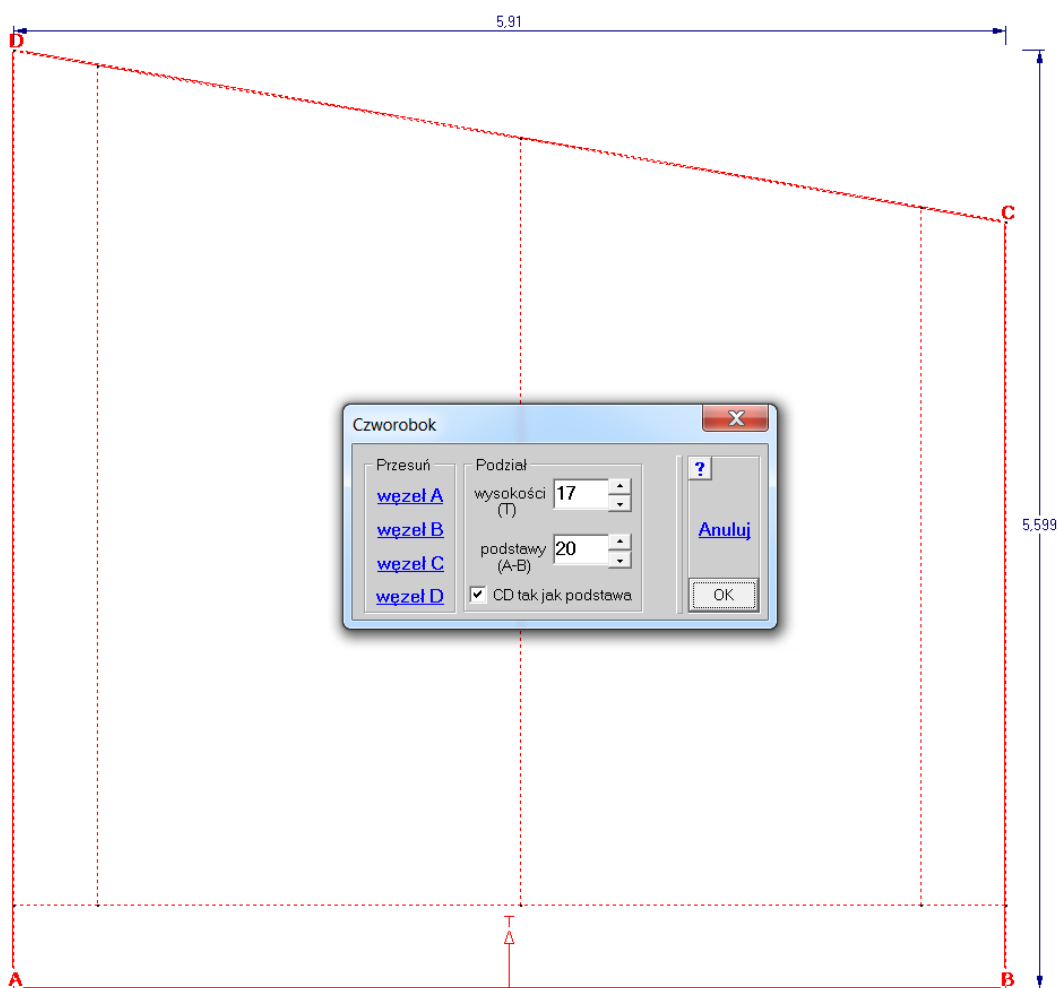
Jeśli wybrano niewłaściwy podkład to przyciskiem [Inny podkład CAD](#) można powtórnie wywołać okno dialogowe, w którym są nazwy plików .DXF i wybrać inny plik. Przyciskiem [Obróć o kąt](#) można podkład obrócić o kąt zadany w okienku. Podpowiadany jest kąt 90°. Warto skorzystać z tego przycisku np.,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

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 zadanym 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.



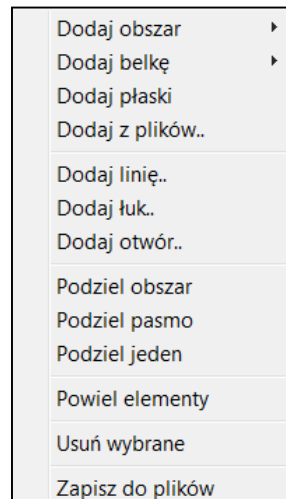
Dla przypomnienia w menu [Pokaż](#) będą opcje [A]Podkład CAD, którą można włączać i wyłączać podkład, [Cały zarys CAD](#), którą można skalować rysunek do całego podkładu, a nie tylko do siatki, oraz opcja [Sprowadź podkład](#), którą można zsynchronizować wybrany węzeł z odpowiadającym mu punktem podkładu. 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 pod-porowe i obciążenia. Taki przypadek występuje jednak rzadko. Częściej obszar początkowy jest punktem startu do dalszych działań, takich jak dodawanie dalszych obszarów, usuwanie elementów, zagęszczanie wy-branych 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.

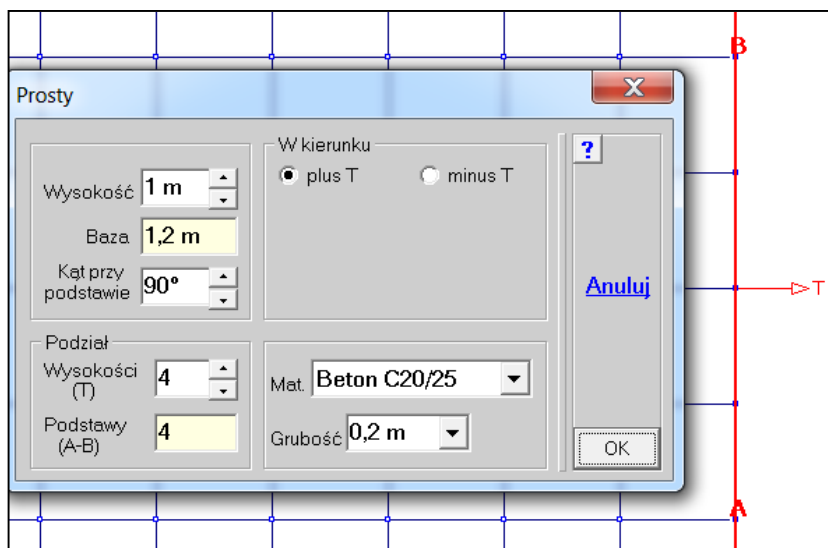
Zakres menu **Elementy** ulega znacznemu rozszerzeniu po włą-czeniu przycisku **[M]**. Pełny zestaw opcji widać na rysunku obok. Zakres opcji **Dodaj obszar** też zależy od stanu przycisku **[M]**. Przy wyłączonym przycisku będzie można dodawać tylko obszary: Proste, Czworokątne i Trójkątne.



Postępowanie przy dodawaniu nowego obszaru jest w każdym przypadku jednakowe. Naj-pierw 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 współ-rzędne. 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.

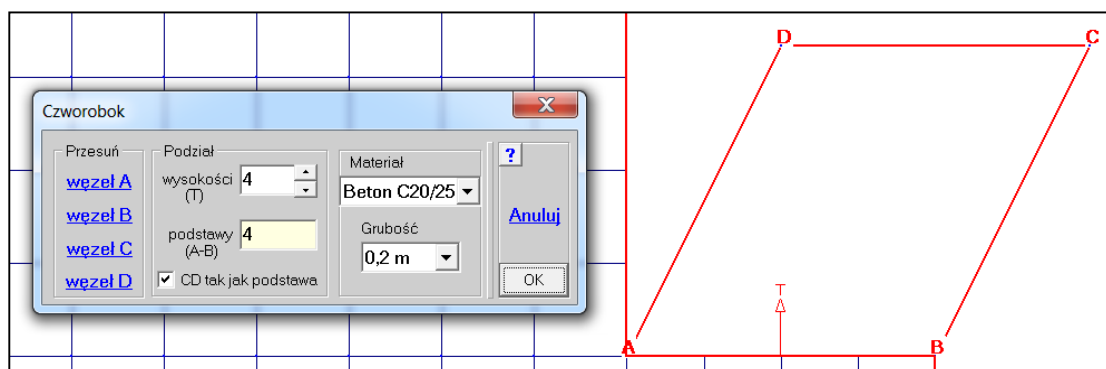


Na planszy będzie podpowiadana wysokość obszaru, kąt nachylenia do bazy równy 90° (ob-szar prostokątny) i podziały bazy i wysokości. Ponadto można wybrać kierunek utworzenia nowego obszaru zgodnie z kierunkiem T lub przeciwnie (np. wtedy, kiedy trzeci węzeł obszaru jest z wnętrza istniejącej siatki). 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.



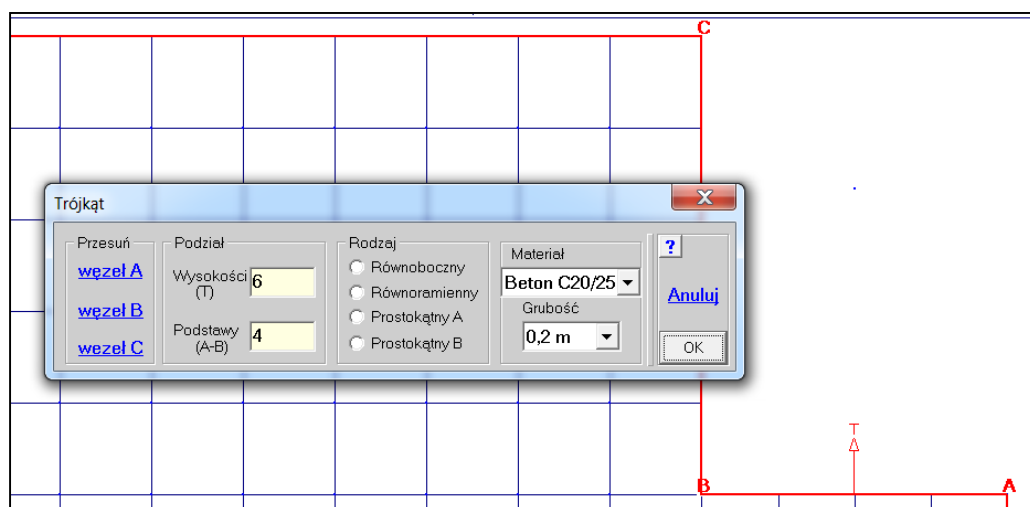
Na planszy w polu „Podział” można poznać lub zmienić podział podstawy (bazy) i wysokości. Jeśli odcinek A - B (baza) jest wybrany z istniejącej siatki to nie będzie można zmieniać podziału. To samo dotyczy podziału wysokości. Jeśli odcinek B - C będzie wybrany z istniejącej siatki to nie będzie można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

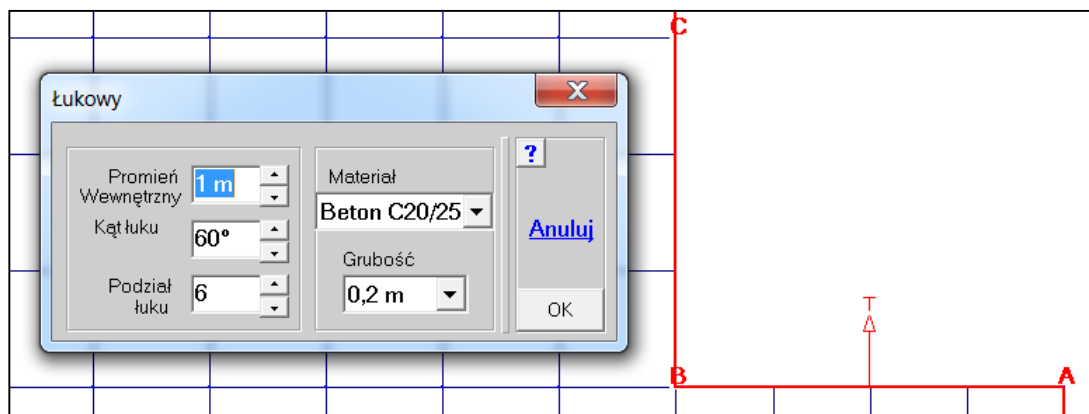
Przyciskami [węzeł A](#), [węzeł B](#) i [węzeł C](#) można zmienić położenie wybranego punktu. Jeśli będą to istniejące węzły to zostanie skorygowana istniejąca siatka. W polu „Podział” będzie można poznać podział podstawy A – B i wysokości. Jeśli zostaną wybrane odcinki należące do istniejącej siatki 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

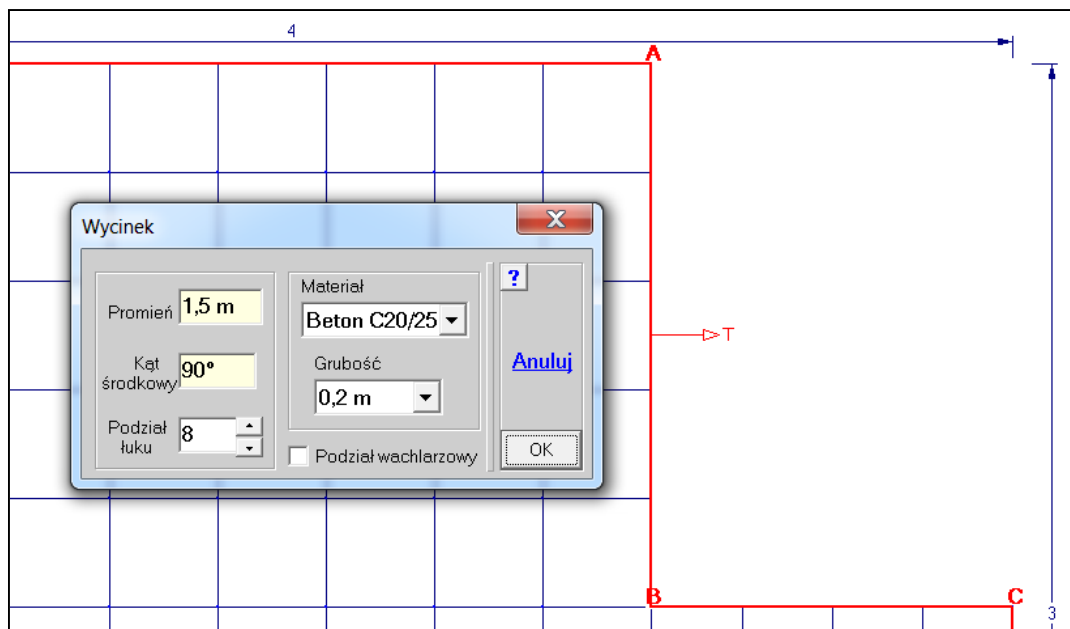
Po wybraniu opcji **Dodaj obszar – Łukowy** można wprowadzić nowy obszar łukowy. Podobnie jak we wcześniej opisanych obszarach w pierwszym kroku wyznacza się trzy punkty, które mogą być węzłami siatki lub będą opisane współrzędnymi.

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\Płyt jest zadanie **DodajLuk90**, które ilustruje tę opcję.



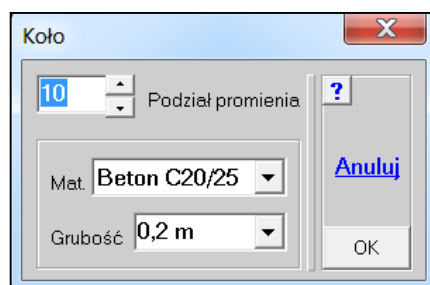
32.5. Dodanie wycinka koła

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_Płyt 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 belki

Po wybraniu opcji Dodaj belkę można dodać belkę i wprowadzić jej dodatkowe dane. Belki wprowadzane opcją Belka w płycie.. mogą być różne i różnie zadawane, ale zawsze to będą dwa pasma elementów płytowych o innej grubości. **Jeśli do opisu belki nie zostanie dodana szerokość płyty współpracującej, będzie to belka krzyżowa. Dopiero po wprowadzeniu szerokości płyty współpracującej belka nabierze cech belki teowej.** Na planszy opisu są cztery rodzaje belek:

- Przez podział pasma,
- Krawędziowa,
- Przez przesunięcie węzłów,
- O osi wyznaczonej punktami.

Parametry trzech pierwszych rodzajów są takie same, chociaż belki zadaje się w różny sposób. Opis ostatniego rodzaju jest bardziej rozbudowany.

W każdym typie belki zadaje się jej „Szerokość” i „Całkowitą grubość”, czyli wysokość belki z dodaną grubością płyty oraz wybiera materiał. Całkowitą grubość można wybrać z wartości już wprowadzonych do modelu jak i wpisać zupełnie nową. Do każdej belki można dodać szerokość współpracującej części płyty. Jeśli w oknie „Górna półka” zostanie wpisana szerokość belki, to program nie będzie korygował sztywności giętej belki dla uwzględnienia teowego jej przekroju, ale będzie kalibrować sztywność skrętną. Belki mogą mieć oś prostą (przełącznik „Prosta”) i wtedy będą zadawane dwoma punktami/węzłami kierunkowymi, lub łukową (Przełącznik „Łukowa”) i wtedy belki będą zadawane trzema punktami/węzłami.

32.7.1. Belka przez podział pasma

Taka belka powstaje z jednego pasma elementów (prostego lub łukowego). Każdy element pasma jest dzielony na dwa, powstaje krawędź, która leży na osi belki. Pierwotne węzły elementów zostają tak przesunięte, aby otrzymać zadaną szerokość belki. Przesunięcie może zwiększać lub zmniejszać sąsiednie elementy, w zależności od zadanej szerokości belki i wielkości oczka. Nie wolno zadawać takiej szerokości belki, aby sąsiednie elementy zamieniały się w odcinki. W folderze \Przykłady_Płyt jest zadanie BelkiZPasma, w którym wprowadzono dwie belki o różnych grubościach i różnych szerokościach. Wprowadzając belki krzyżujące się należy pamiętać, że elementy leżące na przecięciu się będą miały grubość belki wprowadzanej ostatnio.

Belka w płycie..
Dodaj dane..

32.7.2. Belka przez przesunięcie węzłów

Taka belka powstaje z dwóch pasm elementów (prostych lub łukowych). Wybrana linia jest osią belki. Taka belka nie zmienia liczby elementów ani węzłów w modelu. Przesuwa tylko węzły tak, aby otrzymać zadaną szerokość belki, oraz wprowadza do sąsiednich elementów nową grubość. Podobnie jak w poprzedniej belce przesunięcia węzłów nie mogą wprowadzać elementów o zerowych polach. Również przy skrzyżowaniu belek grubość elementów na przecięciu będzie równa grubości belki ostatnio zadanej. W folderze Przykłady_Płyt jest zadanie BelkiZWęzłow, w którym wprowadzono dwie krzyżujące się belki o różnej grubości i szerokości. Porównując z zadaniem BelkiZPasma można zobaczyć różnicę w siatkach obu zadań.

32.7.3. Belka krawędziowa

Taka belka też składa się z dwóch pasm, ale zakłada się ją tylko po krawędziach modelu. Tym razem nie wybiera się osi belki tylko krawędź. Jeśli w modelu są krawędzie łukowe i proste i do każdej z nich będzie dokładana belka krawędziowa to należy zacząć od krawędzi łukowych. Jeśli w narożniku krawędzie nie przecinają się pod kątem prostym to kolejne belki krawędziowe mogą nie połączyć się ze sobą. Trzeba wtedy wywołać z menu [Węzły](#) opcję **Połącz węzły** i ręcznie wymodelować to miejsce. W zadaniu BelkiKrawędziowe (folder \Przykłady_Płyt) można zobaczyć układ belek krawędziowych. Przy pomocy belek krawędziowych można też wprowadzać strefy z regularnym podziałem na łukowych lub ukośnych krawędziach. W takiej sytuacji na planszy jako grubość belki przyjmuje się grubość płyty, oraz wyłącza dodawanie szerokości współpracującej.

32.7.4. Belka o osi wyznaczonej punktami

Taka belka też będzie składała się z dwóch pasm, będzie miała stałą szerokość i może mieć inną grubość niż płyta. Oś belki prostej może być dowolnie nachylona do siatki modelu i może być wyznaczona węzłami siatki lub punktami, których współrzędne zostaną wpisane w czasie zadawania. Ponadto belka może być wygięta łukowo lub może stanowić obrzeże okrągłego otworu. Wszystkie te dane są ustalane na planszy, która pokaże się zaraz po wybraniu tej opcji. W polu „Belka” zadaje się szerokość belki, następnie całkowitą grubość będącą sumą grubości płyty i wysokości belki od powierzchni płyty. Grubość można wybrać z już istniejących w modelu lub wpisać zupełnie nową. Dalej wprowadza się gęstość podziału po osi belki i zadaje odległość węzłów od krawędzi (belki). Ta wielkość steruje podziałem przyjmowanym automatycznie w strefie między krawędzią belki, a pozostałą częścią siatki.

Belka może mieć ten sam materiał, co reszta modelu lub może być wykonana z innego materiału.

W folderze \Przykłady_Płyt jest zadanie Belka_Ukosna, w której wprowadzono belkę ukośną. W zadaniu Belka_Lukowa pokazano belkę łukową wprowadzoną i połączoną z resztą siatki automatycznie.

Do belki można dodać regularny obszar przejściowy zwany pasmem brzegowym. Pasma brzegowe jest dodawane z obu stron belki. Szerokość pasma brzegowe jest zadawana, również jego grubość i materiał. Wprowadzając szerokość pasma równą połowie szerokości belki, zadając grubość pasma taką samą jak grubość belki i wybierając ten sam materiał, można wymodelować belkę złożoną z czterech pasm. Z kolei wprowadzając do pasma brzegowego grubość płyty otrzyma się regularną strefę przejścia. Pasma brzegowe ma znaczenie wtedy, kiedy oś belki nie pokrywa się z liniami siatki. W zadaniu Belka_Ukosna_2 pokazano siatkę z belką ukośną uzupełnioną pasmem brzegowym. W zadaniu Belka_Lukowa_2 okazano siatkę z belką łukową z pasmem brzegowym.

W polu „Połącz z resztą siatki” są zadeklarowane warunki automatycznego połączenia krawędzi belki z resztą siatki. Strona „Prawa” i „Lewa” związana jest z kolejnością zadawania węzłów osi. Warunki te można wyłączyć wtedy, kiedy zadaje się belki krawędziowe. W zadaniu Belka_Krawedz pokazano ten przypadek. Do istniejącej siatki wprowadzono łukową belkę krawędziową deklarując połączenie z siatką tylko po prawej stronie – przykład Belka_Krawedz_1. Następnie usunięto zbędne elementy. Otrzymano regularną belkę krawędziową połączoną automatycznie z resztą siatki. W siatce zadania Belka_Krawedz dodatkowo zmieniono współrzędne węzłów należących do belki i leżących na krawędziach obszaru

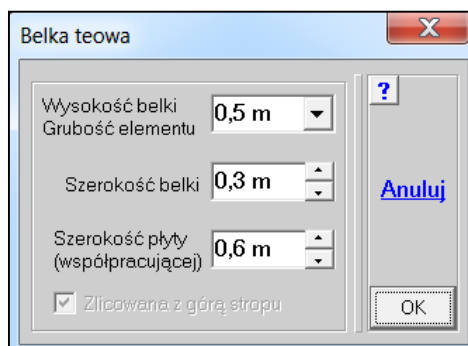
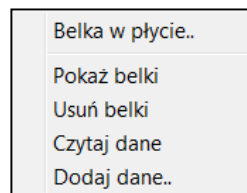
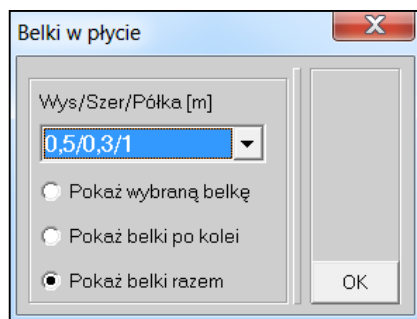
Po wprowadzeniu belek z szerokością współpracującą liczba opcji w menu Dodaj belkę wzrośnie. Pojawi się opcja Pokaż belki, którą można ujawnić lokalizację elementów, w których wprowadzono warunek współpracy

z częścią płyty. Opcją Usuń belki można z wybranych elementów usunąć warunek współpracy z częścią płyty. Ta zmiana nie ma wpływu na grubość elementów. Następną opcję Czytaj dane pozwala poznać, jaka jest szerokość części współpracującej, a opcja Dodaj dane pozwala

zadać inne dane do wybranych elementów. Tyimi danymi są: wysokość i szerokość belki oraz szerokość współpracującej części płyty. Opcja Dodaj dane nie zmienia położenia węzłów siatki, ma wpływ tylko na korektę sztywności.

Jeśli w modelu są belki o różnych szerokościach, wysokościach lub szerokościach płyty współpracującej to wybierając opcję Pokaż belki pojawi się okno, które pozwoli pokazać wszystkie belki w modelu, pokazać wybrany typ lub pokazać po kolei. Jeśli pokazują się belki jednego typu to zostaną też pokazane jej parametry. Okno jest identyczne jak po wywołaniu opcji Dodaj dane.. tyle, że nie można zmieniać wartości. Przy dodawaniu danych, po zamknięciu okna przyciskiem [OK] program pozwoli wybrać elementy tworzące belkę.

Belki można też wprowadzić przez opcję Ustaw szerokość.. z menu Węzły, następnie Nowa grubość.. z menu Grubość. Będzie to belka krzyżowa. Po wprowadzeniu opisu opcją Dodaj dane.. z menu Elementy - Dodaj belkę można ją przekształcić w belkę teową.



32.8. 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 węzły, 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.

32.9. 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 30.7) tyle, że nowy obszar będzie dodany do modelu.

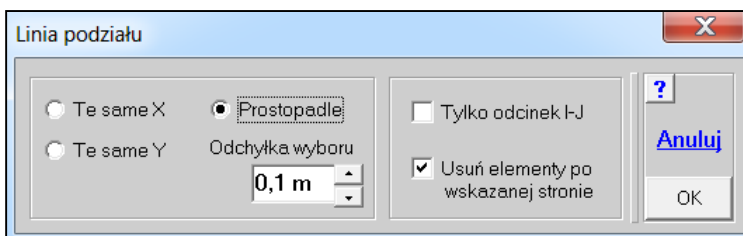
32.10. Dodaj linię

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.

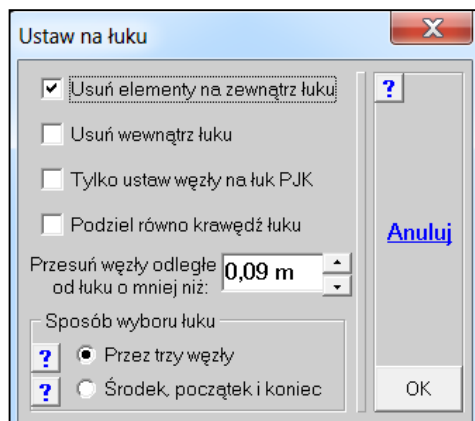
Zadanie zbyt małej wartości może prowadzić do pojawienia się malutkich elementów powstałych po odcięciu wierzchołków starych elementów. Przesuwanie węzłów może odbywać się „Prostopadłe” do linii, lub z zachowaniem wybranej współrzędnej.

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 **DodajLinie** w folderze \Przykłady_Płyt pokazano siatkę, w której po prawej stronie wprowadzono linię z usuwaniem elementów, a po lewej tylko z modyfikacją siatki.



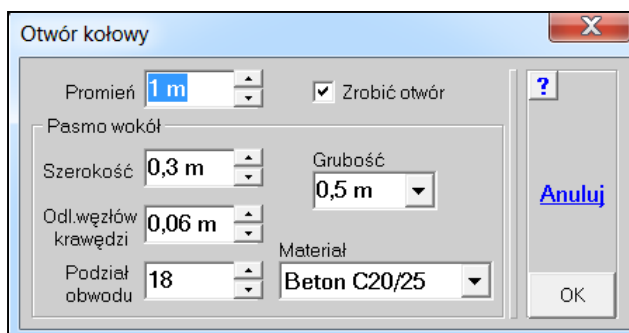
32.11. Dodaj łuk

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_Płyt pokazano siatkę zmodyfikowaną tą opcją.



32.12. 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.



32.13. 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

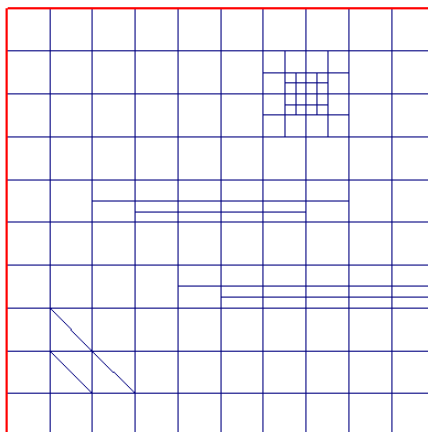
Klikając opcję Podziel obszar (menu [Elementy](#)) należy wybrać elementy używając do tego Okna lub Wielokąta. Procedura podziału dzieli wszystkie elementy, które może podzielić. Po naciśnięciu prawego przycisku myszy pojawi się podręczne menu, w którym opcją Cofnij można cofnąć ostatnio wykonany podział, 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](#).

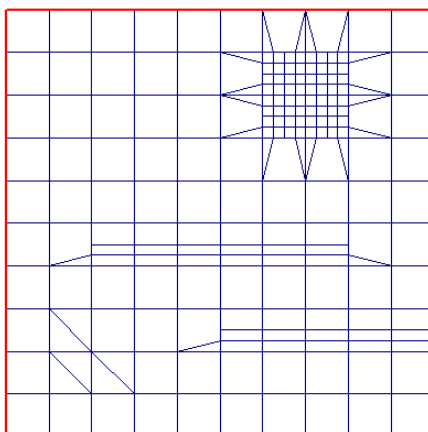
Po wybraniu opcji **Podziel jeden** należy wybrać dwa węzły z jednego elementu i zostanie on podzielony na dwa trójkąty, jeśli był czworokątem i na trójkąt i czworokąt, jeśli był to element pięciowęzłowy. Podobnie jak przy innych opcjach po naciśnięciu prawego przycisku myszy pojawi się podręczne menu, 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



32.14. Powielanie wybranego fragmentu

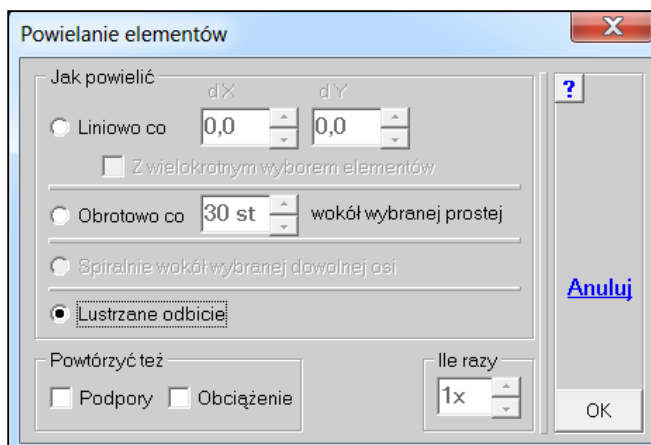
Przy tworzeniu modelu metodą od szczegółu do ogółu najczęściej wykorzystuje się opcję **Powiel elementy** z menu [Elementy](#). Opcja ta pozwala w różnorodny sposób powtarzać wybrany fragment modelu. Na danym etapie modelowania może to być cały aktualny model. Pierwszym krokiem po włączeniu opcji **Powiel 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 „Powtórzyć 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 Płyce 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_Płyt 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° 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**.



32.15. Usuwanie elementów

W programie ABC Płyta 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. Opcję **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

32.16. 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 opcję **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

32.17. 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.

Pliki tekstowe

Komentarz w pliku Węzły
Węzły - Płyta
Zmień miejsce
C:\ABC6\Węzły-aa.txt

Komentarz w pliku Płyty
Płaskie - Płyta
C:\ABC6\Płaskie-aa.txt

☐ Tarcza
☒ Płyta
☐ Obiekt

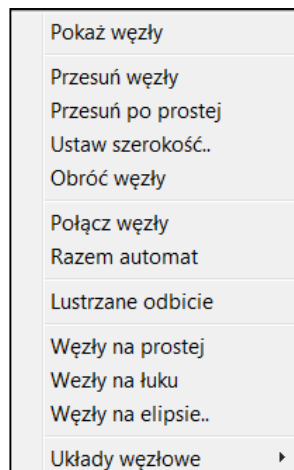
?
Anuluj
OK

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.

C 33. Operacje na węzłach

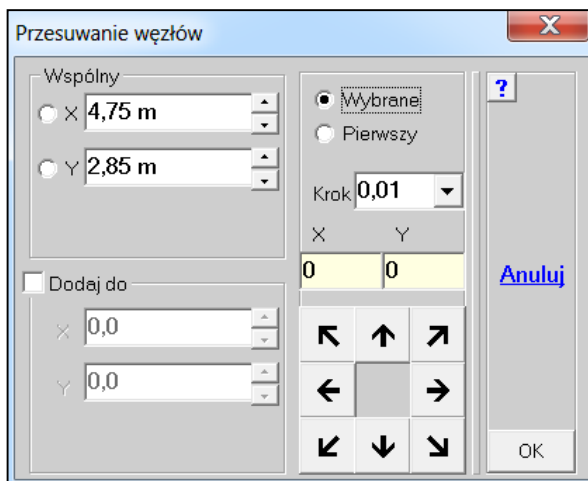
Węzły nie są samodzielnym składnikiem modelu. Są one zawsze związane z elementami. To elementy można dodawać, usuwać, modyfikować. Węzły powstają niejako przy okazji tworzenia elementów. Jednak w czasie wprowadzania modelu może zajść potrzeba zmiany współrzędnych i wtedy należy sięgnąć do menu [Węzły](#). 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 przesuwaniem 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 Wspólny). 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”.

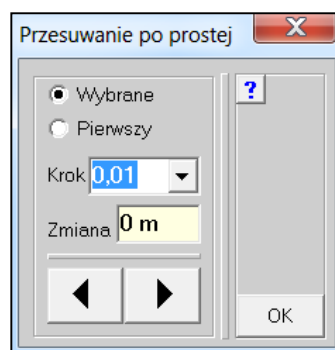


Zaraz po pokazaniu się planszy przełącznik ten będzie nazywał się „Pierwszy”. Po kolejnych kliknięciach w ten przełącznik dojdzie się do ostatniego węzła i taka nazwa pojawi się przy jego polu. Aktualny węzeł będzie wyróżniony innym kolorem.

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 kończy przycisk [OK].

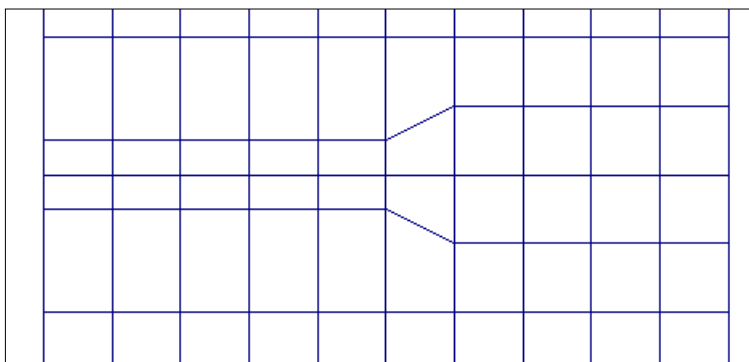
33.2. Przesuwanie węzłów po prostej

Poprzednia operacja pozwalała przesuwać węzły poziomo, w pionie lub pod kątem 45° . 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”.



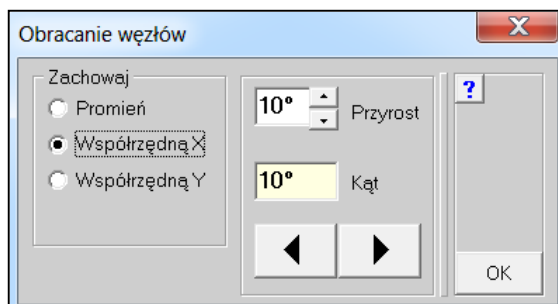
33.3. Opcja Ustaw szerokość..

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

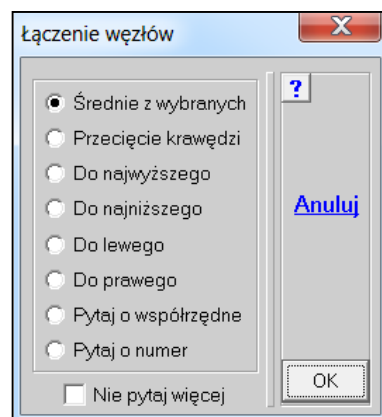
Jest to operacja pozwalająca na zmianę położenia wybranych węzłów przez obrót wokół wskazanej osi. W pierwszym kroku wybiera się punkt będący śladem przebiecia płaszczyzny modelu osią obrotu. Następnie należy wybrać węzły, które będą obracane. Po wyborze węzłów pokaże się plansza „Obracanie węzłów”.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

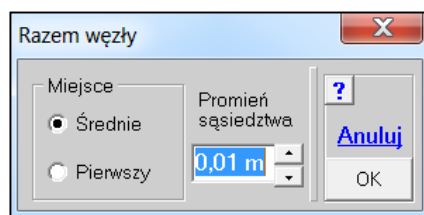
Opcja **Połącz węzły** pozwala połączyć wybrane węzły. Po kliknięciu w opcję **Połącz węzły** należy wybrać węzły, następnie pojawi się plansza, na której należy zdecydować, jakie miejsce ma przyjąć węzeł powstały w wyniku połączenia. Do wyboru jest: położenie średnie, do węzła najwyższego, najniższego, 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.

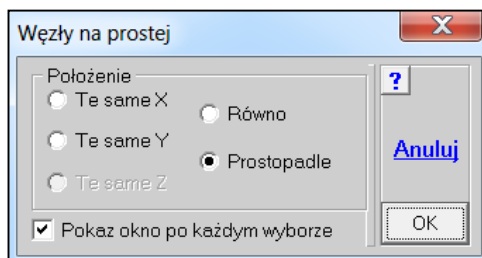


33.7. Lustrzane odbicie

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.

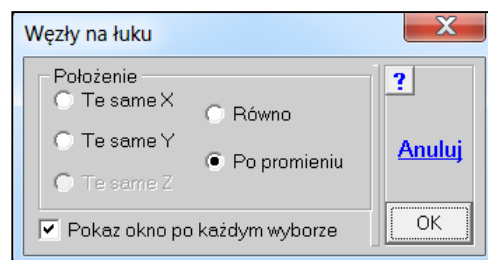
33.8. Ustawianie węzłów na prostej

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” sprowadzi węzły naadaną prostą 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

Opcję 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_Płyt jest zadanie Pierścien_Kolowy w którym połowa kołowego pierścienia została przekształcona w połowę pierścienia eliptycznego (zadanie Pierścien_Eliptyczny). W oknie wpisano dane pokazane obok.

Zamiana na elipsę

Współrzędne środka elipsy i łuku
 Xs Ys

Zamień łuk o promieniu R na elipsę o promieniach A i B

R [m]	A [m]	B [m]
3	3	2
3,25	3,25	2,25
3,5	3,5	2,5
3,75	3,75	2,75
4	4	3

Dokładność wyboru węzłów

[Anuluj](#)

33.11. Zbędne węzły

Jeśli w modelu pojawiają 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 Płyta 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. Pierwszy sposób jest przydatny, jeśli w modelu będą prostokątne słupy ustawione wachlarzowo, a drugi, kiedy słupy są ustawione wzdłuż ukośnej krawędzi. Węzeł kierunkowy może należeć do elementów lub może mieć indywidualnie wprowadzane współrzędne. W folderze \Przykłady_Płyt znajdują się dwa przykłady: w zadaniu Słupy_Wachlarz układy węzłowe są określone węzłem kierunkowym, a w zadaniu Słupy_Ukosne pokazano jak można ustawić słupy obracając je kąt wokół osi Z. (menu [Pokaż](#) opcja Pokaż ikony - Zarys słupów, lub klawisz <S>). W układach węzłowych można zadać obciążenie oraz wprowadzić warunki brzegowe typu symetria.

Węzłowe układy wsp.

☒ Węzeł kierunkowy

Obroty wokół osi

☐ Z

[Anuluj](#)

Jeśli w modelu są już wprowadzone układy węzłowe to menu będzie zawierało opcje pokazane obok. Przy pierwszym wywołaniu będzie dostępna tylko opcja Zadaj układy... Opcję Usuń wszystkie można usunąć wszystkie układy węzłowe. Ta operacja wymaga potwierdzenia. Opcję 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 ν = 0,3
 Ciężar właściwy γ = 77 kN/m³
 Wsp. termiczny α = 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/m³
 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/m³
 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 ν ,
- Ciężar właściwy γ ,
- 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' (Other) material type selected. The fields are as follows:

Opis materiału	Inny
Moduł sprężystości E	20000 MPa
Liczba Poisson'a ν	0.1667
Ciężar właściwy γ	25 kN/m ³
Wsp. termiczny α	0,00001 1/°C

At the bottom, there are two radio buttons: 'Dodaj nowy' (unselected) and 'Zamień stary' (selected). A blue link 'Dodaj do bazy' is visible. On the right side, there is a question mark icon, a blue '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.

The 'Materiał' dialog box shows the 'Pełny opis' (Full description) material type selected. The fields are as follows:

Opis materiału	Pełny opis		
D11	1000 MPa	D12	1000 MPa
		D13	0 MPa
		D22	1000 MPa
		D23	0 MPa
		D33	800 MPa

The 'Macierz sprężystości' (Stiffness matrix) section is highlighted. Below it, the 'Kąt między osiami elementu, a osiami materiałowymi' (Angle between element axes and material axes) is set to 0 st.

Wsp. rozszerzalności termicznej dla osi X	0,00001 1/°C	Ciężar właściwy	25 kN/m ³
dla osi Y	0,00001 1/°C		

At the bottom, there are two radio buttons: 'Dodaj nowy materiał' (unselected) and 'Zamień stary materiał' (selected). A blue link 'Dodaj do bazy' is visible. On the right side, there is a question mark icon, a blue 'Anuluj' button, and an 'OK' button.

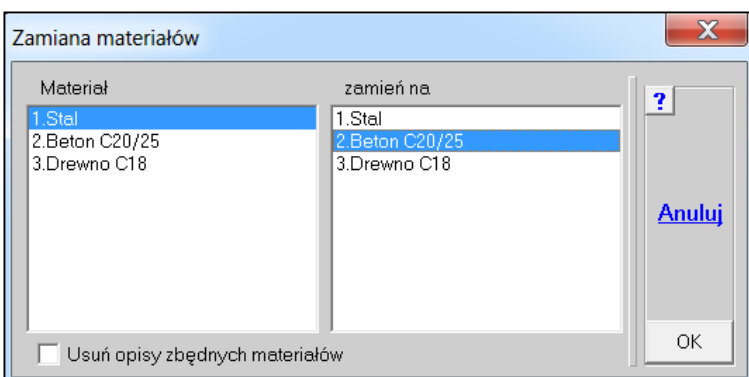
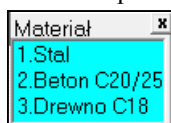
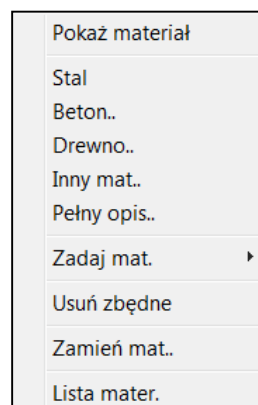
Jeśli w modelu są co najmniej dwa materiały to liczba dostępnych opcji w menu **Materiał** znacznie wzrasta. Poza opcjami z rodzajem materiału pokaże się opcja **Pokaż materiał**, która pozwala pokazać miejsca materiału wraz z planszą opisującą jego dane. Opcja **Zadaj mat.**, pozwala zadać wpisany już 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.

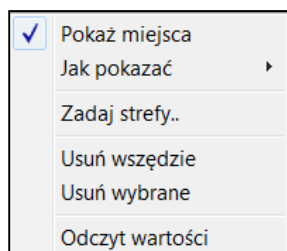
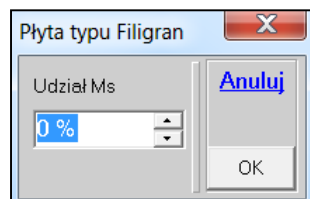
Na tej planszy można zamienić materiał bez konieczności powtórznego pokazywania miejsca jego występowania. Wystarczy kliknąć jedną linię w lewym oknie i inną w prawym oknie. Po włączeniu „Usuń opisy zbędnych materiałów” liczba materiałów zostanie zredukowana do niezbędnie potrzebnych w zadaniu.

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.



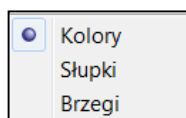
C 35. Menu Filigran

Przycisk [Filigran](#) jest dostępny, niezależnie od tego czy na planszy startowej wybrano płytę typu „filigran” czy nie. Jeśli na planszy startowej wybrano płytę typu „filigran” to w polu „Grubość” należało tylko dodać grubość prefabrykatu, potrzebną do ustalenia odpowiedniej otuliny zbrojenia w warstwie nadbetonu. Samo zadawanie stopnia przenoszenia momentu skręcającego odbywa się w tym miej-



scu. Przy pierwszym kliknięciu tego przycisku od razu pojawi się plansza, w której można zadać stopień przeniesienia momentu skręcającego przez płytę. Podpowiadana jest wartość zero. Potem trzeba wybrać miejsca, w których ten warunek będzie wprowadzony. Jeśli zostaną wybrane wszystkie elementy to w całej płycie zostanie zadany warunek wymagany przez przepisy DIN. Praktycznie ten warunek potrzebny jest tylko w strefach brzegów prefabrykatów. Po zadaniu stref z ograniczeniem stopnia przenoszenia, mogą być strefy o różnym stopniu, menu, jakie pojawi się po kliknięciu przycisku [Filigran](#) będzie następujące. Opcją [Pokaż miejsca](#) włą-

cza się pokazywanie stref w których przenoszenie momentów skręcających jest mniejsze od 100%. W menu [Jak pokazać](#) można wybrać [Kolory](#) (kolorowe mapy), [Słupki](#) lub [Brzegi](#) do prezentacji tych stref.

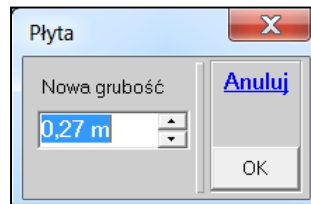


Opcją [Zadaj strefy..](#) można wywołać omówioną wyżej planszę i wprowadzić kolejną wartość stopnia przeniesienia momentu skręcającego. Opcją [Usuń wszędzie](#) będzie można usunąć wszystkie dane wprowadzone w modelu. Operacja ta będzie wymagała potwierdzenia. Opcja [Usuń wybrane](#) pozwala usunąć ograniczenia w przenoszeniu momentu skręcającego w wybranych miejscach. Opcją

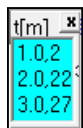
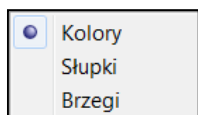
[Odczyt wartości](#) można odczytać stopień przenoszenia momentu skręcającego w wybranych elementach.

C 36. Grubości

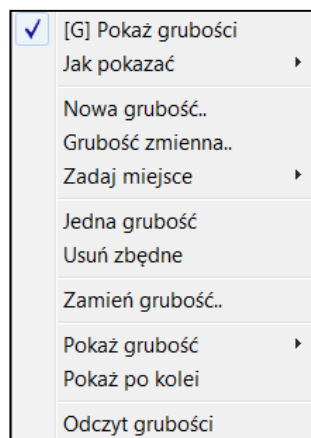
W odróżnieniu od modeli prętowych, w których można było prowadzić obliczenia bez zadania danych przekrojowych w obiektach typu Płyta grubość musi być wprowadzona. Na planszy startowej zadania płaskiego od razu można ustalić grubość. Natomiast w menu [Grubość](#) można zmienić jej wielkość lub dodać kolejną 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, odcinkiem lub łukiem.



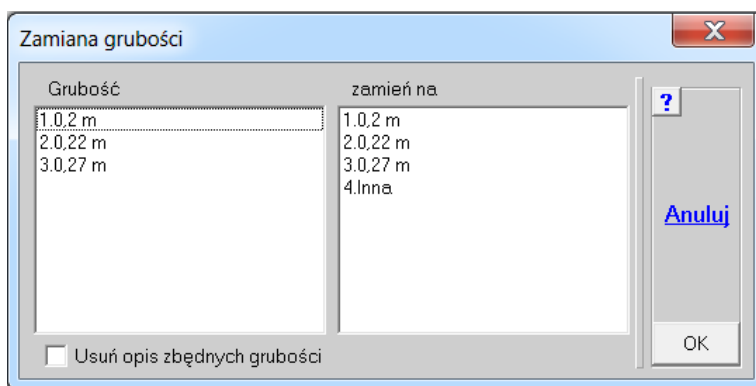
Opcję [G]Pokaż grubość lub klawiszem <G> można sterować pokazywaniem grubości. Opcję Jak pokazać można z kolei wybrać formę prezentacji grubości. *Należy podkreślić, że prezentacja grubości w formie słupków nie ma nic wspólnego z rzeczywistością i jest wprowadzona tylko dla podniesienia czytelności.* 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.



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



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



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

Opcję 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. W folderze \Przykłady_Płyt jest zadanie Wsporniki w którym wprowadzono pasma płyty z liniowo zmienną grubością. Należy tylko pamiętać, że jeśli ma być zachowana sztywność wspornika zlicowanego górą to należy obliczyć takie grubości, aby model krzyżowego wspornika miał taką samą sztywność.

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_płyt jest zadanie Balkon w którym wprowadzono grubość zmienną zadaną danymi pokazami w oknie obok. Wcześniej opcją Fragment ograniczono obszar w którym wprowadzono grubość zmienną. Linią odniesienia była górna pozioma krawędź. Kierunek zmian wybrano dowolnym węzłem leżącym poniżej górnej krawędzi.

C 37. Przeguby

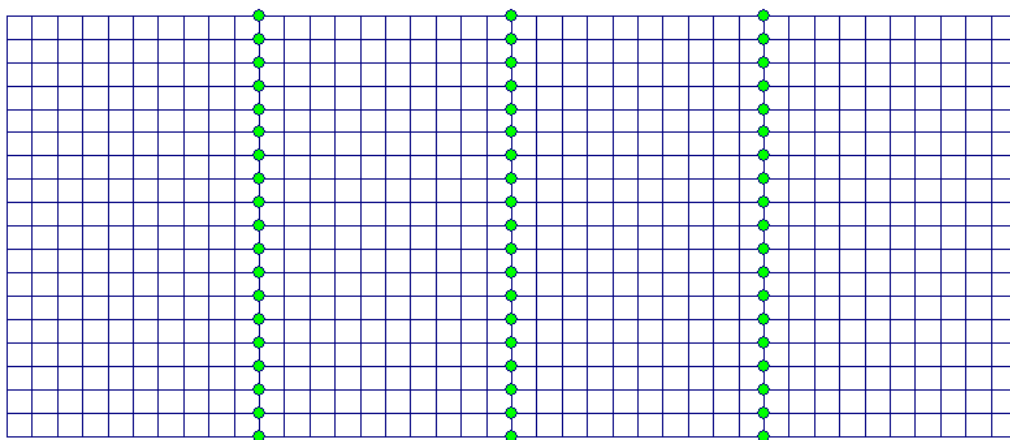
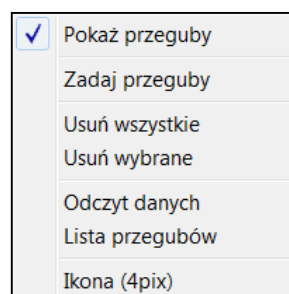
W płycie można wprowadzić przeguby, czyli warunek, aby w wybranych węzłach były takie same ugięcia, a różne kąty obrotu w zależności czy będą to elementy z jednej lub drugiej strony linii przegubu. Ponieważ przeguby występują wzdłuż linii stąd muszą być zadane w minimum dwóch węzłach. Przegub może zaczynać się i kończyć w polu płyty. Nie musi mieć granic na brzegu płyty. **Nie wolna zadawać przegubów wzdłuż krawędzi płyty.**

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. Opcja Odczyt pozwala odczytać dane przegubu. Opcja Lista przegubów pozwala wyświetlić zestawienie numerów węzłów z danymi o przegubie.

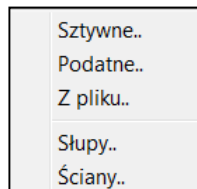
W folderze \Przykłady_Płyt znajduje się pełne zadanie o nazwie Przeguby, w którym wprowadzono przeguby. Można zobaczyć wpływ przegubów na ugięcia płyty, rozkład momentów czy sił poprzecznych.

Poniżej pokazano ikony przegubów w zadaniu Przeguby.



C 38. Podpory

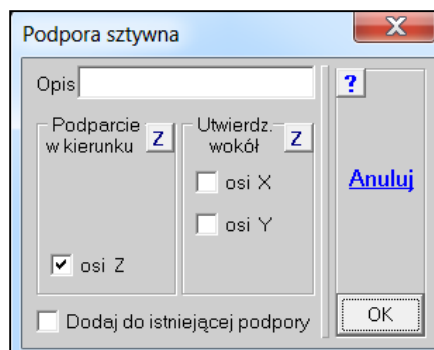
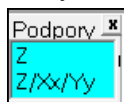
Warunek podporowy jest niezbędnym elementem każdego zadania. Podparcie płyty może być zrealizowane na podporach przyłożonych do węzłów lub na podłożu przyłożonym do elementów. W tym rozdziale zostaną omówione sposoby podparcia węzłowego. Podpory mogą mieć charakter podpór teoretycznych: sztywnych - opcja **Sztywne..** lub podatnych - opcja **Podatne..** oraz podpór rzeczywistych w postaci słupów - opcja **Słupy..** i ścian - opcja **Ściany...** Te ostatnie podpory zadawane są w postaci układu wymiarów opisujących rzeczywisty fragment obiektu. Program sam oblicza potrzebne sztywności i przyporządkowuje je odpowiednim węzłom. Obliczanie sztywności odbywa się dopiero przy rozwiązaniu stąd można zmieniać położenie węzłów podpartych na ścianach bez szkody dla liniowego charakteru tego podparcia. Można też układ podporowy przygotować w 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 płycie podpora może mieć jedną składową liniową o kierunku osi Z i dwie składowe kątowe wokół osi X i Y. Domyślnie jest tylko włączona składowa liniowa, co odpowiada modelowi podpory przegubowej. Po włączeniu obu składowych kątowych otrzyma się podporę sztywną (utwierdzenie). Przyciski [Z] pozwalają szybko przestawić włączniki w przeciwne ustawienia. 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], a sztywności kątowe w [kNm/°]. 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, co zagwarantuje 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 tylko o kierunku Z, ale o różnej sztywności w górę i w dół. 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

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_Płyt jest zadanie Podpory_Z_Pliku w którym wprowadzono podpory z pliku Podparcie.txt. Ten plik też jest w tym folderze.

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 płyty									
1	0	0	0	0	0	Sztywna	Sztywna	Sztywna	0
2	0,3	0	0	0	0	10000000000	0	0	0
3	0,6	0	0	0	0	10000000000	0	0	0
4	0,9	0	0	0	0	1000000000	0	0	0
5	1,2	0	0	0	0	100000000	0	0	0
6	1,5	0	0	0	0	10000000	0	0	0
7	1,8	0	0	0	0	1000000	0	0	0
8	2,1	0	0	0	0	100000	0	0	0
9	2,4	0	0	0	0	10000	0	0	0
10	2,7	0	0	0	0	1000	0	0	0
11	3	0	0	0	0	10	10000	10000	0
12	0	3	0	0	0	Sztywna	Sztywna	Sztywna	0
13	0,3	3	0	0	0	10000000000	0	0	0
14	0,6	3	0	0	0	10000000000	0	0	0
15	0,9	3	0	0	0	1000000000	0	0	0

Format:
☒ Zmienny współrzędne: 3
☐ Stały słup: 0

Dopasowanie:
☒ Podpory do węzłów Sąsiedztwo nie większe od: 0,03 m
☐ Węzły do podpór

(X,Y,Z) [kN/mm]
 (Xx,Yy,Zz) [kNm/°]

Anuluj OK

38.4. Podparcie na słupach

Po wybraniu opcji Słupy.. pokaże się plansza definicji podpory typu Słup. Podpora typu Słup zawsze będzie zawierała słup pod płytą. Słup ten może być podatny pionowo, może mieć przekrój prostokątny lub okrągły i wtedy wystarczy zadać średnicę, może mieć przegub na górze w miejscu połączenia z analizowaną płytą oraz przegub na dole. Słup może być wykonany z betonu o klasie, którą należy wybrać lub z materiału o module sprężystości, który też należy zadać. Słup ma wysokość, którą należy wpisać. Słup może spoczywać na fundamencie o zadawanych wymiarach spoczywającym na podłożu sprężystym typu Winklera.

Ponadto może być słup nad płytą. Ten słup wprowadza tylko sztywność giętną, dlatego nie ma przegubu na dole takiego słupa. Za to może mieć przegub u góry.

Słup jako podpora

Opis

☒ Słup NAD płytą

Mat. C20/25 Moduł 29961 MPa

☐ Przegub - góra Wysokość 3,5 m

☐ Okrągły Wymiar X 0,4 m

Wymiar Y 0,4 m

Grubość płyty wokół słupa
☐ Pogrubień 3x ☒ Bez zmian ☐ Pytać

Słup POD płytą

Mat. C20/25 Moduł 29961 MPa

☒ Podatny Z Wysokość 3,5 m

☐ Okrągły Wymiar X 0,4 m

☐ Przegub - góra Wymiar Y 0,4 m

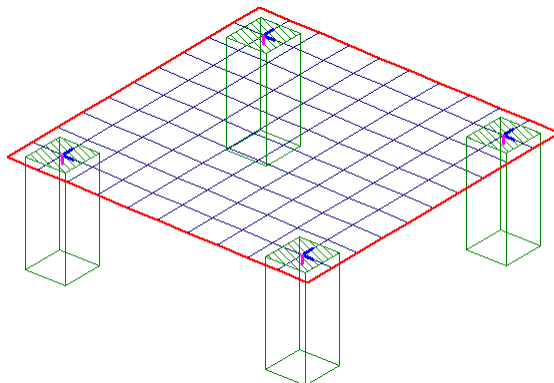
☐ Przegub - dół

☒ Fundament na podłożu Winklera Wymiar X 1 m

10 MPa/m Wymiar Y 1 m

Anuluj OK

Słup u góry może mieć inny przekrój niż dolny i to zarówno w zakresie kształtu jak i wymiarów. Również wysokość tego słupa jest zadawana i może być inna niż słupa dolnego. Na planszy opisu słupa można jeszcze zadeklarować, że elementy otaczające węzeł podparty będą miały pogrubienie równe trzykrotnej grubości początkowej, ewentualnie miejsce to zostanie bez zmiany lub po każdym wybranym miejscu program zapyta o grubość. Po zdefiniowaniu wszystkich warunków można przejść do wyboru węzłów podpartych. Podpory modelujące słupy będą miały trzy składowe sztywności: liniową o kierunku Z i dwie kątowe wokół osi X i Y, chyba, że zadeklarowano taką liczbę przegubów, że słup stracił utwierdzenia. Opis słupa można zapisać do pliku o rozszerzeniu .SLP. Pliki te można odczytać w innych zadaniach przyciskiem [Czytaj](#).



Słupy wprowadzone do modelu można zobaczyć po włączeniu opcji **Pokaż ikony - Zarys słupów** (menu [Pokaż](#)) lub po wciśnięciu klawisza <S>. Słupy dolne są rysowane zielonymi liniami, a słupy górne niebieskimi.

38.5. Podparcie na ścianach

Podobny zakres definicji będą miały ściany z tą różnicą, że deklaruje się tylko grubości ściany pod płytą i ewentualnie nad płytą. Również przy definiowaniu fundamentu podaje się tylko jego szerokość.

Przy zadawaniu ścian nie ma pogrubiania elementów leżących wzdłuż ściany. W węzłach ściany przyjmuje się automatycznie węzłowe układy współrzędnych ustawione tak, że lokalna oś x' jest skierowana wzdłuż ściany, a oś y' jest do niej prostopadła. W ten sposób podpora, która modeluje ścianę będzie miała składową pionową o podatności proporcjonalnej do grubości ściany i odległości między węzłami. W podobny sposób będzie wyznaczana podatność skrętna wokół osi x' ściany. Ściany mogą się przecinać i wtedy na przecięciu będzie przyjmowana tylko sztywność pionowa bez składowych skrętnych. W miejscach nierównomiernego podziału linii ściany można włączyć odbieranie kąta obrotu wokół ścianowej osi y' . W takich miejscach może się czasem pojawić efekt przesłowy.

Ważna uwaga: podpory ścianowe nie zastępują już wprowadzonych, lecz sumują się z nimi. Inaczej niż w całym programie, gdzie nowa wartość zastępuje starą.

Ściana jako podpora ciągła
X

Opis
?

☒ Ściana NAD płytą
Mat. C20/25

Moduł 29961 MPa
Wysokość 3,5 m
Grubość 0,25 m

☐ Przegub u góry

☐ Ściana POD płytą
Mat. C20/25

Moduł 29961 MPa
Wysokość 1 m
Grubość 0,4 m

☒ Podatna Z
☐ Przegub u góry
☐ Przegub na dole

☒ Fundament spoczywający na podłożu Winklera
Szerokość 1 m

Moduł sztywności podłoża 10 MPa/m

Sposób zadawania
☒ Odcinkiem
☐ Liniją łamaną
☐ Łukiem

☒ Wyrównaj linię ściany
☐ Te same X
☐ Te same Y
☒ Prostopadłe
☐ Odbierz y' w miejscu nierówno podzielonym

Odchyłka wyboru 0,03 m

Zapisz
Czytaj
Anuluj

OK

W polu „Sposób zadawania” można zdecydować jak będą zadawane ściany. Po włączeniu „Odcinkiem” można uaktywnić procedurę prostowania linii ściany. Po włączeniu „Wyprostuj linię ściany” należy zwrócić uwagę na odchyłkę wyboru, która powinna być zbliżona do wartości 0,1m.

Włączenie „Linią łamaną” pozwala na zadawanie ścian w jednym przebiegu, ale każdy odcinek nie będzie już automatycznie prostowany. Po włączeniu „Łukiem” można zadawać ściany łukowe. Łuk wybiera się trzema węzłami. Ściana łukowa będzie zastępowana układem podpór o sztywności tylko pionowej. Sztywność giętna takiego podparcia będzie wynikała z konfiguracji geometrycznej.

Jeśli wybiera się ścianę do zadawania z okna szybkiego wyboru (lewy górny róg ekranu) to po dwukrotnym kliknięciu na odpowiedniej pozycji pojawi się plansza „Sposobu zadawania” i takiej samej postaci jak pole na planszy opisu ściany. Na planszy będzie można zdecydować jak tę ścianę będzie się zadawało. W podręcznym menu dostępnym po naciśnięciu prawego przycisku myszy będzie tylko opcja **Zakończ**.

Przy zadawaniu ścian należy przestrzegać, aby odcinki wyboru nie przechodziły przez otwory i wycięcia płyty. Model podparcia może być wtedy błędny. W folderze \Przykłady_Płyt jest przykład Sciany_Zle, w którym błędnie wprowadzono podparcie na ścianie wzdłuż krawędzi z wcięciem oraz Sciany_Dobre, w którym pokazano jak powinno wyglądać podparcie. Po otwarciu zadania należy w menu Pokaż włączyć opcję **Pokaż ikony - Zarys słupów**, lub wcisnąć klawisz <S>. Dla Sciany_Zle sztywność podpory w narożniku wcięcia wynosi 1602 kN/mm, gdy naprawę jest równa 320 kN/m.

38.6. 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.

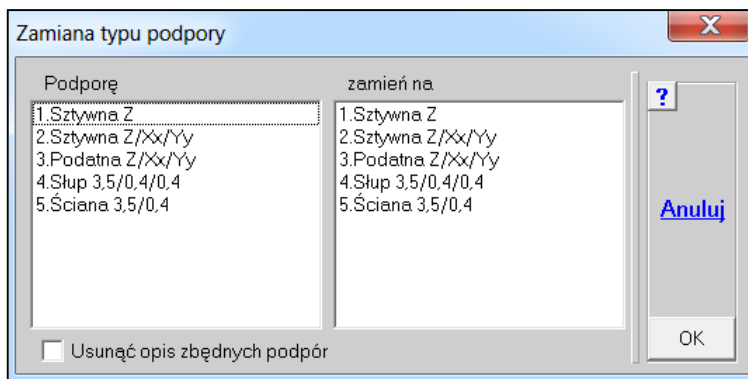
Opcję **Usuń wszystkie** można usunąć zarówno podparcie modelu jak i definicje podpór. Operacja ta wymaga potwierdzenia. Druga opcja **Usuń wybrane** pozwala usunąć podpory w wybranych miejscach. Jeśli liczba składowych podporowych w wybranych miejscach jest większa od jednej, to pokaże się plansza,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

Opcję **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, np.: w przypadku słupa może to być inny materiał czy przekrój.

<input checked="" type="checkbox"/>	[P] Pokaż podpory
	Sztywne..
	Podatne..
	Z pliku..
	Słupy..
	Ściany..
	Zadaj podporę ▶
	Usuń wszystkie
	Usuń wybrane
	Zamień..
	Edytuj..
	Pokaż typ ▶
	Odczyt typu
	Lista typów
	Odczyt sztyw.
	Odczyt podpór
	Lista podpór
	Nieliniowe ▶

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. Pokażą się też przyciski **Następny** i **Rysuj**.



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.

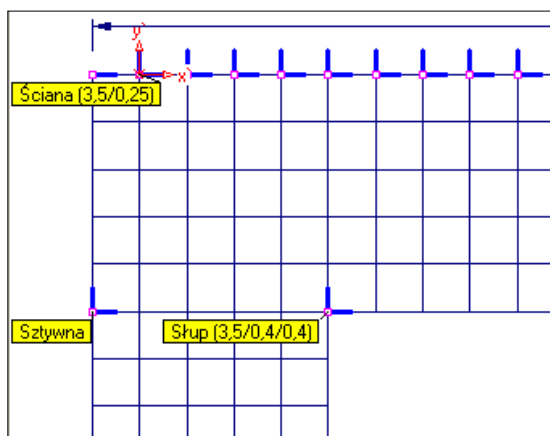
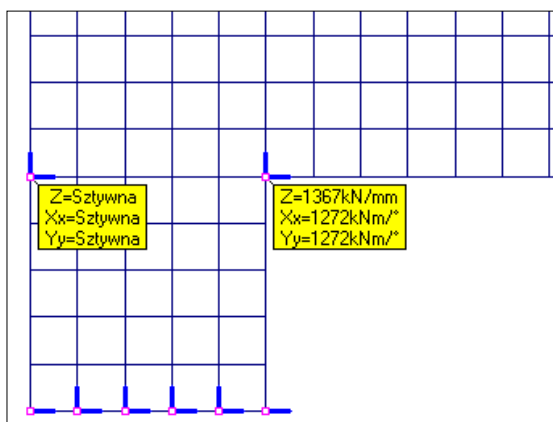
Opcja **Odczyt sztywności** pozwala poznać wartości sztywności podpory. Będą to napisy „Szttywna” dla składowych niepodatnych, wartości sztywności zadane przez użytkownika w podporach podatnych oraz sztywności obliczone przez program dla słupów i ścian. Odczyty sztywności podpór mogą być drukowane.

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

Drugim sposobem na podparcie to podłoże sprężyste. W programie ABC w zadaniach typu Płyta może to być podłoże typu Winklera, dwuparametrowa pół przestrzeń sprężysta oraz rzeczywiste, uwarstwione podłoże. W tym ostatnim każda warstwa będzie opisana modulem sprężystości i liczbą Poisson'a. 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. Natomiast nie można łączyć różnych typów podłoża w jednym modelu. Jeśli więc w modelu zaczęto zadawać podłoże uwarstwione, to chcąc wprowadzić podłoże Winklera należy najpierw usunąć jedno podłoże, aby można było zadawać następne.

Zakładając podłoże Winklera użytkownik otrzymuje rozwiązanie ograniczone tylko do strefy płyty. Przy podłożu uwarstwowionym i pół przestrzeni sprężystej można otrzymać rozwiązanie obejmujące swoim zakresem znacznie większy obszar niż tylko pod płytą. Do tego można również otrzymać wyniki na różnej głębokości. Szczegółowy zakres analizy gruntowej jest opisany w rozdziale poświęconym wynikom.

Po wybraniu przycisku Podłoże pokaże się menu z trzema opcjami: Uwarstwione, Jednoodne i Winklera.

39.1. Podłoże uwarstwione

Podłoże uwarstwione opisane jest układem warstw. Po zadaniu opisu warstw należy wybrać elementy leżące na tym podłożu. Liczba warstw i liczba różnych podłoży na planie płyty nie jest ograniczona. Każda warstwa opisana jest modulem ściśliwości, liczbą Poisson'a, głębokością, do której sięga i ciężarem właściwym. Jeśli w badaniach są określone moduły edometryczne to należy założyć liczbę Poisson'a (ν) i obliczyć moduł ściśliwości ze wzoru:

$$E = \frac{M(1 - 2\nu)(1 + \nu)}{1 - \nu}$$

gdzie:

M – moduł edometryczny (pierwotny lub wtórny do wyboru użytkownika),

ν - liczba Poisson'a.

Przy opisie głębokości zakłada się, że zero-wa współrzędna jest na poziomie dolnej płaszczyzny fundamentu. Jeśli fundament ma dolne płaszczyzny na kilku poziomach należy w każdym miejscu przyjąć powyższe założenie. Głębokość wykopu podaje się na planszy i jest ona uwzględniana przy liczeniu naprężeń pierwotnych.

Podłoże uwarstwione

Głębokość wykopu: 3 m

Greniczny stosunek naprężeń pionowych: 0,3

Opis podłoża: Strefa A

Warstwa	Moduł E_0 odkształcenia	Liczba Poisson'a	Głębokość od dna wykopu	Ciężar właściwy
10	30 MPa	0,2	5	16 kN/m ³
30		0,2	10	16

Buttons: Zapisz, Czytaj, Dodaj, Zmień, Usuń, Anuluj, OK

Na planszy opisu podłoża uwarstwionego, w polu „Warstwa” wprowadza się cztery liczby: moduł ścisłości, liczbę Poisson’a, głębokość, do której zalega warstwa i jej ciężar właściwy. Po wprowadzeniu tych danych przyciskiem [Dodaj](#) można wprowadzić opis do okien poniżej. Przycisk [Dodaj](#) będzie dostępny dopiero wtedy, kiedy wprowadzi się głębokość warstwy większą od ostatnio wprowadzonej. Po kliknięciu w wybraną linię listy można taki opis usunąć przyciskiem [Usuń](#). Linię opisu można też usunąć po dwukrotnym kliknięciu. Przyciskiem [Zmień](#) można zmienić opis warstwy. Ważne jest aby zachować narastającą głębokość kolejnych warstw.

Ważna uwaga: w programie zakłada się, że poniżej ostatniej warstwy jest niepodatna skala, stąd tak ważne jest sprawdzenie po obliczeniach głębokości całkowania (menu Odpory w module WYNIKI). Jeśli całkowanie kończy się na największej głębokości oznacza to, obliczenia osiadania są niedoszacowane i należy zwiększyć głębokość ostatniej warstwy.

Każde podłoże może mieć swój słowny opis. Na planszy zadaje się też wartość granicznego stosunku naprężeń pierwotnych do wtórnych. Wartość ta ogranicza głębokość całkowania przy obliczeniach osiadania.

Przyciskiem [Zapisz opis](#) podłoża można zapisać do pliku o rozszerzeniu .WRS i można go odczytać w innym zadaniu - przycisk [Czytaj](#).

Po zamknięciu okna przyciskiem [OK] można wybrać elementy posadowione na tym podłożu. Elementy podparte można pokazać w formie barwnej mapy, w której kolor odpowiada numerowi podłoża. Są też inne formy prezentacji.

Algorytm przyjęty w programie do obliczania płyt posadowionych na sprężystym podłożu oparty jest na PN. Wymaga on obliczeń iteracyjnych dla każdego schematu obciążenia. Wprowadzenie granicznej głębokości całkowania spowodowało, że rozwiązanie zatraciło swój liniowy charakter, dlatego należy schematy obciążeniowe konstruować tak samo jak dla obliczeń nieliniowych, nawet wtedy, kiedy nie będzie zakładało się cech nieliniowych podłoża.

Drugą sprawą, którą należy przestrzegać przy budowaniu modelu płyty posadowionej na podłożu sprężystym to regularność siatki. ***Należy unikać zagęszczeń oczek, które mogą prowadzić do trudnych do zinterpretowania skoków odporów.***

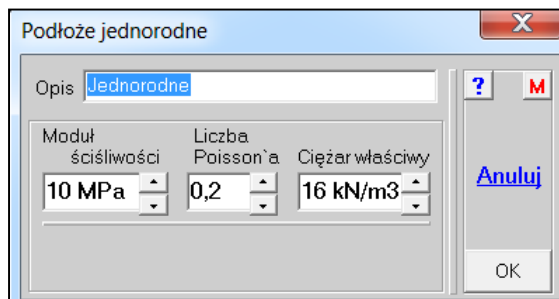
Ponieważ wprowadzenie posadowienia na podłożu uwarstwowym pociąga za sobą znaczny wzrost czasu obliczeń należy ten model stosować tylko wtedy, kiedy podłoże jest mocno zmienne w planie fundamentu, fundament jest geometrycznie złożony i kiedy potrzebna jest wielkość osiadania lub wpływ obiektu na sąsiadów. W sytuacji, kiedy w planie fundamentu podłoże jest stałe i fundament ma regularny kształt lepiej obliczyć ekwiwalentną sztywność podłoża Winklera i dalsze analizy prowadzić na płycie posadowionej na tym typie podparcia. Podparcie Winklera zapewnia liniowość wyników, a ta z kolei pozwala stosować wszystkie narzędzia analizy obwiedniowej. Ekwiwalentną sztywność podłoża Winklera wyznacza się budując zgrubny (duże oczka siatki) model fundamentu, który raz podpira się podłożem uwarstwowym, a raz podłożem Winklera o sprężystości np. 10 MPa/m. W obu przypadkach jako obciążenie zakłada się ciężar własny. Następnie odczytuje się średnie osiadanie w modelu z podparciem na podłożu uwarstwowym i osiadanie w modelu na podłożu Winklera. Ponieważ osiadanie w modelu na podłożu Winklera jest proporcjonalne do sztywności podłoża, z warunku, że obie wartości mają być takie same, można obliczyć potrzebną sztywność podłoża.

Wprowadzenie podłoża uwarstwowego nie pozwala na zadawanie symetrii i odwrotnie. Jeśli w modelu już jest symetria to nie będzie można wprowadzić podłoża uwarstwowego.

39.2. Półprzestrzeń sprężysta

Drugim rodzajem posadowienia jest pół przestrzeń sprężysta. Jest ona opisana dwoma parametrami: modułem sprężystości i liczbą Poisson'a. Dodatkowo można zadać jej ciężar właściwy. Po wpisaniu tych wielkości nie trzeba wybierać elementów, ponieważ z założenia wszystkie będą na niej posadowione. Algorytm uwzględniania pół przestrzeni sprężystej jest taki, że jednocześnie rozwiązuje się wiele prawych stron, tak jak przy podparciu na podporach węzłowych lub przy podłożu Winklera. Jedynie czas wyznaczania macierzy sztywności podłoża może spowalniać obliczenia.

Wprowadzenie półprzestrzeni sprężystej nie pozwala na zadawanie symetrii i odwrotnie. Jeśli w modelu już jest symetria to nie będzie można wprowadzić tego typu podłoża.

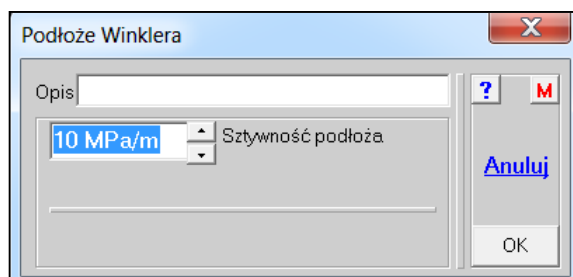


39.3. Podłoże Winklera

Trzecim rodzajem posadowienia jest tradycyjne, jednoparametrowe podłoże sprężyste Winklera. Ponieważ współczynnik sprężystości takiego podłoża zależy nie tylko od rodzaju podłoża, ale również od wielkości i kształtu płyty oraz od jej obciążenia, problemem jest zawsze określenie jego wartości. Dysponując wynikami pomiarów modułów edometrycznych można w tym celu wykorzystać postępowanie opisane na końcu rozdziału

39.1. Wartość tak wyznaczona będzie na pewno bliższa rzeczywistości niż wartości brane z tablic.

Po wpisaniu współczynnika sprężystości podłoża Winklera należy wybrać elementy, które będą na nim posadowione. Przyjmując posadowienie na podłożu Winklera można też mieć go zmienne w planie płyty.

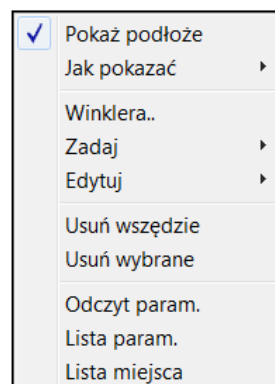


39.4. Zakres menu Podłoże

Po zadaniu podłoża uwarstwionego lub 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..** (przy podłożu uwarstwowym będzie to opcja **Uwarstwione..**) można wpisać kolejne podłoże, o innym współ-



czynniku sztywności dla Winklera, lub o nowym rozkładzie warstw dla podłoża uwarstwionego. Przy podłożu jednorodnym opcja **Jednorodne..** pozwoli zmienić wartości modułu sztywności i liczby Poisson'a.

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

Opcja **Edytuj** pojawi się tylko przy podłożu uwarstwowionym i Winklera i pozwoli zmienić opis podłoża bez konieczności zmiany jego lokalizacji.

Opcja **Usuń wszędzie** jest dostępna we wszystkich typach podłoża. Pozwala usunąć zupełnie z modelu posadowienie na podłożu. Z tej opcji należy skorzystać, jeśli ma się zamiar zmienić rodzaj podłoża. Opcja **Usuń wybrane** jest dostępna tylko przy podłożach różnorodnych i 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.

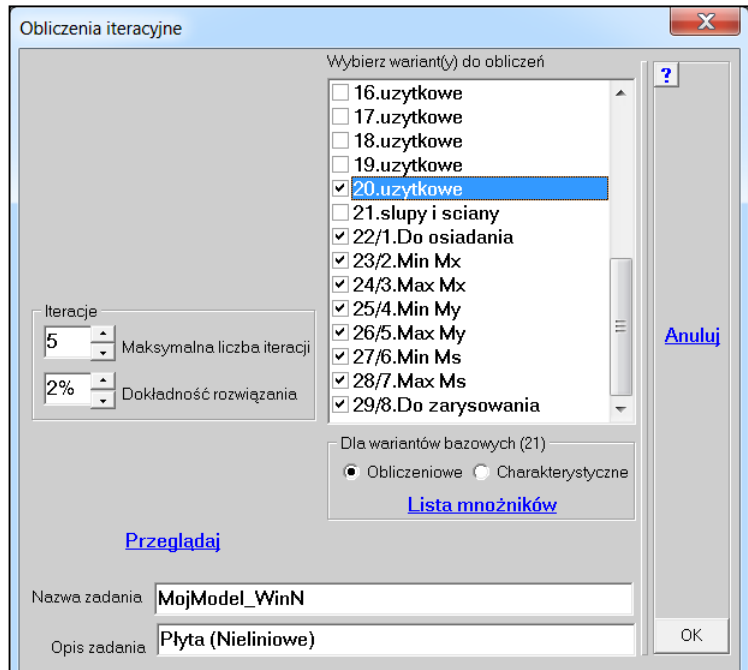
39.5. Wymiana podłoża

W zadaniach liniowych z podłożem Winklera istnieje możliwość wymiany podłoża na uwarstwione i powtórzenia na nim obliczeń dla wybranego obciążenia łącznego. W pierwszym kroku zostaje stworzone zadanie z obciążeniami cząstkowymi o różnych atrybutach. Liniowe zadanie z podłożem Winklera pozwala na superpozycję wyników. W module WYNIKI prowadzona jest analiza obwiedniowa i wyznaczane są obciążenia wywołujące np.: największe osiadania lub największe odpory. Te obciążenia tworzą dodatkowe warianty. Sposób ich tworzenia będzie

mówiony w rozdziale poświęconym wynikom. W module WYNIKI pojawi się przycisk [Iteracje](#). Po kliknięciu otrzymuje się okno utworzenia nowego zadania.

W tym oknie wybiera się warianty do obliczeń na podłożu uwarstwowionym i zadaje nazwę nowego zadania.

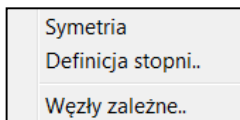
Po kliknięciu w przycisk [OK] program tworzy nowe zadanie i wywołuje moduł DANE. Pojawia się komunikat, że jest to zadanie do odczytu i do wymiany podłoża. Wybierając przycisk [Podłoże](#) można zadać podłoże uwarstwione, łącznie z cechami nieliniowymi i można uruchomić obliczenia iteracyjne, uzupełnione ewentualnie uwzględnieniem cech nieliniowych.



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 płycie podparcie. Byłby to trzeci sposób na podparcie płyty. 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

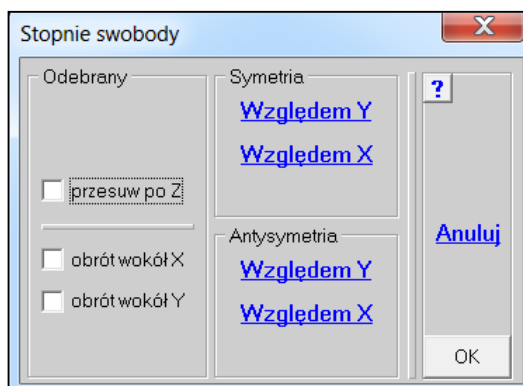
Symetria jest narzędziem, które kiedyś było często stosowane, ponieważ pozwalało zmniejszyć zadanie dwu- a nawet czterokrotnie. Obecne możliwości obliczeniowe spowodowały, że symetria straciła na znaczeniu. Należy pamiętać, że warunek symetrii musi dotyczyć nie tylko geometrii, ale również obciążeń. 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_Płyt jest zadanie Symetria_1, w którym zadano dwie osie symetrii. Są to osie wzajemnie prostopadłe. Dzięki temu na modelu 3x3m rozwiązano płytę kwadratową o wymiarach 6x6m. W zadaniu Symetria_1a zadano osie symetrii wzdłuż przekątnej płyty. Proszę zwrócić uwagę na długość krawędzi podparcia. W obu zadaniach otrzymano podobne wyniki. Są różne siatki (w zadaniu Symetria_1a są trójkąty) dlatego wyniki nie mogą być identyczne. Aby porównać momenty należy doprowadzić do zgodności układy współrzędnych. Pierwotnie nie są takie same.

W drugim zadaniu Symetria_2 wprowadzono też dwie osie symetrii, ale nie są one już prostopadłe. Jednak układ płyty, jej podparcie i obciążenie pozwalało na takie zamodelowanie.

40.2. Definicja stopni swobody

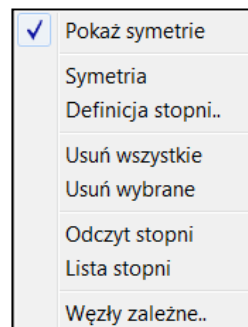
Opcja Definicja stopni w menu [Więzy](#) pozwala w sposób jawny i pełny zdefiniować odebrane stopnie swobody. Na planszy w polu „Symetria” można wybrać przycisk [Względem Y](#) i [Względem X](#), które odbiorą odpowiednie stopnie swobody w wybranych potem węzłach. Jeśli ma to być symetria dla linii nachylonej 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.

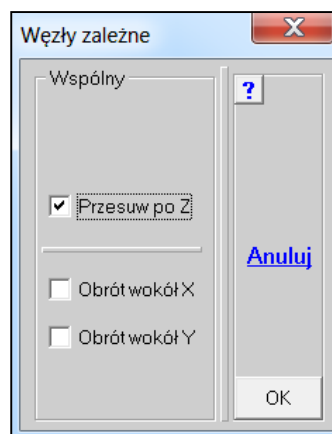
Opcją Usuń wszystkie można uwolnić wszystkie węzły modelu. Opcją Usuń wybrane można uwalnianie ograniczyć tylko do wybranych miejsc. Wybierając opcję Odczyt stopni można poznać, które stopnie swobody są odebrane, z kolei opcją Lista stopni można pokazać odebrane stopnie swobody w formie tabeli.



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 przegub w płycie. 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_Płyt jest zadanie Wezly_Zalezne_1. Zadano w nim kwadratową płytę podpartą przegubowo w dwóch przeciwnych narożnikach. Taka płyta może obracać się wokół osi przechodzącej przez podpory - wokół jednej z przekątnych. *Uwaga: ponieważ układ jest niestabilny numerycznie ponowne rozwiązanie na innym procesorze może dać inne wyniki, Może też skończyć się komunikatem „Zero na przekątnej”.*

W drugim zadaniu Wezly_Zalezne_2 zadano wspólnotę przemieszczeń pionowych narożnych węzłów nie podpartych. Otrzymano poprawne rozwiązanie w odróżnieniu od zadania Wezly_Zalezne_1, w którym ugięcia są nieprawdziwe.

C 41. Obciążenia płyty

Obciążenia płyty mogą być mechaniczne typu: siły skupione, liniowe lub powierzchniowe oraz niemechaniczne typu: termika, 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 Płyta 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 powierzchniowe można rozkładać połami na osobne schematy, które otrzymują wtedy od razu atrybut zmienne. Sposób rozkładania obciążeń na schematy zmienne będzie omówiony dalej.

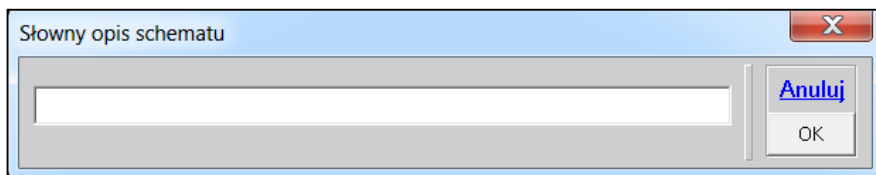
W programie ABC Płyta wprowadzono jeszcze jedną ciekawą możliwość. Mianowicie w każdym schemacie może być **inny układ podporowy**. Takie zadanie jest rozwiązywane jako statyka wielokrotna i może potem być poddane analizie wyników tak jak każde inne zadanie.

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](#), [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 obliczania 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.



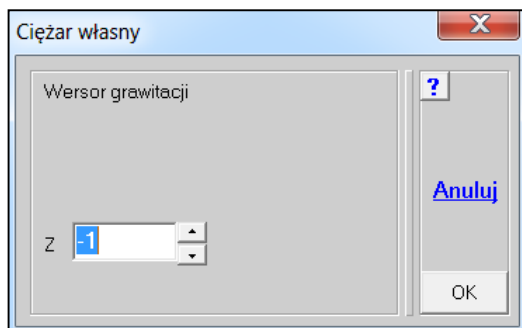
41.2. Obciążenie ciężarem własnym

Obciążenie ciężarem własnym jest obciążeniem rozłożonym objętościowo o wartości proporcjonalnej do grubości i ciężaru właściwego materiału modelu. W przypadku płyty kierunek obciążenia ciężarem własnym może być tylko pionowy (oś Z). Jedynym parametrem, który może być zmieniany, po wybraniu przycisku **Ciężar**, jest wartość wersora grawitacji. 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** (zmieni 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 wersora.

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_Płyt 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.



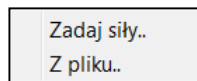
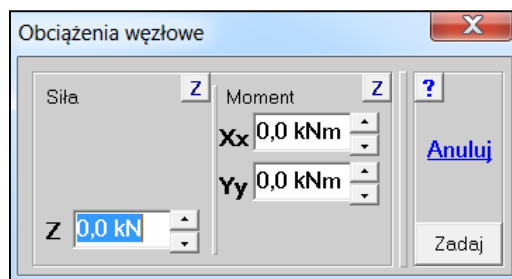
41.3. Obciążenie siłami skupionymi

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 siłę o kierunku Z i dwa momenty: wokół osi X i wokół osi Y. Należy pamiętać, że oś Z jest zawsze skierowana do góry i obciążenia skupione, których źródłem jest grawitacja muszą być ujemne. Jeśli w wybranych węzłach nie ma układów węzłowych wtedy momenty będą wprowadzone w układzie głównym. Jeśli w miejscu przyłożenia będzie wprowadzony układ węzłowy to momenty 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.

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.

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	1,2	0,0	0,0	0,0	0	-1,774	0,0	0,0	0,0
2	1	1,2	0,3	0,0	0,0	0	-6,509	0,0	0,0	0,0
3	1	1,2	0,6	0,0	0,0	0	-6,407	0,0	0,0	0,0
4	1	1,2	0,9	0,0	0,0	0	-5,924	0,0	0,0	0,0
5	1	1,2	1,2	0,0	0,0	0	-5,642	0,0	0,0	0,0
6	1	1,2	1,5	0,0	0,0	0	-5,56	0,0	0,0	0,0
7	1	1,2	1,8	0,0	0,0	0	-5,642	0,0	0,0	0,0
8	1	1,2	2,1	0,0	0,0	0	-5,924	0,0	0,0	0,0
9	1	1,2	2,4	0,0	0,0	0	-6,407	0,0	0,0	0,0
10	1	1,2	2,7	0,0	0,0	0	-6,509	0,0	0,0	0,0
11	1	1,2	3	0,0	0,0	0	-1,774	0,0	0,0	0,0

[Anuluj](#)

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

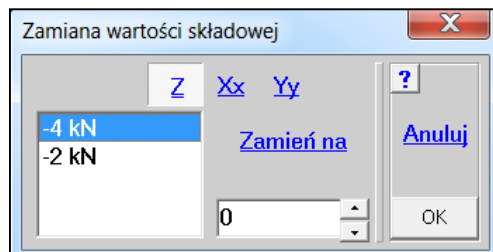
Sąsiedztwo nie większe od:
 0,01 m

[OK](#)

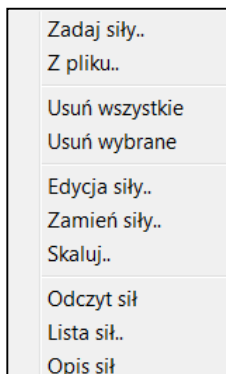
Plik z siłami skupionymi można utworzyć w module WYNIKI podczas analizy reakcji. W ten sposób reakcje z jednego zadania mogą być obciążeniem w innym zadaniu. Jeśli plik z siłami zostanie odczytany w schemacie w którym już są obciążenia skupione wtedy będzie można je dodać do istniejących sił lub zastąpić je.

Z zadaniu Rozne_obc w trzecim schemacie przyjęto obciążenie z pliku Sily_1.txt wprost, natomiast w czwartym schemacie te same siły przeniesiono o 6 metrów. Plik Sily_1.txt jest w folderze \Przykłady_plyt.

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.



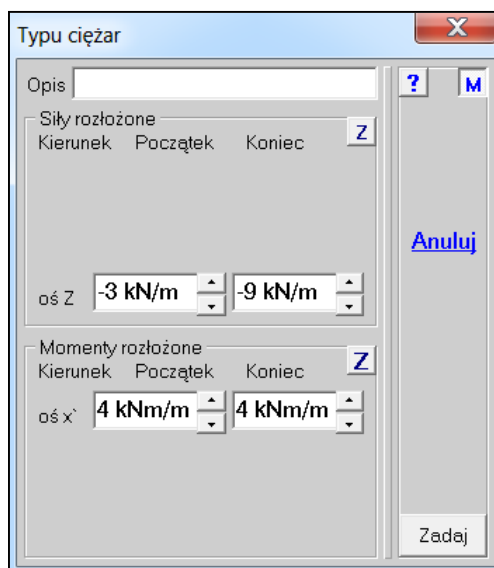
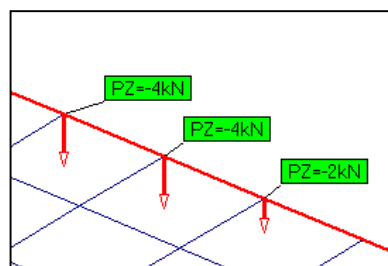
Zamień siły.. z kolei pozwala zamienić wybraną wartość siły na inną. We wszystkich miejscach, gdzie działa siła o wskazanej wartości nastąpi zmiana. Przy pomocy opcji **Skaluj..** można zmienić wszystkie siły skupione działające w tym schemacie.



Odczyt sił pozwala poznać wartości obciążenia skupionego w wybranych miejscach. **Lista sił..** pozwala udokumentować siły skupione. Opcją **Opis sił** steruje się wyświetlaniem okienek przy siłach skupionych. Te okienka pokażą się przy wszystkich siłach skupionych.

41.4. Obciążenie siłami liniowymi

Siły liniowe w płycie mogą mieć dwie składowe: siły liniowe o kierunku osi Z i momenty liniowe wokół odcinka obciążenia. Obciążenia liniowe mogą być stałe na długości lub liniowo zmienne. Obciążenie zadaje się na planszy. Jej postać zależy od stanu przycisku **[M]**. Przy wyłączonym przycisku można tylko zadać siły liniowe. Po włączeniu przycisku **[M]** będzie można wprowadzić wartość momentu liniowego o kierunku x'. Oś x' jest wyznaczana węzłami odcinka działania obciążenia liniowego. 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.

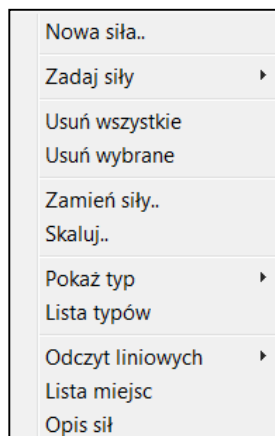


Wprowadzając wartość w lewym okienku powoduje się, że na taką samą zmienia się prawe okno. Będzie to obciążenie stałe. Natomiast zmiana prawego okienka nie pociąga za sobą innych zmian i wtedy obciążenie będzie liniowo zmienne.

Po zamknięciu okna przyciskiem **[Zadaj]** będzie można wybrać linie działania obciążenia liniowego. Zadawanie odcinków działania 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 czwartym schemacie zadano siły liniowe stałe i zmienne.

Jeśli w aktualnym schemacie są już siły liniowe, to wybranie przycisku [Siły liniowe](#) spowoduje wyświetlenie menu obciążeń liniowych. Opcja **Nowa siła..** otworzy 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.

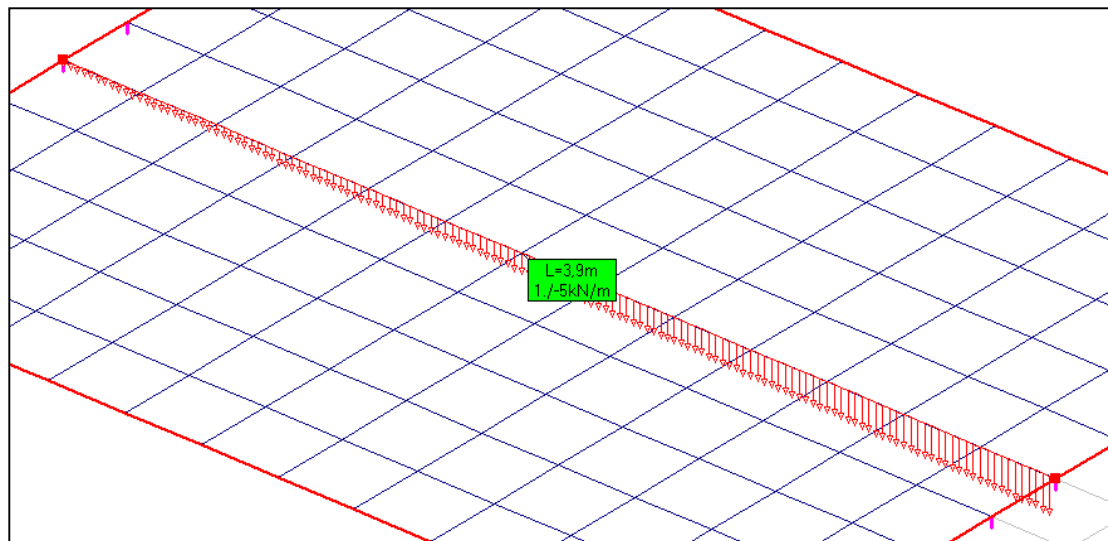
Opcja **Pokaż typ** wyświetla listę zdefiniowanych typów obciążeń liniowych i wybierając jedno z nich można pokazać jego definicję.

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.

Tylko wartości
Z odległością

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 działa.

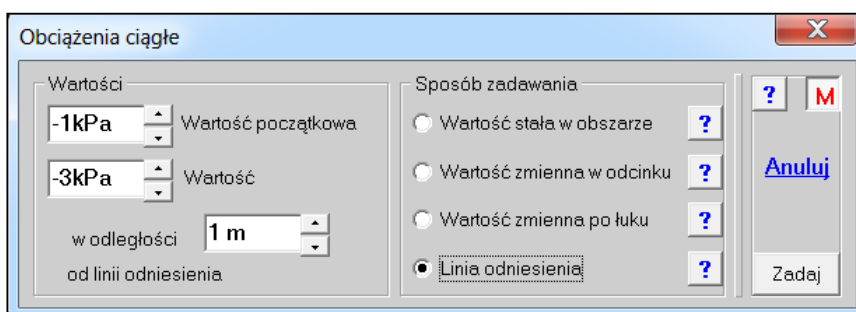
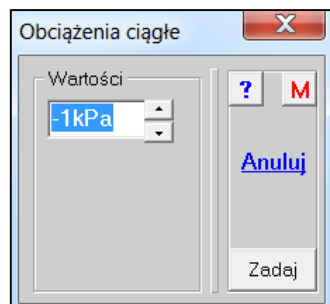


41.5. Obciążenia ciągłe

Siły rozłożone powierzchniowo są to obciążenia ciągłe. W modelu płytowym będą to obciążenia skierowane zgodnie z osią Z. Jeśli są one wywołane oddziaływaniem grawitacyjnym to będą musiały mieć znak (-). Po kliknięciu w opcję **Ciągłe** pokaże się plansza pozwalająca zadać stałą wartość ciśnienia w wybranym obszarze. Po włączeniu przycisku [M] będzie można zadawać obciążenia zmienne w planie płyty.

Po wybraniu „Wartość zmienna w odcinku” lub „... po łuku” należy wpisać dwie wartości obciążenia, początkową i końcową. Wybierając „Linie odniesienia” w okienko wartości początkowej wpisuje się obciążenie działające na linii odniesienia wskazanej pierwszymi dwoma węzłami wyboru. W drugie okienko należy wpisać wartość obciążenia występujące w pewnej odległości od linii odniesienia. Podpowiadana jest odległość 1 m, ale można to zmienić.

Jeśli obciążenie działa na ograniczonym obszarze płyty, należy ją wcześniej ograniczyć opcją **Fragment**.

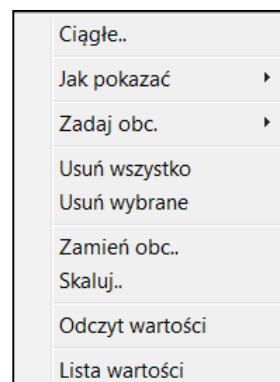
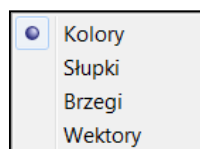


Po wprowadzeniu do aktualnego schematu obciążeń powierzchniowych, menu, jakie pokaże się po wybraniu przycisku **Ciągłe** będzie zawierało więcej opcji. Opcja **Ciągłe..** pozwoli wpisać kolejną wartość obciążenia i wybrać miejsce działania. Opcja **Jak pokazać** pozwala wybrać jedną z czterech możliwości 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** znowu jest czytelna, jeśli model jest w widoku z pionową osią Z. Przy prezentacji w formie słupków, brzegów lub wektorów opcją **Bez opisu** można sterować pokazywaniem plaketek 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 ciśnień. Zmiana dokonana w tej planszy może dotyczyć wszystkich schematów.

Opcja **Skaluj..** pozwala przeskalować wszystkie obciążenia ciągle 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.

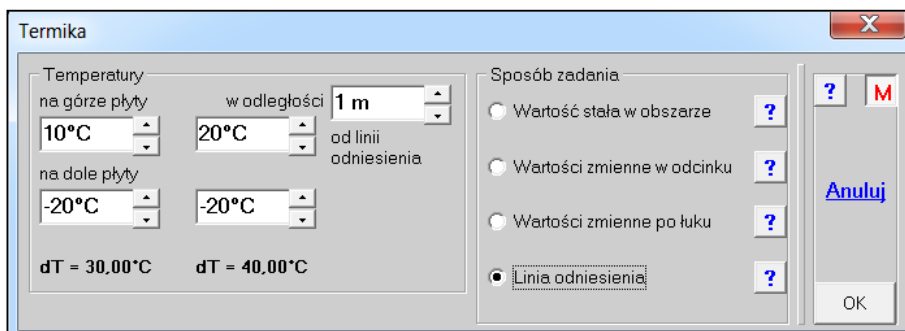
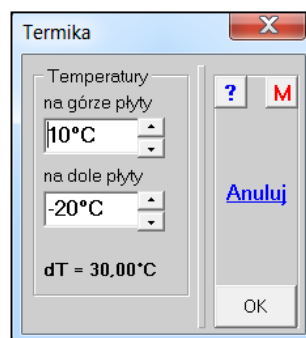
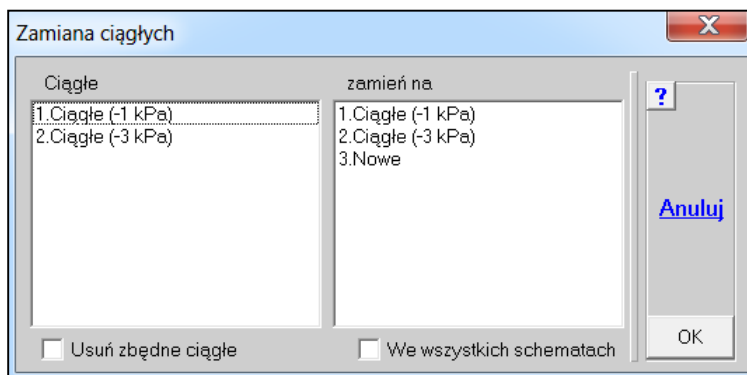
W zadaniu **Rozne_Obc** w szóstym schemacie zadano stałe obciążenia powierzchniowe, a w siódmym obciążenie zmienne w skrajnych przęsłach. Po wybraniu z menu **Obciążenia** opcji **Pokaż obciążenia** można zobaczyć te obciążenia. W zależności od formy prezentacji warto oglądać je w rzucie (Kolory, Brzegi) lub w widoku z pionową osią X (Słupki, Wektory).

41.6. Obciążenia termiczne

W płycie obciążenia termiczne mogą być tylko symetrycznym przyrostem temperatury pomiędzy górną i dolną powierzchnią płyty. Program pozwala zadać temperaturę górnej i dolnej strony płyty, niekoniecznie symetrycznie ale do obliczeń i tak będzie brana tylko różnica symetryczna. Na planszy pokazywana jest wartość różnicy temperatur dT przyjmowana do obliczeń.

Obciążenia termiczne zadaje się na podobnej planszy jak obciążenia ciśnieniem w wersji rozbudowanej. Identycznie też wybiera się miejsca obciążenia.

Po zadaniu obciążenia termicznego ponowne wywołanie przycisku **Termika** spowoduje pojawienie się menu z większą liczbą opcji.



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.

Opcję **Skaluj Temp..** można zmienić temperatury w tym schemacie. Skalowaniu podlega temperatura na górze i dole płyty.

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.

Opcje **Strona (+)** i **Strona (-)** steruje stroną pokazywaną z temperaturą. Strona (+) to strona górna, a strona (-) to strona dolna płyty.

W zadaniu **Rozne_Obc** w ósmym schemacie zadano obciążenia termiczne wywołane temperaturą $+15^{\circ}\text{C}$ na górze płyty i -10°C na dole płyty.

41.7. 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 płycie będzie dostępny tylko kierunek Z. Po zadaniu wartości i zamknięciu planszy przyciskiem **[Zadaj]** należy wybrać węzły podpor- te. Węzły wybiera się sposobem **Odcinek**.

Jeśli włączono „Wybór płaszczyzną” to trzeba będzie wybrać trzy węzły. Po wybraniu węzłów zostają obliczone wstępne przemieszczenia podpór tak, aby był zachowany warunek liniowej zmienności.

Po wyborze opcji Wybrzuszenie.. lub Wklęsnięcie.. pokaże się plansza definicji rozkładu przemieszczeń wstępnych. Na planszy zadaje się promień krzywizny. W płycie jedynym możliwym kierunkiem przemieszczeń wstępnych będzie Z. Po zadaniu wartości i zamknięciu planszy przyciskiem [Zadaj] należy wybrać węzły podporne. Węzły wybiera się sposobem Odcinek lub trzema węzłami po włączeniu „Wybór płaszczyzną”. Po wybraniu węzłów zostają obliczone wstępne przemieszczenia podpór tak, aby był zachowany warunek wypukłości lub wklęsnięcia. W płycie będą to zawsze wybrzuszenia lub wklęsnięcia walcowe o osi wyznaczonej przez pierwsze dwa węzły wyboru.

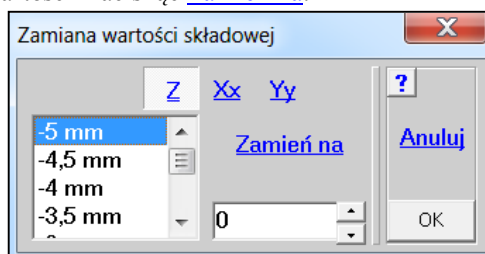
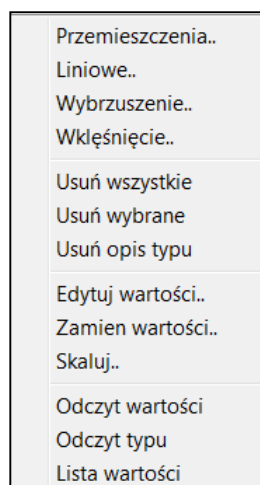
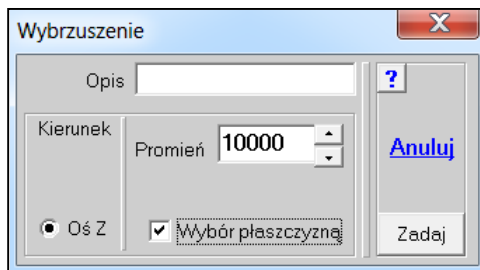
Po wprowadzeniu w aktualnym schemacie przemieszczeń wstępnych liczba opcji menu [Przemiesz.](#) ulega zwiększeniu. Opcja **Usuń wszystkie** pozwala skasować wszystkie wstępne przemieszczenia w aktualnym schemacie. Operacja ta wymaga potwierdzenia. Opcja **Usuń wybrane** pozwala usunąć wstępne przemieszczenia 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 **Z**, **Xx** lub **Yy**. 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 dziewiątym schemacie zadano równomierne obniżenie środkowej linii z podporami. W dziesiątym schemacie zadano liniową zmienność obniżania na tej linii.

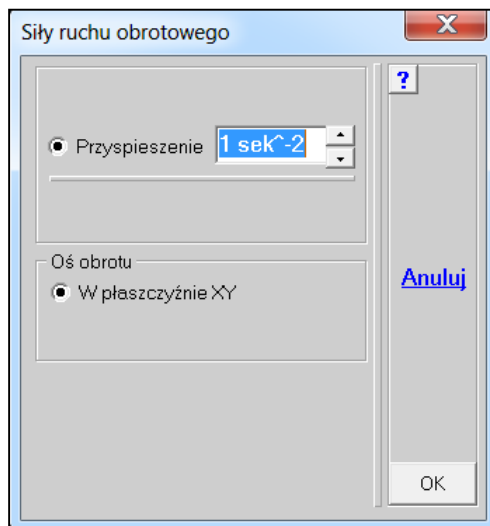


41.8. Obciążenia dynamiczne

W modelu płytowym jedynymi obciążeniami dynamicznymi mogą być siły bezwładności wywołane przyspieszeniem kątowym ruchu obrotowego wokół osi leżącej w płaszczyźnie płyty. 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 włączone przyspieszenie i będzie można wpisać wartość przyspieszenia kąowego. 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 dłuższej krawędzi.

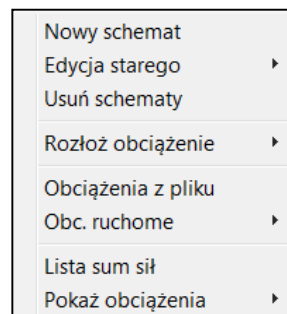


41.9. Menu Obciążenia

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

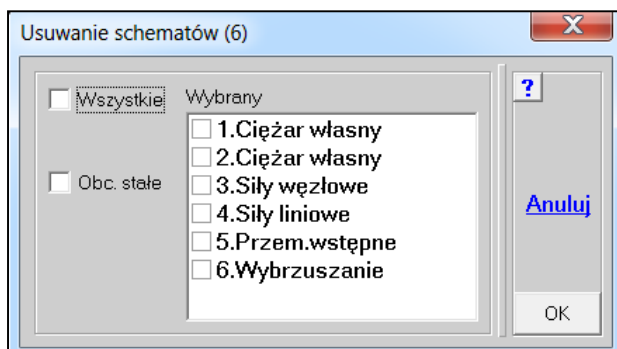
Opcją [Nowy schemat](#) można zadać kolejny zestaw obciążeń. Opcja [Edycja starego](#) pozwoli wybrać jeden z wcześniej wprowadzonych schematów i umożliwić jego zmianę. W edytowanym schemacie nie będzie przycisku [Nowy](#), za to może pokazać się czerwony przycisk [Struktura](#). Przycisk ten pokaże 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, 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 usuwane wszystkie schematy to również znikają definicje obciążeń.

Opcja **Rozłóż obciążenia** pokaże się tylko wtedy, kiedy w którymś schemacie zadano obciążenia ciągłe. Pozwala ona na wybranie takiego schematu i rozłożeniu go szereg 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 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	Wybrzuszanie

[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.

41.10. Rozkładanie obciążenia

Program ABC pozwala półautomatycznie rozłożyć obciążenia ciągłe na obciążenia zmienne. Jeśli wprowadzono schematy z obciążeniami powierzchniowymi, 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 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

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

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.

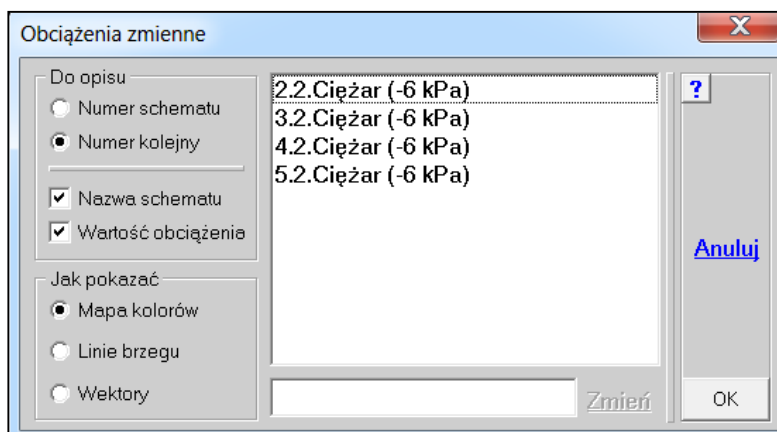
Przeglądając teraz schematy można zauważyć, że liczba schematów wzrosła. Schematy zmienne będą numerowane dwuczłonowo. Pierwszy człon to będzie numer schematu pierwotnego, a drugi numer schematu rozłożonego. Schematy zmienne można przeglądać i ewentualnie edytować. Jednak w tym ostatnim przypadku można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

Sumuj rozłożone ▶

Pokaż rozłożone ▶

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.

W folderze \Przykłady_Płyt jest zadanie *Obc_Zmienne*, w którym rozłożono obciążenie powierzchniowe na cztery schematy zmienne, przyjmując pola wyznaczone przez układ podpór.

41.11. 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.Ciezar 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

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 siły 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 **Sily_Z_Pliku** znajdującym się w folderze \Przyklady_plyt zadano siły odczytane z pliku **Sily_2.txt**. Ten Plik też jest w tym folderze.

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

41.12. 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.

41.12.1. 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 NATO 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. Na planszy definiuje się maksymalną długość kroku pomiędzy kolejnymi położeniami układu sił ruchomych, oraz wybiera się tor jazdy: „Prosty” lub „Łukowy”. Po naciśnięciu przycisku [OK] program przechodzi do wyboru toru jazdy. Tor prosty zdefiniowany jest dwoma węzłami siatki lub punktami, których współrzędne zadaje się.

Tor łukowy zdefiniowany jest trzema węzłami lub punktami. Po wybraniu toru jazdy w zadaniu pojawia się schematy, które można przeglądać wybierając przycisk [Obciążenia](#), a następnie [Pokaż obciążenia](#). Na planszy można jeszcze zdefiniować model oddziaływania obciążenia na obiekt. Może być jedna siła lub 4, 9, 16, 25. W przypadku większej od jedności liczby sił można zdefiniować wymiar kwadratowego pola oddziaływania. Takie postępowanie pozwala uwzględnić wierzchnie warstwy leżące na konstrukcji zasadniczej.

41.12.2. 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. Dla przejazdu lokomotywy wprowadza się długość kroku, a dla obciążeń wagonami długość przęsła (odległość między poprzecznkami).

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](#).

Na planszy można jeszcze zdefiniować model oddziaływania obciążenia na obiekt. Może być jedna siła lub 4, 9, 16, 25. W przypadku większej od jedności liczby sił można zdefiniować wymiar kwadratowego pola oddziaływania. Takie postępowanie pozwala uwzględnić wierzchnie warstwy leżące na konstrukcji zasadniczej.

41.12.3. 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 kier. ruchu	prostopadła	Wsp. Xr	Wsp. Yr
	10 kN	0 kN	0 kN	0 m	0 m
1.	10	0,0	0,0	0,0	-2
2.	10	0,0	0,0	0,0	2
3.	15	0,0	0,0	0,0	-2
4.	15	0,0	0,0	0,0	2

Opis Siły ruchome ?

Mnożnik obciążenia 1,2

Wsp. dynamiczny 1,5

Długość kroku 2 m

Tor jazdy
☒ Prosty ☐ Łukowy

Model oddziaływania siły
1 siła

Anuluj

OK

Dodaj siłę
Usuń siłę
Zapisz
Czytaj

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 42.11.

Pokaż tory jazdy

Opis obc.ruchom.. ▶

Nowy tor jazdy ▶

Usuń ruchome

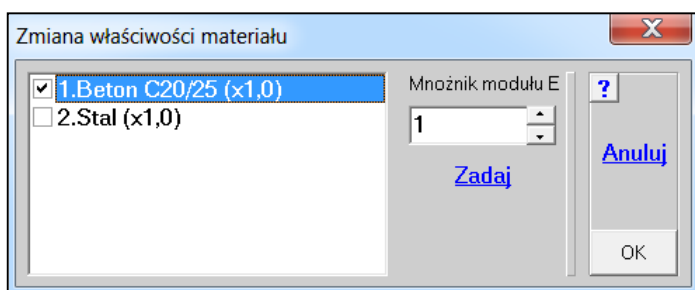
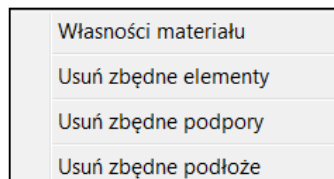
W folderze \Przykłady_Płyt są trzy zadania: Ruch_Drogowe, Ruch_Kolejowe i Ruch_Dowolne, w których zadano obciążenia ruchome.

41.13. Zmienna struktura

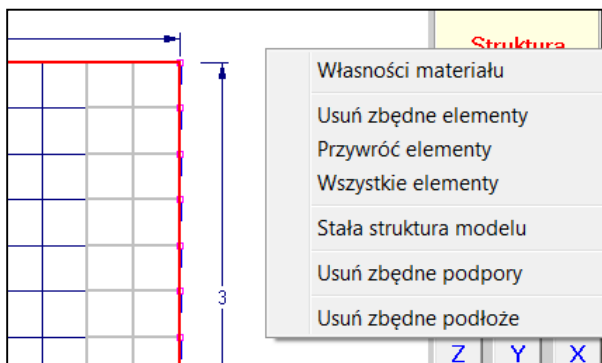
Program ABC Płyta pozwala w każdym schemacie wprowadzić inną geometrię i inny sposób podparcia modelu. Tutaj zostanie omówiony tylko zmienny układ podporowy. W podobny sposób można modyfikować geometrię obiektu. Jeśli w modelu jest podłoże, można również to podparcie zmieniać w różnych schematach.

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.

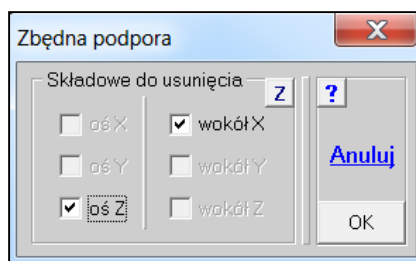
Wybierając opcję Własności materiału można zmienić moduł sprężystości wybranych materiałów, tylko w tym schemacie.



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.

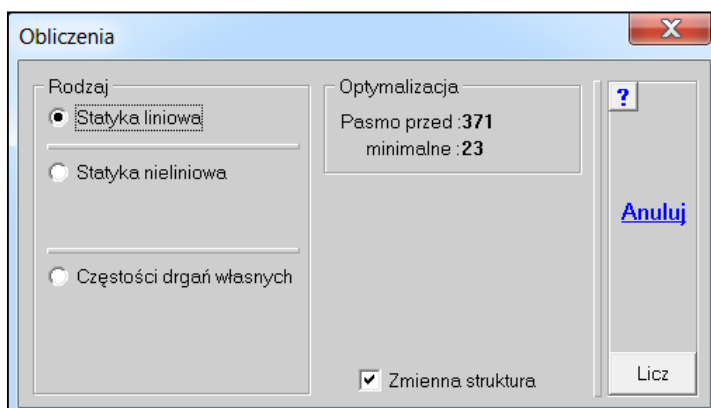


Po wybraniu opcji [Usuń zbędne podpory](#) będzie można wybrać miejsca podparte. Jeśli podpory będą miały więcej składowych to będzie można określić, które z nich mają być wyłączone w danym schemacie. Po wybraniu wyłączonych podpór, będzie można przywrócić w tym schemacie wskazane lub wszystkie podpory. 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 składowych 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.



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_Plyt jest zadanie **Zmienne_Podpory**, w którym przyjęto pięć jednakowych schematów zakładając w nich ciągłe obciążenie ciężarem własnym. Ale w każdym schemacie wprowadzono inny układ podporowy, dzięki czemu otrzymano pięć różnych rozwiązań.

C 42. Masy skupione

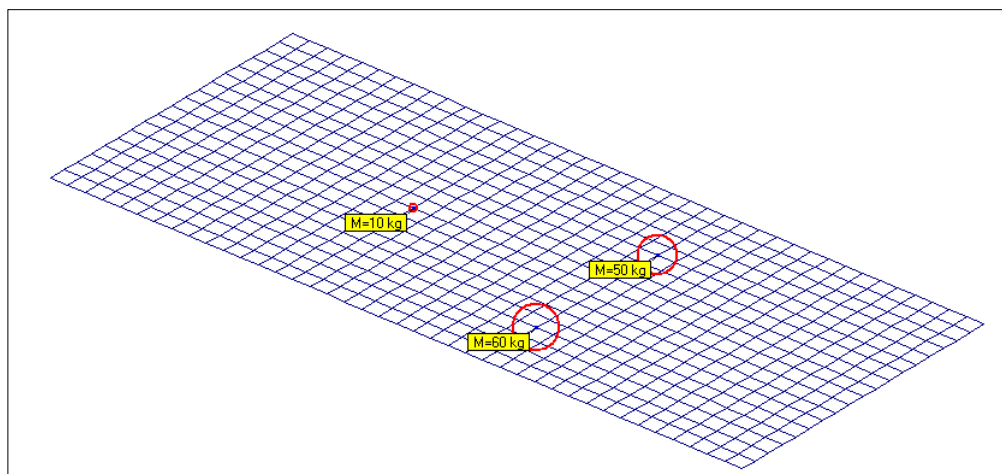
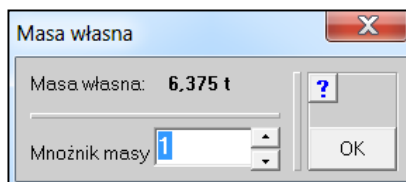
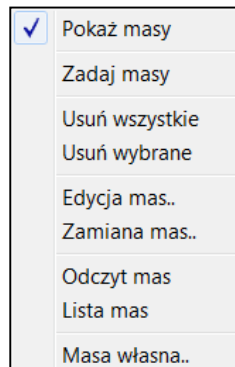
W obliczeniach dynamicznych można uwzględnić masy skupione. Masy te mogą też wchodzić do obciążenia ciężarem własnym, ale trzeba to specjalnie zadeklarować. Masy wprowadzane są w [kg] i można je zadać w dowolnym węźle siatki. Jeśli masy są już w modelu, to menu [Masy](#) jest takie jak na rysunku obok.

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.

Opcję **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.

Opcję **Masa własna** pozwala skorygować masę własną płyty 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 płyty, 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”.

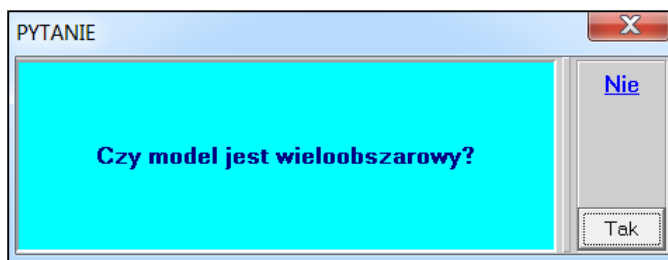
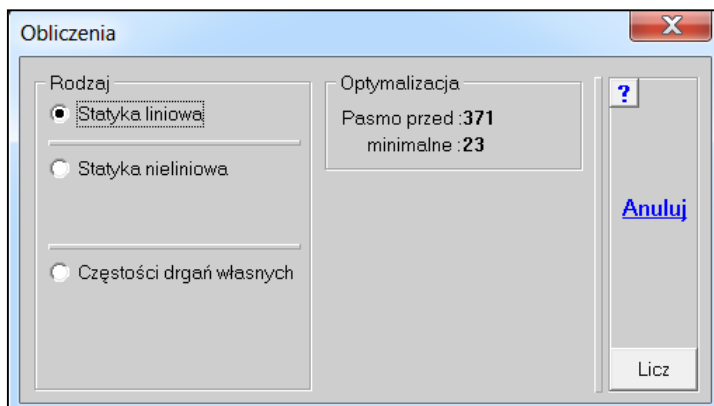
Przy obliczeniach dynamicznych należy podać liczbę poszukiwanych częstości, zadeklarować czy uwzględnić podatność podpór, oraz zadać graniczną liczbę iteracji i dokładność rozwiązania. W obliczeniach dynamicznych domyślnie podpory są zastępowane więzami, ale jeśli podpory są podatne i potrzebne są częstości 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 Płyta 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.

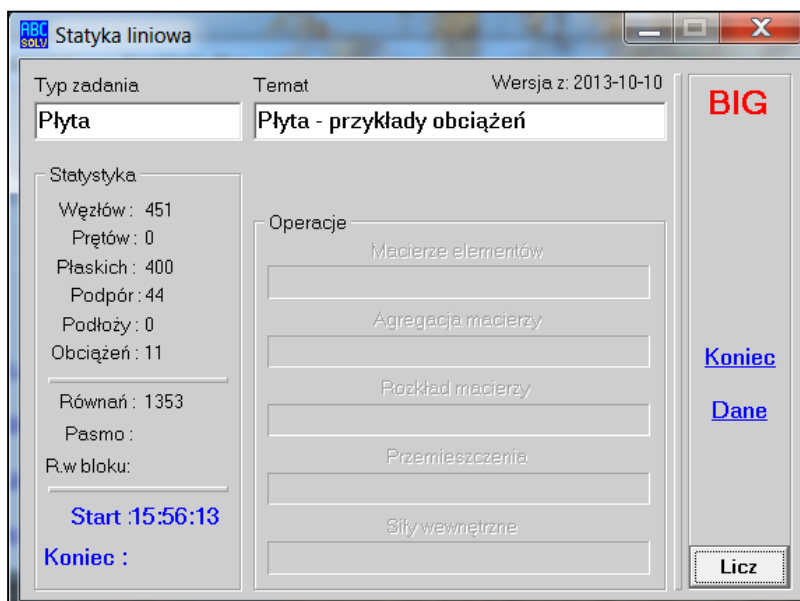
Na ogół model przyjęty do obliczeń składa się z jednego, spójnego obszaru, ale program ABC Płyta pozwala rozwiązywać też zadania składające się z osobnych obszarów. W takiej sytuacji pojawi się pytanie, czy obszar modelu jest wielospójny? Jeśli użytkownik potwierdzi ten fakt to zostanie wyłączona procedura 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](#) pozwalają 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 obli-

czeń 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 Płyta można prowadzić obliczenia nieliniowe. Zakres obliczeń nieliniowych w modelu typu Płyta jest ograniczony do nieliniowych podpór lub nieliniowego podłoża. Osobną możliwością są ugięcia płyt zarysowanych – o tym będzie mowa w osobnym rozdziale. Nieliniowe podpory mogą mieć cechy:

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

Nieliniowe podłoże może mieć trzy pierwsze cechy podpór.

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 cząstkowe 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 Płyta przewidziano inną ścieżkę uwzględniania efektów nieliniowych. Ścieżka ta polega na tym, że w modelu z zadanymi podporami nieliniowymi przyjmuje się obciążenia cząstkowe, 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 jedyne dane, 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 płycie. 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.

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.

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.

Nieliniowa podpora

Skład.

☐ Jednostronna W górę 0 kN W dół

☐ Ograniczona -1 kN 1 kN

☒ Z ☐ Z luzem -1 mm 1 mm

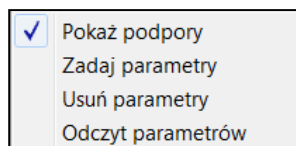
☒ Opis sztywności

Siła	Ugięcie
10 kN	1 mm
30 kN	2 mm
60 kN	3 mm
100 kN	4 mm
150 kN	5 mm

[Usuń punkt](#) [Anuluj](#) [OK](#)

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.

Opcja **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.

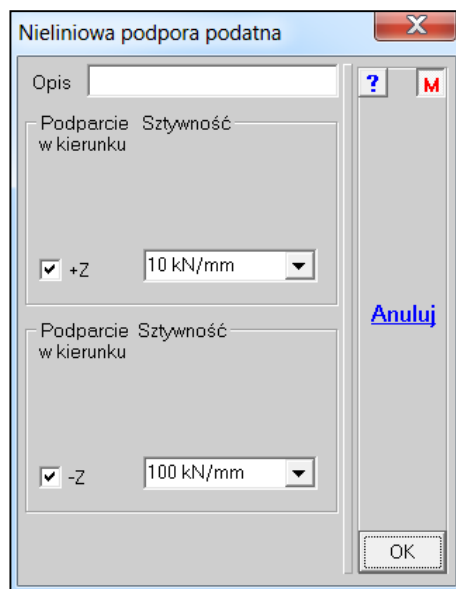
W folderze \Przykłady_Płyt zamieszczono trzy zadania z nieliniowym opisem podpór. Pierwsze o nazwie Podp_Nieliniowe jest prostokątną płytą opartą na obwodzie na podporach przegubowych. Płyta jest obciążona ciśnieniem i siłą skupioną (w osobnych schematach). Po zadaniu warunku Jednostronności narożniki płyty ulegają oderwaniu od podparcia. Liniowe rozwiązanie tej płyty jest w zadaniu Podp_Liniowe.

W drugim zadaniu o nazwie Slup_Nieliniowy przyjęto, że środkowy słup ma ograniczoną nośność. Liniowe rozwiązanie tej płyty znajduje się w zadaniu Slup_Liniowy.

W trzecim zadaniu Podpory_Z_Luzem wprowadzono podparcie z luzami i zadano różne schematy obciążenia. Zadanie to będzie szerzej omówione w rozdziale z opisem zadań.

44.2. Cechy nieliniowe podpór podatnych

W podporach podatnych po włączeniu przycisku **[M]** można zdefiniować podporę o różnej sztywności w kierunku +Z i w kierunku -Z, czyli taka podpora będzie inaczej się zachowywała kiedy będzie wciskana i kiedy będzie wciągana. W takiej podporze można zadać tylko podparcie liniowe. Nie można zadawać utwierdzeń.



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 połączenie tych dwóch cech. Dla każdego typu podłoża pole definicji cech nieliniowych jest takie samo.

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_Płyt jest są dwa zadania Podłoze i Podłoze_Nielin. W obu zadaniach są takie same dane i w obu zadano nieliniowe podłoże Winklera o cechach jednostronności i ograniczenia nośności. Przyjęto dwa schematy obliczeń i zadanie Podłoze rozwiązano liniowo, a w zadaniu Podłoze_Nielin przeprowadzono obliczenia nieliniowe. Można porównać ugięcia płyty oraz rozkłady odporów gruntu.

The screenshot shows a software dialog box titled "Podłoże Winklera". It features a text input field labeled "Opis". Below it is a field for "Szywność podłoża" (Subgrade stiffness) with a value of "10MPa/m". A section titled "Nieliniowe" (Non-linear) contains two radio button options: "Jednostronne" (One-sided) and "Ograniczone" (Limited). The "Ograniczone" option is selected. To the right of these options are two input fields for pressure limits: "W górę" (Up) set to "0 kPa" and "W dół" (Down) set to "1 kPa". On the right side of the dialog, there are buttons for "?", "M", "Anuluj" (Cancel), and "OK".

C 45. Obliczenia dynamiczne

W programie ABC Płyta 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 zadano podpory typu słupy lub ściany i 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_Płyt znajdują się dwa zadania: Dynamika_Pasma i Dynamika_Pyty.