

Część **E**

PRZYKŁADOWE ZADANIA

Spis treści części E

E62. Lista przykładowych zadań	3
62.1. A_Płyta	7
62.2. Dwa przęsła	8
62.3. Dynamika pasma	12
62.4. Dynamika płyty	14
62.5. Elipsa	16
62.6. Fundament	20
62.7. Łukowy	25
62.8. Obciążenie zmienne	28
62.9. Pasma3przęsła	29
62.10. Pierścień	31
62.11. Podłoże nieliniowe	32
62.12. Podpory nieliniowe	34
62.13. Podpory z luzami	40
62.14. Przeguby	42
62.15. Słup nieliniowy	43
62.16. Symetria	46
62.17. Zmienne podpory	48
62.18. Płyta z otworem	50

E 62. Lista przykładowych zadań

W katalogu \Przykłady_Płyt zamieszczono 81 przykładowych zadań. Część z nich jest tylko przykładami geometrii, ale są też zadania kompletne. Te będą szerzej omówione.

Lista przykładowych zadań w kolejności alfabetycznej.

1. A_Płyta – jest to podstawowe zadanie od którego każdy początkujący użytkownik powinien zacząć. Będzie ono omawiane dalej.
2. Balkon - zadanie ilustrujące możliwość utworzenia zmiennej grubości opisanej w rozdziale 36.1.
3. Belka_Krawedz – w zadaniu pokazano siatkę w której wprowadzono łukową belkę krawędziową. Przygotowanie takiej siatki jest opisane w rozdziale 32.7.4.
4. Belka_Krawedz_1 – jest to etap przejściowy przy wprowadzaniu łukowej belki krawędziowej.
5. Belka_Lukowa – jest to przykład siatki w której wprowadzono łukową belkę. Połączenie pierwotnej siatki z belką nastąpiło automatycznie. Przygotowanie takiej siatki jest opisane w rozdziale 32.7.4.
6. Belka_Lukowa2 – jest to przykład siatki w której wprowadzono łukową belkę z regularnym obszarem przejściowym. Połączenie pierwotnej siatki z belką nastąpiło automatycznie. Przygotowanie takiej siatki jest opisane w rozdziale 32.7.4.
7. Belka_Otwór – jest to przykład siatki z otworem utworzonym przez dodanie belki kołowej. Grubość tej belki była równa grubości płyty. Połączenie pierwotnej siatki z obszarem pierścieniowym nastąpiło automatycznie. Przygotowanie siatki jest opisane w rozdziale 32.7.4.
8. Belka_PolOtwor – jest to przykład wprowadzenia wcięcia łukowego w brzegu płyty z regularnym obszarem wokół wcięcia. Przygotowanie takiej siatki jest opisane w rozdziale 32.7.4.
9. Belka_PolOtwor_1 – jest to faza pośrednia do wprowadzenia łukowego wcięcia w brzegu płyty.
10. Belka_Ukosna – jest to siatka w której wprowadzono ukośną belkę. Jej oś nie pokrywa się z krawędziami elementów pierwotnego podziału. Połączenie elementów tej belki z resztą siatki nastąpiło automatycznie. Przygotowanie takiej siatki jest opisane w rozdziale 32.7.4.
11. Belka_Ukosna2 – jest to siatka w której wprowadzono ukośną belkę uzupełnioną regularnym obszarem pośrednim. Połączenie elementów tej belki z resztą siatki nastąpiło automatycznie. Przygotowanie takiej siatki jest opisane w rozdziale 32.7.4.
12. BelkiKrawedziowe – jest to siatka w której wprowadzono belki krawędziowe opisywane w rozdziale 32.7.3.
13. BelkiZPasma – jest to siatka w której wprowadzono belki przez podział pasma elementów. Jest ona opisywana w rozdziale 32.7.1.
14. BelkiZWezlow – jest to siatka w której wprowadzono belki przez przesunięcie węzłów, bez dodawania nowych elementów. Jest ona opisywana w rozdziale 32.7.2.
15. DodajLinie – jest to siatka zmodyfikowana opcją Dodaj Linie.. Ta siatka jest opisywana w rozdziale 32.10.
16. DodajLuk – jest to siatka zmodyfikowana opcją Doaj Luk... Ta siatka jest opisywana w rozdziale 32.11.
17. DodajLuk90 – jest to siatka w której wprowadzono łukowy obszar regularny. Jest to ilustracja do rozdziału 32.4.
18. DodajWycinek_1 – jest to siatka w której wprowadzono obszar wycinka koła podzielony mniej więcej równymi elementami. Zadanie dotyczy rozdziału 32.5.
19. DodajWycinek_2 – jest to siatka w której wprowadzono obszar wycinka koła podzielony wachlarzowo. Zadanie dotyczy rozdziału 32.5.
20. Duze_Osiadanie – jest to przykład płyty posadowionej na sprężystym podłożu o małej sztywności. Tym zadaniem ilustrowane jest działanie opcji Dodaj wektor.. z menu Ugięcia. Opis znajduje się w rozdziale 49.
21. Dwa_przesla – jest zadanie ilustrujące działanie obciążeń zmiennych. Będzie ono omówione dalej.

22. Dynamika_Pasma – jest to zadanie ilustrujące obliczenia dynamiczne. Będzie ono omówione dalej.
23. Dynamika_Płyty – jest to zadanie ilustrujące obliczenia dynamiczne. Będzie ono omówione dalej.
24. Elipsa – jest to zadanie ilustrujące tworzenie siatki, zadawanie obciążeń i wymiarowanie z kilkoma strefami zbrojenia. Będzie omawiane dalej.
25. ElipsaU – są to ugięcia płyty zarysowanej obliczone dla zadania Elipsa. Będzie omawiane wspólnie z wcześniejszym zadaniem.
26. Elipsa180 – jest to przykład automatycznej generacji siatki w kształcie półelipsy. Jest to ilustracja do rozdziału 30.6.
27. Elipsa360 – jest to przykład automatycznej generacji siatki w kształcie elipsy. Jest to ilustracja do rozdziału 30.6.
28. Elipsa90 – jest to przykład automatycznej generacji siatki w kształcie $\frac{1}{4}$ elipsy. Jest to ilustracja do rozdziału 30.6.
29. Fundament – jest to zadanie w którym można przeprowadzić analizę gruntową. Zadanie to będzie omawiane szczegółowo dalej.
30. KoloA – jest to przykład automatycznej generacji siatki w kształcie wycinka koła o kącie środkowym równym 160° . Jest to ilustracja do rozdziału 30.5.
31. KoloB – jest to przykład automatycznej generacji siatki w kształcie półkoła. Jest to ilustracja do rozdziału 30.5.
32. KoloC – jest to przykład automatycznej generacji siatki w kształcie koła. Jest to ilustracja do rozdziału 30.5.
33. KoloD – jest to przykład automatycznej generacji siatki w wycinka koła. Jest to ilustracja do rozdziału 30.5.
34. Kolo60 – jest to przykład automatycznej generacji siatki w kształcie ćwiartki koła. Jest to ilustracja do rozdziału 30.5.
35. Luk180_R – jest to przykład automatycznej generacji siatki w kształcie łuku o kącie środkowym równym 180° . Środki łuku wewnętrznego i zewnętrznego są w tym samym miejscu. Jest to ilustracja do rozdziału 30.4.
36. Luk360_R – jest to przykład automatycznej generacji siatki w kształcie pierścienia o stałej szerokości. Jest to ilustracja do rozdziału 30.4.
37. Luk60_R – jest to przykład automatycznej generacji siatki w kształcie łuku o kącie środkowym równym 60° . Środki łuku wewnętrznego i zewnętrznego są w tym samym miejscu. Jest to ilustracja do rozdziału 30.4.
38. Obc_Zmienne – jest to zadanie ilustrujące półautomatyczne rozkładanie obciążeń zmiennych, oraz modelowanie strefy przysłupowej. Jest o nim mowa w rozdziale 41.10, oraz będzie jeszcze raz omawiane.
39. Obc_ZmienneU – są to ugięcia płyty zarysowanej do zadania Obc_Zmienne. Będzie omówione razem z zadaniem wyjściowym.
40. Pasm3Przesla – jest to zadanie w którym zadano różne zestawy atrybutów i mnożników. Jest ono ilustracją do rozdziału 46.3. Będzie ono omówione dalej.
41. Pierscien – jest to zadanie ilustrujące półautomatyczne rozkładanie obciążeń zmiennych. Będzie ono też omawiane dalej.
42. Pierscien_Eliptyczny – jest to zadanie ilustrujące możliwości opisane w pkt.33.10.
43. Pierscien_Kolowy – zadanie wyjściowe do modyfikacji w obszar eliptyczny.
44. Podloze – jest to zadanie ilustrujące zadawanie podłoża Winklera z rozwiązaniem liniowym. Jest o nim mowa w rozdziale 44.2. Będzie też omówione dalej razem z następnym zadaniem.
45. Podloze_Nielin – jest to zadanie ilustrujące zadawanie podłoża Winklera z rozwiązaniem nieliniowym. Jest o nim mowa w rozdziale 44.2.
46. Podpory_z_Luzem – jest to zadanie ilustrujące możliwości programu w zakresie nieliniowych podpór. Mowa o nim jest w rozdziale 44.1. Będzie też opisane dalej.

47. Podp_Liniowe – jest to płyta prostokątna podparta przegubowo na krawędziach, rozwiązana liniowo. Jest o niej mowa w rozdziale 44.1. Będzie też opisana dalej.
48. Podp_Nieliniowe – jest to płyta prostokątna podparta przegubowo na krawędziach, rozwiązana nieliniowo. Jest o niej mowa w rozdziale 44.1. Będzie też opisane dalej wspólnie z poprzednim zadaniem.
49. Powiel – wyjściowa siatka do ilustracji różnych możliwości powielania. Jest o niej mowa w rozdziale 32.13.
50. Powiel_Katowo – jest to siatka powstała przez powielenie obrotowe. Jest o niej mowa w rozdziale 32.13.
51. Powiel_Liniowo – jest to siatka powstała przez powielenie liniowe. Jest o niej mowa w rozdziale 32.13.
52. Powiel_Lustro – jest to siatka powstała przez lustrzane odbicie. Jest o niej mowa w rozdziale 32.13.
53. Przeguby – jest to przykład zadania w którym zadano przeguby. Mowa o nim jest w rozdziale 37, ponadto będzie ono omówione dalej.
54. Rzne_Obc – jest to przykład różnych obciążeń które mogą być zadawane w płycie. Zadanie jest tylko ilustracją do rozdziału 41 i nie ma rozwiązania.
55. Ruchome_Dowolne – jest to przykład obciążeń ruchomych dowolnych (wózek widłowy) na płycie na sprężystym podłożu (model posadzki).
56. Ruchome_Drogowe – jest to przykład mostu o ukośnej płycie obciążony siłami drogowymi.
57. Ruchome_Kolejowe – jest to przykład dwuprzęsłowej płyty z obciążeniami kolejowymi.
58. Sciany_Dobre – przykład podparcia płyty na ścianach. Jest to ilustracja do rozdziału 38.5.
59. Sciany_Zle – przykład podparcia płyty na ścianach, ale błędnie zadanych. Jest to ilustracja do rozdziału 38.5.
60. Sily_Z_Pliku - jest to przykład obciążeń skupionych wczytanych z pliku. Ilustracja do rozdziału 41.11.
61. Slupy_Ukosne – przykład wprowadzenia słupów prostokątnych ustawionych odpowiednio do ukośnej krawędzi. Jest to ilustracja do rozdziału 33.12.
62. Slupy_Wachlarz - przykład wprowadzenia słupów prostokątnych ustawionych odpowiednio do łukowych krawędzi płyty. Jest to ilustracja do rozdziału 33.12.
63. Slup_Liniowy – jest to przykład ilustrujący podpory o ograniczonej nośności. Mowa o nim w rozdziale 44.1. Zadanie to razem z następnym będzie omówione dalej.
64. Slup_Nieliniowy – jest to przykład ilustrujący podpory o ograniczonej nośności. Mowa o nim w rozdziale 44.1.
65. StropB – przykład rozbudowanego stropu.
66. StropB1 – ugięcia płyty zarysowanej do poprzedniego zadania.
67. Symetria_1 – przykład zastosowania podwójnej symetrii. Jest to ilustracja do rozdziału 40.1. Zadanie to będzie omówione dalej.
68. Symetria_1a – przykład zastosowania podwójnej symetrii. Jest to ilustracja do rozdziału 40.1. Zadanie to będzie omówione dalej razem z zadaniem Symetria_1.
69. Symetria_2 - przykład zastosowania symetrii. Jest to ilustracja do rozdziału 40.1. Zadanie to będzie omówione dalej.
70. Trapez_N – przykład automatycznie wygenerowanej siatki trapezowej o nieregularnym podziale. Zadanie jest ilustracją do rozdziału 30.2.
71. Trapez_R – przykład automatycznie wygenerowanej siatki trapezowej o regularnym podziale. Zadanie jest ilustracją do rozdziału 30.2.
72. Trojkat_A – przykład automatycznie wygenerowanej siatki trójkątnej równobocznej o regularnym podziale. Zadanie jest ilustracją do rozdziału 30.3.
73. Trojkat_B – przykład automatycznie wygenerowanej siatki trójkątnej równoramiennej o nieregularnym podziale. Zadanie jest ilustracją do rozdziału 30.3.

74. Trojkat_C – przykład automatycznie wygenerowanej siatki trójkątnej prostokątnej o nieregularnym podziale. Zadanie jest ilustracją do rozdziału 30.3
75. Trojkat_D – przykład automatycznie wygenerowanej siatki trójkątnej dowolnej o nieregularnym podziale. Zadanie jest ilustracją do rozdziału 30.3
76. Wezly_Zalezne_1 – przykład zastosowania w modelowaniu węzłów zależnych. Jest to ilustracja do rozdziału 40.4.
77. Wezly_Zalezne_2 – przykład zastosowania w modelowaniu węzłów zależnych. Jest to ilustracja do rozdziału 40.4.
78. Wielospojny - zadanie wieloobszarowe będące ilustracją do rozdziału 43.
79. Wsporniki – jest to ilustracja możliwości zadawania zmiennych grubości. Zadanie jest omówione w rozdziale 36.1.
80. Zmienne_Podpory – jest to ilustracja możliwości modelowania układów o zmiennej strukturze w każdym schemacie obciążenia. Zadanie jest omówione w rozdziale 39.11 i dalej.
81. Z_Otwarem – przykład siatki w której belka krawędziowa modeluje okrągły otwór. Zadanie będzie omówione dalej.

62.1. A_Płyta

Jest to zadanie oparte głównie na danych domyślnych. Minimalnym nakładem można go przygotować i od niego początkujący użytkownik powinien zaczynać. Również w sytuacji kiedy program zaczyna się zachowywać dziwnie należy przeprowadzić na tym zadaniu test jego poprawności.

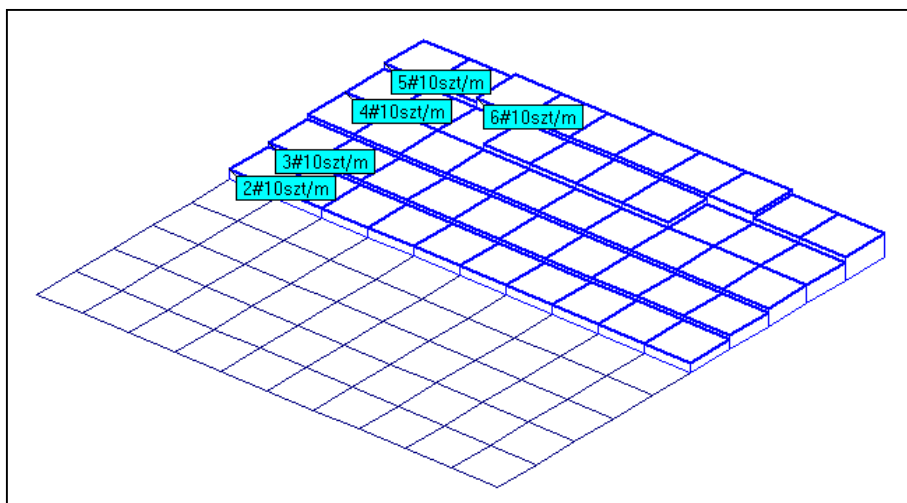
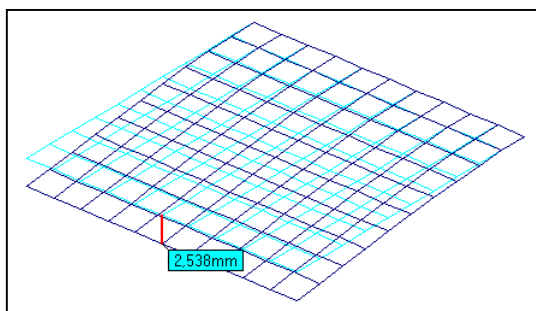
Obszar modelu jest kwadratem o wymiarach 3x3m podzielonym elementami o wymiarach 0,3x0,3m. Są to dane domyślne podpowiadane na planszy startowej. Wystarczy zatem kliknąć w przycisk [OK] aby otrzymać model. Teraz należy wywołać menu [Podpory](#), wybrać opcję **Sztywne** i na planszy przyciskiem [Z] zadać odebrane kąty obrotu wokół osi X i Y. Następnie oknem wybrać węzły na dowolnej krawędzi. Otrzyma się wspornik płytowy utwierdzony na jednej z krawędzi. Następnie należy wywołać menu [Obciążenie](#) i zadać obciążenie ciężarem własnym. Obciążenia należy zakończyć przyciskiem [Koniec obc.] i wywołać obliczenia. Jeśli program nie reaguje na kliknięcie przycisku Obliczenia to najczęściej oznacza, że nie ma klucza w komputerze lub klucz jest dla programu niewidoczny, bo np. jest przysłonięty przez inne klucze będące między nim a gniazdem drukarki.

Po obliczeniach powinny pokazać się ugięcia takie jak rysunku.

Mnożnik obciążenia przyjęto równy 1,35.

Następnym miejscem newralgicznym jest wywołanie zbrojenia. Jeśli klikanie w przycisk [Wymiar](#) nie daje efektów to będzie ta sama przyczyna co przy obliczeniach.

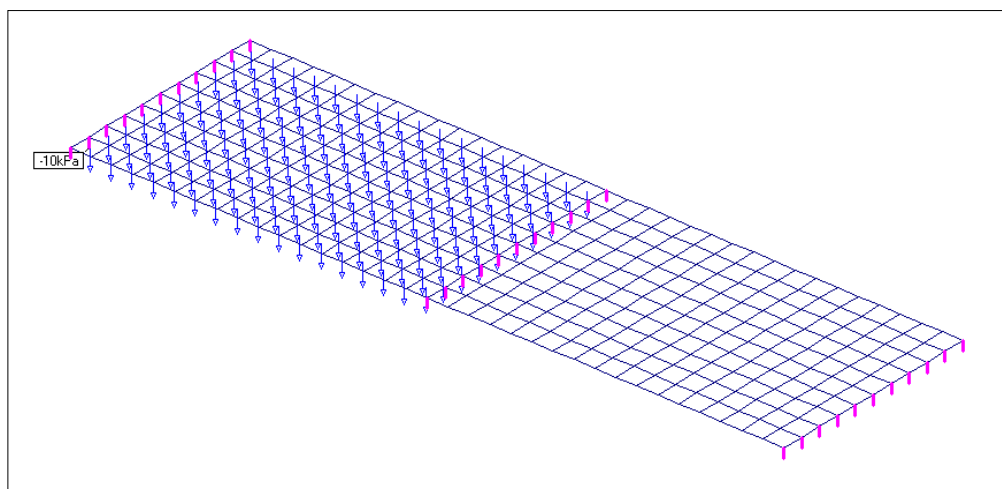
Po pojawieniu się planszy zbrojenia dla danych: stal B500SP, średnice 10 mm i otulenia 30mm i klasie ekspozycji XC3 zbrojenie powinno wyglądać tak jak na rysunku obok.



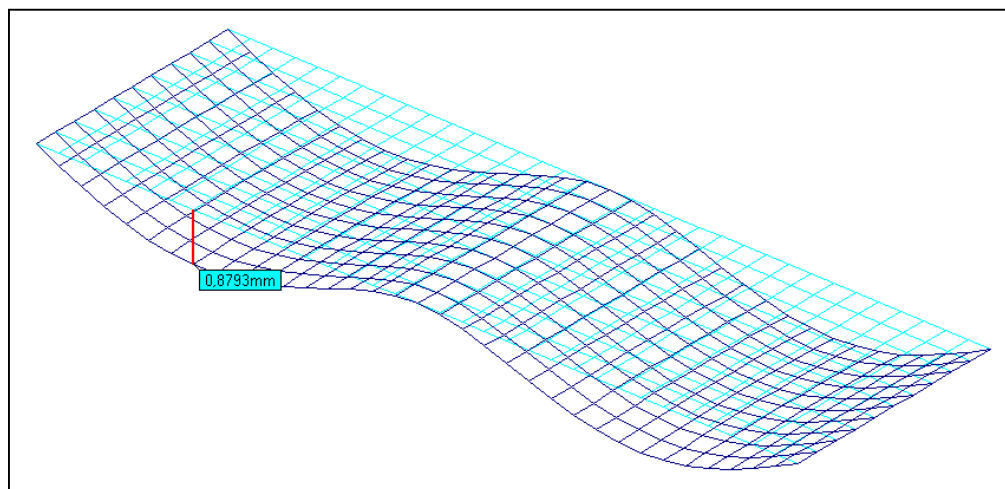
Jeśli otrzyma się inne wyniki to należy poszukać przyczyny różnic.

62.2. Dwa_Przesla

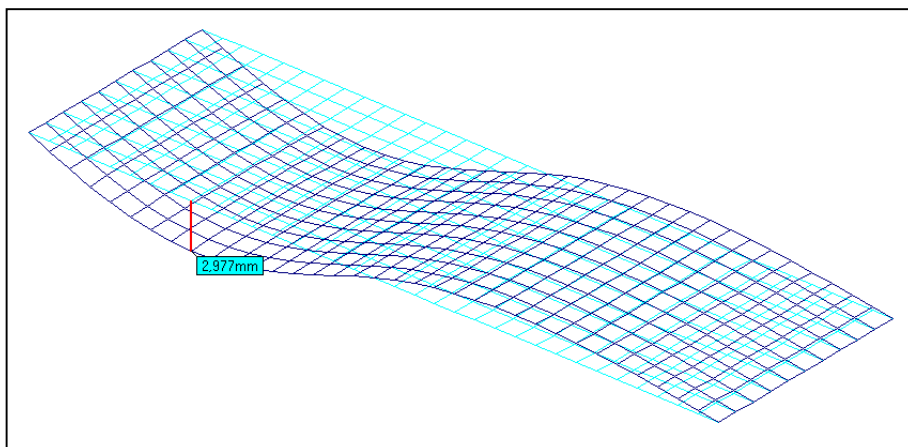
Jest to proste zadanie na którym można prześledzić zakres analizy wyników. Ma ono rozwiązanie statyczne i dynamiczne. Płyta jest prostokątna o wymiarach 10x3m o równomiernym podziale oczkiem 0,3x0,3m. Model płyty powstał zaraz po wprowadzeniu na planszy startu wymiarów obszaru równoległobocznego o podstawie 10m i wysokości 3m. Przy starcie zadano też grubość 0,2m. Przyjęto podparcie na trzech rzędach podpór sztywnych przegubowych. Podpory te mogą modelować ściany ceglane w których pominięto podatność pionową. Ściany umieszczono tak, aby powstały dwa przęsła o rozpiętości 5m każde. Przyjęto trzy schematy obciążeń: ciężar własny oraz obciążenia ciągłe -10kPa działające w każdym z przęseł osobno.



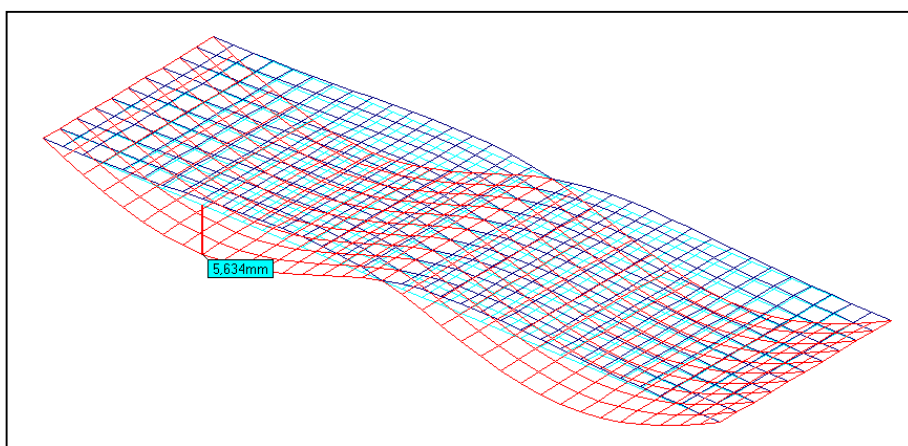
Obciążenie ciągłe jednego przęsła



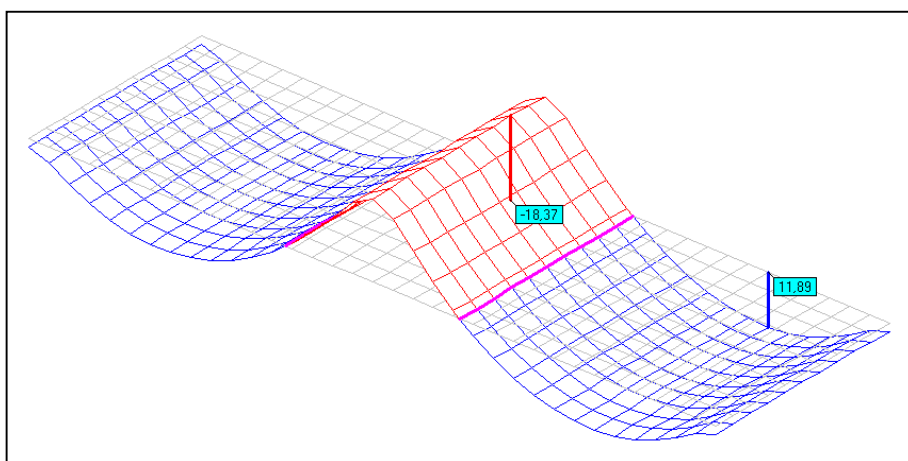
Ugięcia wywołane ciężarem własnym



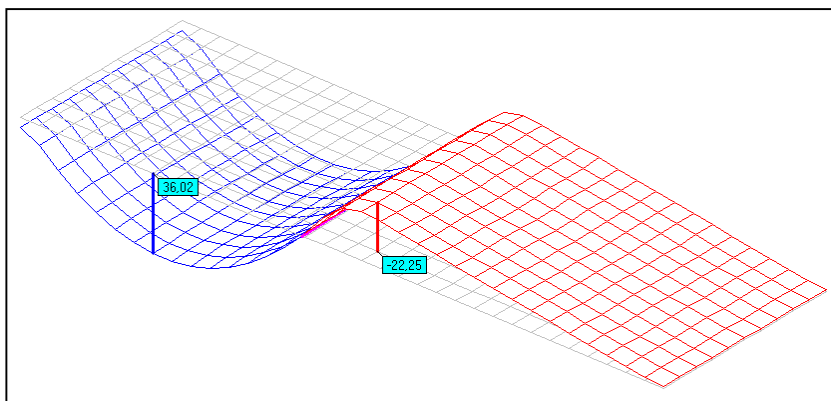
Ugięcia wywołane obciążeniem ciągłym



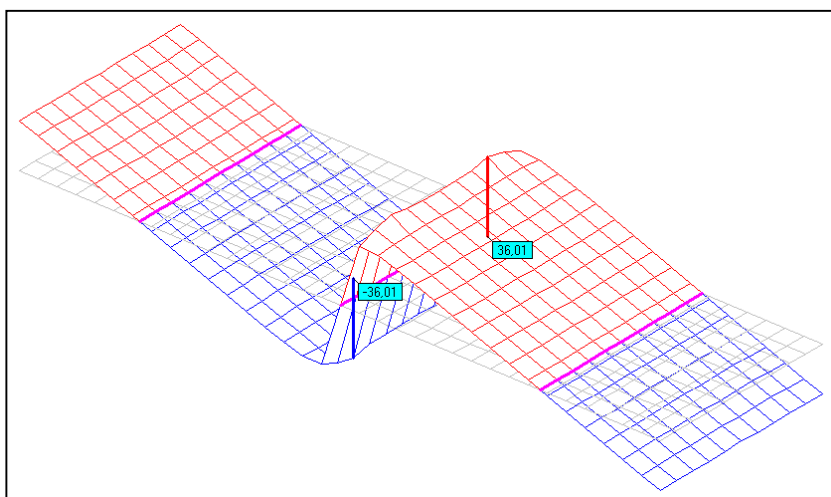
Obwiednia ugięć



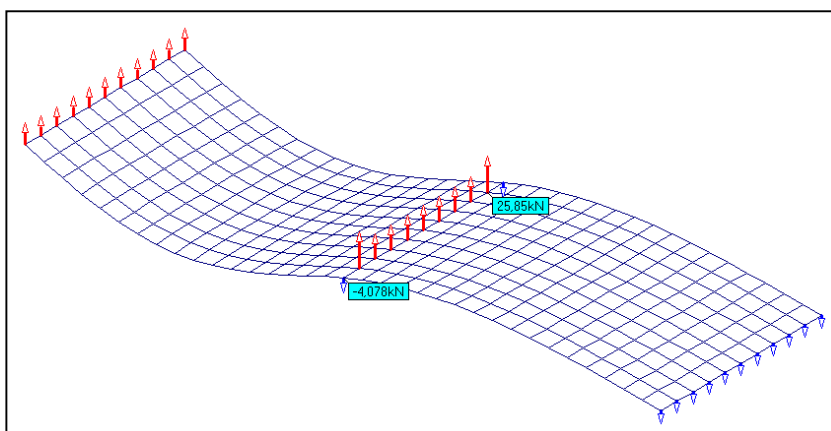
Momenty wywołane ciężarem własnym



Momenty wywołane obciążeniem ciągłym

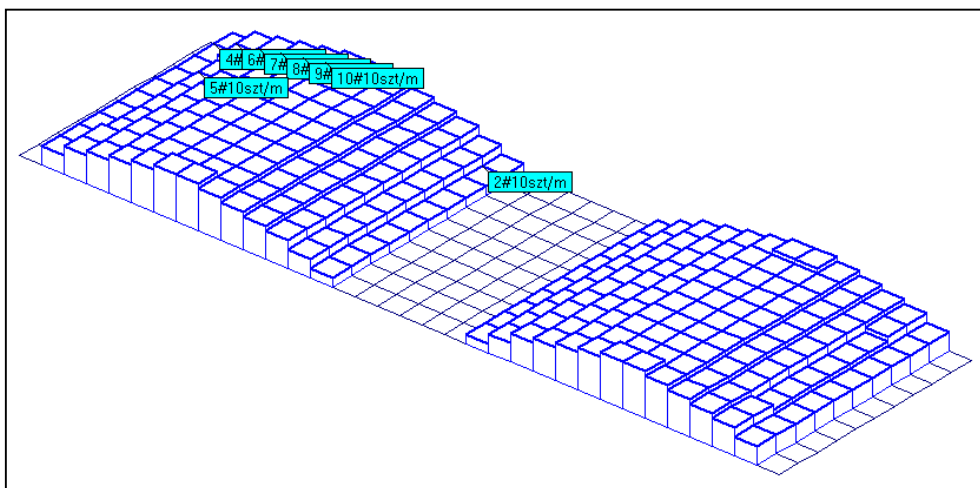


Siły poprzeczne wywołane obciążeniem ciągłym

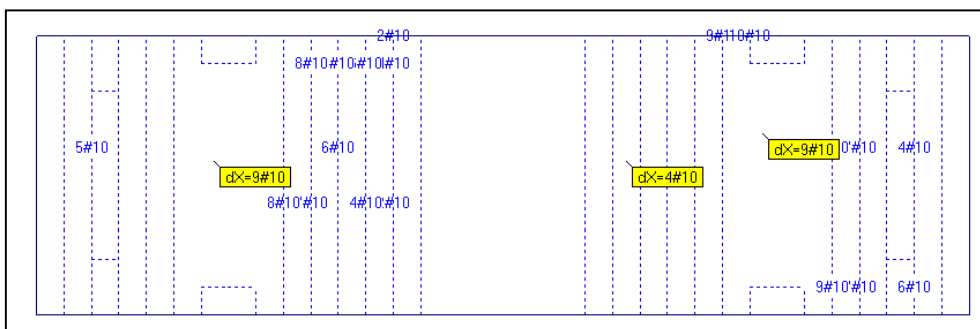


Rozkład reakcji wywołanych obciążeniem ciągłym

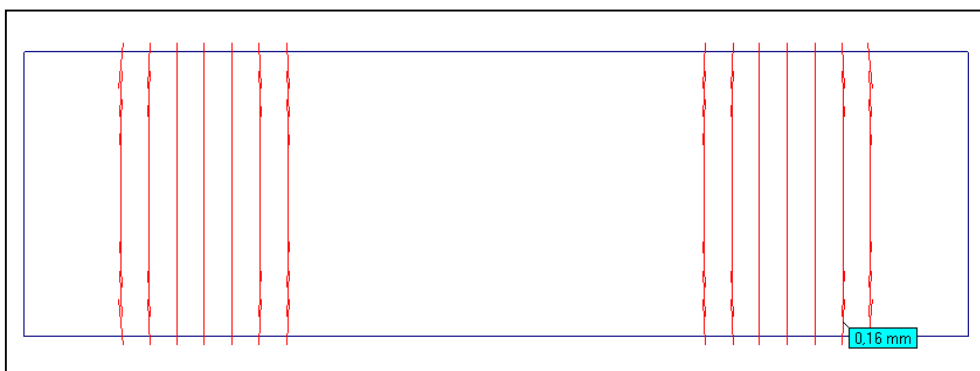
Zadania



Zbrojenie dolne – forma widokowa



Zbrojenie – warstwy i odczyty



Zarysowanie

62.3. Dynamika_Pasma

Jest to proste zadanie w którym obliczono częstotliwości drgań własnych pasma płytowego wolno podpartego. Pasma ma długość $L = 10\text{m}$, szerokość $b = 1\text{m}$ i grubość $t = 0,16\text{m}$. Jest wykonane z betonu C20/25 dla którego moduł sprężystości jest równy $E = 29961\text{MPa}$, ciężar właściwy betonu jest równy $\gamma = 25\text{kN/m}^3$. Traktując to pasmo jak belkę wolnopodpartą można obliczyć dla niej kolejne częstotliwości własne drgań poprzecznych (giętych) z wzoru:

$$\omega_n = n^2 \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{gEJ}{\gamma A}}$$

gdzie:

$$J = \frac{bt^3}{12} = 3,413 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$A = bt = 0,16 \text{ m}^2$$

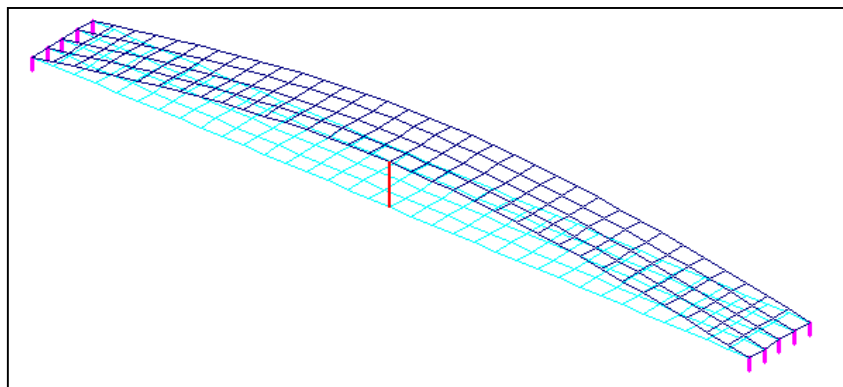
$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Po wstawieniu wartości obliczono pięć pierwszych częstotliwości:

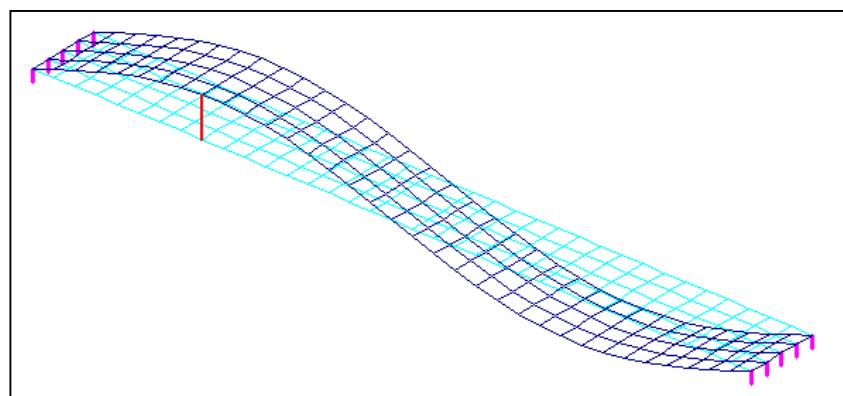
$$\omega_1 = 15,63 \text{ 1/s}, \omega_2 = 62,52 \text{ 1/s}, \omega_3 = 140,66 \text{ 1/s}, \omega_4 = 250 \text{ 1/s}, \omega_5 = 390,7 \text{ 1/s}.$$

Wybierając w module WYNIKI przycisk Częstotliwości otrzyma się listę częstotliwości. Analizując ją można stwierdzić, że różnice nie przekraczają 1%. Tylko czwarta częstotliwość jest inna. Pokazując jej postać można stwierdzić, że są to drgania skrętne.

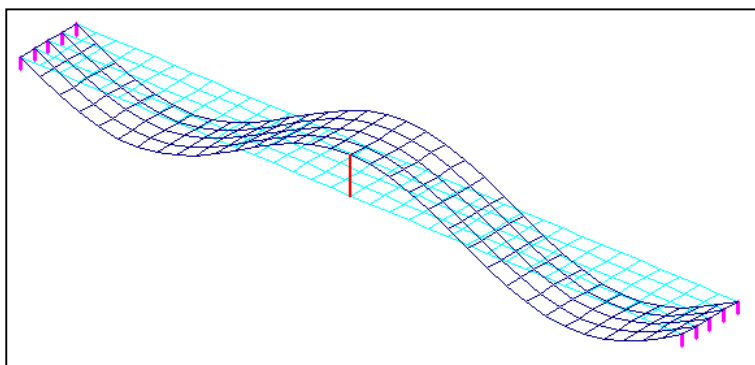
Pierwsza postać
drgań $\omega = 15,53 \text{ 1/s}$



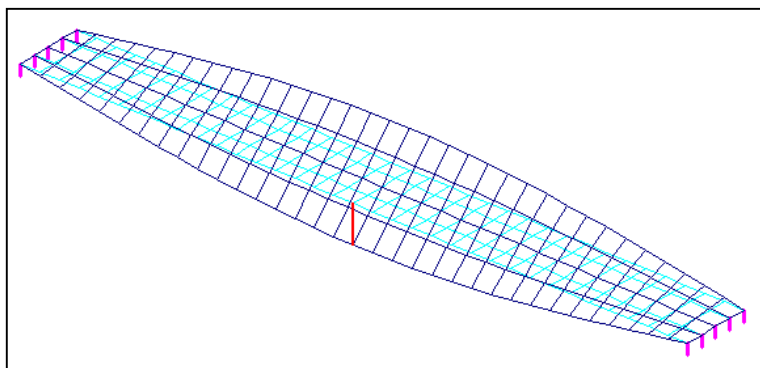
Druga postać drgań
 $\omega = 62,14 \text{ 1/s}$



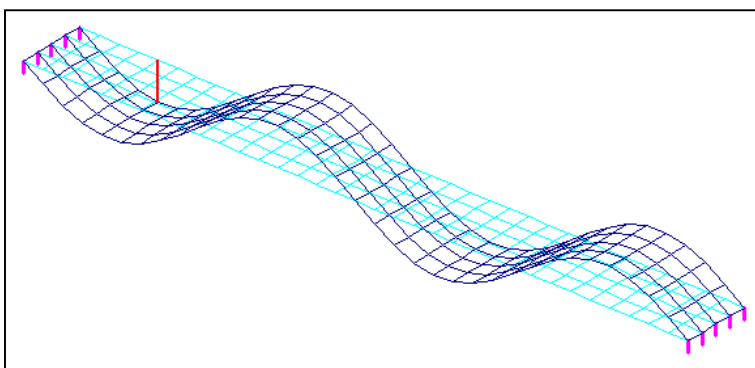
Trzecia postać drgań
 $\omega = 139,8 \text{ 1/s}$



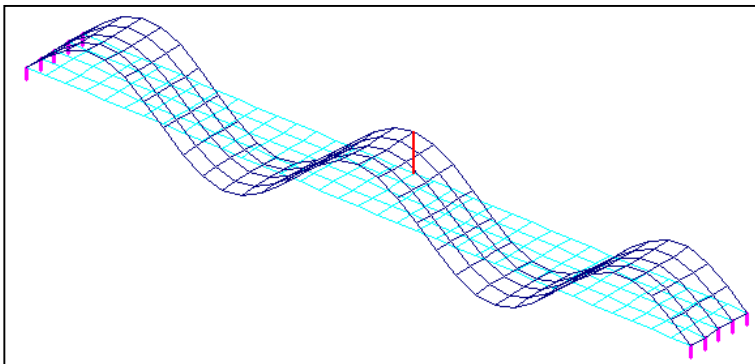
Czwarta postać drgań
 (skrętna) $\omega = 210,3 \text{ 1/s}$



Piąta postać drgań
 $\omega = 248,6 \text{ 1/s}$



Szósta postać drgań
 $\omega = 388,3 \text{ 1/s}$



62.4. Dynamika_Płyty

To zadanie pokazuje częstotliwości drgań poprzecznych prostokątnej płyty opartej na obwodzie na przegubowych podporach. Płyta ma długość $a = 12\text{m}$, szerokość $b = 8\text{m}$ i grubość $t = 0,16\text{ m}$. Jest wykonana z betonu C20/25 o module sprężystości $E = 29961\text{MPa}$, liczbie Poisson'a $\nu = 0.2$ i ciężarze własnym $\gamma = 25\text{ kN/m}^3$.

Częstotliwości drgań własnych takiej płyty są opisane wzorem:

$$\omega_{nm} = k \left[\left(\frac{n}{a} \right)^2 + \left(\frac{m}{b} \right)^2 \right]$$

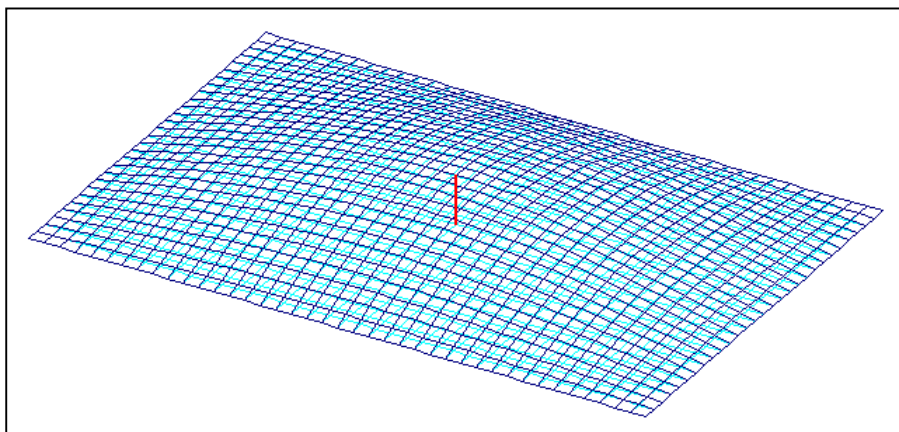
gdzie:

$$k = \frac{\pi^2 t}{2} \sqrt{\frac{Eg}{3(1-\nu^2)\gamma}}$$

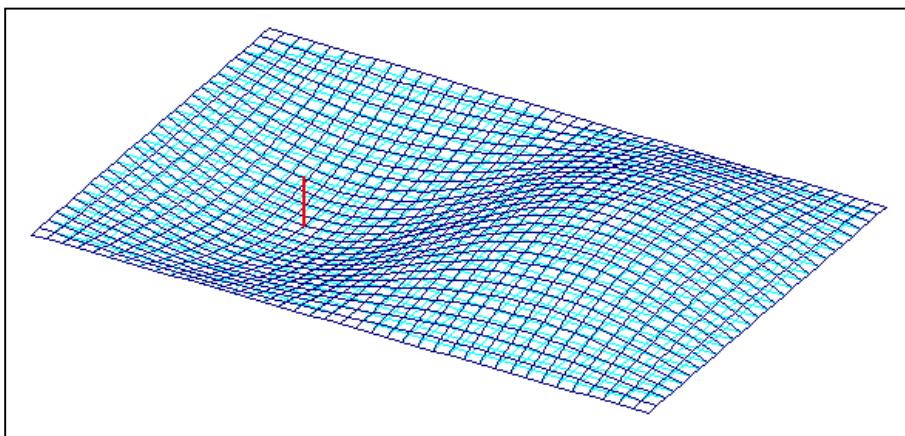
Podstawiając wartości obliczono kolejne częstotliwości własne:

$$\begin{aligned} \omega_1 \cong \omega_{11} &= 35,98 \text{ 1/s}, \omega_2 \cong \omega_{21} = 69,23 \text{ 1/s}, \omega_3 \cong \omega_{12} = 110,77 \text{ 1/s}, \\ \omega_4 \cong \omega_{31} &= 124,6 \text{ 1/s}, \omega_5 \cong \omega_{22} = 143,9 \text{ 1/s}, \omega_6 \cong \omega_{32} = 199,4 \text{ 1/s} \end{aligned}$$

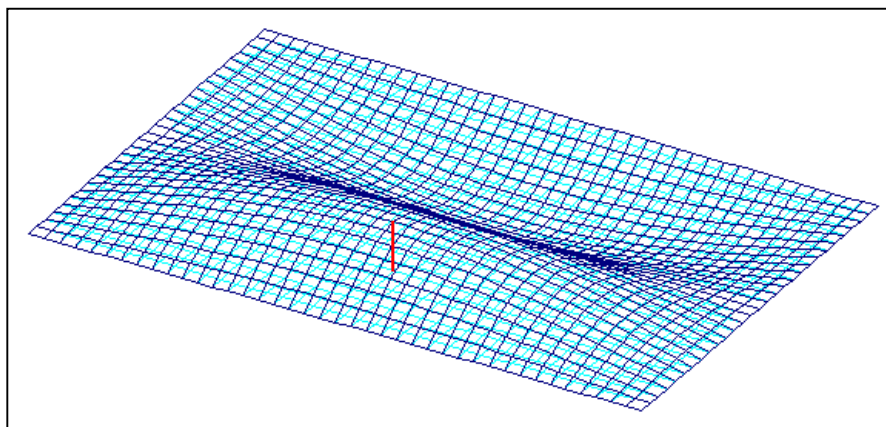
Pierwsza postać
drgań
 $\omega = 35,51 \text{ 1/s}$



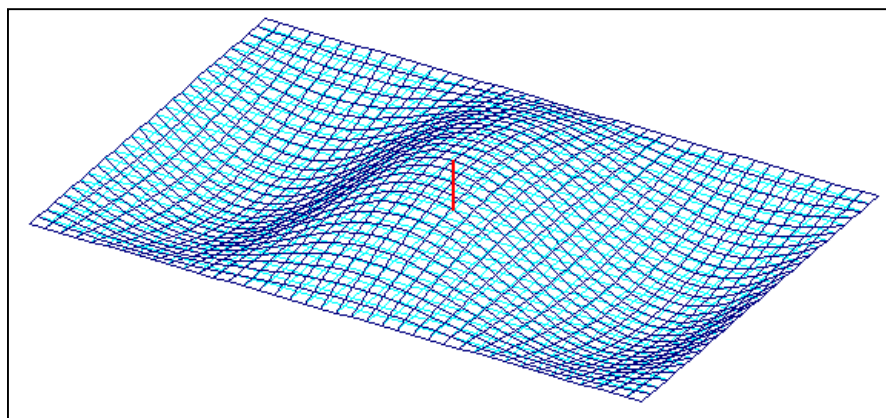
Druga postać
drgań
 $\omega = 68,34 \text{ 1/s}$



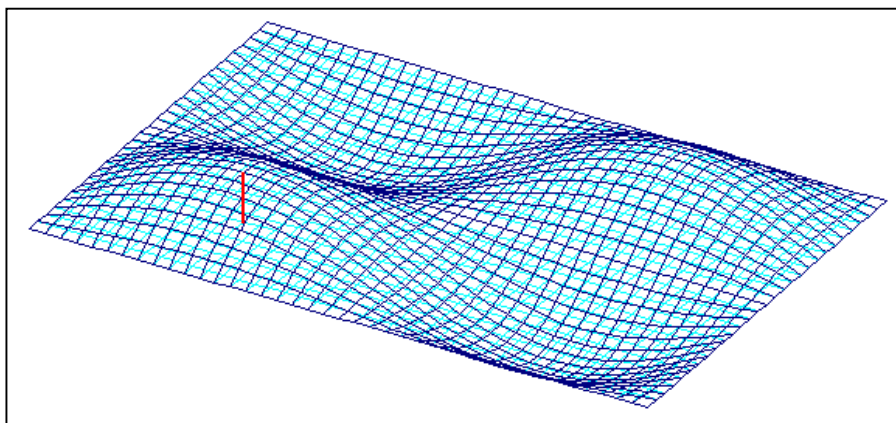
Trzecia postać
drgań
 $\omega = 109,2 \text{ 1/s}$



Czwarta postać
drgań
 $\omega = 123,0 \text{ 1/s}$

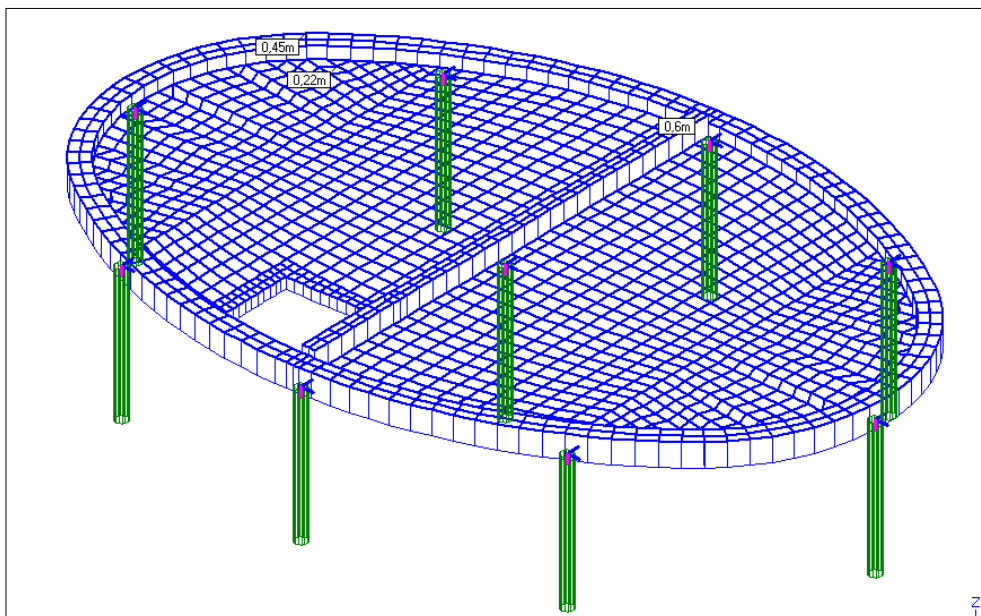


Piąta postać
drgań
 $\omega = 142,1 \text{ 1/s}$



62.5. Elipsa i ElipsaU

Jest to zadanie w którym wykorzystano generator siatki eliptycznej do zamodelowania dużej płyty z otworem, z belkami krawędziowymi i belką poprzeczną podpartą na układzie słupów.



Na planszy startowej włączono przycisk **[M]**, następnie wybrano przełącznik „Elipsa”, wpisało wymiary oczka 0,6x0,6m i zadano wymiary elipsy: 24m na 16m. Wprowadzono też wstępną grubość 0,22m. Po naciśnięciu przycisku [OK] powstała siatka eliptyczna. Siatka ta charakteryzuje się tym, że ma obwodowe pasmo elementów które może być z powodzeniem wykorzystane do zamodelowania belki krawędziowej. W menu [Elementy](#) wybrano opcję **Dodaj belkę** i na planszy Belka wybrano przełącznik **Podział pasma**, wprowadzono nową grubość 0,45m oraz szerokość pasma równą 0,6m. Następnie przystąpiono do wyboru elementów metodą Łuk. Wybierano cztery łuki, wykorzystując, zadaną odchyłkę 0,01m. Poprzeczną belkę o szerokości 0,4m i całkowitej wysokości 0,6m zadano opcją **Dodaj belkę** z menu [Elementy](#). Na planszy definicji belki wprowadzono jej szerokość i wysokość i wybrano dwa węzły leżące na pionowej osi symetrii siatki.

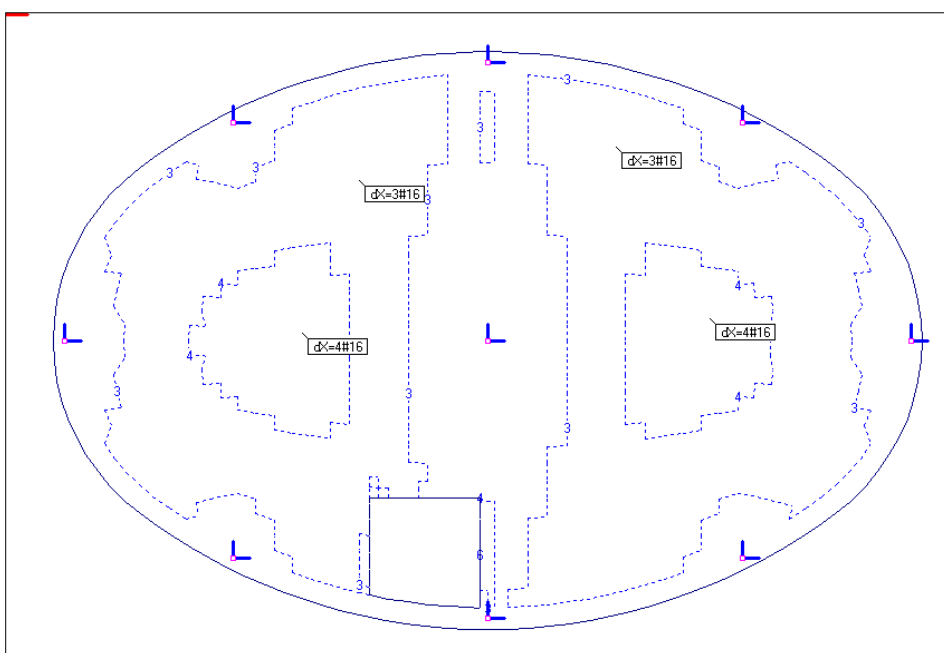
W kolejnym kroku usunięto elementy tworząc otwór. Po usunięciu elementów górna krawędź otworu nie była prosta. Wywołano zatem opcję **Przesuń węzły** z menu [Węzły](#), wybrano węzły leżące na tej krawędzi i zadano im wspólną współrzędną Y. Obszar wokół otworu zagęszczono wybierając opcję **Podziel obszar** w menu [Elementy](#). Po tej operacji geometria obiektu była gotowa.

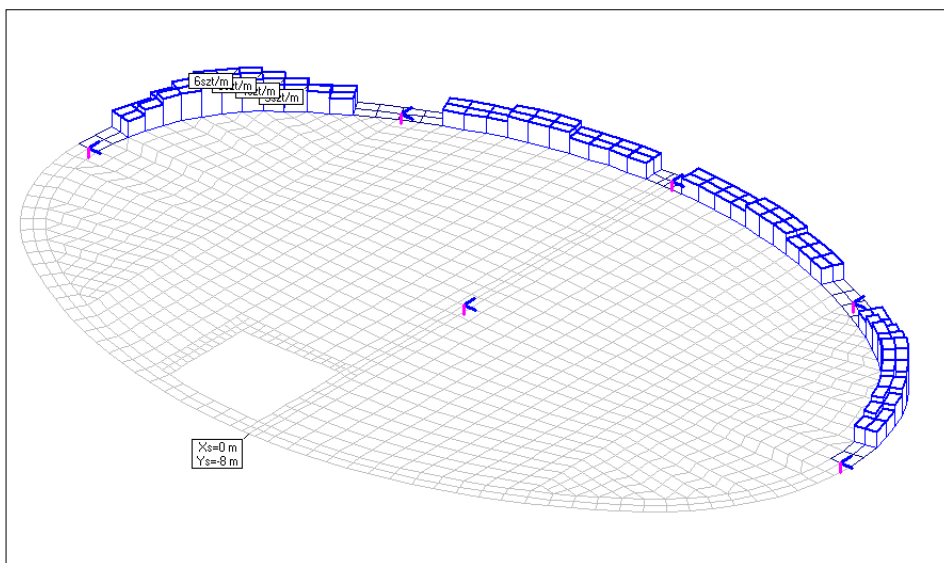
W menu [Podpory](#) wybrano opcję **Słupy** i na planszy zdefiniowano, że słupy są okrągłe o średnicy 0,4m i wysokości 3.5m. Następnie wybrano odpowiednie węzły.

W menu [Obciążenie](#) wybrano opcję **Nowy schemat** i zadano w pierwszym schemacie ciężar własny. W drugim schemacie wprowadzono obciążenie rozłożone powierzchniowo o wartości 6kPa skierowane w dół. Obciążenie to przyjęto na całej powierzchni płyty. Po opuszczeniu menu [Obciążenie](#), wybrano opcję **Rozłóż obciążenie** (z menu [Obciążenie](#)) i wybrano cztery pola obejmujące po ¼ elipsy każde. Otrzymano w ten sposób pięć schematów: ciężar własny jako obciążenie stałe i cztery schematy zmienne obejmujące po ¼ elipsy. Na tym zakończono modelowanie zadania.

Zadania

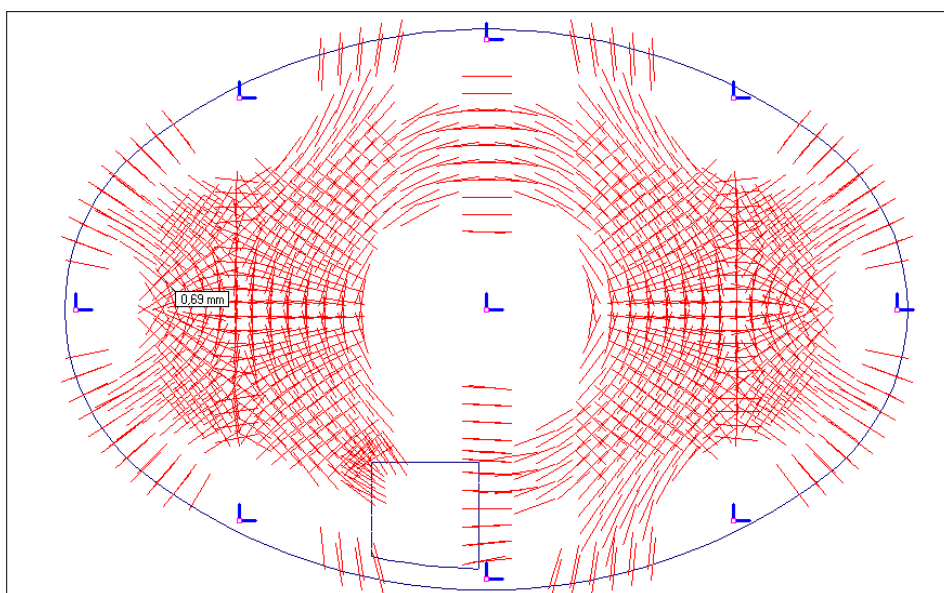
Po rozwiązaniu wywołano menu [Obwiednia](#) i opcją [Atrybuty](#) i mnożniki zadano mnożniki obciążenia. Dla obciążenia stałego przyjęto 1,1, a dla obciążeń zmiennych mnożnik 1.3. W następnym kroku wywołano menu [Wymiar](#) i na planszy założeń do wymiarowania żelbetu zadano średnice wkładki na górze (16mm) i dole płyty (też 16mm). Program zazbroił całą płytę. Teraz w menu [Fragment](#) wybrano opcję [Grubości](#) i na planszy zaznaczono tylko wartość 0,45m. Rysunek modelu został ograniczony tylko do belki krawędziowej. Następnie ponownie wybrano menu [Fragment](#) i opcją [Wybór obszaru](#) ograniczono belkę do górnej połowy. Po wybraniu przycisków [Wymiar](#) i [Żelbet](#) wybrano opcję [Założenia](#). Planszę założeń pokazano w pełnym zakresie (przycisk [\[M\]](#) na planszy włączony) i włączono [Biegunowe](#). Następnie przyciskiem [Szukaj środka](#) określono biegun zbrojenia dla górnej części belki krawędziowej. Wybrano w tym celu trzy węzły leżące na łuku o większym promieniu. Współrzędne środka zbrojenia zostały pokazane zarówno na planszy jak i na rysunku modelu. Zadano teraz nowe średnice dla zbrojenia promieniowego oraz obwiedniowego i przyciskiem [\[OK\]](#) zamknięto planszę. Na pytanie czy obliczyć na nowo zbrojenie odpowiedziano twierdząco i program przyjął nowe założenia jako nową strefę zbrojenia. Zbrojeniem biegunowym została zazbrojona górna część belki krawędziowej. Teraz przyciskiem [Fragment](#) pokazano cały model, następnie powtórzono operacje [Grubość](#) i [Wybór obszaru](#) i wybrano dolną część belki krawędziowej. Dla tej części powtórzono identyczne zabiegi otrzymując trzecią strefę zbrojenia. Teraz po wyborze menu [Żelbet](#) będzie można zobaczyć zbrojenie dla jednej z trzech stref. Poniżej pokazano zbrojenie dla pierwszej strefy.



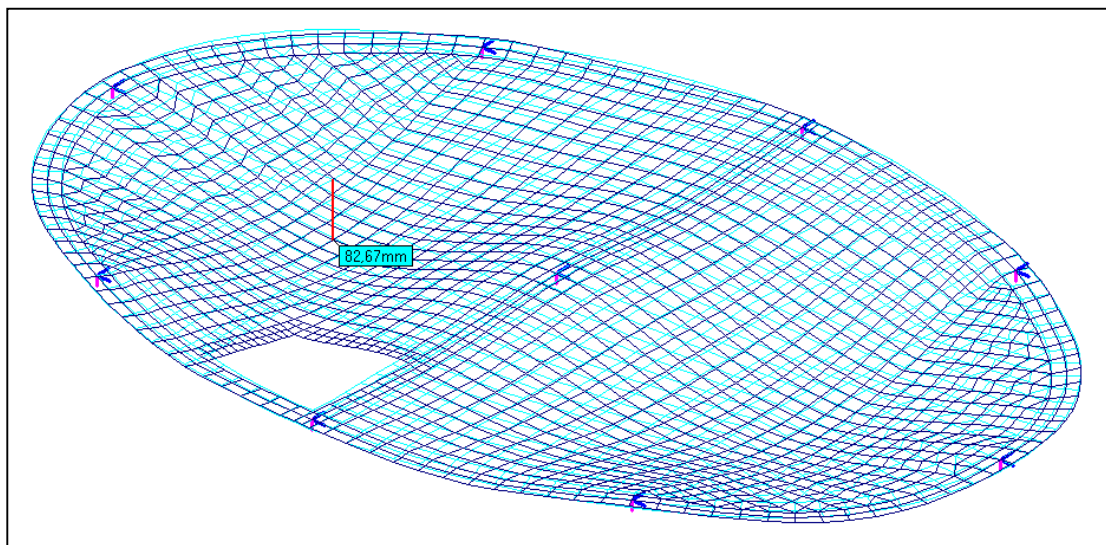


To jest zbrojenie w drugiej strefie – jest to zbrojenie obwodowe.

Do zarysowania przyjęto dodatkowy wariant obciążeń długotrwałych. Po wyborze przycisku [Rysy](#) i po wprowadzeniu odpowiednich danych, na planszy założeń do zarysowania, otrzymano obraz rys pokazanych poniżej



Po wybraniu przycisku [Ugięcia](#) (w polu wymiarowania) i opcji **Metoda iteracyjna** na planszy zdefiniowano potrzebne parametry i wybrano odpowiedni wariant obciążeń długotrwałych. Zadanie w którym obliczono ugięcia płyty zarysowanej nazywa się **Elipsa1** i można go odczytać. Postać ugięć płyty zarysowanej pokazano dalej.



Ugięcie liniowe dla tego obciążenia wynosi 18,14mm, czyli zarysowanie płyty i efekty reologiczne spowodowały ponad cztero krotny wzrost ugięcia. Różnica ugięć w lewej i prawej części płyty wynika z tego, że w prawej części zadano własne zbrojenie, a w lewej było tylko zbrojenie niezbędne. Można to łatwo zobaczyć wybierając opcję **Zadane** w menu [Zelbet](#).

62.6. Fundament

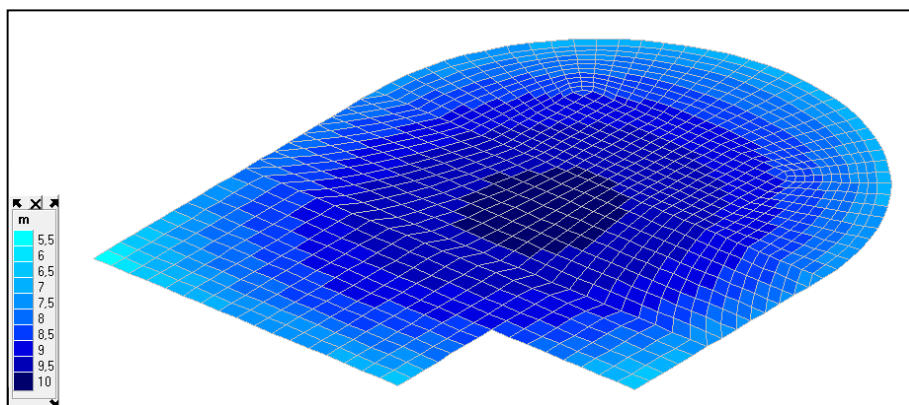
Jest to zadanie w którym obiekt posadowiono na sprężystym podłożu uwarstwowionym. Płyta składa się z obszaru półokrągłego połączonego z częścią prostokątną z wcięciem. Zadawanie siatki zaczęto od utworzenia obszaru półokrągłego. Na planszy startu włączono przycisk [M], wybrano przełącznik „Kołowy” wpisano promień i wybrano kąt środkowy równy 180° . Po naciśnięciu przycisku [OK] powstała siatka obszaru półokrągłego. Następnie z menu [Elementy](#), wybrano opcje **Dodaj obszar – Czworokąt**. Jako bazę do czworokąta wybrano poziomą krawędź obszaru półokrągłego. Z podręcznego menu wybrano opcję punkty ekranu i po kliknięciu dwóch dowolnych miejsc na ekranie pokazała się plansza definicji obszaru czworokątnego. Na planszy włączono opcje równoległości odcinków „A-B||C-D” i „B-C||D-A”. Po włączeniu drugiej pozycji zostanie automatycznie utworzony obszar prostokątny. Teraz wystarczyło wpisać wysokość równą 6m i można otrzymać podział dodatkowego obszaru prostokątnego. W zadaniu Fundament wyłączono jeszcze pozycję „AB tyle samo co CD” (w polu „Podział”) co wprowadziło stopniową zmianę szerokości oczka.

W podobny sposób, opcje **Dodaj obszar – Czworokąt**, dodano jeszcze obszar prostokątny o wymiarach 8,16x3m. Jako bazę wybrano część dolnego boku ostatnio dodanego obszaru.

Podłoże uwarstwione składa się z dwóch obszarów. Pierwszy obszar ma trzy warstwy gruntu, a drugi dwie. Oba obszary są opisane do głębokości 10m. Po zadaniu opisu warstw dla pierwszego gruntu zadano go we wszystkich elementach modelu. Następnie ponownie wywołano menu [Podłoże](#) i po wybraniu opcji **Uwarstwione..** wprowadzono opis układu warstw dla drugiej strefy. Elementy drugiej strefy podłoża wybrano wykorzystując opcję **Wielokąt** z podręcznego menu.

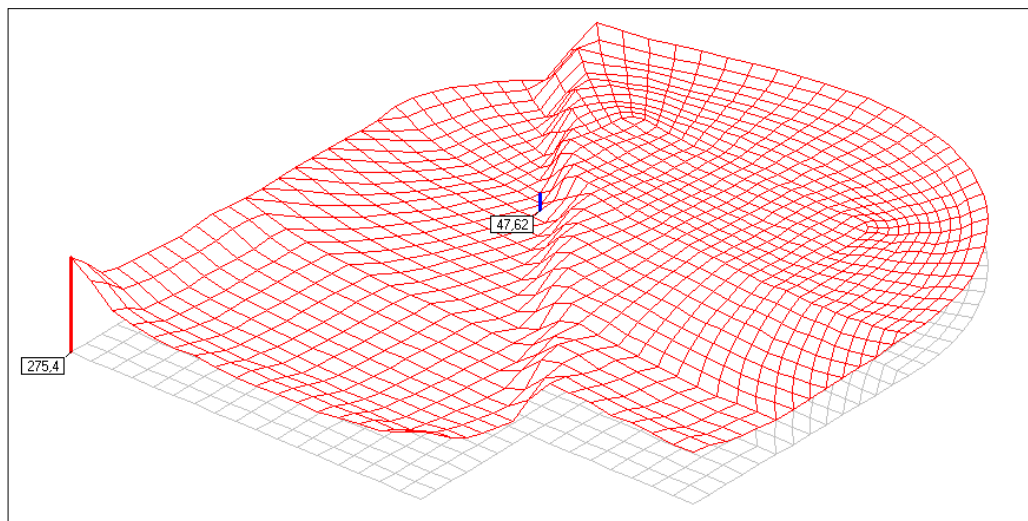
Zadano dwa schematy obciążenia: obciążenie rozłożone powierzchniowo przyłożone do wszystkich elementów modelu i obciążenia rozłożone liniowo przyłożone do krawędzi modelu oraz po liniach poprzecznych.

Po wywołaniu planszy Obliczenia w polu **Iteracje** zadano graniczną liczbę iteracji równą 10 i dokładność rozwiązania 2%. Po rozwiązaniu otrzymano obraz ugięć płyty wraz z osiadaniem. Dokładność wyznaczenia przemieszczeń dla pierwszego obciążenia wynosi 1,26%, a dla drugiego obciążenia jest równa 1,97%. Informacje o dokładności wyznaczenia przemieszczeń pokazują się na ekranie w czasie przeglądania ugięć. Po wybraniu menu [Różne](#) i opcji **Dane o iteracjach** można wyświetlić listę w której można odczytać, że przy pierwszym schemacie program wykonał dwa kroki iteracyjne do wymaganej dokładności przemieszczeń, a przy drugim potrzebował ich aż siedem. Przy liczeniu osiadania program ogranicza głębokość całkowania do miejsca gdzie naprężenia wtórne będą mniejsze od zadanej wartości naprężeń pierwotnych. W menu [Odpory](#) jest opcja **Głębokość** która pokazuje do jakiej głębokości kończyło się całkowanie. Dla zachowania warunku głębokości całkowania przy liczeniu osiadania należy jednak przyjmować kompletne. Tak samo jak przy obliczeniach nieliniowych.

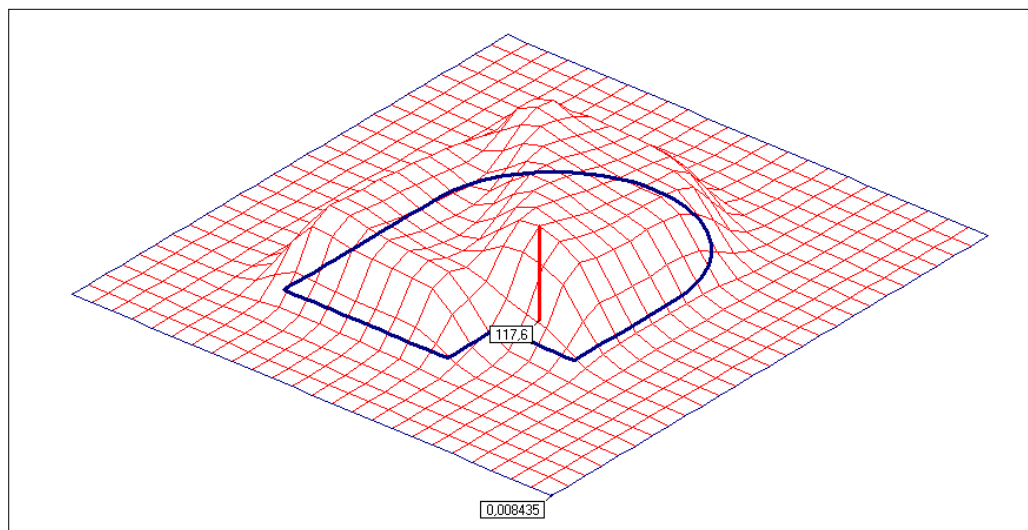


Zadania

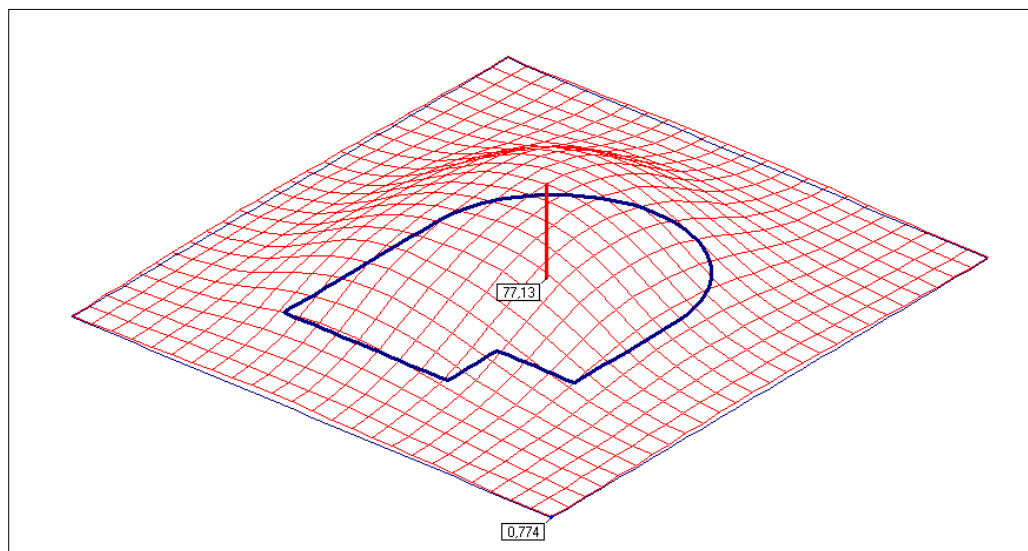
Maksymalna głębokość całkowania jest równa 10m, czyli tyle samo co maksymalna głębokość opisu warstw. Po połączeniu obciążeń należy spodziewać się, że głębokość całkowania będzie większa. Jeśli badania gruntowe nie wykazały, że na głębokości 10m zaczyna się warstwa niepodatna to opis gruntu jest za płytki. Z drugiej strony pole głębokości 10 m jest niewielkie i dlatego można chyba stwierdzić, że głębokość pomiarów była w sam raz.



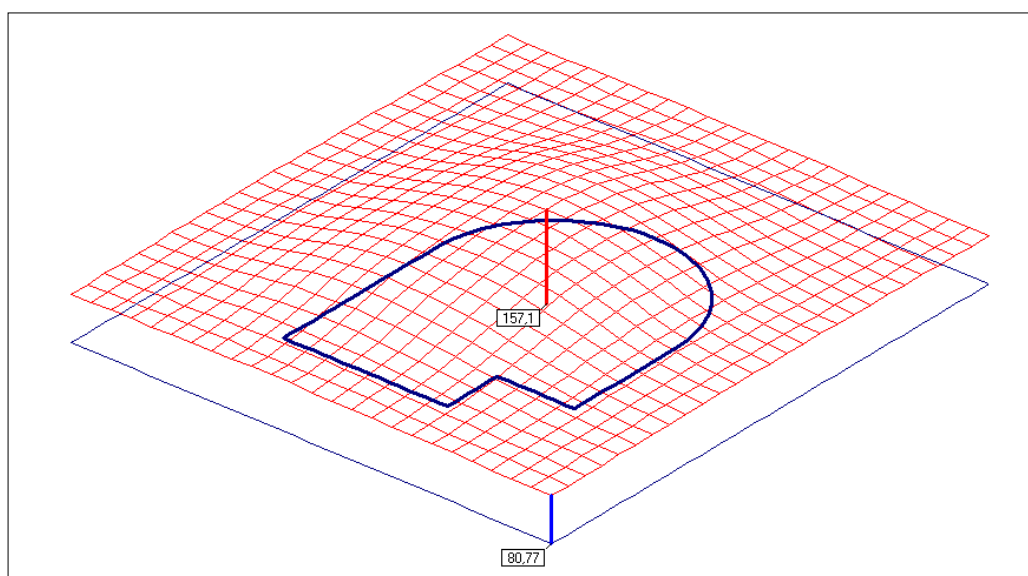
Widok odporów gruntu wywołanych pierwszym schematem obciążenia.



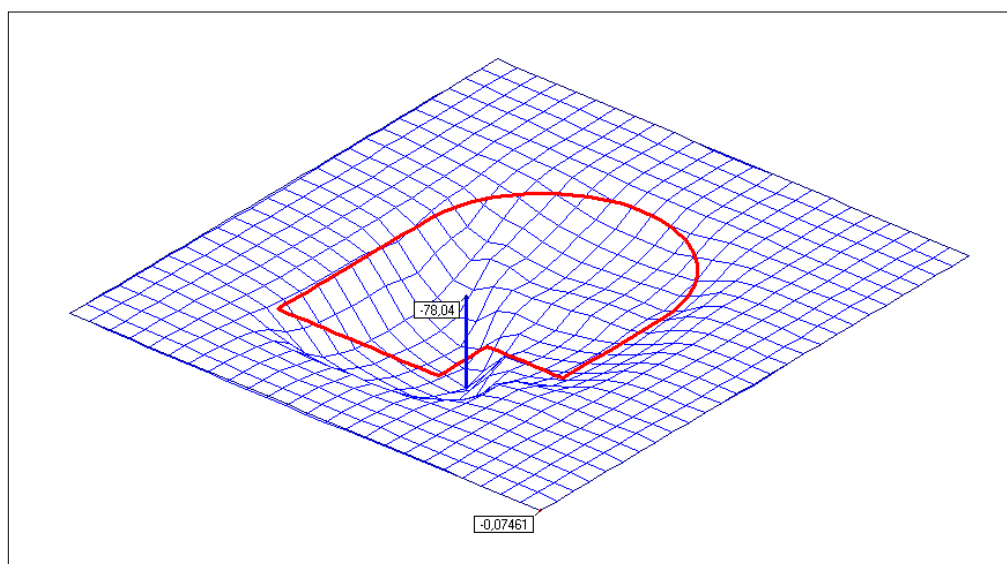
Widok wtórnych naprężeń pionowych na głębokości 1m.



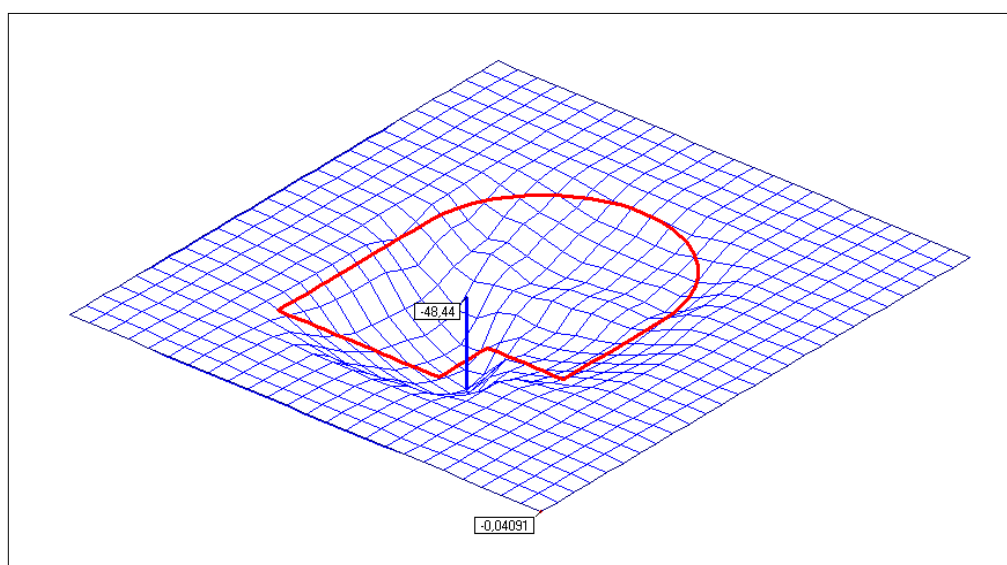
Widok dodatkowych naprężeń pionowych na głębokości 5m.



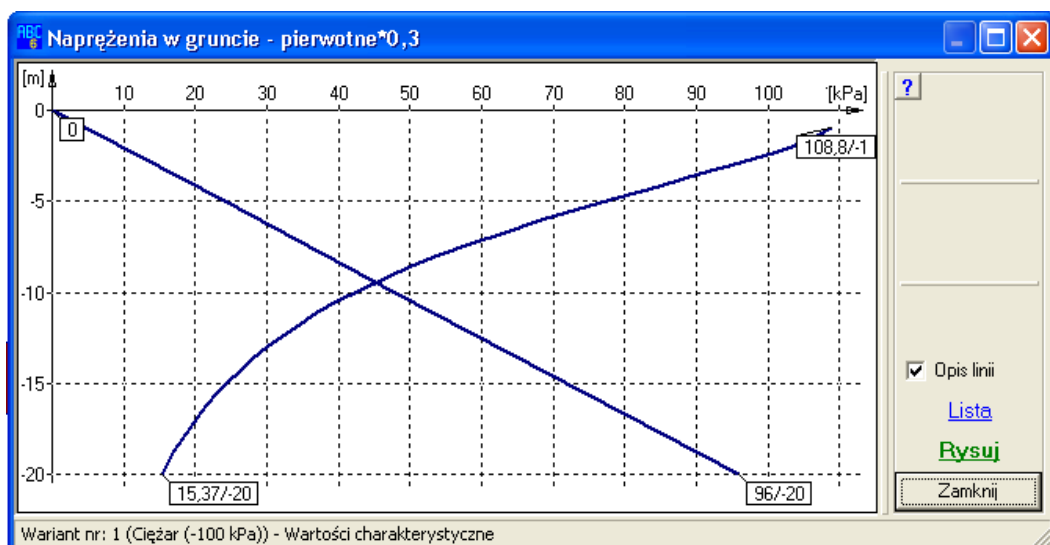
Widok dodatkowych + pierwotnych naprężeń pionowych na głębokości 5m.



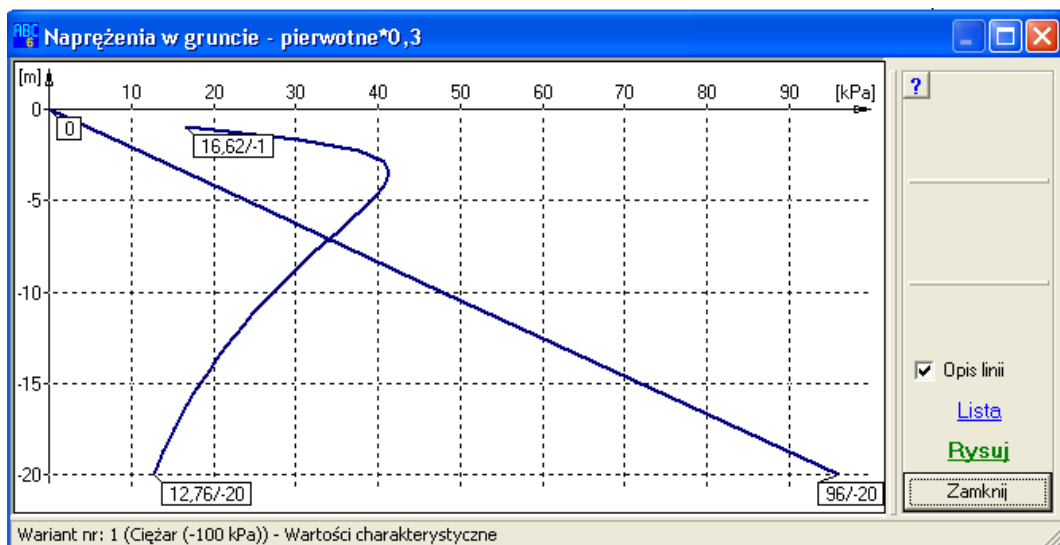
Osiadanie płyty fundamentowej. Głębokość 0m. Forma widokowa



Osiadanie płyty fundamentowej. Głębokość 5m. Forma widokowa.



Wykres naprężeń dodatkowych i pierwotnych przeskalowanych o 0,3. Miejsce pod płytą.



Wykres naprężeń dodatkowych i pierwotnych przeskalowanych o 0,3. Miejsce obok płyty.

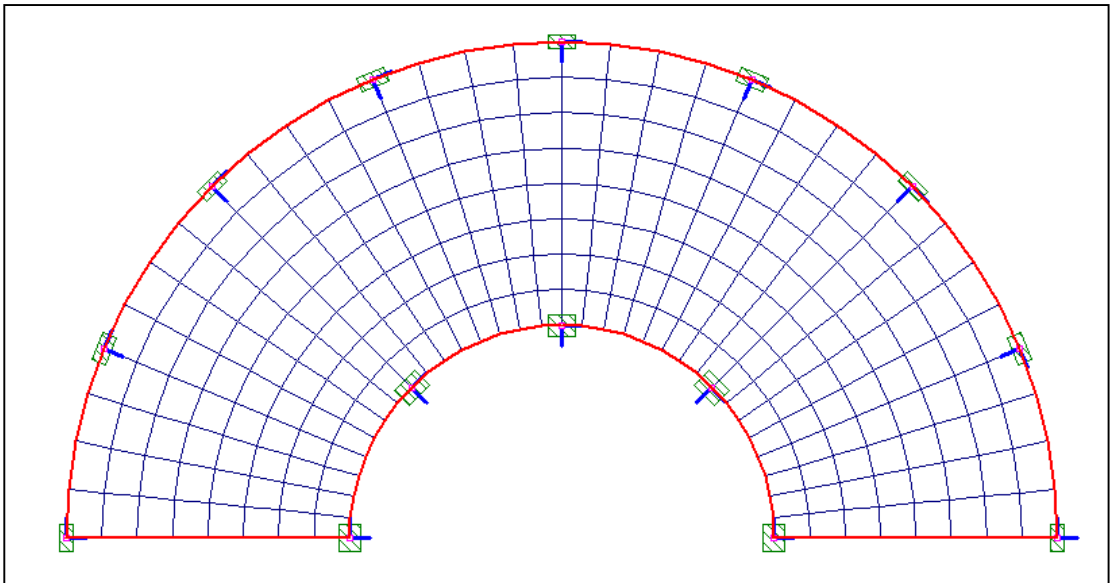
62.7. Łukowy i ŁukowyU

Jest to zadanie w którym pół pierścieniową płytę oparto na ścianach i słupach. Słupy są rozstawione na krawędziach łukowych. Przyjęto prostokątny przekrój słupów 0,3x0,4m. Słupy są ustawione dłuższą krawędzią stycznie do krawędzi łukowej.

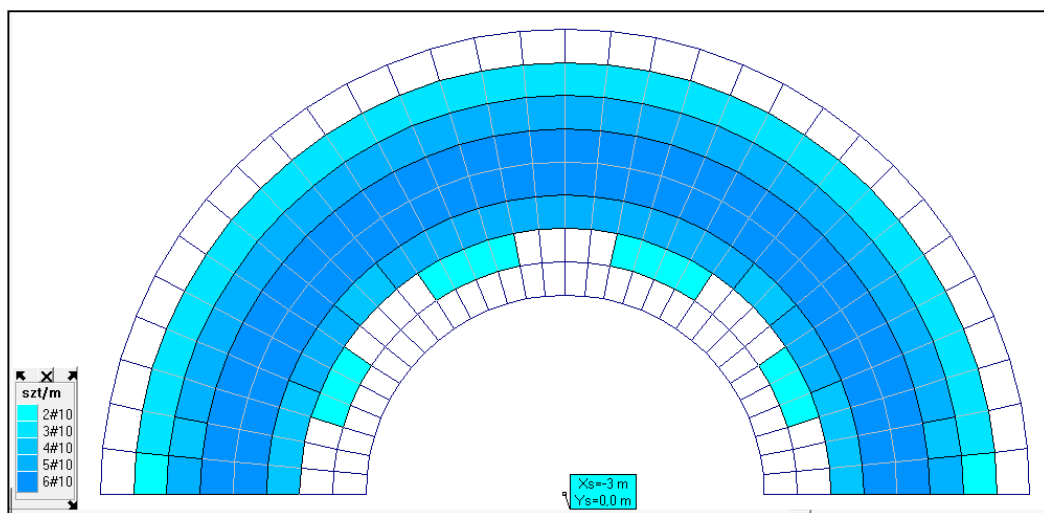
Modelowanie rozpoczęto standardowo od wciśnięcia na planszy startowej przycisku [M]. Następnie wybrano przełącznik **Łukowy**, zadano promień wewnętrzny 3m, szerokość pierścienia 5m i kąt wewnętrzny 180°. Po naciśnięciu [OK] otrzymano siatkę. Po wybraniu przycisku **Podpory** wybrano opcję **Ściany** i na planszy zdefiniowano wymiary ściany. W tym przypadku akurat nie musiano nic zmieniać, wystarczyło zaakceptować wartości podpowiadane. Po zamknięciu planszy definiującej ścianę wybrano odcinkiem linie oparcia na ścianie. Musiano to zrobić na dwa razy, pomimo, że oba odcinki oparcia na ścianie leżą na wspólnej prostej. W zadaniu **Ściany_Zle** można zobaczyć skutki zadania podparcia na ścianie jednym wyborem.

Podparcie na słupach wprowadzono też dwuetapowo, ale tutaj były to dwa różne działania. Najpierw z menu **Podpory** wybrano opcję **Słupy** i na planszy zdefiniowano dane słupa. Zadano wymiar przekroju w kierunku X równy 0,3m, a w kierunku Y równy 0,4m. Takie ustawienie wymiarów wiąże się z następnym krokiem w którym będą ustawiane układy współrzędnych węzłowych. Na razie wybrano węzły w których będą słupy. Po tej operacji słupy miały przekrój ustawiony tak, że dłuższe krawędzie były ustawione pionowo (w orientacji ekranowej).

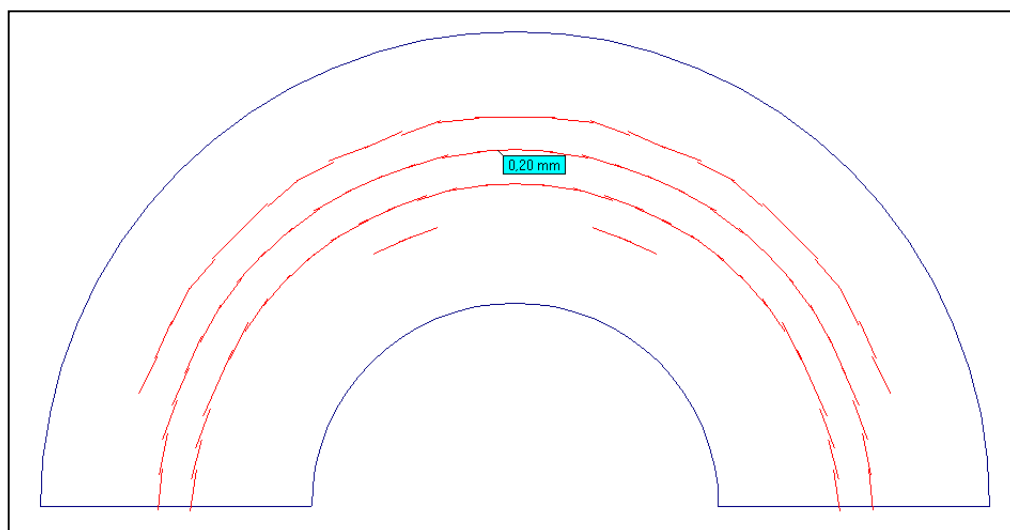
Układy węzłowe w miejscu podparcia słupami zdefiniowano wybierając z menu **Węzły** opcję **Układy węzłowe – Zadaj układy**. Na planszy sposobu definicji układu węzłowego wybrano przełącznik „Węzeł kierunkowy”. Po zamknięciu planszy w pierwszym kroku należało wybrać węzeł kierunkowy. Ponieważ węzła kierunkowego nie było wśród węzłów opisujących elementy, kliknięto ekran poza modelem i w oknie wpisano jego współrzędne. Były to współrzędne środka łuków pierścienia. Następnie wybierano wszystkie węzły z podporami słupowymi. Na rysunku pokazano ustawienie przekrojów słupów wraz z przyjętymi układami węzłowymi. Pokazano też układy współrzędnych węzłowych przyjęte automatycznie przy zadawaniu ścian.



Początkowo zadano dwa schematy obciążenia: ciężar własny i obciążenie rozłożone powierzchniowo o wartości -8kPa . Obciążenie to zadano na całej płycie. Następnie z menu [Obciążenia](#) wybrano opcję [Rozłóż zmienne](#) i wybrano cztery obszary obejmujące $\frac{1}{4}$ pierścienia każdy. Obszary wybierano opcją [Wielokąt](#) z podręcznego menu.



Po obliczeniach otrzymano obraz ugięć płyty. Po przeglądnięciu ugięć dla kolejnych schematów wywołano menu [Obwiednia](#) i opcją [Atrybuty](#) i mnożniki wprowadzono mnożnik 1,1 do schematu Ciężar własny oraz 1,3 do pozostałych czterech schematów zmiennych. Po wybraniu przycisku [Wymiar](#), na planszy danych do wymiarowania przede wszystkim włączono jej pełną postać. Tylko na takiej postaci można włączyć biegunowy układ zbrojenia. Wpisano współrzędne środka zbrojenia, było to o tyle proste, że był to środek obszaru pierścieniowego. Ustalono średnice i materiał wkładek i otrzymano zbrojenie niezbędne. Na rysunku pokazano rozkład zbrojenia promieniowego na dole płyty. Rozkład pokazano w formie mapy.

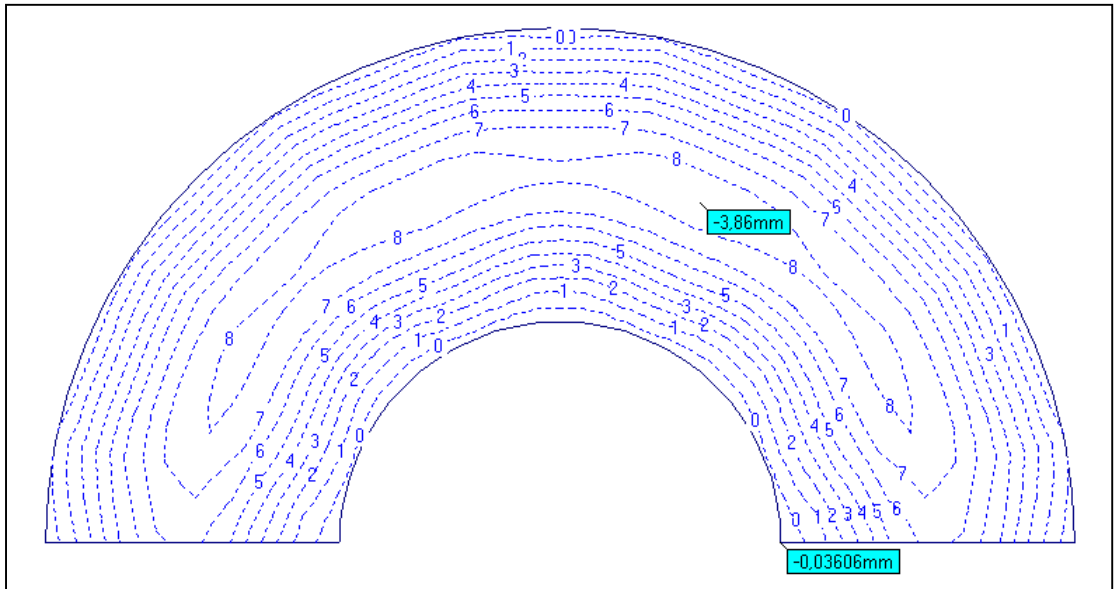


Zadania

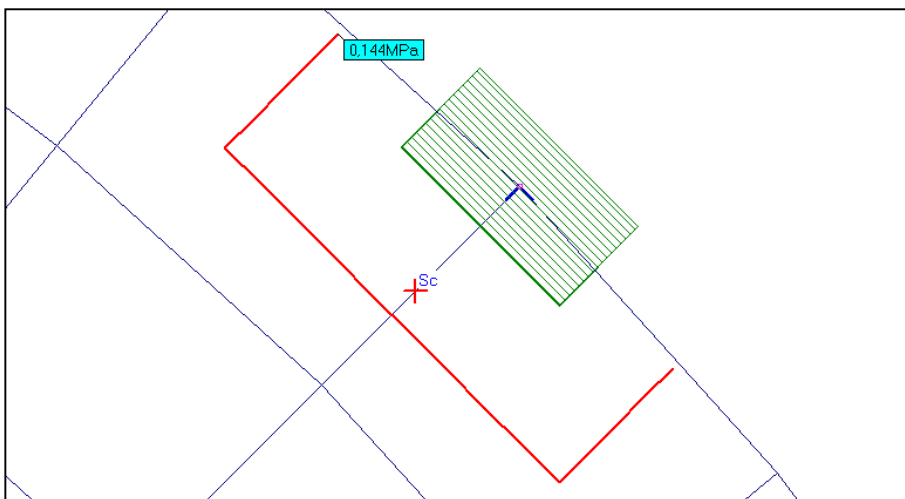
Teraz z menu [Zelbet](#) wybrano opcję **Zadaj** i zadano na całej powierzchni dolnej promieniowo 5 wkładek/mb #10 i obwodowo 3 wkładki/mb #10. Dla tak zadanego zbrojenia obliczono zarysowanie i ugięcia płyty zarysowanej.

Po wybraniu przycisku [Rysy](#) na planszy założeń zdefiniowano wariant obciążeń długotrwałych i otrzymano obraz zarysowania. Na rysunku pokazano zarysowanie na dole płyty.

Po wybraniu przycisku [Ugięcia](#) i opcji **Metoda iteracyjna** obliczono ugięcia płyty zarysowanej (zadanie LukowyU). Wynosi ono 3.86 mm przy 1.99 dla rozwiązania liniowego.



Korzystając z tego, że w zadaniu są podpory słupowe przeprowadzono obliczenia strefy przysłupowej. Wybrano podporę na krawędzi zewnętrznej. Program zgłosił potrzebę zmiany konturu zgłaszanego jako domyślny. Usunięto węzły z linii leżącej najbliższej krawędzi i przesunięto dwa węzły do krawędzi. Dla tak zadanego konturu należało strefę dobroić strzemiionami. Na rysunku pokazano naprężenia, liczbę i lokalizację strzemiion.



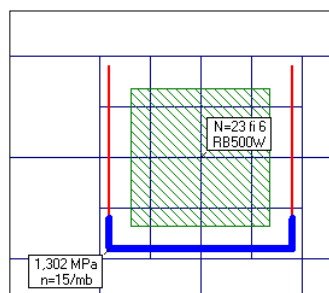
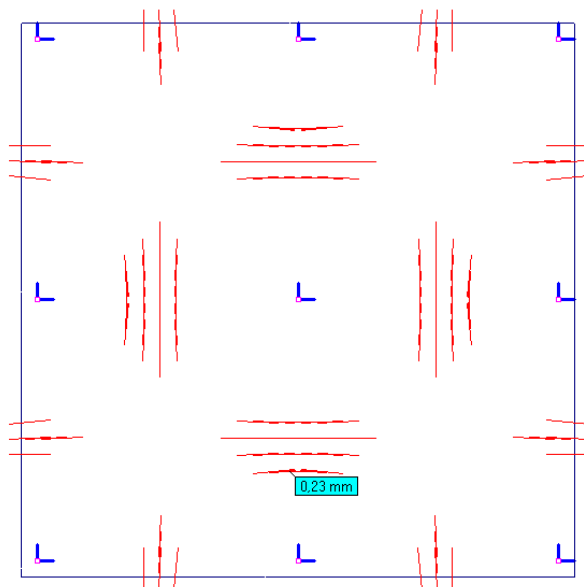
62.8. Obc_Zmienne i Obc_ZmienneU

Jest to zadanie w którym pokazano nie tylko rozkładanie obciążeń na zmienne, ale również sposób modelowania strefy przysłupowej. Kwadratową płytę zadano od razu na planszy startowej. Po naciśnięciu przycisku [OK] otrzymano siatkę o stałym oczku.

Teraz z menu [Elementy](#) wybrano opcję **Podziel obszar** i wybrano po cztery elementy otaczające węzły które w następnym kroku podparto na słupach. Węzły podparte zostały otoczone obszarem w którym są elementy dwukrotnie mniejsze. Po wybraniu menu **Podpory** i kliknięciu na opcję **Słupy..** na planszy zdefiniowano słup. W polu **Grubość wokół słupa** włączono przełącznik 3x, co spowodowało, że elementy otaczające węzeł podparty otrzymają grubość trzykrotnie większą. Na rysunku obok pokazano tę strefę razem z zarysem słupa. Warto zwrócić uwagę, że wprowadzenie dodatkowego podziału spowodowało, że środki ciężkości (miejsca gdzie są obliczane momenty) elementów znalazły się prawie na krawędzi przekroju słupa. Takie zamodelowanie tej strefy pozwala otrzymać bardzo wierne odwzorowanie momen-

tów.

Początkowo przyjęto tylko dwa schematu: ciężar własny i obciążenie rozłożone o wartości -6kPa . Następnie w menu [Obciążenie](#) wybrano opcję **Rozłóż obciążenie** i oknem wybrano cztery obszary obciążeń zmiennych. Otrzymano pięć schematów w których pierwszy był Stały, a cztery następne były Zmienne. Po rozwiązaniu wywołano menu [Obwiednia](#) i opcję **Atrybuty** i mnożniki zadano mnożniki obciążenia. Dla warunku Obwiednia wartości Obliczeniowych wywołano przycisk [Wymiar](#) i na planszy założeń do wymiarowania wprowadzono średnice wkładek i gatunek stali. Po naciśnięciu przycisku [OK] otrzymano rozkład zbrojenia niezbędnego. Po wybraniu przycisku [Rysy](#) zadano na planszy dodatkowy wariant obciążeń długotrwałych i dla niego obliczono zarysowanie.

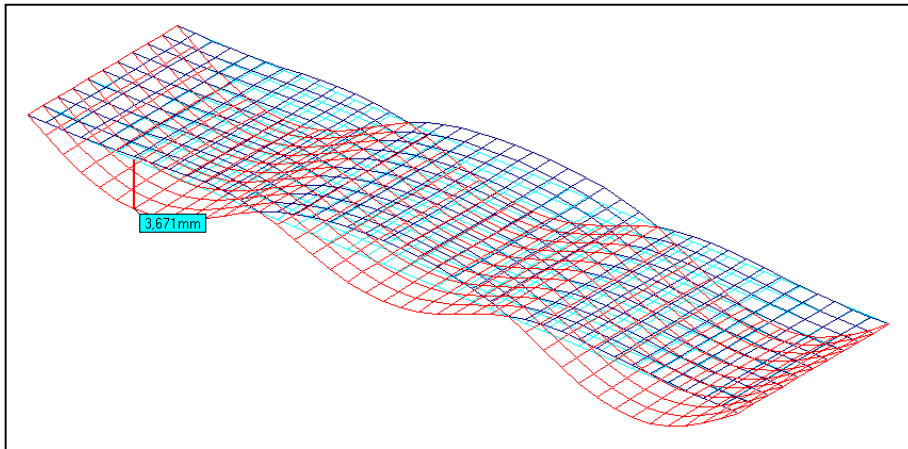


Po wybraniu przycisku [Ugięcia](#) wybrano opcję **Metoda iteracyjna** i obliczono ugięcia płyty zarysowanej. W zadaniu Obc_ZmienneU jest ugięcie równe $11,46\text{ mm}$ przy ugięciu liniowym równym $2,795\text{ mm}$. Wpływy reologiczne i zarysowanie spowodowały ponad czterokrotny wzrost ugięcia. Obraz dodatkowego dozbrojenia strzemiionami strefy przysłupowej pokazano obok. Jest to słup przy krawędziowy w którym należało usunąć węzły tworzące krawędź konturu przebicia leżącą najbliżej krawędzi płyty.

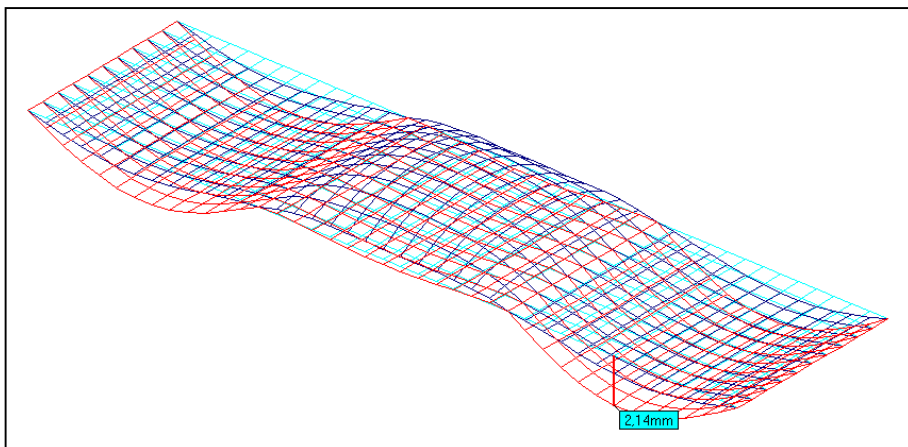
62.9. Pasma3Przesla

Jest to zadanie w którym zadano różne zestawy atrybutów i mnożników. Geometria płyty jest prostokątem o wymiarach 12x3m. Wprowadzono cztery rzędy podpór sztywnych, przegubowych. Zadano siedem schematów obciążenia. W pierwszym przyjęto obciążenie ciężarem własnym, w trzech następnych obciążenie zmienne o wartości -8kPa przykładane do kolejnych przęseł. W piątym schemacie wprowadzono obciążenie różnicą temperatur równą 10°C przyłożoną do środkowego przęsła. W szóstym i siódmym schemacie zadano wstępne przemieszczenia środkowych rzędów podpór, raz z lewej i drugi raz z prawej strony.

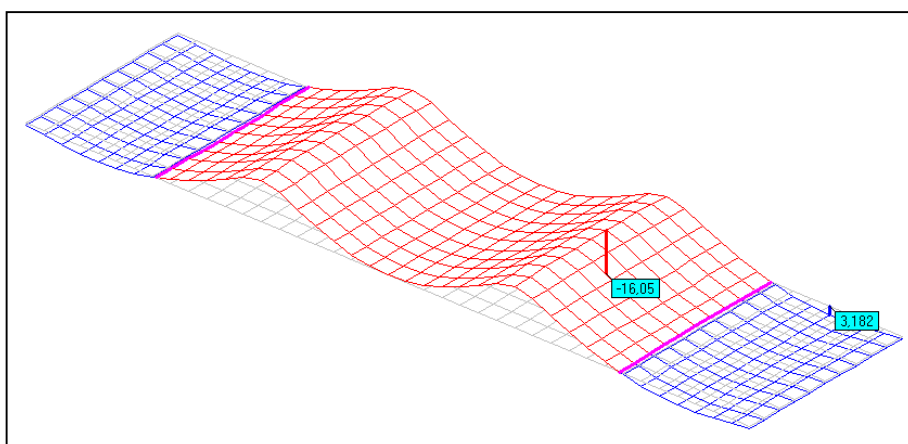
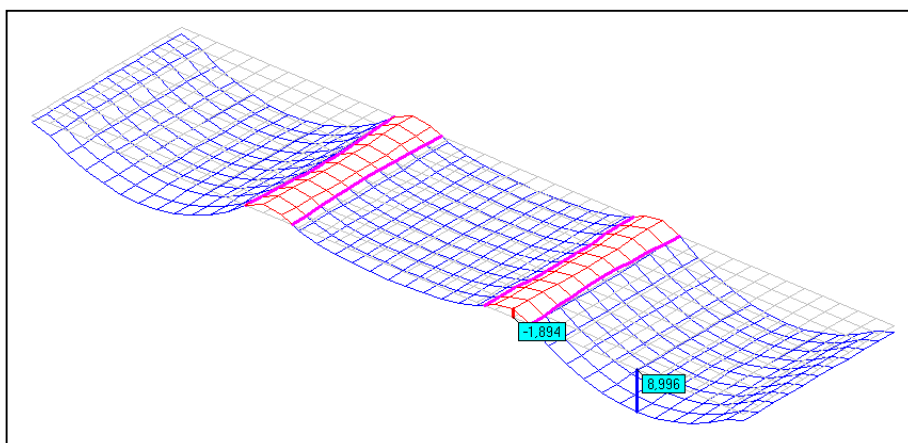
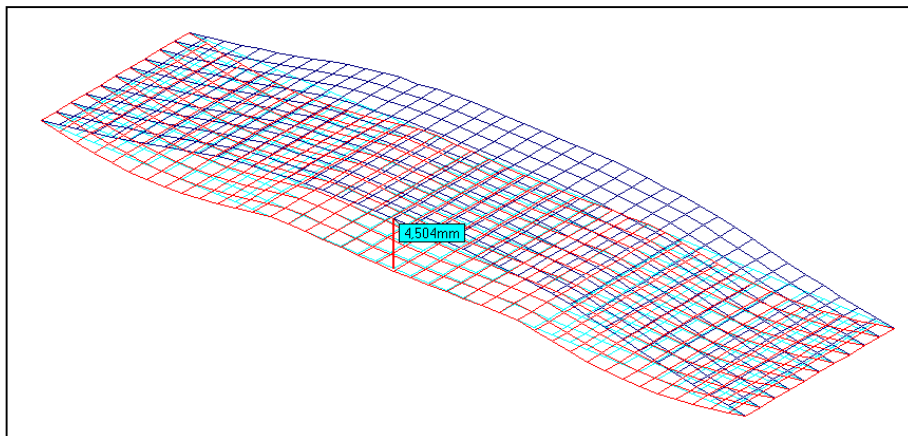
Po rozwiązaniu wywołano opcję **Atrybuty i mnożniki** (menu [Obwiednia](#)) i na planszy wyłączono z liczenia obwiedni piąty, szósty i siódmy wariant. Dla pierwszego wariantu Stałego i trzech następnych Zmiennych wprowadzono mnożniki obciążenia.



Po powtórным wywołaniu opcji **Atrybuty i mnożniki** najpierw kliknięto w przycisk [Nowy zestaw](#). Wszystkie warianty otrzymały atrybut Stałe, i jednostkowe mnożniki obciążenia. Teraz z liczenia obwiedni wyłączono drugi, trzeci, czwarty, szósty i siódmy wariant. Dla piątego wariantu (obciążenia termiczne) wprowadzono atrybut Zmienny. Ten zestaw otrzymał nazwę „Termika”.



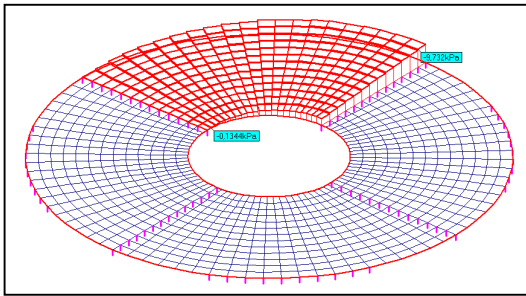
Powtórzono operację po raz trzeci. W trzecim zestawie wprowadzono obciążenie stałe dla pierwszego wariantu, a szósty i siódmy otrzymał atrybut Zmienny. Pozostałe warianty zostały wyłączone z liczenia obwiedni. Ten zestaw otrzymał nazwę „Wstępne”



Ekstremalne momenty dla zestawu „Wstępne”

62.10. Pierscien

Jest to zadanie w którym pokazano jak zadać obciążenie rozłożone powierzchniowo zmienne liniowo. Sam model został przygotowany standardowo po włączeniu na planszy startowej przycisku [M] wybrano pozycję Łukowy, wprowadzono promień wewnętrzny, szerokość pierścienia i kąt środkowy równy 360° . Następnie zadano podpory sztywne przegubowe. Podpory te wprowadzono po dwóch przekrojach i zadano je też w węzłach leżących na krawędzi zewnętrznej. Do wyboru tych miejsc zastosowano opcję Łuk z menu podręcznego. W pierwszym schemacie zadano obciążenie ciężarem własnym, a w drugim obciążenie rozłożone zmienne od wartości 0kPa do wartości -10kPa. Takie obciążenie zadaje się następująco. Po wybraniu z menu Obciążenie opcji Nowy schemat należy włączyć przycisk z niebieską literą [M]. Pojawią się dodatkowe przyciski, ale nie o nie teraz chodzi. Po wybraniu przycisku Ciśnienie pojawi się plansza na której należy wpisać 0 jako wartość początkową i -10 jako wartość końcową. Następnie należy włączyć „Wybór płaszczyzn”. Po zamknięciu planszy przyciskiem [OK] należy wybrać trzy węzły. W tym zadaniu wybrano dwa pierwsze węzły opisujące poziomą średnicę modelu, a trzeci jako najwyższy w modelu. Otrzymano rozkład ciśnień od zera do -10kPa.



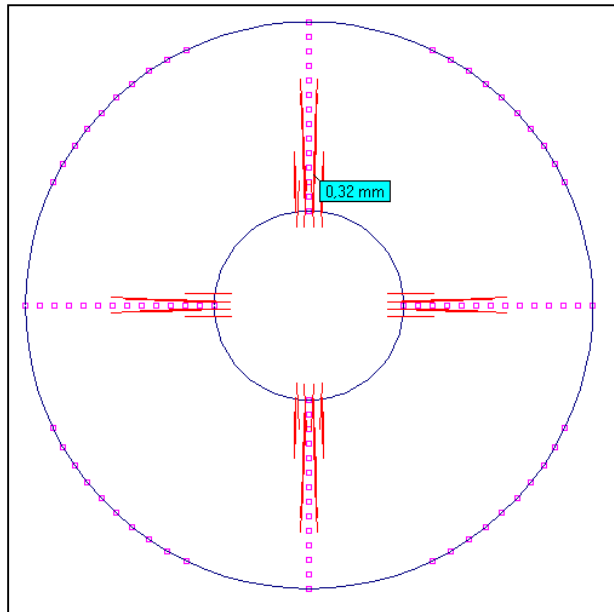
Wartości pokazywane na rysunku są wartościami ciśnień w środkach ciężkości elementów dlatego są inne od wartości granicznych. Aby założyć tak samo rozłożone ciśnienie na dolnej połowie pierścienia wybrano opcję **Zadaj obc.** i wybrano te same dwa pierwsze węzły, a jako trzeci wybrano węzeł najniższy (mowa o orientacji ekranowej przy rzucie modelu na płaszczyznę XY).

Na rysunku obok pokazano obciążenie dla $\frac{1}{4}$ pierścienia w formie słupkowej. Widać wyraźnie

jak obciążenie jest stałe wzdłuż jednego promienia i jak zmienia się liniowo wzdłuż drugiego promienia.

W następnym kroku wybrano opcję **Rozłóż obciążenie** (menu **Obciążenie**) i wprowadzono cztery obszary obciążeń zmiennych. Dla pięciu schematów przeprowadzono obliczenia.

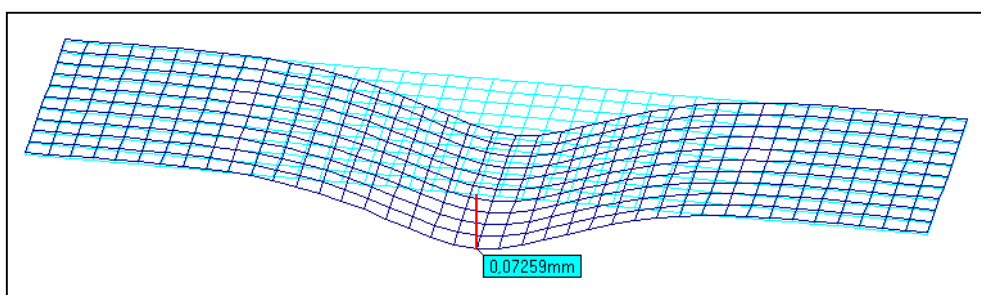
Po zadaniu mnożników obciążenia obliczono zbrojenie przyjmując biegun w środku pierścienia. Następnie zdefiniowano wariant obciążeń długotrwałych i obliczono dla niego zarysowanie. Okazało się, że na dole płyty nie ma zarysowania, natomiast obraz zarysowania na górze pokazano obok.



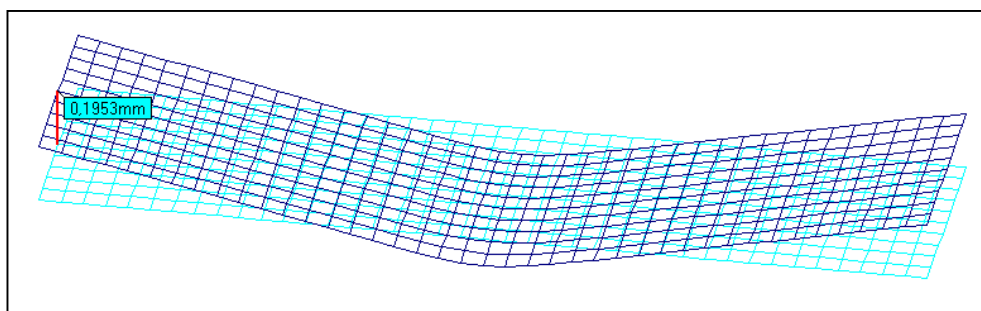
62.11. Podłoże i Podłoże_Nielin

Są to dwa zadania o identycznych danych różniące się tylko tym, że jedno jest rozwiązane liniowo, a drugie jest rozwiązane nieliniowo. Płyta posadowiona jest na podłożu Winklera o ograniczonej nośności i jednostronnym działaniu. Po wybraniu przycisku Podłoże i kliknięciu opcji Winklera na planszy opisu własności podłoża wciśnięto przycisk [M]. Plansza rozszerzy się wtedy o dane nieliniowe podłoża. W tym przypadku wybrano przełącznik Ograniczone i wpisano zerową wartość dla kierunku Góra i 0,6MPa dla kierunku Dół. Oznacza to, że podłoże będzie usuwane z modelu zaraz po pojawieniu się ujemnego odporu, oraz, że odpór nie może być większy od zadanej wartości granicznej. W zadaniu wprowadzono dwa schematy obciążenia. W pierwszym zadano obciążenie liniowe działające w poprzek płyty, a w drugim jest siła skupiona działająca w środku płyty. Wartości obciążeń są tak dobrane, aby suma obciążeń była jednakowa w obu schematach.

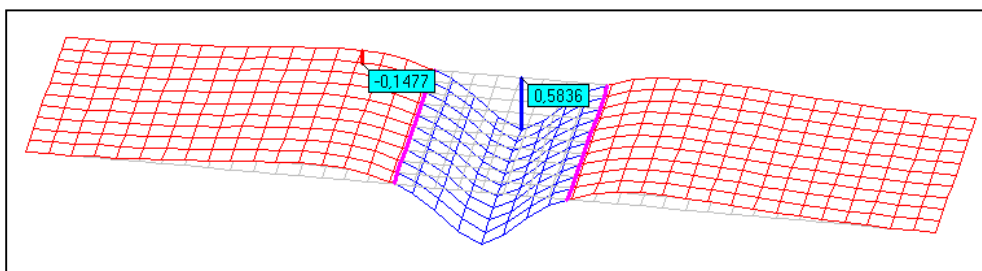
Poniżej pokazano zestawienie wyników dla rozwiązania liniowego i nieliniowego dla pierwszego schematu



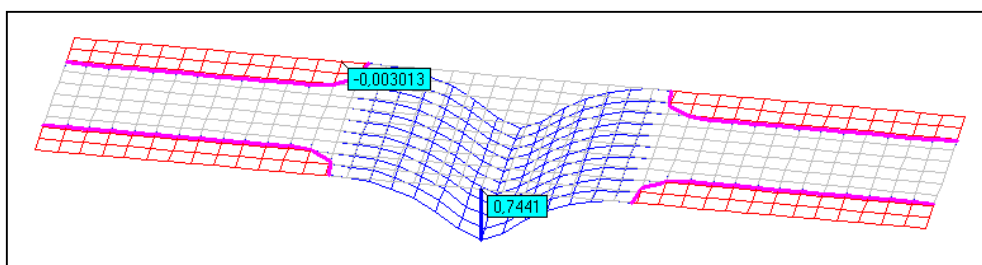
Ugięcia w modelu liniowym



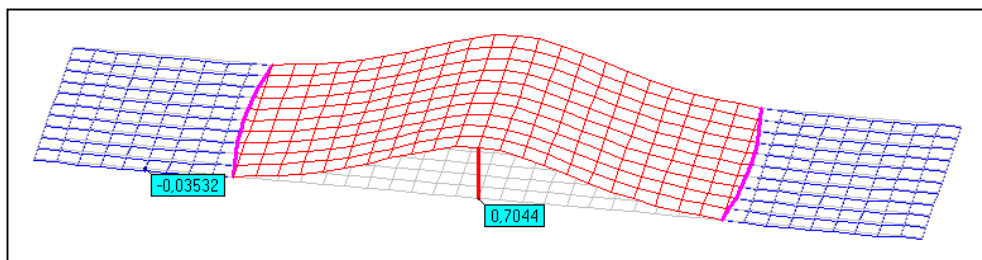
Ugięcia w modelu nieliniowym



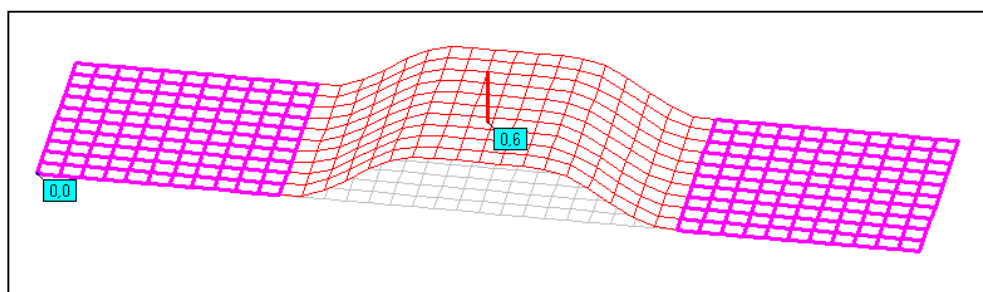
Momenty w modelu liniowym



Momenty w modelu nieliniowym



Odpory w modelu liniowym



Odpory w modelu nieliniowym

62.12. Podp_Liniowe i Podp_Nieliniowe

Są to dwa zadania o identycznych modelach tyle, że jedno jest rozwiązane wg założeń liniowych, a w drugim uwzględniono warunek jednostronności w podporach. Przyjęto, że płyta ma kształt prostokąta o wymiarach $a \times b = 6 \times 9\text{m}$, ma grubość $0,16\text{m}$ i jest wykonana z materiału o module sprężystości $E = 20000\text{MPa}$ oraz liczbie Poisson'a $\nu = 0,3$. Płyta jest oparta na obwodzie w sposób ciągły, przegubowy. W podporach założono warunek jednostronności. Przyjęto dwa schematy obciążenia: w pierwszym założono obciążenie ciągłe $q = -1\text{kPa}$ na całej powierzchni, a w drugim zadano siłę skupioną o wartości $S = -54\text{kN}$ przyłożoną w środku płyty. W zadaniu Podp_Liniowe przeprowadzono rozwiązanie liniowe. Maksymalne ugięcie dla pierwszego schematu obciążenia wynosi:

$$w_{\max} = 1,374\text{mm}$$

Dla takiej płyty obciążonej jak w pierwszym schemacie istnieje rozwiązanie teoretyczne. Maksymalne ugięcie jest wyrażone wzorem:

$$w_{\max}^T = \alpha \frac{qa^4}{D}$$

gdzie:

α - współczynnik – dla płyty o stosunku boków $b/a=1,5$ wynosi $0,00772$,

q – obciążenie ciągłe $= 1\text{kPa}$,

a – wymiar płyty $= 6\text{m}$,

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

E - moduł sztywności materiału płyty $= 20000\text{MPa}$,

ν - liczba Poisson'a $= 0,3$,

t – grubość płyty $= 0,16\text{m}$.

Maksymalne ugięcie teoretyczne jest równe:

$$w_{\max}^T = 1,334\text{mm}$$

i jest mniejsze od wartości wyznaczonej numerycznie o 3%.

Maksymalne momenty w elemencie najbliższym środka płyty są równe:

$$m_x = 2,879\text{kNm/m}, m_y = 1,725\text{kNm/m}$$

wartości teoretyczne maksymalnych momentów są wyrażone wzorami:

$$m_x^T = \beta_x qa^2, m_y^T = \beta_y qa^2$$

gdzie:

β_x – współczynnik – dla płyty o stosunku boków $b/a=1,5$ wynosi $0,0812$,

β_y – współczynnik – dla płyty o stosunku boków $b/a=1,5$ wynosi $0,0498$,

podstawiając odpowiednie wartości otrzymano:

$$m_x^T = 2,923\text{kNm/m}, m_y^T = 1,793\text{kNm/m}$$

moment m_x różni się o 1,5%, a moment m_y o 4%.

Maksymalne reakcje na środkach krawędzi podpartych wynoszą:

$$v_x = 2,925 \text{ kN/m}, v_y = 2,899 \text{ kN/m}$$

wartości teoretyczne tych reakcji są równe:

$$v_x^T = \gamma_x qa, v_y^T = \gamma_y qa$$

gdzie:

γ_x – współczynnik – dla płyty o stosunku boków $b/a=1,5$ wynosi 0,0486,

γ_y – współczynnik – dla płyty o stosunku boków $b/a=1,5$ wynosi 0,0480,

podstawiając odpowiednie wartości otrzymano:

$$v_x^T = 2,916 \text{ kN/m}, v_y^T = 2,88 \text{ kN/m}$$

Te wartości z kolei różnią się odpowiednio o 0,3% i 0,6%.

Reakcja narożna obliczona numerycznie wynosi:

$$R = 3,111 \text{ kN}$$

Jej wartość teoretyczna jest obliczana ze wzoru:

$$R^T = \delta qa^2$$

gdzie:

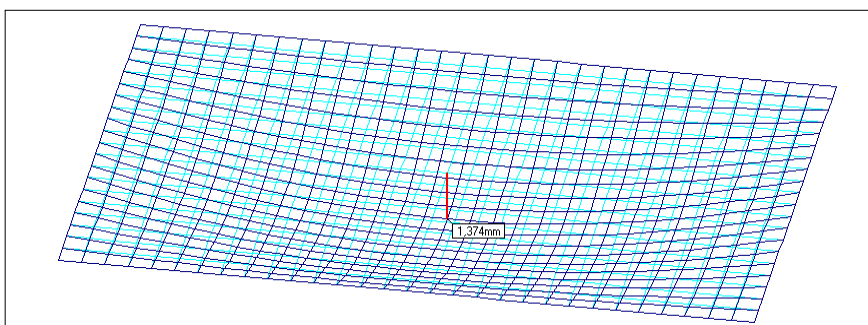
δ - współczynnik – dla płyty o stosunku boków $b/a=1,5$ wynosi 0,085,

podstawiając odpowiednie wartości otrzymano:

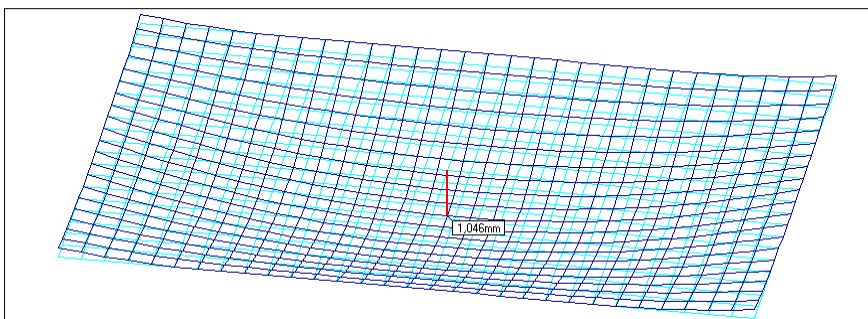
$$R^T = 3,06 \text{ kN}$$

Te wartości różnią się o 1,7%.

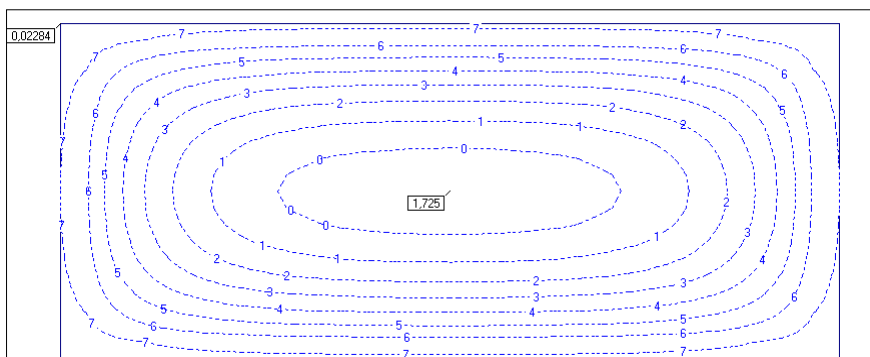
Ponieważ reakcja narożna jest ujemna stąd można przeprowadzić rozwiązanie w którym zostanie uwzględnione odrywanie się strefy narożnikowej. W zadaniu Podp_Nieliniowe otrzymano rozwiązanie dla obu schematów obciążenia. Dalej pokazano parami rozwiązania liniowe i nieliniowe. Dla pierwszego schematu porównano ugięcia płyty, rozkłady momentów m , m , m , m , i m , dalej siły poprzeczne i rozkłady reakcji. Dla drugiego obciążenia pokazano tylko ugięcia i rozkład reakcji.



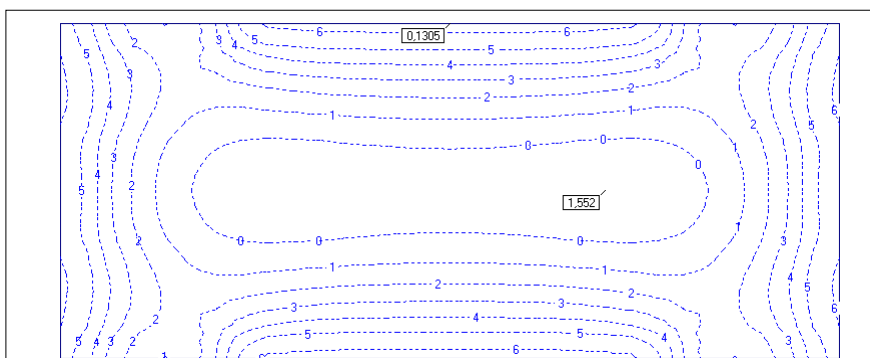
Ugięcia dla rozwiązania liniowego



Ugięcia dla rozwiązania nieliniowego

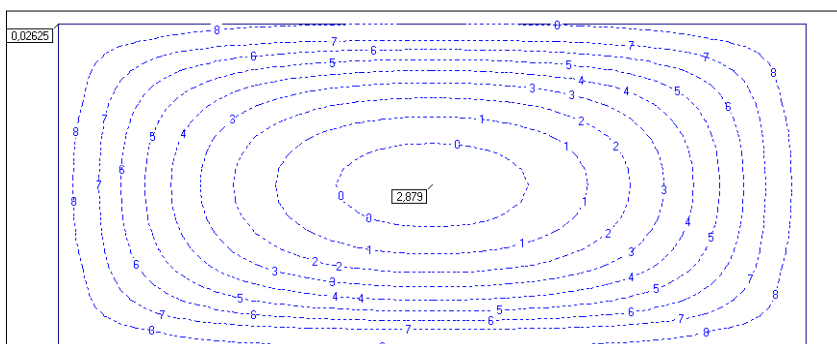


Momenty m_x – rozwiązanie liniowe

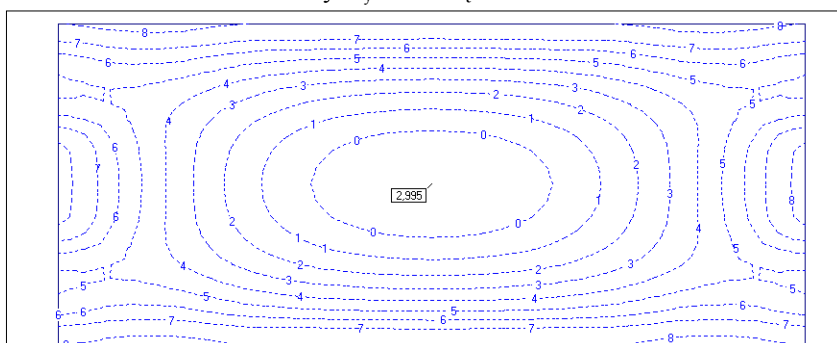


Momenty m_x - rozwiązanie nieliniowe

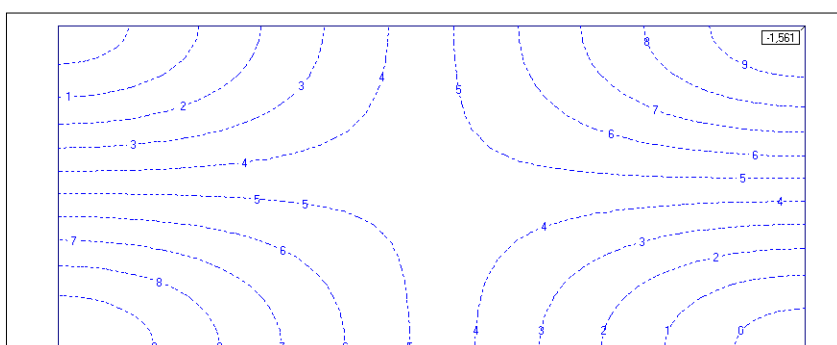
Zadania



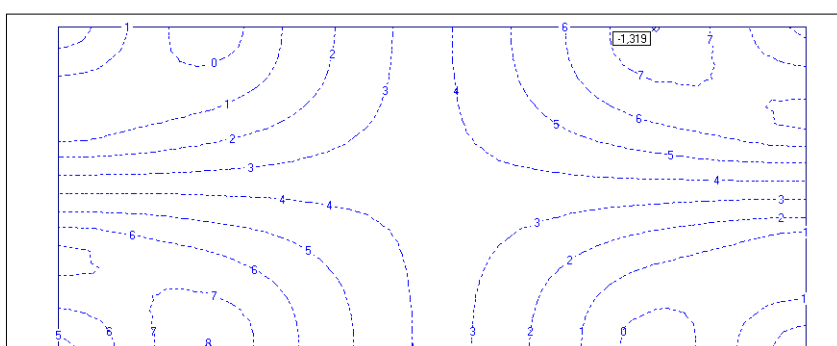
Momenty m_y – rozwiązanie liniowe



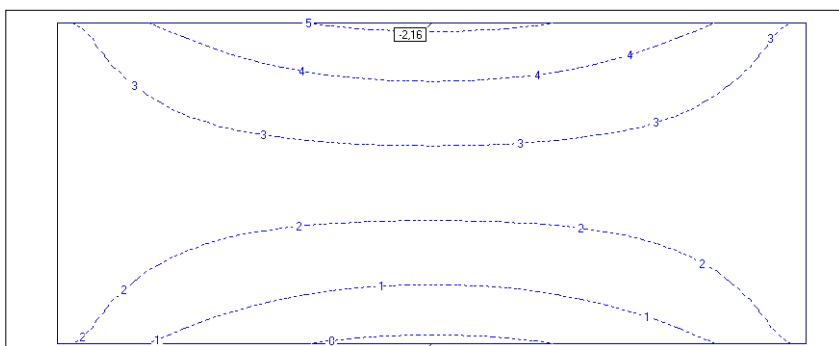
Momenty m_y – rozwiązanie nieliniowe



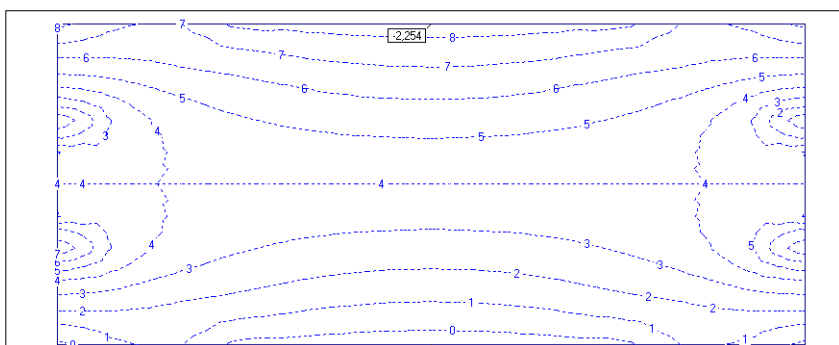
Momenty m_s – rozwiązanie liniowe



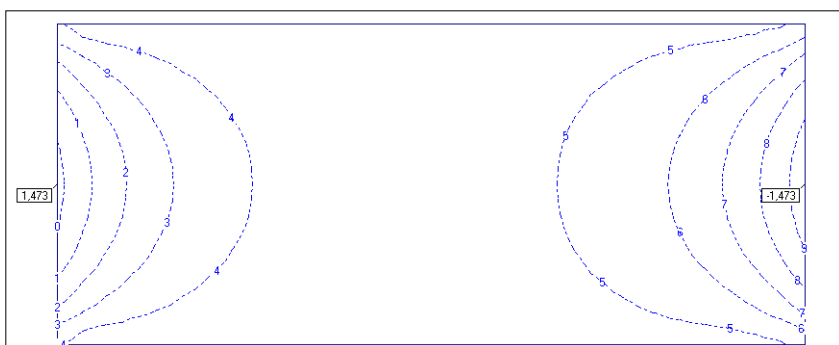
Momenty m_s – rozwiązanie nieliniowe



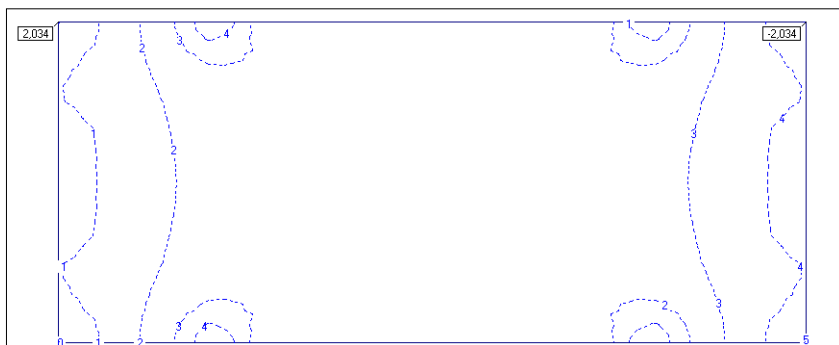
Siły poprzeczne q_x – rozwiązanie liniowe



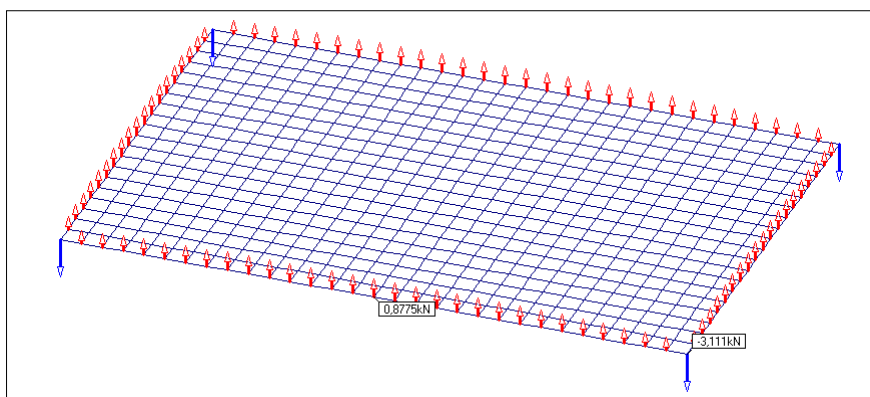
Siły poprzeczne q_x – rozwiązanie nieliniowe



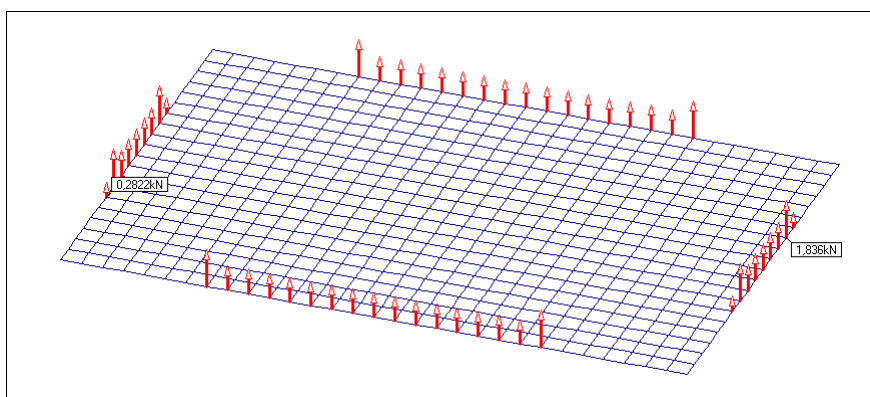
Siły poprzeczne q_y – rozwiązanie liniowe



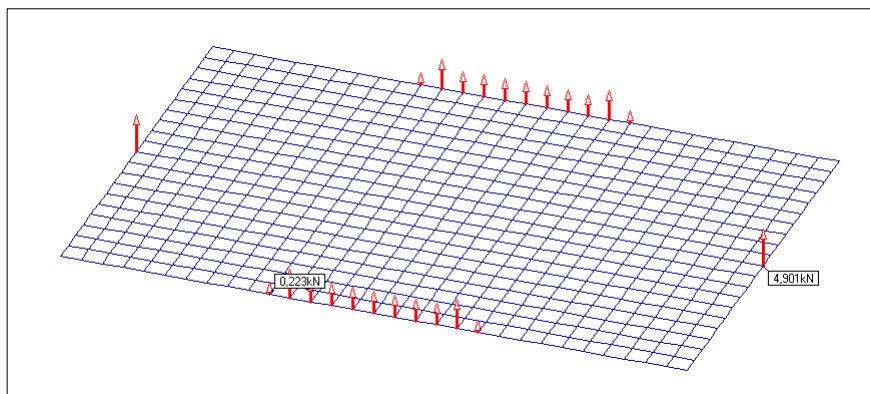
Siły poprzeczne q_y – rozwiązanie nieliniowe



Reakcje – rozwiązanie liniowe



Reakcje – rozwiązanie nieliniowe

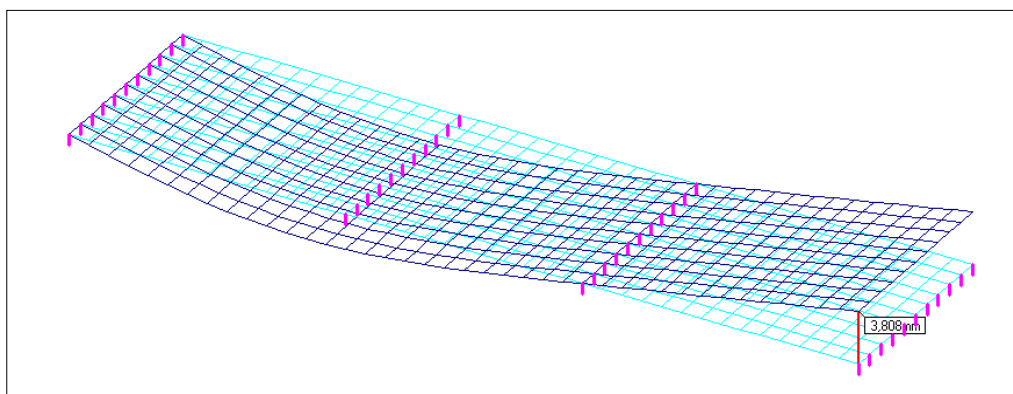


Reakcje wywołane siłą skupioną – rozwiązanie nieliniowe

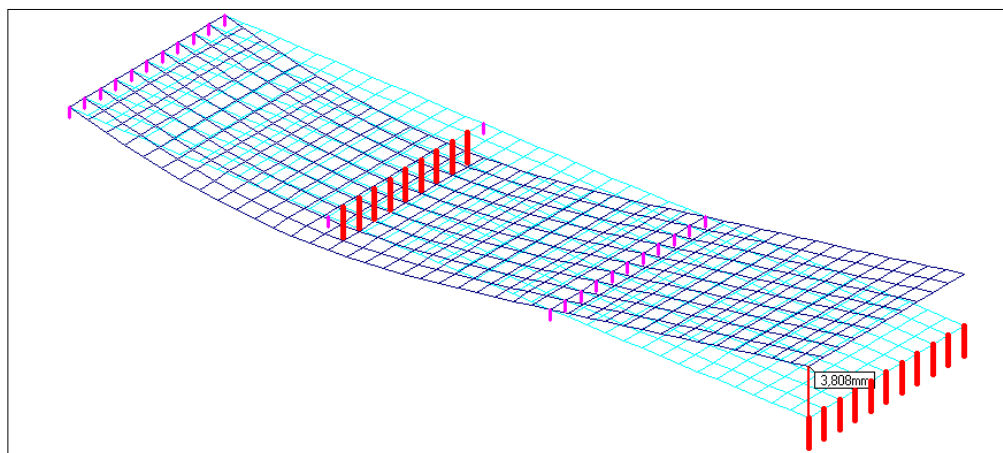
62.13. Podpory_z_Luzami

Jest to zadanie ilustrujące możliwości zadania podpór z luzami. Pasma płytowe jest podparte w taki sposób, że zostają wydzielone trzy przęsła. Jednak w podporach drugiego rzędu licząc od lewej zadano luzy 2,5/-2,5mm, a podporach skrajnego rzędu z prawej strony luzy 5/-5mm. Podpory w modelu zadano wywołując z menu [Podpory](#) opcję **Sztywne** i wybierając odpowiednie węzły. Następnie ponownie wywołano menu [Podpory](#) i wybrano opcje **Nieliniowe – Zadał**. Po wybraniu odpowiedniego rzędu podpór pokaże się plansza na której włączono „Z luzami”. W okienkach wpisano wartości luzów. W taki sam sposób zadano parametry luzów w drugim rzędzie. Podpory z danymi nieliniowymi można zobaczyć wywołując z menu [Podpory](#) opcje: **Nieliniowe – Pokaż**. Ich parametry można odczytać.

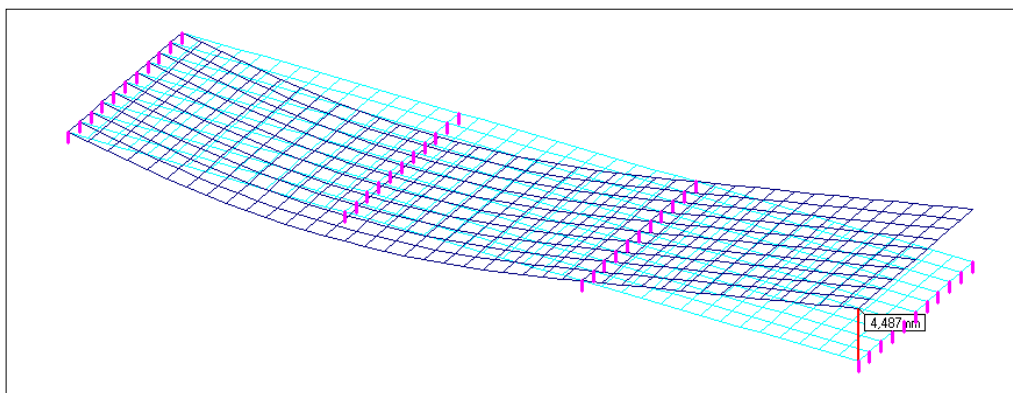
Jeśli obciążenie jest niewielkie to płyta zachowuje się jak wolnopodparta belka z wysięgniem. Sytuacja zmienia się jak rośnie obciążenie. W zadaniu wprowadzono trzy schematy. W pierwszym jest tylko obciążenie w pierwszym polu, w drugim obciążenie zostaje rozciągnięte na dwa pola, a w trzecim schemacie obciążenie działa na całą płytę. Ugięcia i nieczynne podpory (grube kreski) dla kolejnych schematów pokazano poniżej.



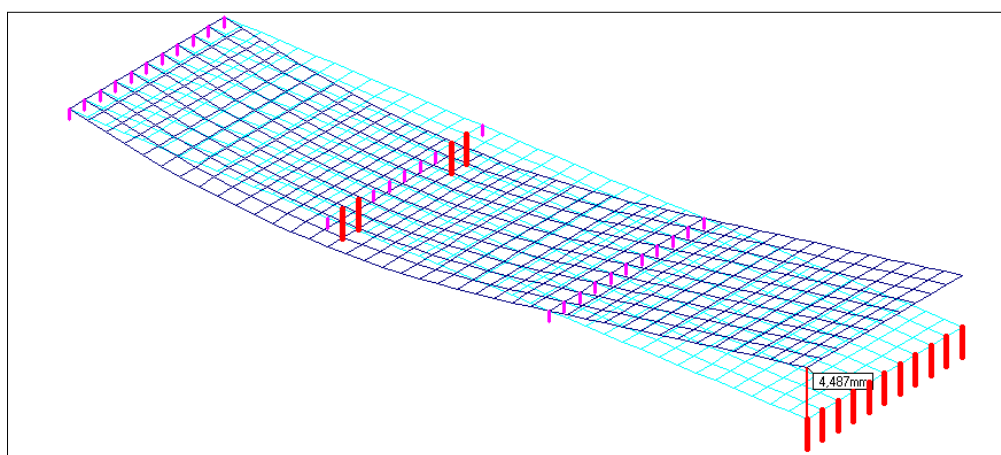
Pierwszy schemat - ugięcia



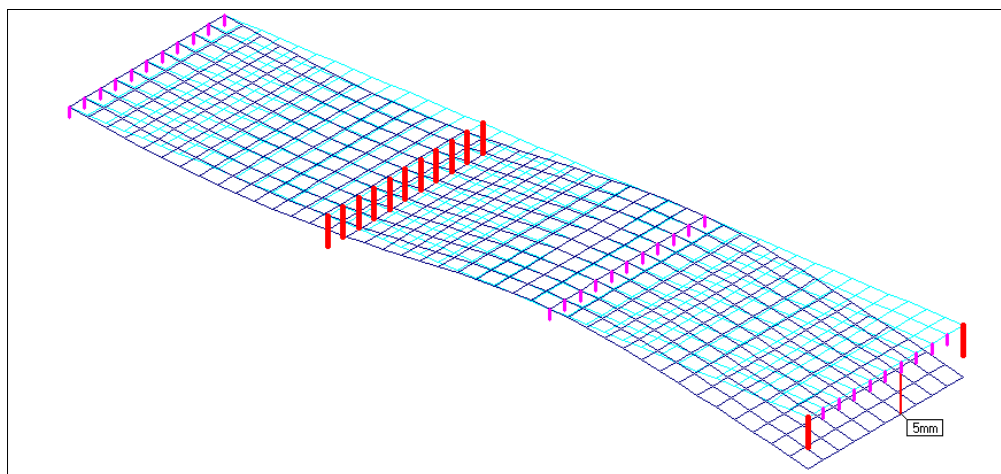
Pierwszy schemat obciążenia. Płyta opiera się tylko na skrajnych podporach w drugim rzędzie. Podpory po prawej stronie są wyłączzone.



Drugi schemat – ugięcia



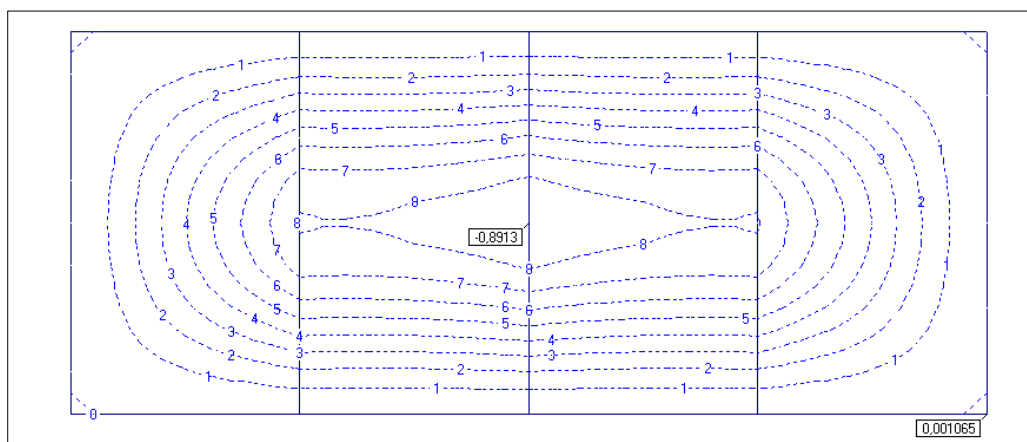
Drugi schemat obciążenia. Płyta opiera się prawie na wszystkich podporach drugiego rzędu.



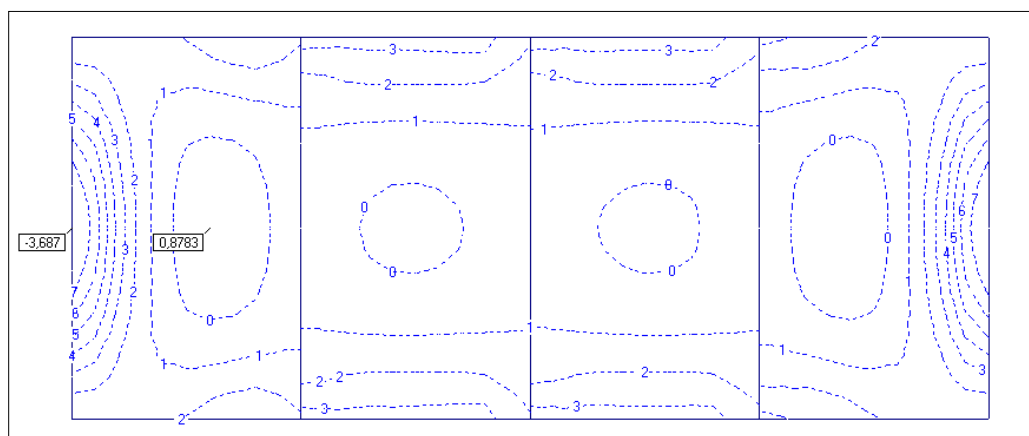
Trzeci schemat obciążenia. Płyta opiera się na prawie wszystkich podporach skrajnych z prawej strony. Wszystkie podpory drugiego rzędu są nieczynne.

62.14. Przeguby

Jest to zadanie ilustrujące możliwości zadania przegubów w płycie. Linia przegubowa pozwala na przeniesienie sił poprzecznych, ale moment wzdłuż niej jest zerowy. W zadaniu Przeguby pokazano prostokątną płytę utwardzoną sprężyscie na obwodzie w ścianie. Płyta została podzielona trzema liniami przegubowymi na cztery pola które mogą modelować płyty prefabrykowane. Geometrię płyty przygotowano standardowo zakładając wymiary na planszy startowej. Podparcie zadano wybierając z menu [Podpory](#) opcję [Ściany](#). Na planszy zadano wymiary ściany i wybrano węzły na czterech krawędziach płyty. Przeguby wprowadzono wybierając z menu [Przeguby](#) opcję [Płyty](#). Linie przegubów wybrano jako Odcinek. Po wywołaniu menu [Pokaż](#) można opcją [Pokaż ikony - Przeguby](#) można włączyć pokazywanie węzłów z przegubami. W zadaniu wprowadzono początkowo trzy schematy: ciężar własny, i dwa obciążenia ciągłe. Potem ostatnie z nich rozdzielono na pola pomiędzy przegubami otrzymując cztery schematy zmienne. Po rozwiązaniu program jako pierwsze pokazał ugięcia płyty.



Ugięcia wywołane ciężarem własnym okazano obok. Widać wyraźnie jak na liniach przegubowych następuje ostra zmiana kierunku izolinii.



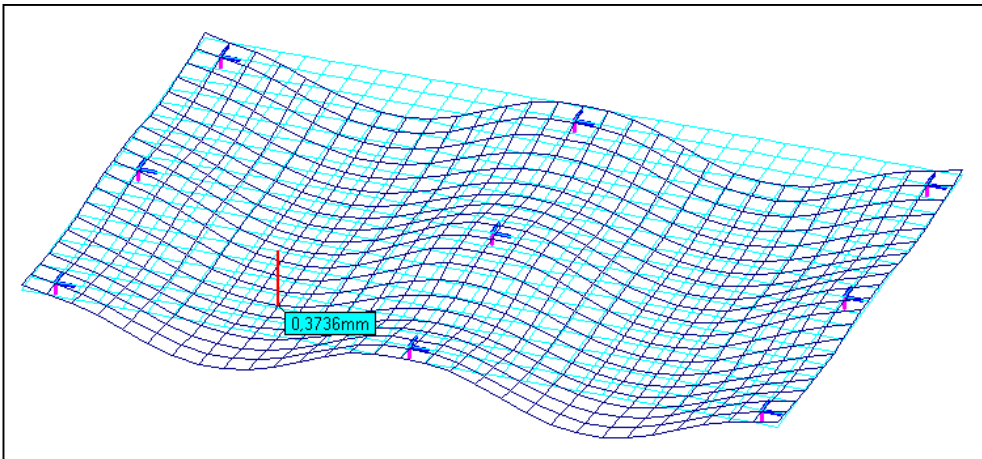
Momenty m_x wywołane obciążeniem ciężarem własnym.

62.15. Słup_Liniowy i Słup_Nieliniowy

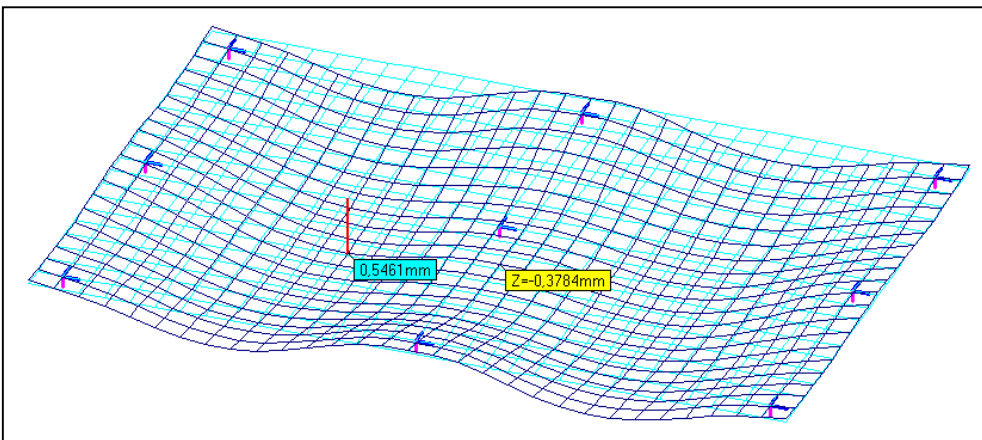
Jest to zadanie ilustrujące możliwość ograniczenia wartości reakcji podporowych w wybranych miejscach. Przyjęto prostokątną płytę o wymiarach 9x6m podpartą na dziewięciu słupach ustawionych regularnie. W środkowym słupie wprowadzono warunek, że wartość reakcji nie może być większa od 40kN.

Geometria płyty powstała zaraz po zamknięciu planszy startowej, na której wprowadzono wymiary obszaru. Podparcie wprowadzono po wybraniu przycisku [Podpory](#) i następnie opcji [Słupy](#). Na planszy definicji słupa zaakceptowano podpowiadane wymiary i wybrano węzły podparte. Warunki nieliniowe wprowadzono w drugim kroku ponownie wybierając przycisk [Podpory](#). Teraz z menu wybrano opcję [Nieliniowe – Zadań](#) i wskazano środkowy słup. Na planszy danych nieliniowych wybrano przełącznik [Ograniczony](#) i w okienku [W górę](#) wpisano wartość -1kN, a w okienku [W dół](#) wartość 40kN. Pierwsza wartość ogranicza ujemną reakcję, a druga wartość reakcję dodatnią.

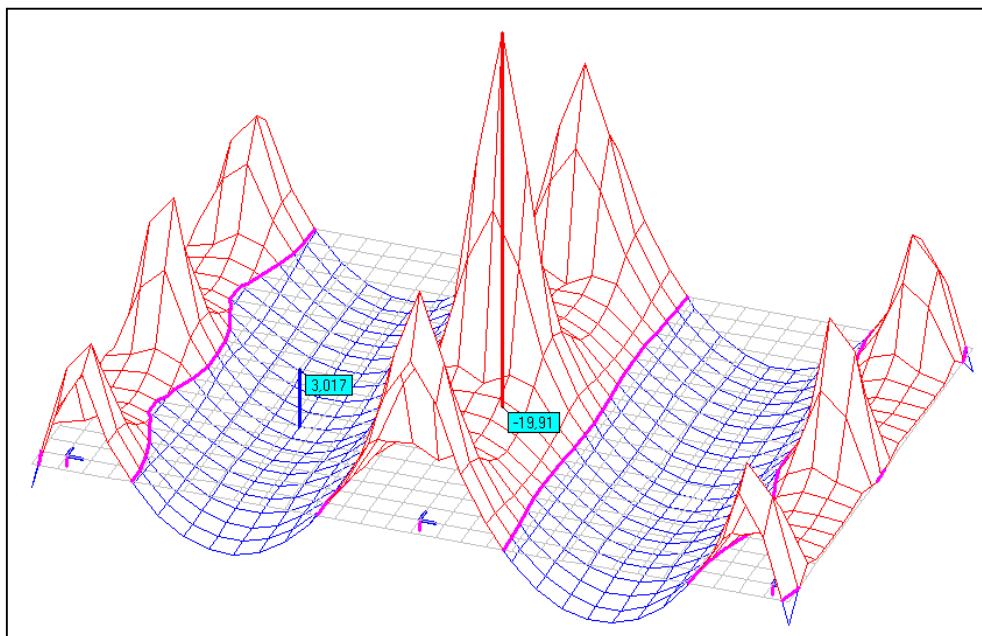
W zadaniu wprowadzono tylko jeden schemat obciążenia: Ciężar własny. Następnie z menu [Ogólne](#) wybrano opcję [Zapisz jako..](#) i zapisano zadanie pod inną nazwą. Jedno zadanie rozwiązano liniowo, a w drugim zadaniu na planszy Obliczenia (przy włączonym przycisku [\[M\]](#)) wybrano przełącznik [Nieliniowe](#)



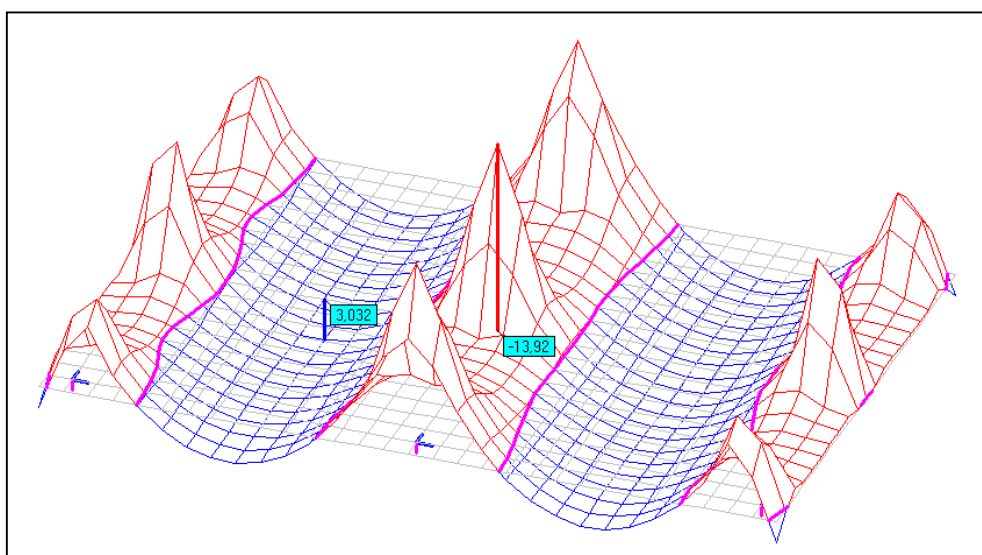
Ugięcia w rozwiązaniu liniowych



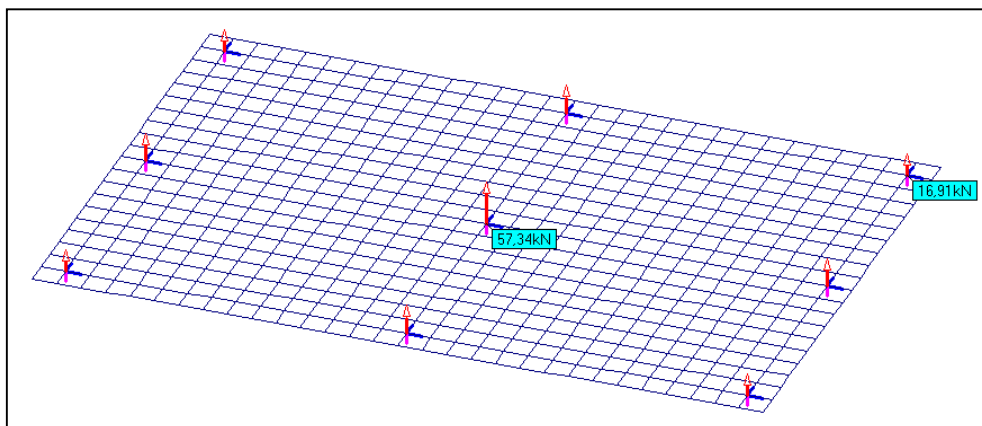
Ugięcia w rozwiązaniu nieliniowym. Odczytano ugięcie na słupie



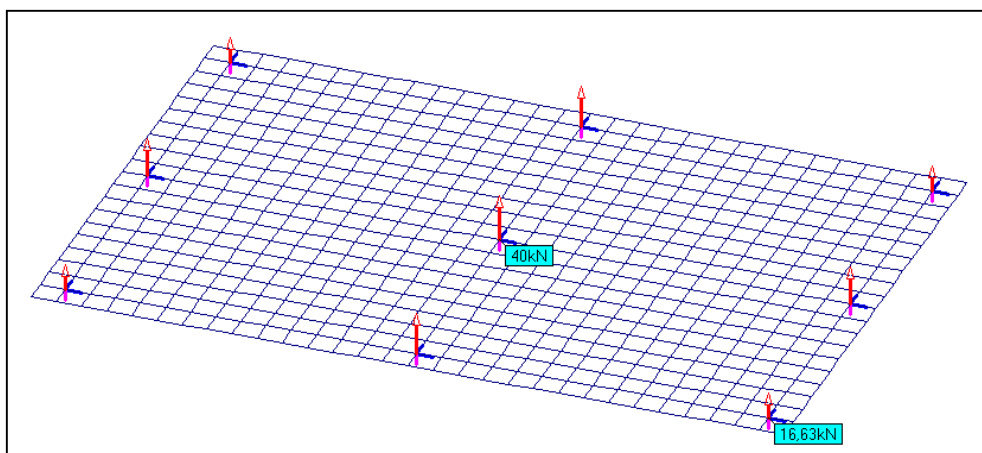
Momenty w rozwiązaniu liniowym



Momenty w rozwiązaniu nieliniowym



Reakcje w rozwiązaniu liniowym



Reakcje w rozwiązaniu nieliniowym. Siła w słupie jest równa założonej wartości 40kN

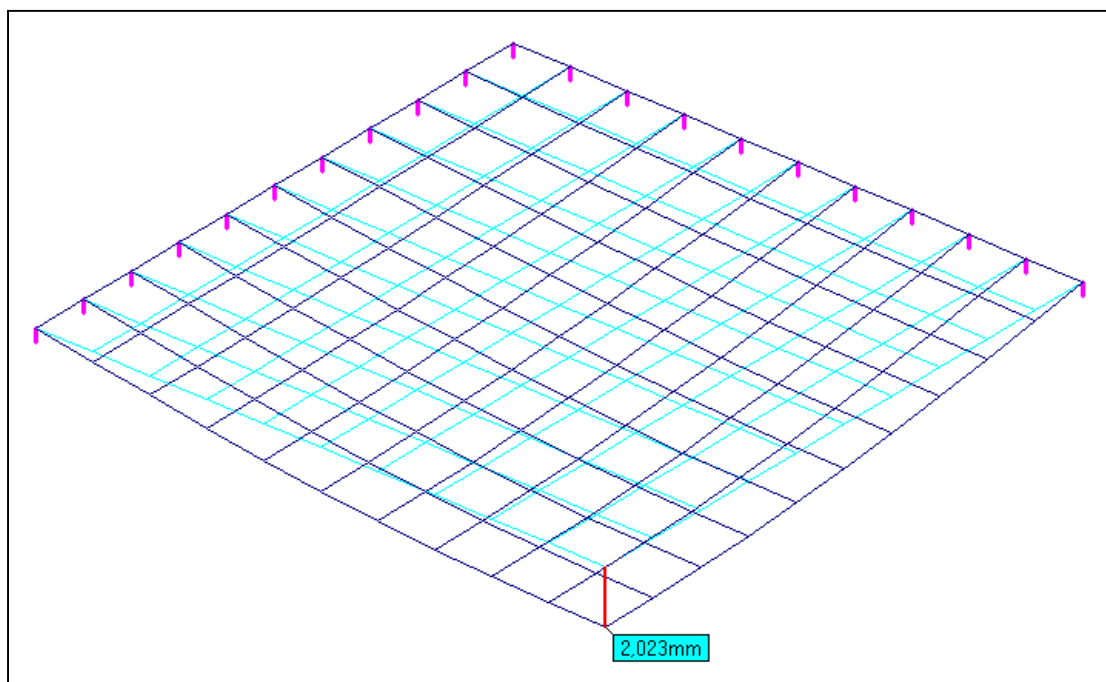
62.16. Symetria_1 i Symetria_1a

Jest to zadanie ilustrujące możliwość wykorzystania symetrii w modelowaniu. Symetryczna musi być płyta, jej podparcie i obciążenie. Dopiero przy takich trzech warunkach można otrzymać poprawne rozwiązanie. W zadaniu Symetria_1 rozwiązano płytę kwadratową o boku 6m opartą na obwodzie przegubowo, obciążoną ciężarem własnym. Wykorzystując podwójną symetrię, względem osi poziomej i pionowej zamodelowano kwadrat o boku 3m. Wprowadzono podparcie tylko na dwóch krawędziach. Na pozostałych krawędziach wprowadzono warunki symetrii. Po wybraniu przycisku [Wiezy](#) (przy włączonym przycisku [M]) kliknięto opcję **Symetria** i następnie wybrano węzły leżące na nie podpartych krawędziach. W węźle narożnym zostały odebrane oba kąty obrotu wokół osi X i Y, a w pozostałych tylko po jednym kącie obrotu. Kierunek osi dla której odebrano kąt obrotu zależał od ustawienia krawędzi w modelu. Zadano tylko jeden schemat obciążenia: ciężar własny. Po rozwiązaniu otrzymano ugięcia. Dla takiej płyty maksymalne ugięcie jest wyrażone wzorem:

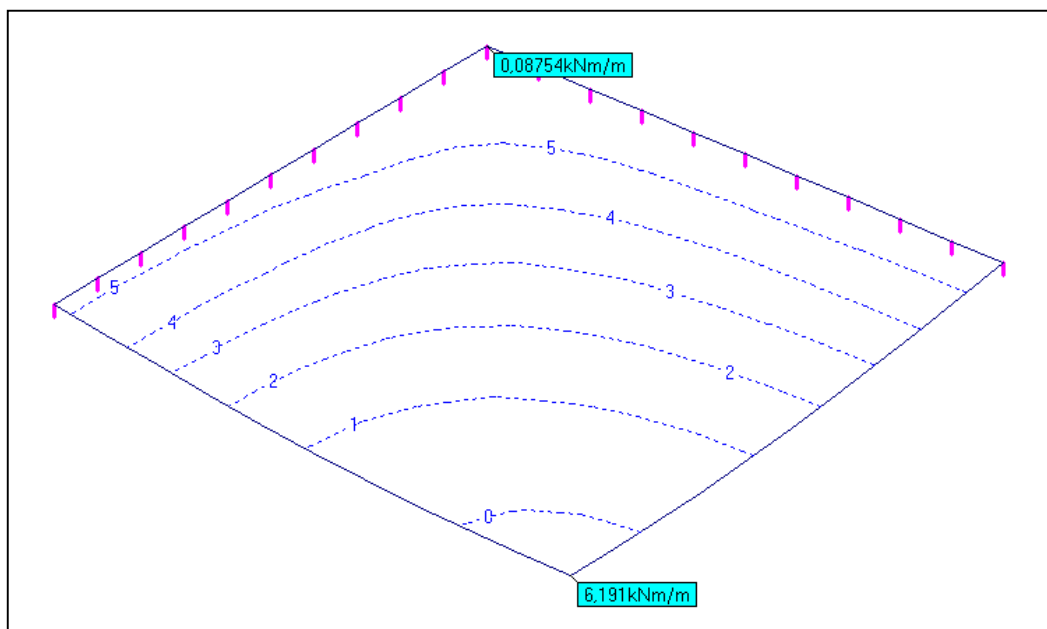
$$w_{\max}^T = \alpha \frac{qa^4}{D}$$

Dla płyty kwadratowej współczynnik α wynosi 0,00406. Po podstawieniu wartości otrzymano teoretyczną wartość ugięcia: $w_{\max}^T = 1,98\text{mm}$. Rozwiązani numeryczne dało wartość:

$$w_{\max} = 2,023\text{mm}.$$



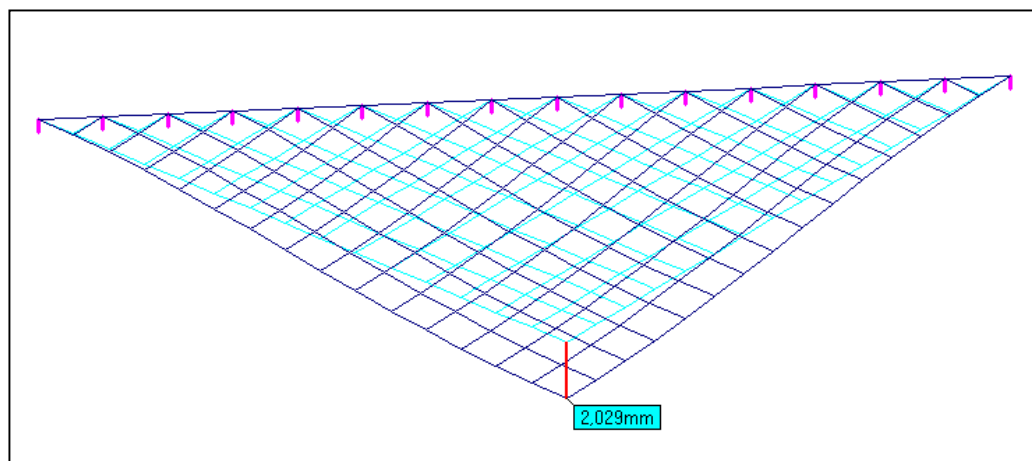
Ugięcia w modelu z dwoma osiami symetrii



Rozkład momentów w modelu z dwoma osiami symetrii

W płycie kwadratowej można zadać drugi układ osi symetrii, przechodzących przez przekątne. W zadaniu Symetria_1a zamodelowano płytę jako trójkąt prostokątny, równoramienny o ramionach równych 4,24264m. Wprowadzono podparcie na przeciwprostokątnej, a na przyprostokątnych zadano warunki symetrii. Przyjęto obciążenie ciężarem własnym. Ugięcie w tym wypadku wyniosło:

$$w_{\max} = 2,029\text{mm}.$$

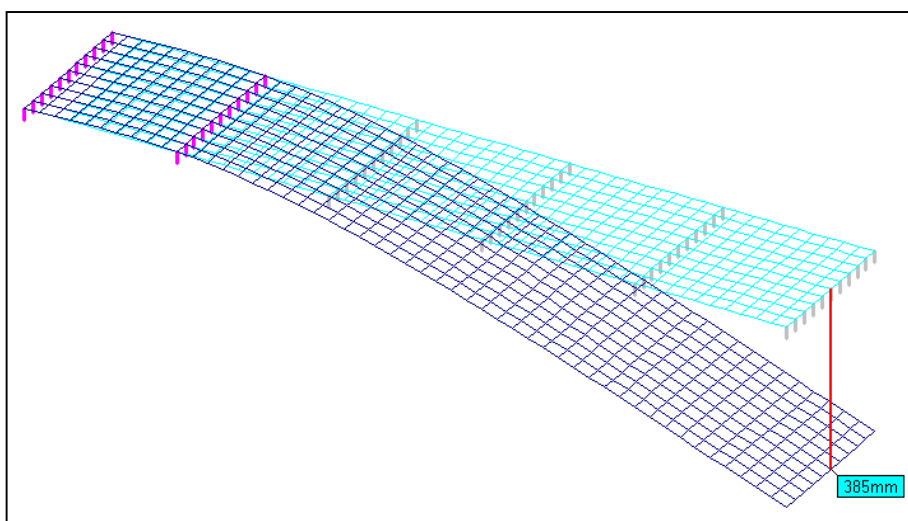


Różnica wartości wynika z różnych podziałów na elementy skończone.

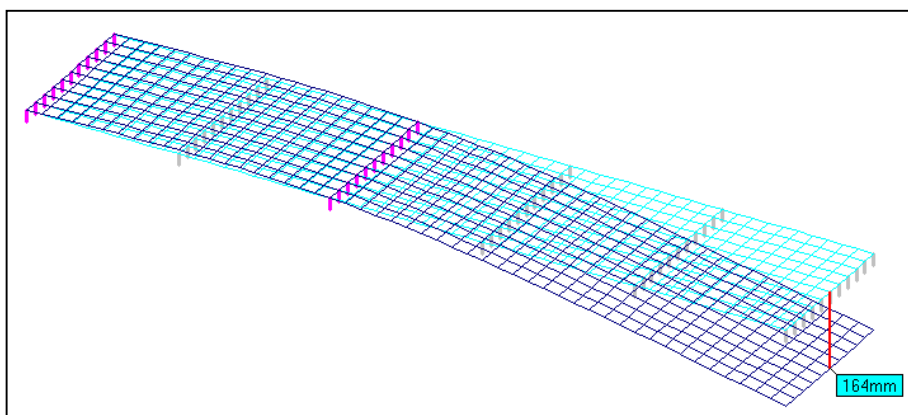
Odczytując z kolei momenty główne w narożnym elemencie można zauważyć, że są one podobne, ale nie identyczne. Różnica też jest efektem różnego podziału w jednym i drugim zadaniu.

62.17. Zmienne_Podpory

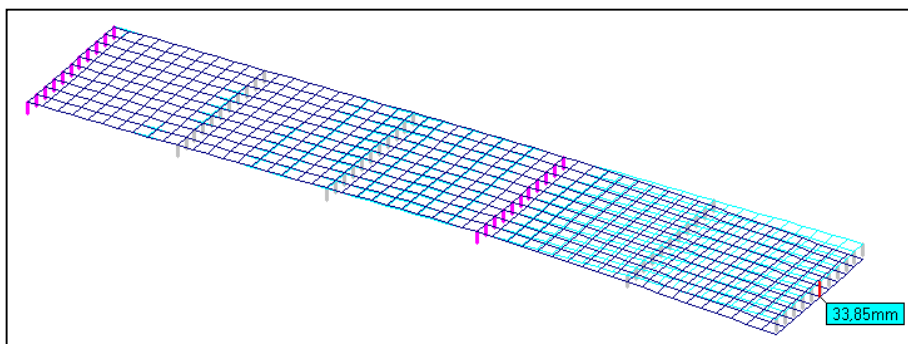
Jest to zadanie ilustrujące możliwości analizowania układu w którym dla każdego schematu przyjęto różny układ podpór. W zadaniu przyjęto pasmo płytowe podparte sześcioma ścianami umieszczonymi poprzecznie dzielącymi pasmo na pięć równych pól. Przygotowanie zadania przebiegało standardowo. Po zadaniu geometrii wprowadzono podparcie na podporach przegubowych. Następnie zadano pięć schematów obciążenia. W każdym wprowadzono obciążenie ciężarem własnym. Następnie z menu [Obciążenia](#) wybierano opcje Edycja starego i numer schematu. Zaczęto od drugiego schematu. W polu przycisków obciążenia jest czerwony przycisk [Struktura](#). Pozwala on na wybór podpór które w aktualnym schemacie nie będą brały udziału. Przy przeglądaniu obciążeń ikony takich podpór będą szare. Na planszy Obliczenia będzie domyślnie włączona pozycja „Statyka wielokrotna”. Po uruchomieniu obliczeń program będzie obliczał zadanie dla każdego schematu obciążenia osobno. Po wyłączeniu tej opcji zadanie może być obliczane standardowo. Poniżej pokazano ugięcia w tej samej skali dla kolejnych schematów obciążenia (dla kolejnych układów podpór).



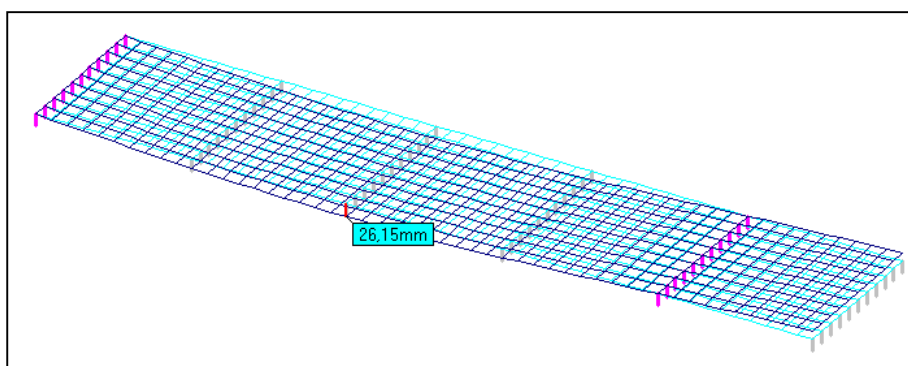
Pierwszy wariant. Podparcie tylko na pierwszych dwóch ścianach.



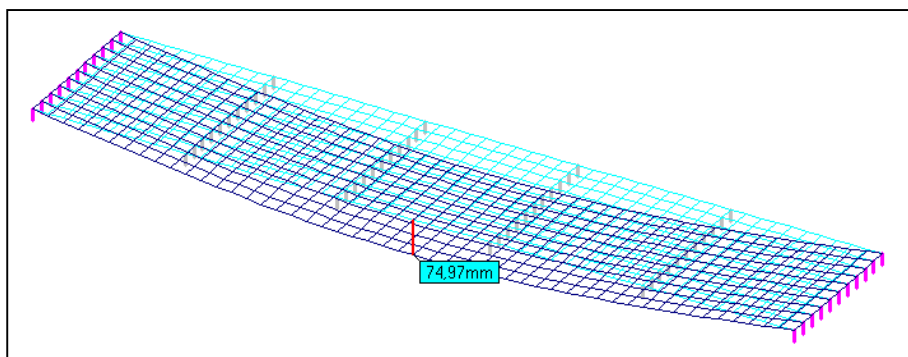
Drugi wariant. Podparcie na pierwszej i trzeciej ścianie.



Trzeci wariant. Podparcie na pierwszej i czwartej ścianie.



Czwarty wariant. Podparcie na pierwszej i piątej ścianie.



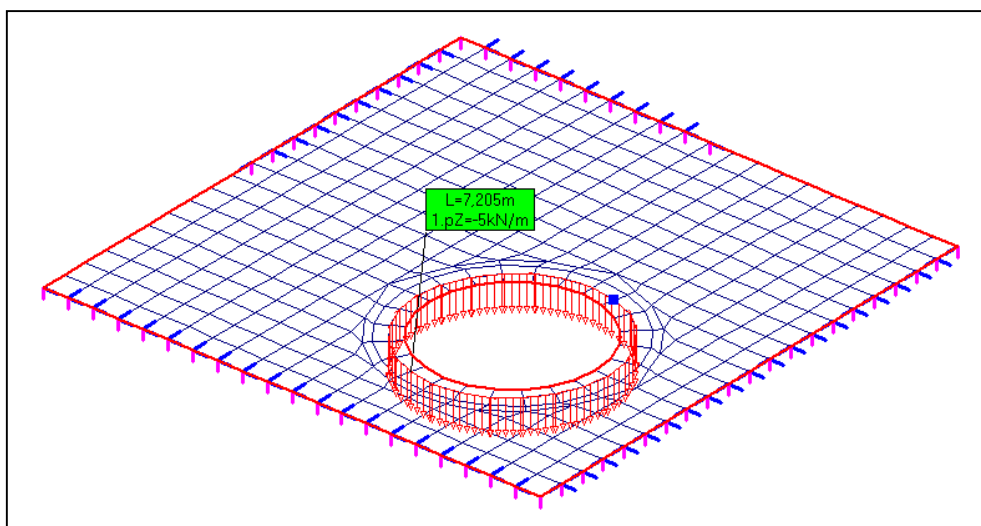
Piąty wariant. Podparcie na skrajnych ścianach.

62.19. Z_Otwarem

Jest to zadanie w którym wykorzystano możliwość wprowadzenia do modelu belki kołowej. Belka taka modeluje okrągły otwór, wprowadzając w strefie wokół otworu regularny podział. Jeśli w danych o belce zostanie wprowadzona inna grubość niż płyty to otwór otrzyma dodatkowo wzmocnienie belką krawędziową.

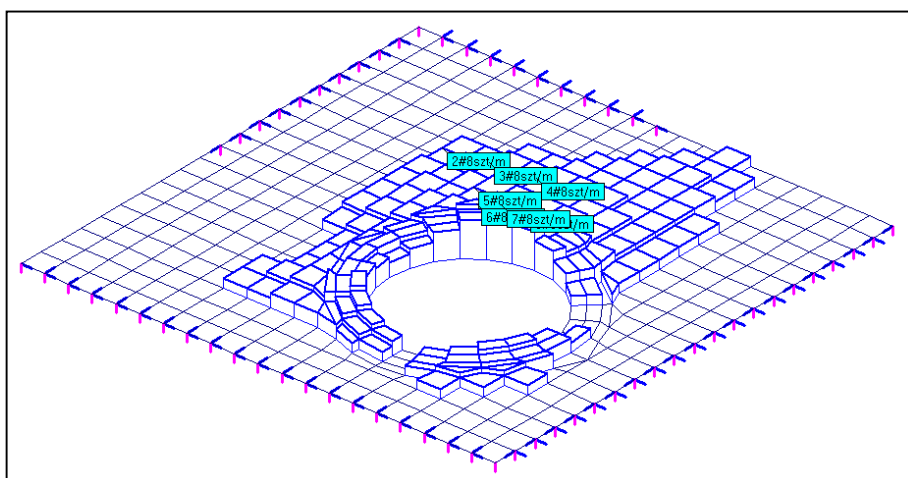
Dane do tego zadania przygotowano standardowo wpisując na planszy startowej wymiary gabarytowe płyty. Następnie z menu Elementy wybrano opcję Dodaj belkę i na planszy danych o belce włączono pozycję **Kołowa**. Po zamknięciu planszy przyciskiem [OK] wybrano węzeł będący środkiem otworu. Otrzymano siatkę z otworem. Jeśli podział w strefie przejścia będzie nieodpowiedni, to należy wywołać z menu [Elementy](#) opcję Cofnij, model wróci do poprzedniej postaci i po ponownym wybraniu opcji Dodaj belkę, można wprowadzić inną wartość minimalnej odległości od krawędzi belki, lub inny podział belki.

Po zadaniu geometrii płyty, wprowadzono podparcie i obciążenia. Poniżej pokazano obciążenia dla drugiego schematu.

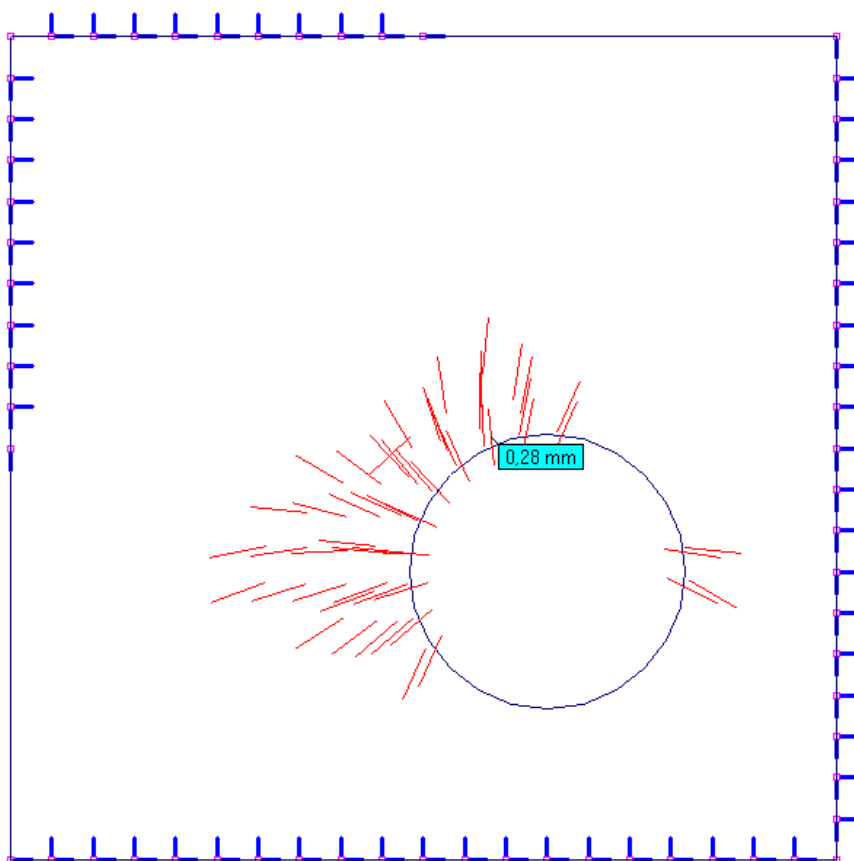


Po rozwiązaniu wybrano z menu [Obwiednia](#) opcję Atrybuty i mnożniki i zadano atrybuty Zmienne wybranym wariantom oraz mnożniki obciążenia. Następnie zazbrojono płytę. Dalej pokazano zbrojenie w kierunku X dla dołu płyty oraz zarysowanie.

Zadania



Zbrojenie w kierunku X



Zarysowanie na dole płyty.