

Część **F**

**PRZYKŁADOWE
ZADANIE**

Spis treści części F

F58. Lista przykładowych zadań	3
58.1. Wspornik o przekroju ceowym	5
58.1.1. Rozciąganie siłą osiową	7
58.1.2. Zginanie siłami pionowymi	8
58.1.3. Zginanie siłami poziomymi	10
58.1.4. Skręcanie	11
58.1.5. Obciążenia ciągłe	13
58.1.6. Ciężar własny +Z	14
58.1.7. Ciężar własny -Y	14
58.1.8. Stałe pole temperatury	15
58.1.9. Przemieszczenia wstępne	16
58.1.10. Siły odśrodkowe	16
58.1.11. Dynamika wspornika	16
58.2. Dynamika _Pasma	20
58.3. Dynamika _Płyty	22
58.4. Żelbetowa płyta na stalowym ruszcie	24
58.5. Stalowy kosz z plastikowym wkładem	28
58.6. Stalowy, uźebrowany pojemnik	36
58.7. Pasma3Przęsła	40
58.8. Podłoże liniowe i nieliniowe	42
58.9. Podpory Liniowe i nieliniowe	44
58.10 Rurociąg	50
58.11. Silosy	58
58.11.1. Silos z płaskim dnem	59
58.11.2. Silos ze stożkowym dnem	61
58.11.3. Uwagi o zadawaniu obciążeń	63
58.12. Zbiornik ciśnieniowy	64
58.13. Zbiornik stożkowy	66
58.14. Żelbetowy zbiornik w gruncie	68

F58. Lista przykładowych zadań

W katalogu \Przykłady_Ob3D zamieszczono 89 przykładowych zadań. Niektóre z nich są opisane szczegółowo w tym rozdziale.

1. A_Pierwszy - kwadratowy wspornik na domyślnych wymiarach. Do kontroli programu.
2. Balkon - wspornik z żebrami o zmiennej grubości - rozdział 38.1.
3. Ceownik - powłokowy model wspornika - szerzej jest opisany w rozdziale 58.1.
4. Ciegna, CiegnaN - układ kratowy w którym wprowadzono elementy ciągnowe. Rozwiązanie liniowe i nieliniowe w którym część cięgien została wyłączona - rozdział 46.1.
5. DodajLinie - skrzynia o krawędziach dociętych opcją Dodaj linie - rozdział 31.6.
6. DodajŁuk - skrzynia o krawędziach dociętych opcją Dodaj łuk - rozdział 31.7.
7. DodajOtwor - skrzynia w ściankach której dodano otwory - rozdział 31.8.
8. Drogowy_1, Drogowy_2, Drogowy_3 i Drogowy_4 - obszary utworzone generatorem drogowym - do rozdziału 30.7.
9. Dynamika_pasma - obliczenia częstości drgań własnych. Zadanie omówione w rozdziale 58.2.
10. Dynamiki_płyty - obliczenia częstości drgań własnych. Zadanie omówione w rozdziale 58.3.
11. Elipsa90, Elipsa180 i Elipsa360 - siatki utworzone generatorem opisanym w rozdziale 30.6.
12. Jezdnia - płyta żelbetowa na stalowym ruszcie obciążona siłami ruchomymi. Opisana w rozdziale 58.4.
13. Kolowy_A, Kolowy_B, Kolowy_C, Kolowy_D - siatki utworzone generatorem programu ABC.
14. KoszPlast - stalowy kosz z plastikowym wkładem. Jest opisany w rozdziale 58.5.
15. KoszStal - stalowy pojemnik uźebrowany. Jest opisany w rozdziale 58.6.
16. Krociec - siatka walcowego zbiornika z króćcem.
17. Kulisty_1, Kulisty_2, Kulisty_3, Kulisty_4, Kulisty_5 - przykłady siatek utworzonych przez generator opisany w rozdziale 30.11.
18. Lepkosc_Cieczy - Walcowy zbiornik obciążony stycznym obciążeniem ciągłym. Model do rozdziału 43.5.3.
19. Luk_60R, Luk_180R i Luk_360R przykłady siatek utworzonych przez generator opisany w rozdziale 30.4.
20. Obc_Zmienne - zadanie pokazujące rozkładanie obciążenia ciągłego na pola. Rozwiązane do wymiarowania żelbetu z rysami. Do rozdziałów 43.12 i E54.
21. Obiekt_Z_Plikow - model prostopadłościennego zbiornika utworzony przez odczyt z plików. Do rozdziału C38.
22. Pasma3Przesla - zadanie ilustrujące różne zestawy atrybutów i mnożników. Jest opisane w rozdziale F58.7.
23. Pochylnia_0, Pochylnia_1, Pochylnia_2, Pochylnia - kolejne fazy tworzenia spiralnej pochylni opisane w rozdziale C31.10.
24. Podloze_Lin i Podloze_Nielin - pasmo płytowe na podłożu Winklera jednostronnym i o ograniczonej nośności. Opisane są w rozdziale 58.8.
25. Podloze_Uwarstwione i Podloze_Winklera - zbiornik z uskokiem na dnie posadowiony na różnych podłożach.
26. Pozloze_Z_Tarciem - zbiornik na podłożu z tarciem.
27. Podp_Liniowe i Podp_Nieliniowe - zadania opisane w rozdziale 58.9.
28. Podparcie_Z_Pliku - zadanie ilustrujące możliwość wczytania podparcia z pliku. Do rozdziału C40.3.
29. Podpory_Z_Tarciem - Przykład modelu obiektowego w którym zadano podpory z tarciem.
30. Powielanie_Katowe - kopuła powstała przez powielanie kątowe. Do rozdziału C33.9.
31. Przeguby_Obiektowe, Przeguby_Prętowe - przykłady zastosowania przegubów w modelach.
32. Rama3D_Z_Plikow - zadanie będące ilustracją do rozdziału C32.1.
33. Rzne_Obc - ilustracja różnych obciążeń stosowanych w obiektach. Do rozdziału C43.

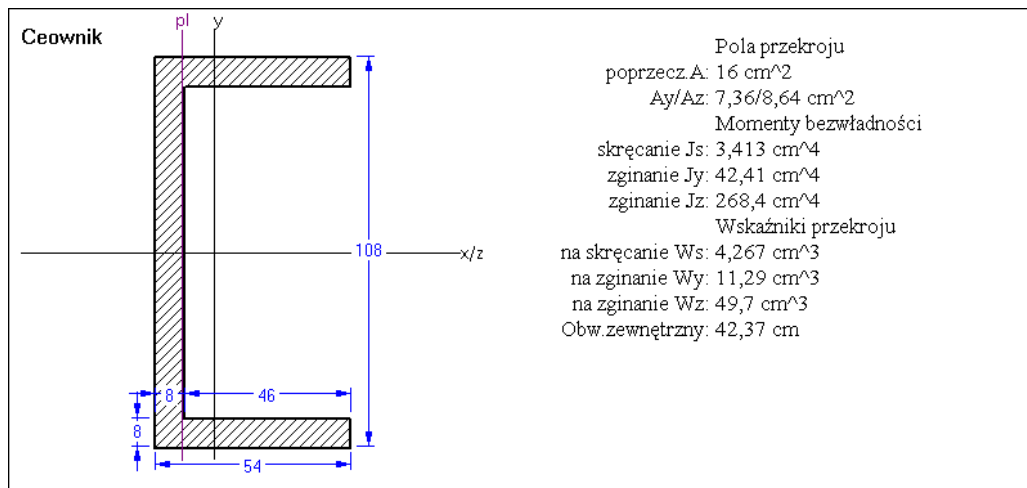
34. Ruch_Dowolny, Ruch_Drogowy, Ruch_Kolejowy - zadania z obciążeniami ruchomymi. Do rozdział C43.13.
35. Rurociąg - konkretny przykład omówiony w rozdziale 58.10.
36. Schody_Spiralne_0 i Schody_Spiralne - Tworzenie spiralnych schodów. Do rozdziału C31.10.
37. SilosZPlaskimDnem - zadanie opisane w rozdziale 58.11.
38. SilosZLejem - zadanie opisane w rozdziale 58.12.
39. Skrzynia - model utworzony generatorem opisanym w rozdziale C30.12.
40. Slup_Liniowy, Slup_Nieliniowy, Slup_Z_Luzem - przykłady rozwiązań nieliniowych.
41. Spirala, Srubowe - przykłady generacji spiralnych. Do rozdziału C33.4
42. Stozkowy - przykład siatki utworzonej generatorem opisanym w rozdziale C30.10.
43. Symetria - zadanie rozwiązane z wykorzystaniem podwójnej symetrii. Do rozdziału C42.1.
44. Trapez_N, Trapez_R - siatki utworzone przez generator opisany w rozdziale C30.2.
45. Trojkat_A, Trojkat_B, Trojkat_C i Trojkat_D - siatki utworzone generatorem opisanym w rozdziale C30.3.
46. Walcowy_1, Walcowy_2, Walcowy_3, Walcowy_4 - Siatki utworzone generatorem opisanym w rozdziale C30.9.
47. Wsporniki - siatka z żebrami o zmiennej grubości.
48. Zalezne_1 i Zalezme_2 - zadania ilustrujące możliwości węzłów zależnych. Do rozdziału C42.2.
49. Zbiornik_Na_Lawach - model obiektowy posadowiony na podłożu Winklera.
50. Zbiorni_Cisnieniowy - zadanie opisane w rozdziale 58.13.
51. ZbiornikStozkowy - zadanie opisane w rozdziale 58.14.
52. ZbiornikWgruncie – żelbetowy zbiornik zagłębiony ze zmiennymi warunkami podparcia. Jest opisany w rozdziale 58.15
53. Zmienne_Podpory - przykład zadania o zmiennych warunkach podparcia.

58.1. Wspornik o przekroju ceowym

Zbudowano model wspornika o długości 1 m wykonanego ze stalowej blachy o grubości 0,008 m. Przyjęto ceowy przekrój o wysokości 0,1 m i o szerokości półki 0,05 m (wymiary dla linii środkowych). Parametry tego przekroju pokazano poniżej. Dodatkowo odczytano współrzędną środka ciężkości i środka ścinania:

$$X_{SC} = 1,642 \text{ cm}$$

$$x_T = -1,778 \text{ cm.}$$



Na planszy danych wstępnych przyjęto, że początkowy obszar będzie miał wymiar 1 x 0,2 m i będzie leżał w płaszczyźnie XZ. Przyjęto oczko siatki 0,05 x 0,05 m (ważne!). Wprowadzono też grubość 0,008 m. Przyjęto materiał Stal o parametrach PN-EN 1991-1-1:

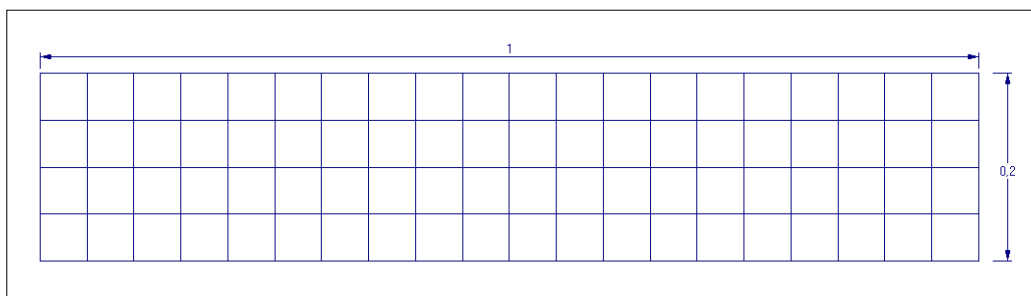
Moduł Young'e'a $E = 210000 \text{ MPa,}$

Liczba Poisson'a $\nu = 0,3,$

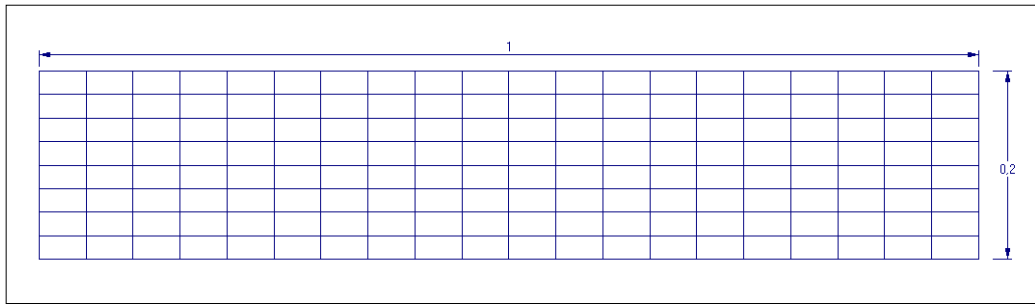
Ciężar właściwy $\gamma = 77 \text{ kN/m}^3,$

Współczynnik rozszerzalności liniowej $\alpha = 0,000012 \text{ 1/}^\circ\text{C.}$

Po zamknięciu planszy danych wstępnych otrzymano pierwszy obszar. Jest on pokazany poniżej.

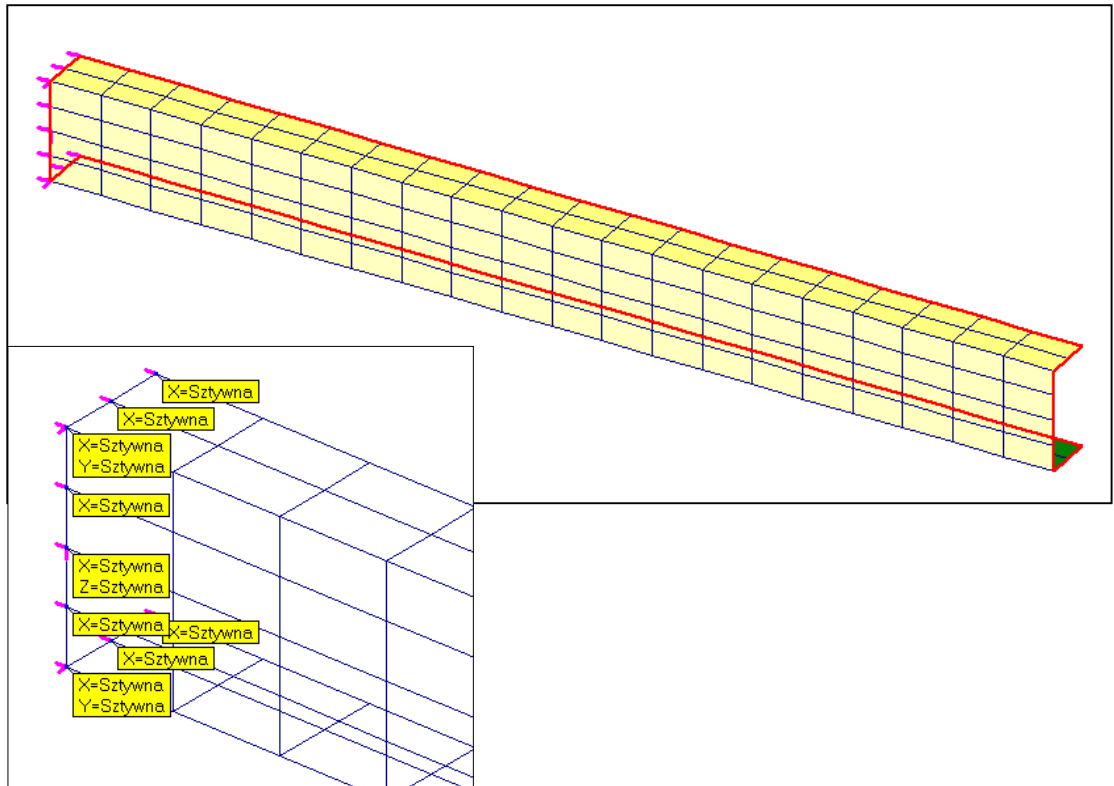


Teraz z menu Elementy wywołano opcję Podziel pasmo i każde poziome pasmo elementów podzielono na pół. Postać siatki po tej operacji pokazano dalej.



W trzecim kroku w menu Węzły kliknięto w opcję Obróć węzły i wybrano oś obrotu na górnym zagięciu przekroju ceowego. Trzeci węzeł wybrano w płaszczyźnie pierwotnej siatki. Następnie wybrano węzły leżące na osi obrotu i obrócono je o 90° w stosunku do płaszczyzny pierwotnej siatki. Przy obrocie zachowano pierwotny promień węzłów. Powtórzono tę operację wskazując oś obrotu na dolnym zagięciu przekroju ceowego i wybierając węzły leżące poniżej tej osi. Również te węzły obrócono o 90° zachowując promień węzłów i wybierając taki kierunek obrotu, aby powstał ceownik. Otrzymano gotową siatkę struktury.

Teraz wprowadzono podpory zakładając do wszystkich węzłów o współrzędnej $X=0$ składowe poziome (o kierunku osi X). Do węzłów narożnych wprowadzono składowe poziome o kierunku osi Y i do węzła w połowie wysokości wprowadzono składową pionową o kierunku osi Z .



Przyjęto dziesięć schematów obciążenia:

1. Rozciąganie siłą osiową równą 8 kN,
2. Zginanie wywołane pionową siłą $P_Z = -1$ kN,
3. Zginanie wywołane poziomą siłą $P_Y = 1$ kN,
4. Skręcanie momentem $M_X = 0,1$ kNm,
5. Obciążenie ciągłe $p = 10$ kPa działające na elementy stojki,
6. Obciążenie ciężarem własnym dla grawitacji -Z,
7. Obciążenie ciężarem własnym dla grawitacji +Y,
8. Obciążenie stałym polem temperatur 10°C ,
9. Przemieszczenia wstępne,
10. Siły odśrodkowe.

58.1.1. Rozciąganie siłą osiową

W pierwszym schemacie do węzłów o współrzędnych $X = 1$ m przyłożono siedem sił $P_X = 1$ kN i dwie siły $P_X = 0,5$ kN. Mniejsze siły przyłożono do węzłów skrajnych przekroju.

Wydłużenie pręta rozciąganego jest równe:

$$f = \frac{P * L}{E * A}$$

gdzie:

P - siła osiowa = 8 kN,
 L - długość pręta = 1 m,
 E - moduł Younga = 210000 MPa,
 A - pole przekroju = 16 cm^2 .

Po podstawieniu do wzoru wartości otrzymano wydłużenie:

$$f = 0,02381 \text{ mm}$$

Identyczną wartość odczytano w module WYNIKI po ograniczeniu pokazywanych ugięć do składowej X.

Siła rozciągająca wywołuje naprężenia obliczane wzorem:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

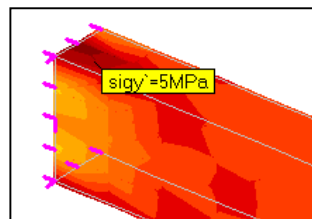
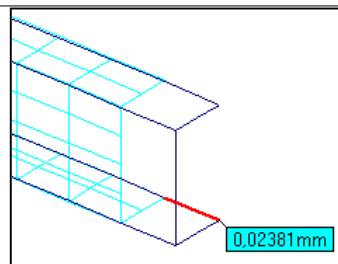
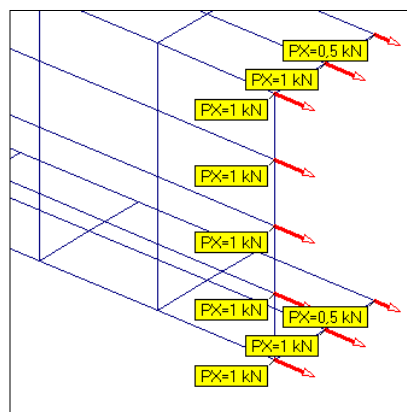
gdzie:

P - siła rozciągająca = 8 kN,
 A - pole powierzchni = 16 cm^2 .

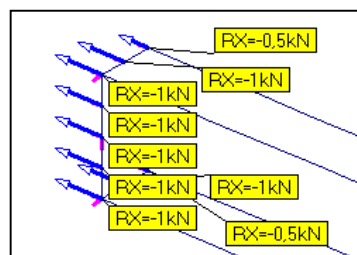
Po podstawieniu wartości do wzoru otrzymano naprężenie:

$$\sigma = 5 \text{ MPa}$$

Takie same wartości naprężeń odczytano dla pierwszego wariantu wyników.

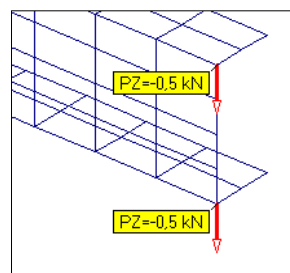


Wartości reakcji w pierwszym wariancie odczytane w menu Reakcje wprost odpowiadały siłom obciążającym.

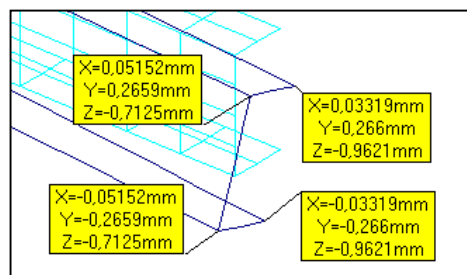


58.1.2. Zginanie siłami pionowymi

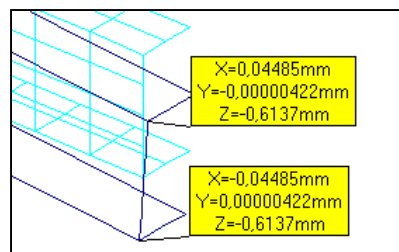
W drugim schemacie obciążenia wprowadzono dwie pionowe siły po $PZ = -0,5$ kN przyłożone do narożnych węzłów przekroju. Ponieważ jest to przekrój ceowy stąd przy przyłożonym obciążeniu wspornik poza zginaniem zostanie skręcony. Skręcenia przekroju można uniknąć przykładając obciążenie w miejscu zwanym środkiem ścinania. Zamiast przykładać tam siłę wystarczy dodać do istniejącej siły pionowej obciążenie momentem takim, aby elementy stójki nie wychylały się z pionowej płaszczyzny. W czwartym schemacie zadano obciążenie momentem $M_X = 0,1$ kNm. Kąt obrotu pionowej części przekroju jest równy:



$\varphi_4 = 1,6405^\circ$. Kąt obrotu w drugim schemacie jest równy: $\varphi_2 = 0,3047^\circ$. Z prostej proporcji wynika, że moment $M = -0,01857$ kNm zapewni, że elementy stójki nie będą się wychylały z pionowej płaszczyzny. W zadaniu utworzono dodatkowy wariant, 11/1 w którym połączono wyniki z drugiego i czwartego wariantu bazowego. Wartości z czwartego wariantu mnożono przez $-0,1857$. Na rysunku z prawej strony pokazano przemieszczenia dla drugiego wariantu.



Po prawej stronie pokazano ugięcia końca modelu dla wariantu dodatkowego, w którym obciążenie pionowe przyłożono w środku ścinania.



Ramię, na którym powinno być przyłożone obciążenie pionowe wynosi 1,857cm i jest o 4,4% większe od współrzędnej środka ścinania obliczonego przez program MOMBEZ, który tę wartość wyznacza ze wzoru z tablicy Z1-1 normy PN-90/B-03200.

Przykładowe zadania

Ugięcie wspornika obciążonego siłą skupioną na końcu jest równe:

$$f = \frac{PL^3}{3EJ}$$

gdzie:

P – siła pionowa = 1 kN,
L – długość wspornika = 1 m,
E- moduł Younga = 210000 MPa,
J – moment bezwładności = 268,4 cm⁴.

Po podstawieniu wartości ugięcie jest równe: $f = 0,5914$ mm. Pionowe przemieszczenie węzłów na obciążonym końcu wynosi: $f_{MES} = 0,6137$ mm i jest o niecałe 4% większe od wartości teoretycznej.

Naprężenia we wsporniku, wywołane siłą skupioną na końcu są równe:

$$\sigma = \frac{PL^*}{W}$$

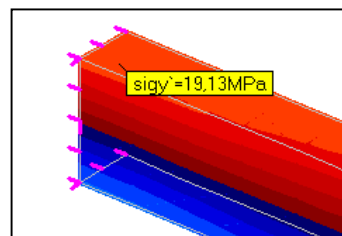
gdzie:

P – siła skupiona = 1 kN,
L* – ramię działania siły (współrzędna środka ciężkości elementu) = 0,975 m,
W – wskaźnik na zginanie = 49,7 cm³.

Po podstawieniu wartości otrzymano naprężenie:

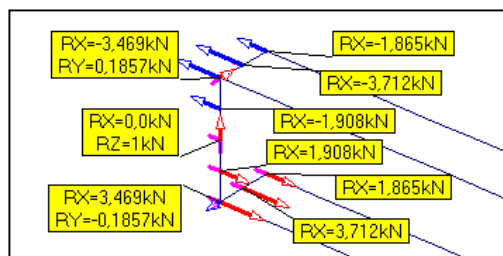
$$\sigma = 19,62 \text{ MPa.}$$

Naprężenie odczytane na górnej powierzchni elementu przy podparciu wynosi $\sigma_{MES} = 19,13$ MPa i jest mniejsze o 2,5% od wartości teoretycznej.



Odczytując reakcje dla wariantu 13/1 można poznać składową pionową, która jest równa sile obciążającej $P = 1$ kN.

Dodatkowo można obliczyć momenty względem osi poziomej Y – będzie to moment utwierdzenia wspornika, którego wartość teoretyczna jest równa:



$$Mu_y = P L = 1 \text{ kNm}$$

gdzie:

P – siła pionowa = 1 kN;
L – długość wspornika = 1 m.

$$Mu_{yMES} = (1,865 + 3,712 + 3,469) * 0,1 + 1,908 * 0,05 = 1 \text{ kNm}$$

Z kolei moment utwierdzenia wokół osi Z jest równy:

$$M_{u_{ZMES}} = 0,1857 * 0,1 = 0,01857 \text{ kNm}$$

58.1.3. Zginanie siłami poziomymi

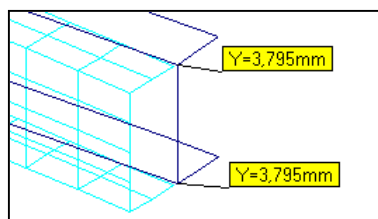
W trzecim schemacie obciążenia wprowadzono dwie poziome siły, których suma jest równa 1 kN. Tym razem płaszczyzna działania obciążenia jest płaszczyzną symetrii przekroju, zatem bez żadnych dodatkowych zabiegów można porównać wartości teoretyczne z numerycznymi.

Ugięcie obciążonego końca wspornika jest równe:

$$f = \frac{PL^3}{3EJ}$$

gdzie:

- P – siła pionowa = 1 kN,
- L – długość wspornika = 1 m,
- E- moduł Younga = 210000 MPa,
- J – moment bezwładności = 42,41 cm⁴.



Po podstawieniu wartości ugięcie jest równe: $f = 3,743 \text{ mm}$. Poziome przemieszczenie węzłów na obciążonym końcu wynosi: $f_{MES} = 3,795 \text{ mm}$ i jest o 1,4% większe od wartości teoretycznej.

Naprężenia we wsporniku, wywołane siłą skupioną na końcu są równe:

$$\sigma = \frac{PL^*y}{J_z}$$

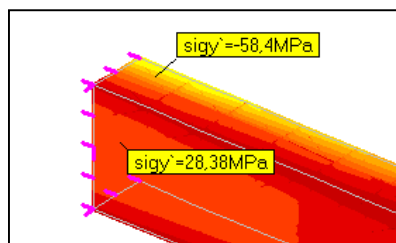
gdzie:

- P – siła skupiona = 1 kN,
- L^* – ramię działania siły (współrzędna środka ciężkości elementu) = 0,975 m,
- y – mimośród do środka elementu = 1,242/2,508 cm,
- J_z – moment bezwładności względem osi Z = 42,41 cm⁴.

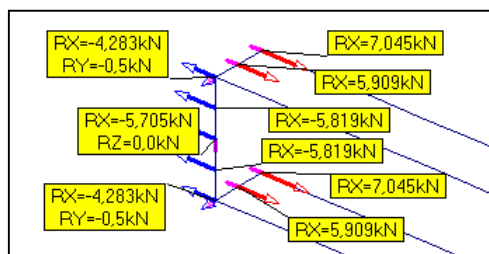
Po podstawieniu wartości otrzymuje się naprężenia teoretyczne równe:

$$\sigma_{(+)} = 28,55 \text{ MPa} \quad \sigma_{(-)} = 57,65 \text{ MPa}$$

Naprężenia dodatnie obliczone numerycznie są mniejsze o 0,6% od wartości teoretycznej, a naprężenia ujemne są mniejsze o 1,3% od wartości teoretycznej.



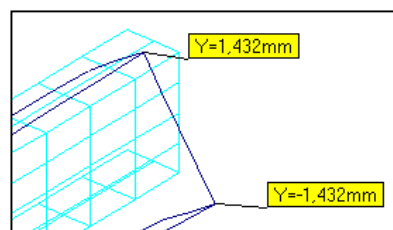
Odczytując reakcje w tym wariantcie też można zobaczyć, że suma reakcji w kierunku osi Y jest równa 1 kN, a suma momentów wokół osi Z jest równa:



$$M_{u_{ZMES}} = 2 * (7,045 * 0,5 + 5,909 * 0,25) = 1 \text{ kNm}$$

58.1.4. Skręcanie

W czwartym schemacie obciążenia przyjęto obciążenie momentem skręcającym $M_X = 0,1 \text{ kNm}$. Odczytując przemieszczenia narożnych węzłów można obliczyć kąt skręcenia. Jest on równy:



$$\varphi_{sMES} = 1,64^\circ$$

Teoretyczny kąt skręcenia jest opisany wzorem:

$$\varphi_s = \frac{M_s L}{GJ_s}$$

gdzie:

M_s – moment skręcający = $0,1 \text{ kNm}$,

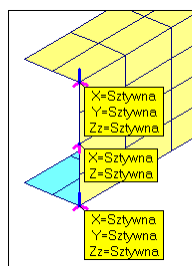
L – długość wspornika = 1 m ,

G – moduł Kirchhoff'a wg PN-EN = 81000 MPa ,

J_s – moment oporności na skręcanie = $3,413 \text{ cm}^4$.

Po podstawieniu wartości otrzymano teoretyczny kąt skręcenia:

$$\varphi_s = 2,072^\circ$$



Kąt obliczony numerycznie jest o 21% mniejszy od wartości teoretycznej. Taką różnicę łatwo wytłumaczyć tym, że kąt teoretyczny jest obliczany z modelu skręcania swobodnego, a w modelu numerycznym zadano warunki brzegowe, które uniemożliwiają spaczenie przekroju, czyli występują warunki skręcania nieswobodnego.

Po wprowadzeniu warunków brzegowych pozwalających na spaczenie przekroju kąt obrotu wyznaczony numerycznie wzrósł do: $\varphi_{sMES} = 2,11^\circ$, i różni się od wartości teoretycznej o mniej niż 2%. Zmodyfikowane warunki brzegowe pokazano obok.

Naprężenie styczne wywołane momentem skręcającym są opisane wzorem:

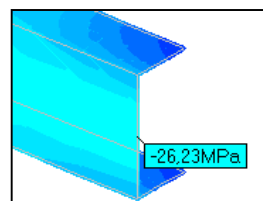
$$\tau = \frac{M_s}{W_s}$$

gdzie:

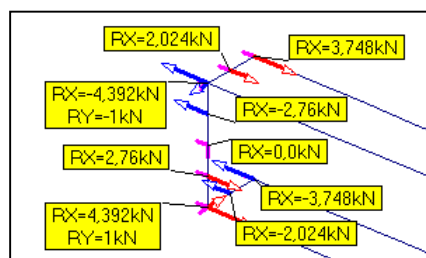
M_s – moment skręcający = 0,1 kNm,

W_s – wskaźnik na skręcanie = 4,267 cm³.

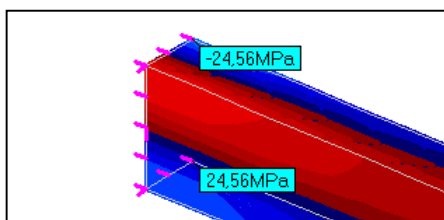
Po podstawieniu wartości otrzymano naprężenie styczne: $\tau = 23,44$ MPa. Naprężenie styczne obliczone numerycznie wynosi: $\tau_{MES} = 26,23$ MPa i jest większe od wartości teoretycznej o 12%.



Odczytując wartości reakcji można stwierdzić, że sumy reakcji są równe zero, a moment utwierdzenia względem osi X jest równy: $M_{u_x} = 0,1$ kNm. Duże wartości reakcji R_x są skutkiem odebrania swobody spaczenia przekroju.



Odczytując z kolei naprężenia można też poznać wartości naprężeń normalnych wywołanych odebraniem swobody spaczenia przekroju.



58.1.5. Obciążenie ciągłe

W piątym schemacie obciążenia przyjęto obciążenie ciągłe o wartości $p = 10 \text{ kPa}$ działające na elementy stójki. Wyniki dla tego schematu porównano z obciążeniem liniowym o natężeniu 1 kN/m . Ugięcie wspornika obciążonego siłami liniowymi jest równe:

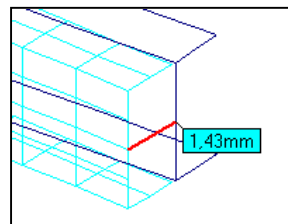
$$f = \frac{qL^4}{8EJ}$$

gdzie:

q – obciążenie liniowe = 1 kN/m ,
 L – długość wspornika = 1 m ,
 E – moduł Younga = 210000 Mpa ,
 J – moment bezwładności = $42,41 \text{ cm}^4$.

Podstawiając wartości otrzymano ugięcie swobodnego końca:

$$f = 1,404 \text{ mm}$$



Ugięcie swobodnego końca obliczone numerycznie jest równe: $f_{MES} = 1,43 \text{ mm}$ i jest większe o niecałe 2% od wartości teoretycznej.

Naprężenia we wsporniku, wywołane obciążeniem liniowym są równe:

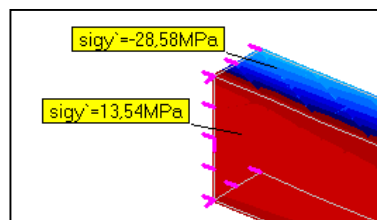
$$\sigma = \frac{qLL^*y}{J_z}$$

gdzie:

q – siła liniowa = 1 kN/m ,
 L – długość wspornika = 1 m ,
 L^* – ramię działania siły = $0,475 \text{ m}$,
 y – mimośród do środka elementu = $1,242/2,508 \text{ cm}$,
 J_z – moment bezwładności względem osi Z = $42,41 \text{ cm}^4$.

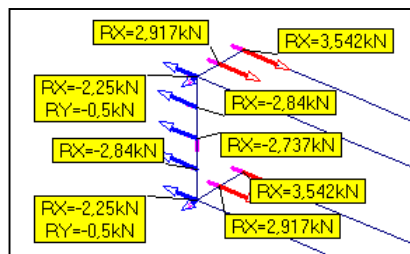
Po podstawieniu wartości otrzymuje się naprężenia teoretyczne równe:

$$\sigma_{(+)} = 13,91 \text{ MPa} \quad \sigma_{(-)} = 28,09 \text{ MPa}$$



Naprężenia dodatnie obliczone numerycznie są mniejsze o 2,6% od wartości teoretycznej, a naprężenia ujemne są większe o 1,7% od wartości teoretycznej.

Po odczytaniu reakcji dla tego wariantu można stwierdzić, że suma reakcji R_y jest równa 1 kN , a moment utwierdzenia wynosi: $M_{uZ} = 2 \cdot (3,542 \cdot 0,5 + 2,917 \cdot 0,25) = 5 \text{ kNm}$, czyli dokładnie tyle samo, co wartości teoretyczne.

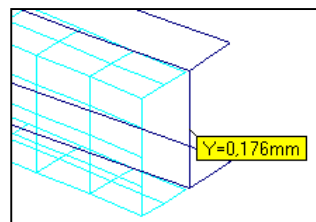


58.1.6. Obciążenie ciężarem własnym -Z

W szóstym schemacie obciążenia przyjęto obciążenie ciężarem własnym przy wektorze grawitacji skierowanym wzdłuż osi Z. Takie obciążenie wywołuje zginanie wspornika ze skręcaniem.

58.1.7. Obciążenie ciężarem własnym +Y

W siódmym schemacie obciążenia przyjęto obciążenie ciężarem własnym przy wektorze grawitacji skierowanym wzdłuż osi Y. Takie obciążenie wywołuje tylko zginanie wspornika, ponieważ płaszczyzna działania obciążenia jest płaszczyzną symetrii przekroju. Ciężar własny wspornika jest równy: $Q = 0,1232 \text{ kN}$. W modelu belkowym można go potraktować jako obciążenie liniowe: $q = Q/L = 0,1232 \text{ kN/m}$. Ugięcie wspornika obciążonego siłami liniowymi jest równe:



$$f = \frac{qL^4}{8EJ}$$

gdzie:

- q – obciążenie liniowe = $0,1232 \text{ kN/m}$,
- L – długość wspornika = 1 m ,
- E – moduł Younga = 210000 Mpa ,
- J – moment bezwładności = $42,41 \text{ cm}^4$.

Podstawiając wartości otrzymano ugięcie swobodnego końca:

$$f = 0,1729 \text{ mm}$$

Ugięcie swobodnego końca obliczone numerycznie jest równe: $f_{\text{MES}} = 0,176 \text{ mm}$ i jest większe o niecałe 2% od wartości teoretycznej.

Naprężenia we wsporniku, wywołane obciążeniem liniowym są równe:

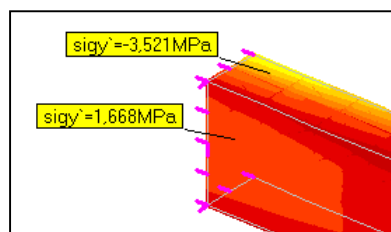
$$\sigma = \frac{qL^* y}{J_z}$$

gdzie:

- q – siła liniowa = $0,1232 \text{ kN/m}$,
- L – długość wspornika = 1 m ,
- L^* – ramię działania siły = $0,475 \text{ m}$,
- y – mimośród do środka elementu = $1,242/2,508 \text{ cm}$,
- J_z – moment bezwładności względem osi Z = $42,41 \text{ cm}^4$.

Po podstawieniu wartości otrzymuje się naprężenia teoretyczne równe:

$$\sigma_{(+)} = 1,714 \text{ MPa} \quad \sigma_{(-)} = 3,461 \text{ MPa}$$



Naprężenia dodatnie obliczone numerycznie są mniejsze o 2,8% od wartości teoretycznej, a naprężenia ujemne są większe o 1,7% od wartości teoretycznej.

Po odczytaniu reakcji dla tego wariantu można stwierdzić, że suma reakcji R_y jest równa 0,1232 kN, a moment utwierdzenia wynosi: $Mu_z = 2 \cdot (0,4363 \cdot 0,5 + 0,3593 \cdot 0,25)$

$$Mu_z = 0,616 \text{ kNm.}$$

Teoretyczny moment utwierdzenia jest równy:

$$Mu_z = \frac{qL^2}{2}$$

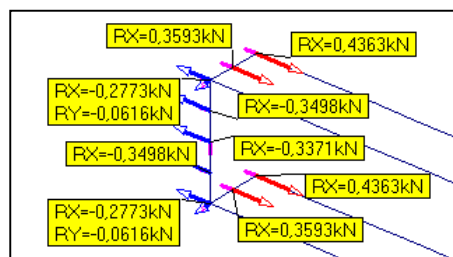
gdzie:

q – obciążenie liniowe = 0,1232 kN/m,

L – długość wspornika = 1 m.

Podstawiając wartości otrzymuje się:

$$Mu_z = 0,616 \text{ kNm}$$



58.1.8. Obciążenie stałym polem temperatury

W ósmym schemacie obciążenia przyjęto stałe pole temperatury 10°C . Takie pole temperatury wywołuje zmianę wymiarów określoną wzorem:

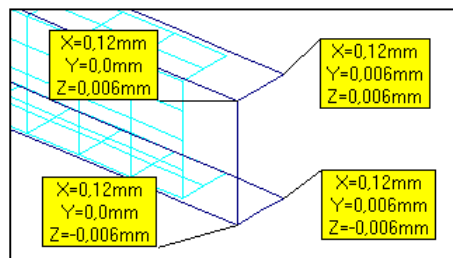
$$\delta_T = L \alpha T$$

gdzie:

L – wymiar,

α - współczynnik rozszerzalności liniowej
= $0,000012 \text{ } 1/^\circ\text{C}$,

T – temperatura = 10°C .



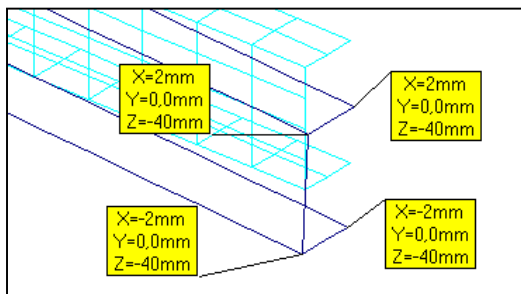
Długość wspornika równa 1m ulegnie zwiększeniu o $\delta_T = 0,12 \text{ mm}$, wysokość przekroju równa 0,1 m ulegnie zwiększeniu o 0,012 mm, a szerokość przekroju równa 0,05 m ulegnie zwiększeniu o 0,006 mm.

Ponieważ warunki podporowe pozwalają na swobodne odkształcenia termiczne stąd zarówno naprężenia jak reakcje są zerowe.

58.1.9. Przeszacowania wstępne podpór

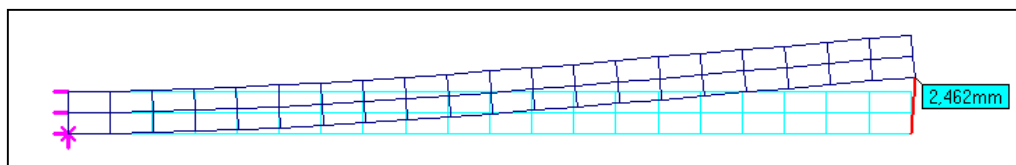
W dziewiątym schemacie przyjęto liniową zmianę przeszacowań wstępnych w podporach o kierunku X w taki sposób, że zamodelowano obrót tego przekroju. W podporach skrajnych zadano przeszacowanie $-2/2$ mm. W podporach pośrednich wartości przeszacowań wstępnych były liniowo zmienne. Takie wymuszenie prowadzi do obrotu wspornika bez pojawienia się naprężeń w elementach.

Z prostej proporcji można obliczyć przeszacowanie węzła na końcu wspornika. Wynosi ono 40 mm.



58.1.10. Obciążenie siłami odśrodkowymi

W dziesiątym schemacie przyjęto wymuszenie siłami odśrodkowymi wywołanymi obrotami wokół osi równoległej do globalnej osi Z przechodzącej przez podparte węzły stojki. Zadano 1000 obr/min. Ze względu na to, że środek ciężkości przekroju nie leży na osi obrotu pod wpływem sił bezwładności wspornik doznaje wygięcia w poziomie.



58.1.11. Dynamika wspornika

W modelu WspornikCeowy przeprowadzono też obliczenia dynamiczne wyznaczając 10 pierwszych częstości i postaci drgań. W tych dziesięciu tylko trzy częstości odpowiadają drganiom giętnym belki wspornikowej. Wartości obliczone numerycznie porównano z wartościami teoretycznymi obliczonymi ze wzoru (dla drgań giętnych):

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

gdzie:

n- numer częstości,

$\alpha_1 = 1,875$, $\alpha_2 = 4,694$, $\alpha_3 = 7,849$, $\alpha_n = (n-0,5)\pi$

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

E – moduł Younga = 210000 MPa ,

γ - ciężar właściwy = 77 kN/m^3 ,

J – moment bezwładności przekroju = $42,41 \text{ cm}^4$,

A – pole przekroju poprzecznego = 16 cm^2 .

Podstawiając wartości otrzymano następujące częstości drgań własnych:

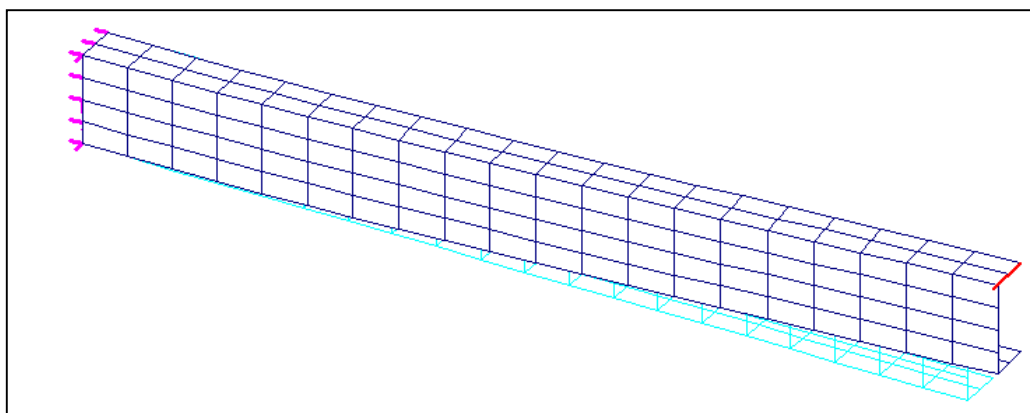
Przykładowe zadania

$$\omega_1 = 296,6; \quad \omega_2 = 1878; \quad \omega_3 = 5251 \text{ [1/s];}$$

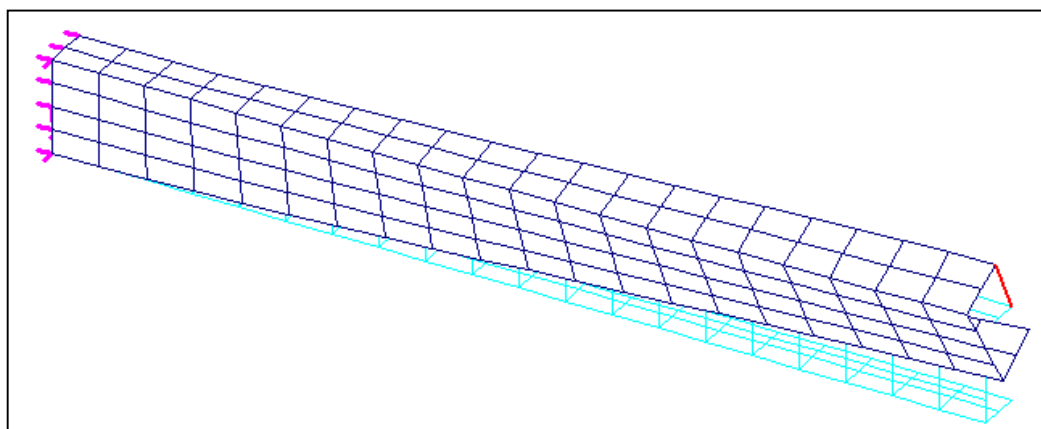
W poniższej tabeli tym częstotścią odpowiadają numery: 1 (różnica 1%), 4 (różnica 4%) i 7 (różnica 11%). Dalej pokazano postacie drgań dla pierwszych ośmiu częstotści.

Nr	w[1/s]	f[Hz]	T[sek]	Błąd[%]
1	293	46,63	0,02144	0,0
2	494,3	78,67	0,01271	0,0
3	981,9	156,3	0,006399	0,0
4	1777	282,8	0,003536	0,0
5	1946	309,7	0,003229	0,0
6	4286	682,1	0,001466	0,0
7	4657	741,2	0,001349	0,0
8	4857	773	0,001294	0,0
9	6549	1042	0,0009594	0,0013
10	6717	1069	0,0009354	0,0012

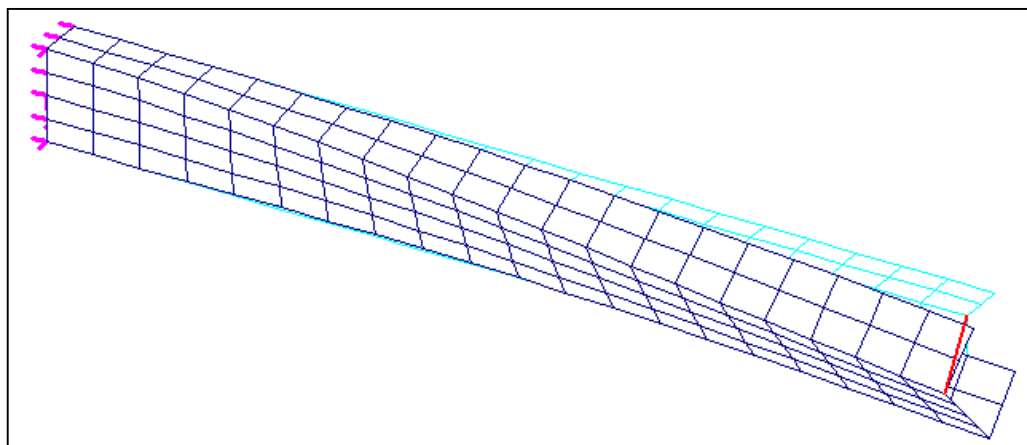
[Drukuj](#)
[Zapisz](#)
[Schowek](#)



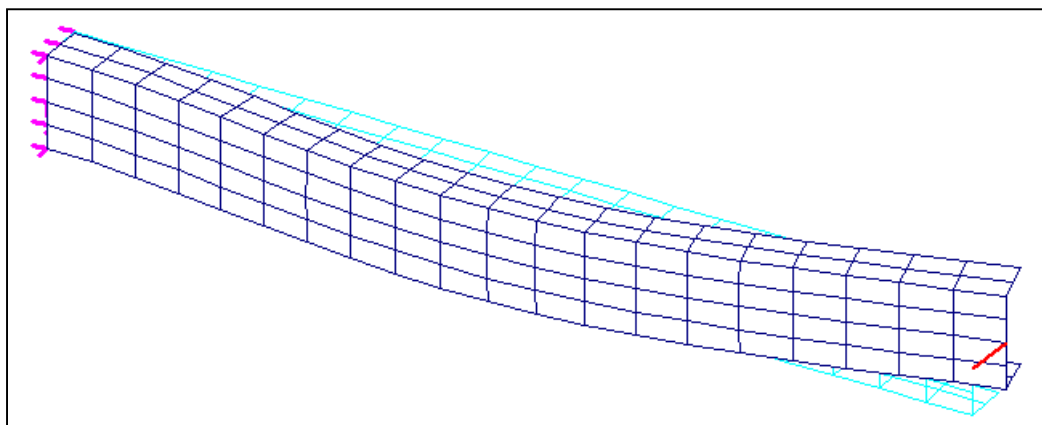
Pierwsza postać drgań własnych (giętne)



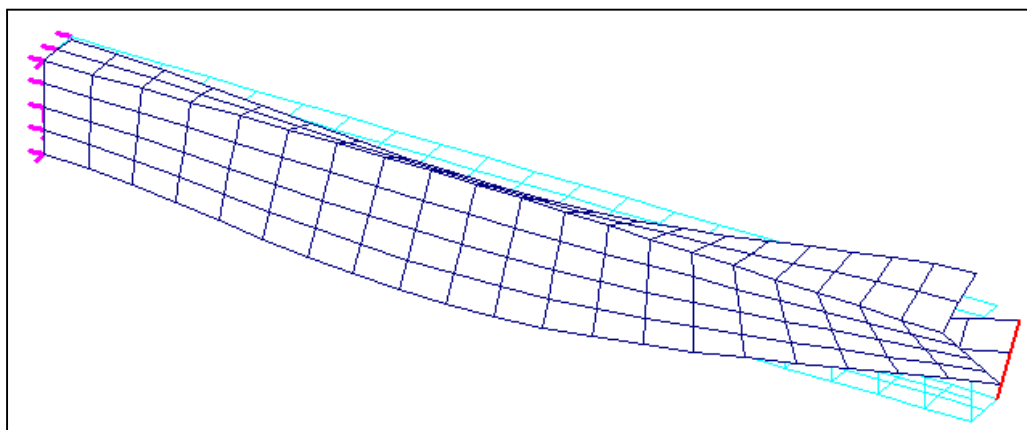
Druga postać drgań własnych (postać skrętne)



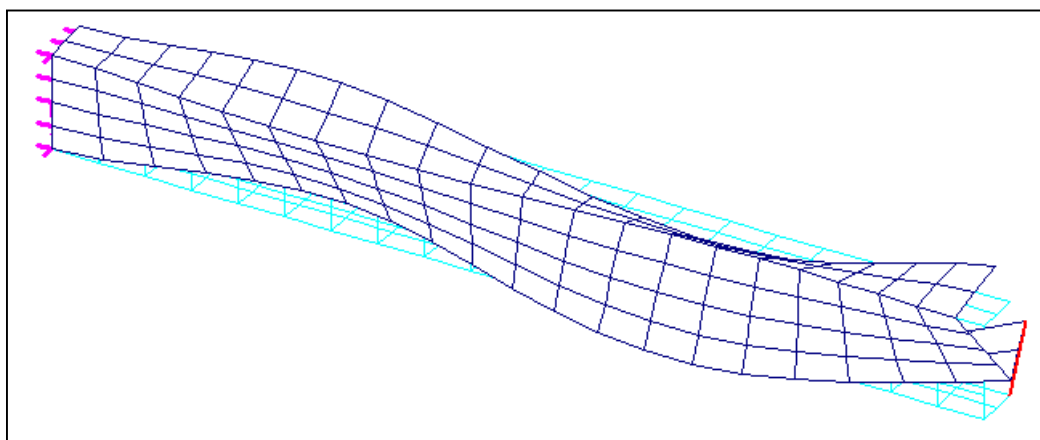
Trzecia postać drgań własnych (postać skrętna)



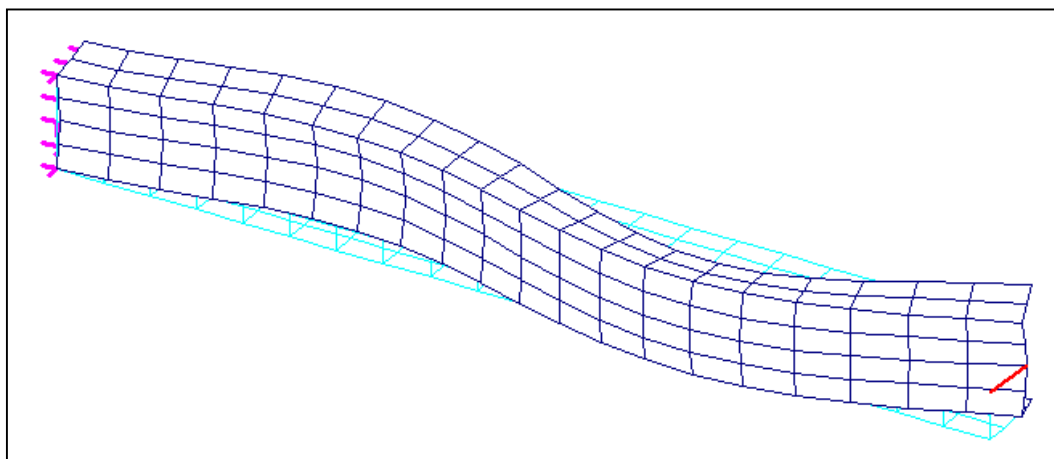
Czwarta postać drgań własnych (druga postać giętna)



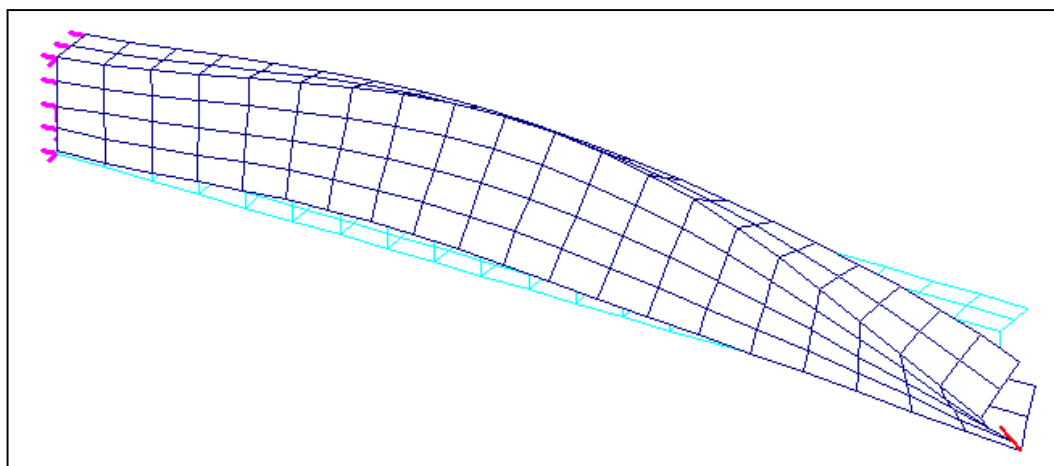
Piąta postać drgań własnych (postać skrętna)



Szósta postać drgań własnych (postać skrętna)



Siódma postać drgań własnych (giętna)



Ósma postać drgań własnych (postać giętno-skrętna)

58.2. Dynamika pasma płytowego

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 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:

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

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

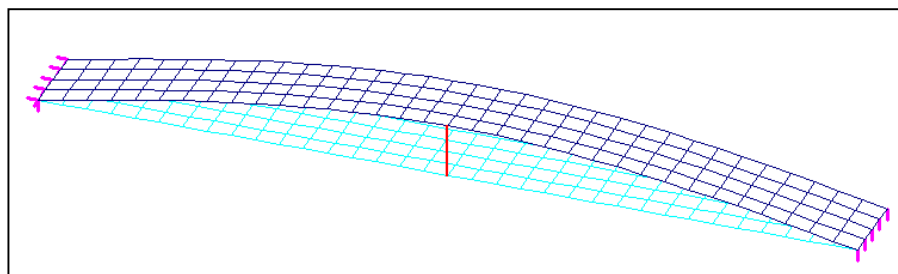
$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Po wstawieniu wartości obliczono pięć pierwszych częstotliwości:

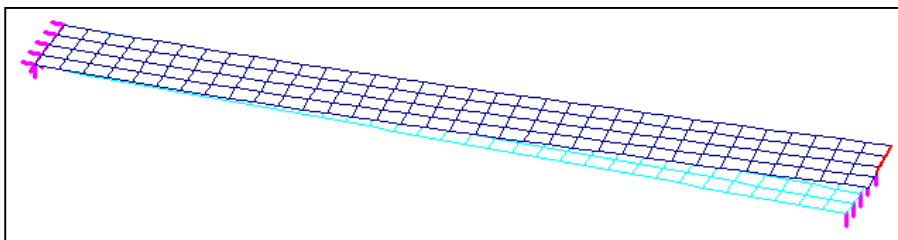
$$\omega_1 = 15,63 \text{ 1/s}, \omega_2 = 62,52 \text{ 1/s}, \omega_3 = 140,66 \text{ 1/s}, \omega_4 = 250 \text{ 1/s}, \omega_5 = 390,7 \text{ 1/s}.$$

Wybierając w module WYNIKI przycisk Częstotliwości otrzyma się listę częstotliwości. Analizując postacie drgań własnych to pierwsza, trzecia, czwarta i szоста odpowiadają drganiom z powyższego wzoru.

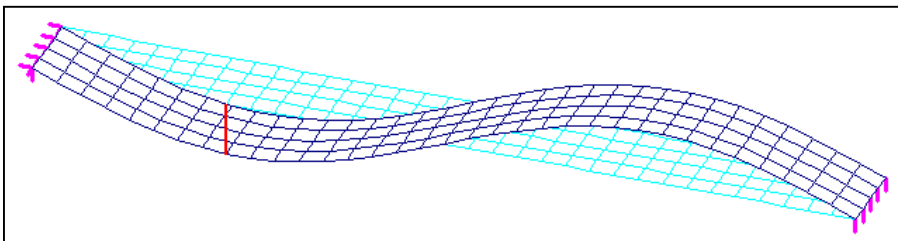
Pierwsza postać
drgań
 $\omega = 15,53 \text{ 1/s}$



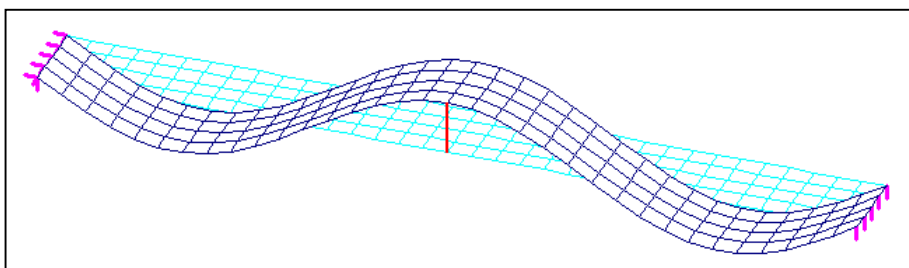
Druga postać
drgań
 $\omega = 34,57 \text{ 1/s}$



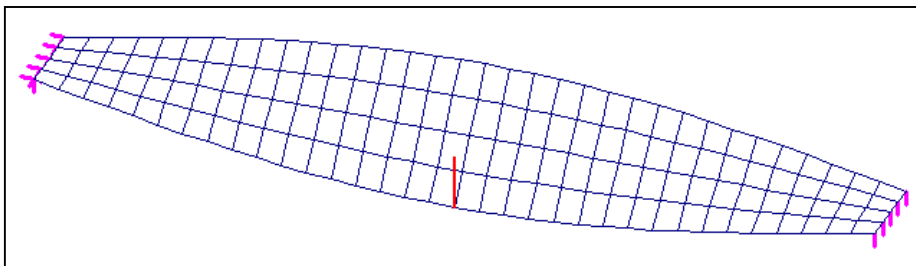
Trzecia postać
drgań
 $\omega = 62,14 \text{ 1/s}$



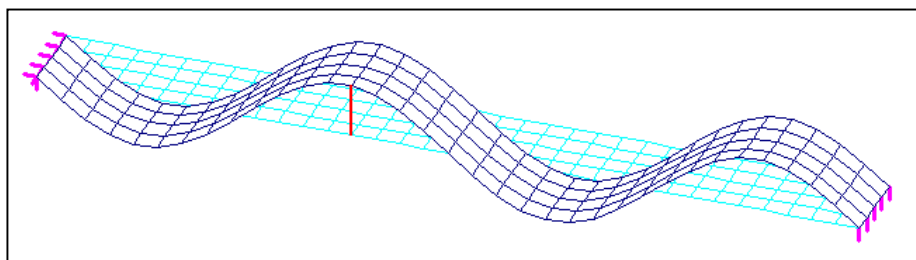
Czwarta postać
drgań
 $\omega = 139,8 \text{ 1/s}$



Piąta postać
drgań
 $\omega = 210,3 \text{ 1/s}$



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



58.3. 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:

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

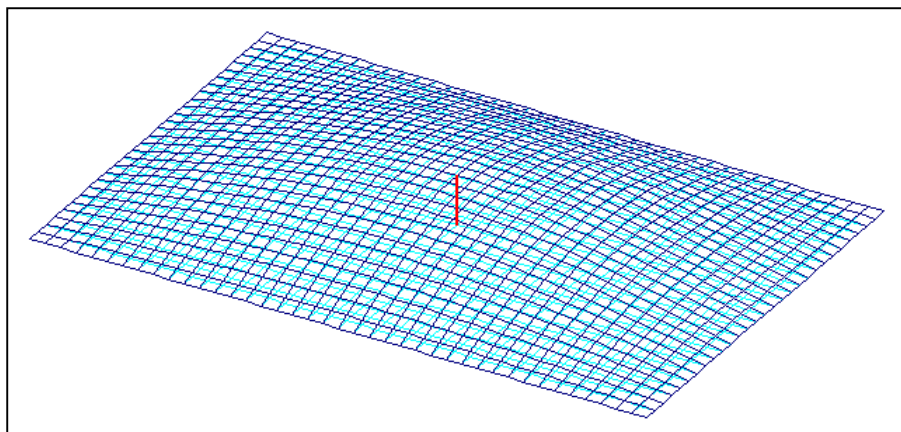
gdzie:

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

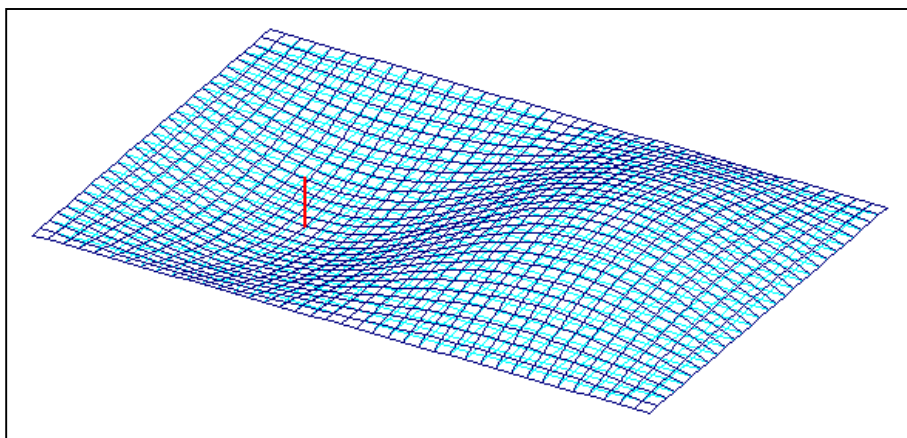
Podstawiając wartości obliczono kolejne częstotliwości własne:

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

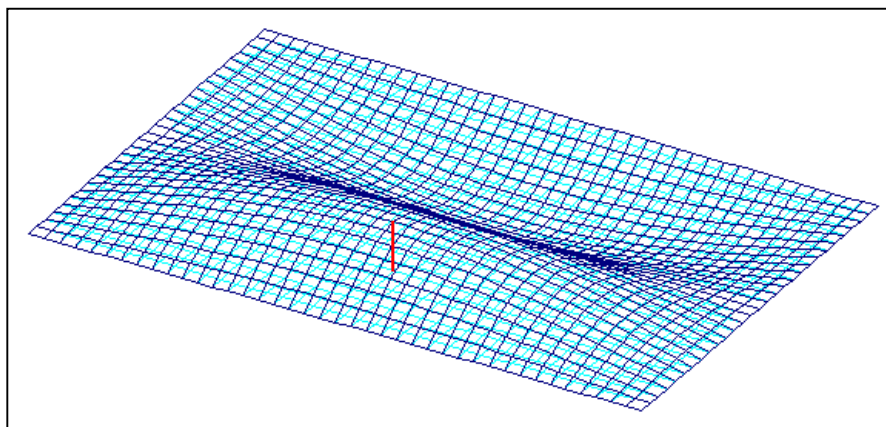
Pierwsza postać
drgań
 $\omega = 35,51 \text{ 1/s}$



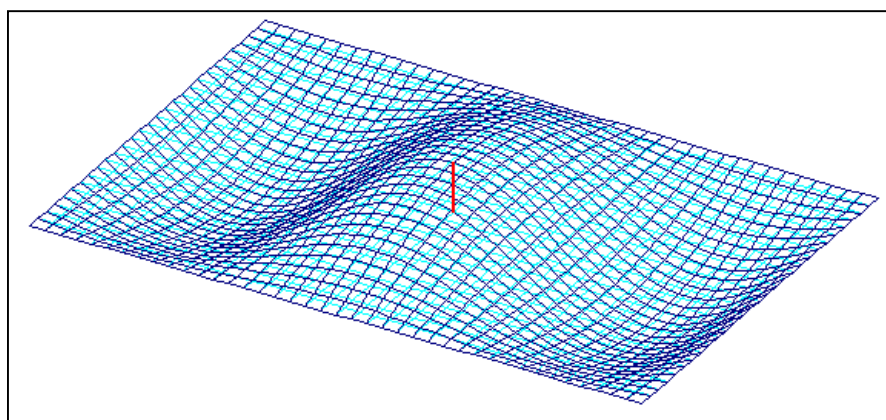
Druuga postać
drgań
 $\omega = 68,34 \text{ 1/s}$



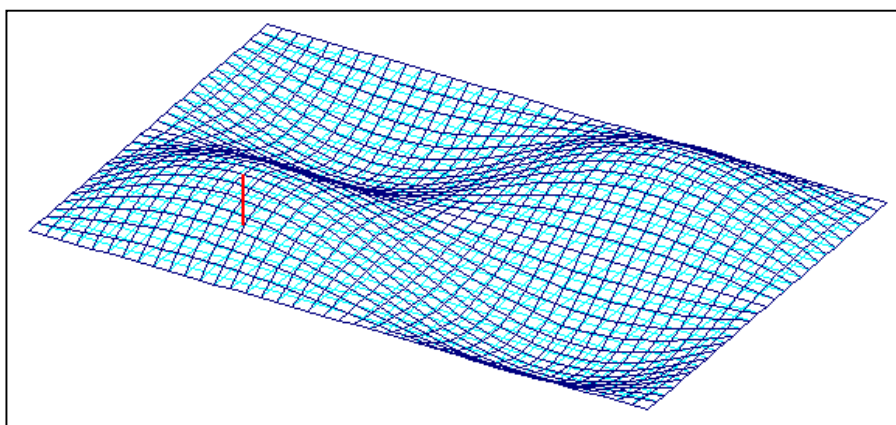
Trzecia postać
drgań
 $\omega = 109,2 \text{ 1/s}$



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



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



58.4. Żelbetowa płyta na stalowym ruszcie

W zadaniu Jezdnia pokazano model żelbetowej płyty o grubości 0,26 m o kształcie równoległoboku. Płyta na całkowitą długość 25 m, szerokość 10 m, a krótsza krawędź jest nachylona do dłuższej pod kątem 76° . Dłuższe krawędzie płyty spoczywają na stalowych podłużnicach o dwuteowym przekroju. Podłużnice są połączone pięcioma stalowymi poprzecznicami też o przekroju dwuteowym. Ogólną postać płyty wraz z rusztem stalowym pokazano obok.

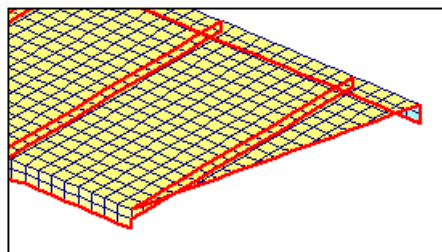
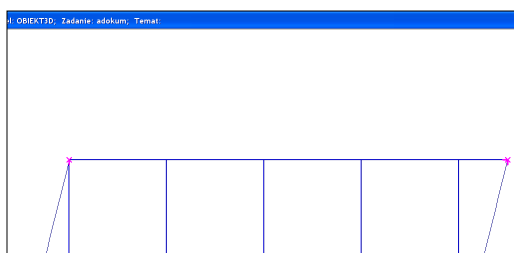
Ponieważ pomiędzy płaszczyzną środkową płyty, a osiami stalowych elementów podporowych jest mimośród skorzystano z przestrzennych możliwości programu i zbudowano model, w którym te mimośrodki są wprowadzone.

W pierwszym kroku na planszy startu wybrano płaszczyznę XY jako początkową, włączono obszar równoległoboczny i zadano wymiary; 25 m podstawa i 10 m wysokość. Pozostawiono kąt 90° ponieważ potrzebowano prostokątnej siatki. Przyjęto oczko siatki 0,5 x 0,5 m. Wybrano beton C20/25 jako materiał i wpisano grubość równą 0,26 m. Po zamknięciu planszy otrzymano prostokątny obszar o wymiarach 25 x 10 m.

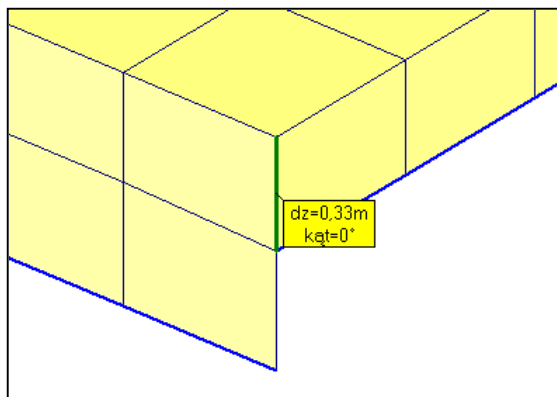
Z menu Elementy wybrano opcję Dodaj linię i na planszy zadano usuwanie elementów po prawej stronie i dociąganie węzłów leżących bliżej niż 0,1 m od zadanej prostej do linii. Po zamknięciu planszy wybrano jako pierwszy lewy dolny węzeł, następnie na górnej krawędzi węzeł leżący w odległości $10 * \tan(14^\circ) \approx 2,5$ m i trzeci węzeł w górnym, lewym narożniku. Przy takim układzie węzłów i deklaracji usunięcia elementów po lewej stronie program faktycznie usunął trójkątny obszar po lewej stronie. To samo powtórzono po prawej stronie wybierając jako pierwszy węzeł z górnego prawego narożnika, następnie węzeł na dolnej krawędzi w odległości 2,5 m od prawego narożnika i na końcu sam prawy dolny narożnik. Siatka jezdni była gotowa.

Teraz należało wprowadzić elementy powłokowe modelujące mimośród pomiędzy płaszczyzną środkową płyty, a osią belki podłużnicy. Przyjęto przekrój podłużnicy jako dwuteownik bisymetryczny o wysokości 1000 mm. Zatem mimośród jest równy sumie połowy grubości płyty i połowie wysokości przekroju, w sumie 0,63 m. Z menu Elementy wybrano opcję Dodaj ścianę, na planszy wprowadzono wysokość ściany = -0,63, ujemny wymiar utworzy ścianę pod płytą. Przyjęto że wysokość tej ściany będzie podzielona na dwa. Gdyby nie było poprzecznic o znacznie mniejszej wysokości to nie trzeba byłoby dzielić wysokości tej ściany. Na planszy przyjęto, że elementy fikcyjnej ściany będą miały grubość 0,26 m i będą z betonu C20/25. Po zamknięciu planszy wybrano odcinkiem obie podłużne krawędzie płyty.

Na podłużnice przyjęto przekrój IPBS400 o wysokości 0,4 m. Ściana mimośrodu musi mieć zatem wysokość 0,33 m. Na planszy definicji ściany zadano wysokość = -0,33 m i podział wysokości = 1. Pozostałe dane zostały bez zmian. Po zamknięciu planszy wybrano pięć miejsc, w których będą poprzecznice. Ponieważ promień sąsiedztwa jest równy 0,05 nastąpiło automatyczne połączenie węzłów nowych ścian z węzłami ze starych.



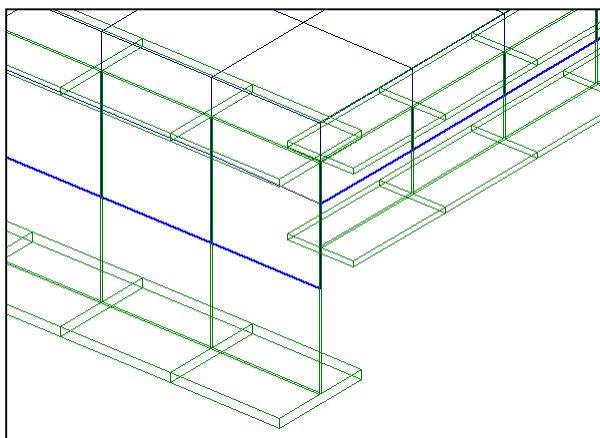
Program ma zasadę, że nowe węzły „dociąga” do istniejących stąd w tym przypadku położenie tych węzłów nie odpowiada założonemu mimośroduwi. Z menu węzły wybrano opcję Przesuń węzły i po wybraniu tych węzłów wpisano ich nową współrzędną $Z = -0,33$ m. Trzeba to było zrobić w dziesięciu węzłach. Łączenie tych węzłów w takim układzie jest dość istotne ponieważ gwarantuje poprawną pracę rusztu. Gdyby program ich nie połączył automatycznie to należałoby wywołać z menu Węzły opcję Połącz węzły i po wybraniu par węzłów deklarować do którego mają zostać dołączone.



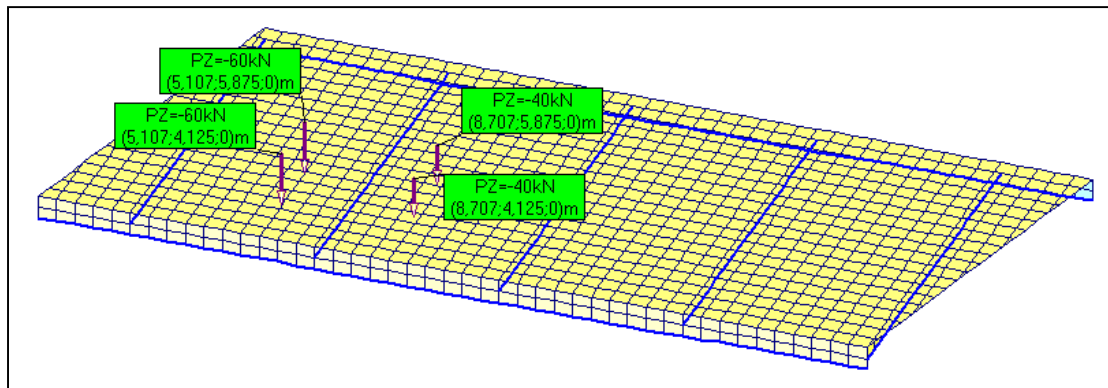
Teraz z menu Ogólne wybrano opcję Elem. belkowe. Po jej włączeniu można do modelu wprowadzać elementy belkowe. Po wybraniu z menu Elementy – Belkowe opcji Dodaj pręty na planszy wyłączono ciągłe zadawanie, wpisano podział odcinka równy 1 i pozostawiono materiał Beton. Wprowadzono elementy belkowe po dolnych krawędziach ścian mimośrodów.

Teraz przystąpiono do zadawania materiału. Najpierw z menu Fragment wybrano opcję Tylko Belki. Następnie z menu Materiał wybrano opcję Stal. Na planszy danych włączono „Dodaj nowy” i oknem wybrano wszystkie elementy belkowe. W elementach ścian mimośrów był przyjęty materiał Beton, a przecież takich ścian w modelu nie ma. Dlatego też najpierw w menu Fragment wybrano opcję Tylko Powłoki, następnie Wybór płaszczyzny i wybrano płaszczyznę płyty. W podręcznym menu włączono opcję Usuń i pozostawiono na ekranie tylko elementy ścian mimośrów. Teraz z menu Materiał wybrano opcję Inny i na planszy danych wpisano wszystkie parametry betonu B25 z wyjątkiem ciężaru właściwego który pozostał zerowy. Ten materiał zadano w elementach ścian mimośrów.

Kolejnym krokiem było zadanie przekrojów w elementach belkowych. Z menu Przekrój wybrano opcję Obliczany – Nowy i na planszy MOMBEZa wybrano zakładkę Proste. Włączono Dwuteownik – Bisymetryczny i wpisano wymiary: wysokość 1000 mm, szerokość 450 mm, grubość środnika 12 mm i grubość pasów 32 mm. Po zamknięciu planszy MOMBEZa ten przekrój został przyjęty we wszystkich elementach belkowych. Ponownie wywołano planszę MOMBEZa i na zakładce Spawane wybrano IPBS z wyróżnikiem 400. Po zamknięciu planszy MOMBEZa wybrano wszystkie elementy poprzecznic.

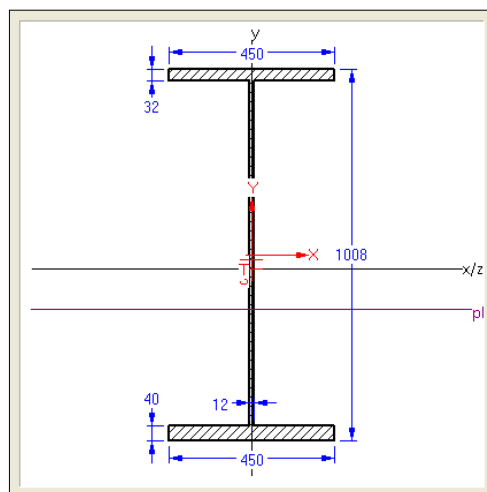


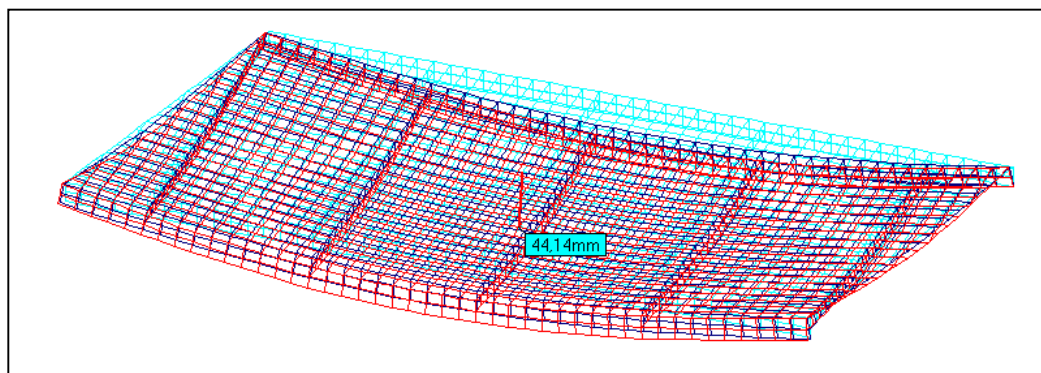
Przed zadaniem obciążeń wprowadzono podparcie. Podpory wprowadzono na końcach podłużnic. Przyjęto jeden punkt stały, w drugim odebrano przemieszczenie w kierunku poprzecznym do osi podłużnej, a w pozostałych dwóch węzłach wprowadzono tylko pionowe podparcie.



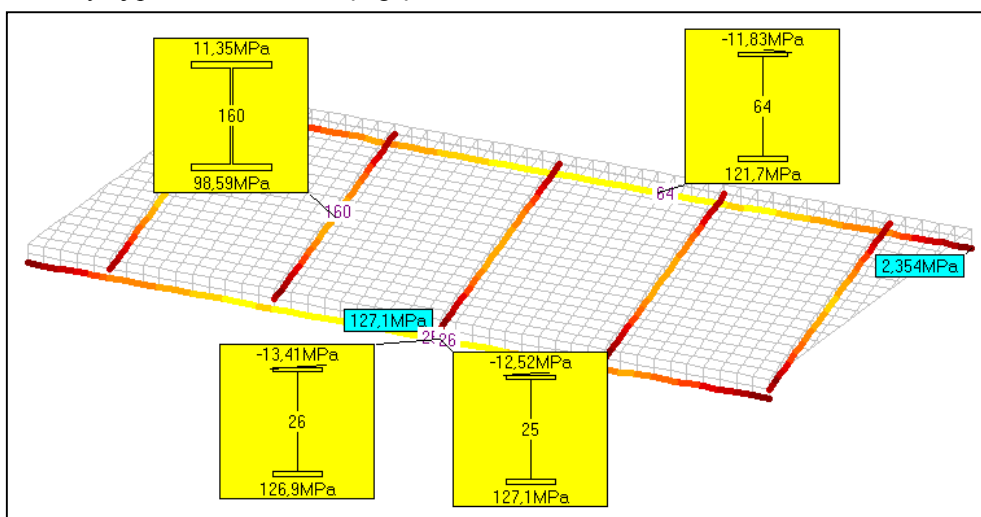
W pierwszym schemacie zadano obciążenie ciężarem własnym. Następnie zamknięto planszę z obciążeniami i z menu Obciążenie wybrano opcję Siły ruchome – Drogowe. Na planszy definicji wybrano pojazd typu S, most klasy D, prostoliniowy przejazd z krokiem 2 m. Po zamknięciu planszy danych wybrano dwa węzły kierunkowe określające tor jazdy i generując 15 położen. Poniżej pokazano jedno z położen pojazdu. Odczytano siły i współrzędne punktów przyłożenia.

Po rozwiązaniu wprowadzono mnożnik obciążenia zadeklarowany na planszy definicji obciążenia ruchomego. Po włączeniu obwiedni i warunku Maximum ograniczono pokazywanie modelu do Belek i pokazano naprężenia. Ponieważ poziom naprężeń w podłużnicach był za duży postanowiono wprowadzić nakładkę z blachy o grubości 8 mm na środkowej części pasa dolnego. Przyciskiem Dane wrócono do modułu zadawania danych, z menu Przekrój wybrano opcję Obliczany – Nowy i na planszy MOMBEZa wybrano zakładkę Proste. Włączono Dwuteownik, Bisymetryczny i wpisano wymiary: wysokość 1008 mm, szerokości pasów górnego i dolnego 450 mm, grubość górnego pasa 32 mm, grubość dolnego pasa 40 mm. Z planszy Pełna lista z zakładki Parametry przekrojowe odczytano położenie środka ciężkości = 37,58 mm w stosunku do punktu leżącego w połowie wysokości. Zatem w stosunku do górnej krawędzi przekroju środek ciężkości leży w odległości $504 + 37,58 \text{ mm} = 541,58 \text{ mm}$. Po zamknięciu planszy MOMBEZa wprowadzono nowy przekrój do elementów podłużnicy na odcinku pomiędzy drugą i czwartą poprzeczną. Węzły elementów z nowym przekrojem muszą leżeć w odległości $541,58 + 130 \text{ mm} = 671,58 \text{ mm}$ od płaszczyzny płyty. Model pokazano w rzucie na płaszczyznę X-Z i z menu Węzły wybrano opcję Przesuń węzły. Wybrano odpowiednie węzły i wpisano ich nową współrzędną Z. Po tej zmianie powtórnie obliczono zadanie.

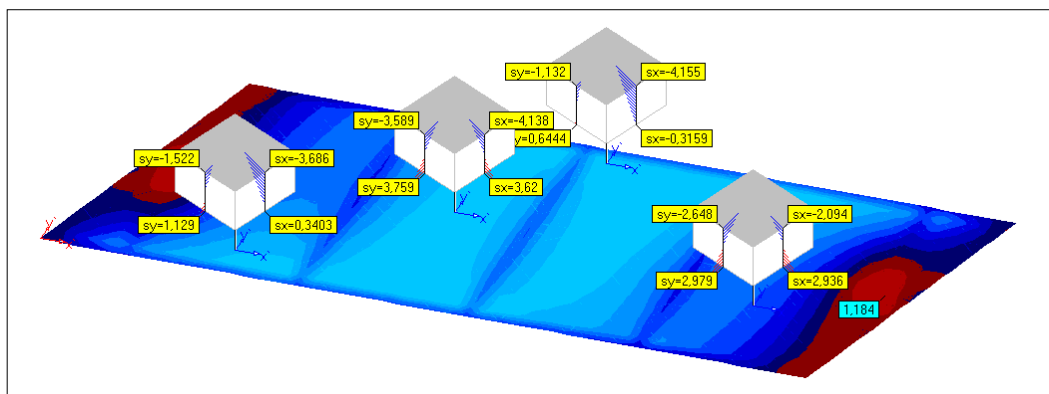




Powyżej pokazano obwiednię ugięć modelu.



Na kolejnym rysunku pokazano odczyty ekstremalnych wartości naprężeń w elementach rusztu. Warto zwrócić uwagę na bardzo małe wartości naprężeń w górnych włóknach i na położenie osi obojętnej zginania która np. w poprzecznikach jest poza przekrojem.



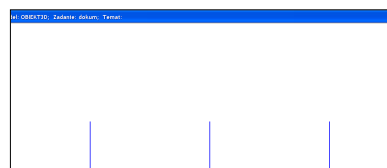
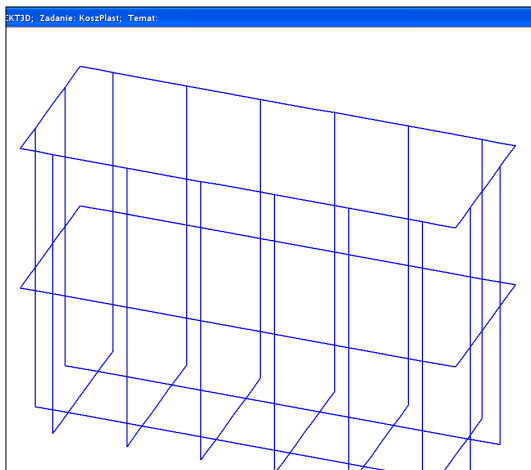
Powyżej pokazano odczyty składowych stanu naprężenia z rozkładem na grubości powłoki. Widać wyraźnie że są miejsca gdzie w poprzek grubości jest naprężenie ściskające.

58.5. Stalowy kosz z plastikowym wkładem

W zadaniu KoszPlast pokazano jak zbudować model kosza z profili stalowych w plastikowym wkładem wykonanym z polipropylenu. W koszu przechowywana jest żrąca ciecz. Kosz ma kształt prostopadłościanu o długości 5,1 m, szerokości 1,8 m i wysokości 3,58 m. Są to wymiary wewnętrzne plastikowego wkładu. Grubość ścianki plastikowego wkładu jest równa 30 mm. Ścianki plastikowego wkładu opierają się o konstrukcję nośną kosza, a dodatkowo są podparte poziomymi podpórkami rozmieszczonymi pomiędzy słupami kosza. Dno wkładu zabezpieczone jest z kolei stalową blachą o grubości 6 mm która spoczywa na elementach dolnego rusztu. Przekrój stalowych elementów kosza nie może być większy od 140 mm. Ponieważ w temperaturze pracy $T_p = 70^{\circ}\text{C}$ moduł sprężystości polipropylenu jest równy $E = 400 \text{ MPa}$ stąd przy obliczeniach wytrzymałościowych należy uwzględnić tylko układ stalowy. W modelu wprowadzono elementy powłokowe, ale głównie dla ułatwienia przy zadawaniu obciążeń hydrostatycznych. Co prawda pozwoliło to też określić gęstość pomocniczego uzebrwania ograniczającego wybrzuszenia ścianek.

W pierwszym kroku określono teoretyczne wymiary kosza. Do wymiarów wewnętrznych dodano grubość dwóch ścianek ($2 \times 30 \text{ mm}$) i wysokość przekroju (140 mm). Otrzymano długość = 5,3 m, szerokość 2,0 m i wysokość 3,68 m. Przy wysokości dodano tylko jedną grubość i połowę wysokości przekroju. Przyjęto postać konstrukcyjną kosza. Duża ściana (boczna) składa się z sześciu pionowych słupów. Odległość między słupami wynosi 0,9 m, a skrajne słupy są umieszczone w odległości 0,4 m od płaszczyzny ściany czołowej. Ściany czołowe składają się z dwóch słupów. Odległości między słupami jest równa 0,5 m, i tyle samo wynosi odległość od płaszczyzny ściany bocznej. Słupy są związane poziomymi opaskami u góry kosza i w połowie wysokości. Dno kosza stanowi ruszt powstały z połączenia dolnych punktów słupów z przeciwległych ścian. Model ma dwie pionowe płaszczyzny symetrii. Przy budowie modelu skorzystano z tego faktu zaczynając modelowanie od $\frac{1}{4}$ kosza. Ponieważ główna konstrukcja jest prętowa stąd na planszy startowej włączono przycisk Rama3D i po pojawieniu się okna danych do ramy wybrano płaszczyznę XY (dno kosza)

jako startową. Nie włączano siatki punktów magnetycznych wpisując wprost współrzędne kolejnych węzłów. Wpisując współrzędne początku ($X=0; Y=0,5$) i końca ($X=2,65; Y=0,5$) wprowadzono podłużny pręt. Następnie z menu podręcznego (prawy przycisk myszy) wybrano opcję Nowy pręt i zadano nowy element o współrzędnych początku ($X=0,4; Y=0$) i końca ($X=0,4; Y=1$). Otrzymano dwa elementy prętowe nie przecinające się ułożone w kształcie poziomego krzyża. Przyciskiem Zakończ zamknięto wstępną fazę. Z menu Elementy – Prętowe wybrano opcję Skrzyżowane i oknem wybrano środki obu elementów. Program połączył elementy tworząc model z czterech prętów.



Teraz z menu Elementy – Pręty wybrano opcję Powiel, wskazano dwa pionowe pręty i na planszy danych do powielenia włączono „Liniiowo” w kierunku osi X zadano przyrost 0,9 m i wpisano powtórzenie 2x. Po zamknięciu planszy powstał układ pokazany na rysunku obok.

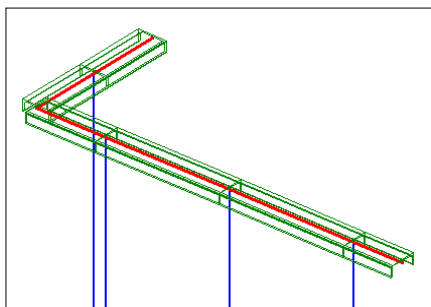
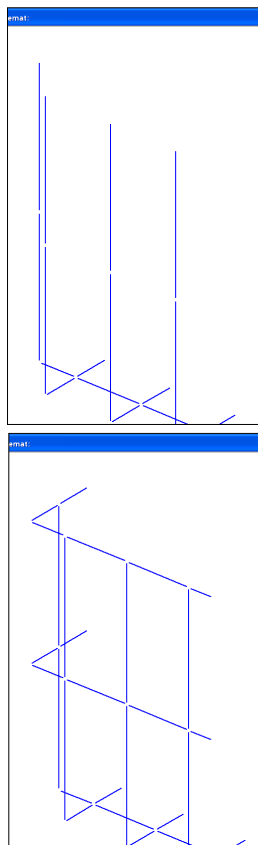
Po powieleniu model pokazany został automatycznie w widoku z pionową osią Z. Teraz z menu Elementy – Pręty wybrano opcję Dodaj pręty. Na planszy danych wyłączono ciągle zadawanie i włączono podział odcinka na dwa. Następnie wybierano odpowiednie węzły istniejącego rusztu i przy węźle końca klikano w ekran. Na planszy współrzędnych raz wpisano przyrost po osi Z = 3,68 m. Otrzymano układ pokazany na rysunku obok.

Jeśli do układu rusztu wprowadzono by przekrój to można było wykorzystać opcję Dodaj słup (menu Elementy – Belkowe). Wtedy wystarczy pokazać dolne węzły słupów.

Teraz wprowadzono pręty górnego wieńca. Z menu Elementy – Pręty wybrano opcję Dodaj pręty. Na planszy wrócono do podziału odcinka na jeden i włączono ciągle zadawanie. Ponieważ nie ma węzłów początku i końca stąd zadawanie zaczęto od kliknięcia w ekran. Na planszy współrzędnych wpisano ($X=0$; $Y=1$; $Z=3,68$). Po zamknięciu planszy na ekranie pojawił się węzeł wraz z promieniem wiodącym. Ponownie kliknięto w ekran i na planszy współrzędnych wpisano tylko przyrost współrzędnych $dY=-1$ m. Po raz trzeci kliknięto ekran i na planszy wpisano tylko przyrost współrzędnej $dX=2,65$ m. Pozostałe przyrosty wyzerowano. Otrzymano elementy górnego wieńca. Elementy te zostały automatycznie dołączone do słupów.

W kolejnym kroku z menu Elementy – Pręty wybrano opcję Powiel i metodą płaszczyzny (podręczne menu które pokazuje się po naciśnięciu prawego przycisku myszy) wskazano elementy wieńca. Na planszy powielania włączono powielanie liniowe, zadano przyrost współrzędnej $dZ = -1,84$ i zamknięto planszę przyciskiem [OK.]. Otrzymano układ pokazany obok.

Teraz rozpoczęto wprowadzanie przekrojów. Z menu Przekrój – Obliczany – Nowy wywołano planszę MOMBEZa na której wybrano Dwuteownik, HEB, wyróżnik 140. Po zamknięciu planszy MOMBEZa przekrój ten został przyjęty we wszystkich elementach. Ponownie wybrano Przekrój – Obliczany – Nowy i na planszy MOMBEZa zaznaczono Ceowniki – Normalne wyróżnik 200. Po zamknięciu planszy MOMBEZa przełączono wybieranie elementów na Odcinek (menu podręczne wywoływane prawym przyciskiem myszy) i wybrano początkowy węzeł leżący na środku krótszego boku górnego wieńca (węzeł na podłużnej osi symetrii), następnie wybrano węzeł końcowy na narożniku wieńca. Na planszy kierunku przekrojowej osi y' wybrano główną oś X, następnie wybrano węzeł narożny górnego wieńca i węzeł na końcu w poprzecznej płaszczyźnie symetrii. Tym razem wybrano oś Y jako kierunek przekrojowej osi y' . W elementach górnego wieńca zadano przekrój ceowy.



Po raz kolejny wybrano opcję Przekrój – Obliczany – Nowy i na planszy MOMBEZa włączono Dwuteownik- HEA – 120. Po zamknięciu planszy MOMBEZa przełączono się na wybieranie Odcinkiem i zadano ten przekrój w elementach słupa na ścianie czołowej oraz w górnych częściach słupów ściany bocznej (odcinek pomiędzy wieńcem górnym i środkowym). Na planszy kierunku przekrojowej osi y' wybierano takie osie, aby przekrój półką był ustawiony do środka kosza.

Teraz należało sprawdzić położenie przekrojów HEB140 przyjętych jako pierwszy. Z menu Przekrój wywołano opcję Pokaż i na planszy wybrano HEB140. Okazało się, że na słupach i w środkowym wieńcu trzeba obrócić przekrój o 90° . Można to zrobić na trzy sposoby.

Pierwszy to zadać na nowo przekrój w tych elementach. Z menu Przekrój wybiera się opcję Zadać przekrój – HEB140 i wybiera potrzebne elementy. Na planszy Kierunku przekrojowej osi y' wybiera się potrzebny kierunek. Ten sposób jest taki sam jak zadawanie nowego przekroju.

Drugi sposób polega na obracaniu przekroju. Z menu Przekrój wybiera się opcję Obróć przekrój, następnie wskazuje się odpowiedni element lub elementy i na planszy można wybrać wokół której osi układu elementowego obrócić przekrój. Ten sposób jest jedynym kiedy trzeba ustawić przekroje mono symetryczne lub dowolne.

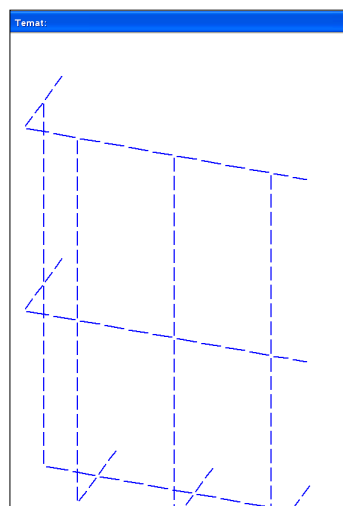
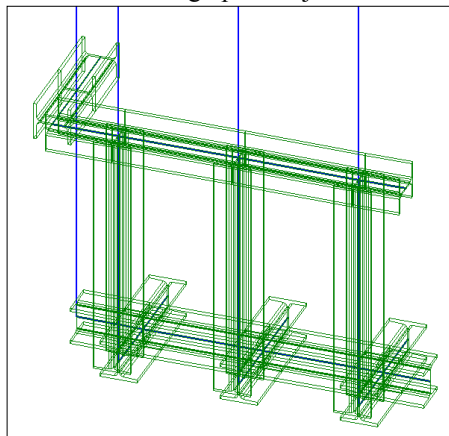
Trzeci sposób polega na wstępnym zadaniu kierunku ustawienia, a następnie na wskazywaniu potrzebnych elementów. Jest to najszybszy sposób jeśli trzeba ustawić dużo elementów w tym samym kierunku. Z menu Przekrój wybiera się opcję Ustaw przekrój i na planszy zadaje się kierunek przekrojowej osi y' , potem wybiera elementy.

Na rysunku obok pokazano ustawienie przekroju HEB140. Zarys przekroju jest powiększony 2x.

Przed zadaniem elementów powłokowych modelujących plastikowy wkład należało wprowadzić dodatkowy podział elementów belkowych. Przyjęto, że najkrótsze odcinki zostaną podzielone na dwa, średnie na cztery, a najdłuższe odcinki (na słupach) na dziesięć części. Z menu Elementy – Belkowe wybrano opcję Podziel pręty i na planszy wprowadzono odpowiednią liczbę podziału, a następnie wybierano elementy. Na rysunku obok pokazano model po wprowadzeniu dodatkowego podziału.

Elementy powłokowe wprowadza się po wybraniu z menu Elementy – Powłokowe opcji Dodaj obszar – Równoległobok. Przy pierwszym wywołaniu opcji Powłokowe trzeba wpisać grubość elementu płaskiego.

Zadawanie obszaru prostokątnego polega na wyborze węzłów bazy i wskazaniu węzła który określi płaszczyznę w której powstanie elementu. Węzeł ten wyznacza też podpowiadaną wysokość. Na planszy danych obszaru równoległobocznego należy zadać podział po wysokości.



Wybierając jako bazę węzły leżące na słupie przy poprzecznej płaszczyźnie symetrii (od dołu do góry) wybrano trzeci węzeł na końcu wieńca. Na planszy zadano podział wysokości równy 2. Pozostałe parametry pozostawiono bez zmian.

Na rysunku obok pokazano pierwszy obszar elementów powłokowych. W kolejnym kroku powtórzono zadawanie obszaru prostokątnego wybierając jako bazę ten sam słup co ostatnio i węzeł wysokości na wierzchołku słupa skrajnego. Na planszy zadano podział wysokości równy 8. Następny krok to wybór skrajnego słupa jako bazy i wskazanie narożnego węzła górnego wieńca.

Ścianę czołową można zadać w jednym kroku wybierając jako bazę węzły z narożnej krawędzi już wprowadzonego obszaru powłokowego, a węzeł wysokości na końcu górnego wieńca. Jest to możliwe ponieważ podział odcinków wieńca jest jednakowy. Gdyby tak nie było należałoby zadać tę ścianę na dwa razy.

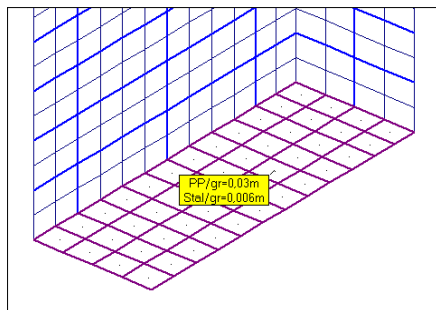
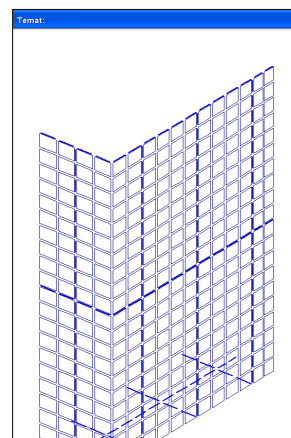
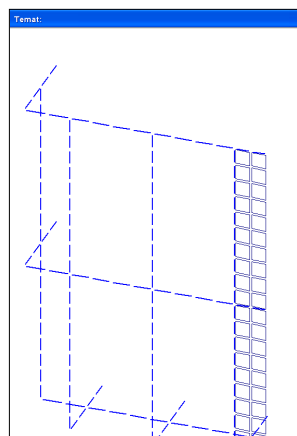
Przed zadaniem elementów dna ograniczono pokazywanie modelu do współrzędnej $Z = 0$ m. W menu Fragment wybrano opcję Współrzędne i przyciskiem Zmin włączono minimalna wartość współrzędnej Z . W oknie odchyłki pozostawiono podpowiadaną wartość 0,01 m.

Elementy dna zadano w jednym kroku wybierając jako bazę węzły dolnej krawędzi ściany bocznej, a węzeł wysokości na końcu krótszego elementu poprzecznego. Na planszy wpisano podział wysokości równy 4. Jako bazy nie można wybrać elementów z dolnej krawędzi ściany czołowej ponieważ podział wzdłuż ściany bocznej nie jest równomierny.

Teraz tak obrócono model aby były widoczne wszystkie płaszczyzny. W menu Elementy – Powłokowe wybrano opcję Zmień stronę. Program zabarwi elementy powłokowe odpowiednio do ustawienia elementowej osi z' . W zadaniach powłokowych ważne jest aby strony elementów były ustawione spójne. Po zabarwieniu okazało się, że istnieje pas elementów na bocznej ścianie o innym kolorze niż reszta oraz kolor dna też jest niespójny. Wybrano oknem elementy ściany, a elementy dna wybrano opcją Płaszczyzna (menu podręczne wywoływane prawym przyciskiem myszy). Po tej operacji od środka otrzymano kolor niebieski, a od zewnątrz kolor żółty.

W czasie zadawania elementów powłokowych przyjmowano jako materiał stal, ponieważ tylko taki był wprowadzony. Teraz z menu Fragment wybrano opcję Tylko powłoki i z menu Materiał opcję Inny. Na planszy zadano moduł Younga $E = 400$ MPa, liczbę Poissona $\nu = 0,2$ i ciężar właściwy $\gamma = 9,2$ kN/m³. Na planszy włączono „Dodaj nowy materiał” i wybrano oknem wszystkie elementy powłokowe.

Ponieważ dno wkładu spoczywa na blasze, która leży z kolei na belkach rusztu stąd do modelu wprowadzono drugie elementy. Przyjęto w nich materiał Stal i grubość 6 mm. Drugie elementy zadano tylko w poziomych elementach dna.



Do zakończenia modelowania należało jeszcze wprowadzić pomocnicze elementy prętowe podpierające plastikowy wkład w polach pomiędzy elementami nośnymi kosza. W polach pod środkowym wieńcem zadano te pręty co dwie warstwy elementów powłokowych. W polach nad wieńcem środkowym zadano te pręty co trzy warstwy elementów powłokowych. W dwóch najniższych warstwach wprowadzono przekrój rury prostokątnej 60x40x3, a w pozostałych przekrój rury kwadratowej 40x40x4. Zadawanie tych danych zaczęto od wprowadzenia tych dwóch przekrojów. Z menu Przekrój wywoływano opcje Obliczany – Nowy i na planszy MOMBEZa wybierano zakładkę Gięte, dalej Rura prostokątna, wyróżnik 60x40 i grubość 3 mm. Po zamknięciu planszy MOMBEZa od razu klikano w przycisk Zakończ.

W ten sposób do opisu zadania wprowadzano nowy przekrój, ale nie zakładano go do żadnego pręta. W ten sam sposób dodano do zadania opis przekroju rury kwadratowej 40x40x4.

Teraz z menu Elementy – Belkowe wybrano opcję Dodaj pręty, na planszy założeń wprowadzono podział równy 1, materiał Stal i przekrój rury 60x40x3. Ustalono też kierunek przekrojowej osi y' jako zgodny z osią Y. Wyłączono też ciągle zadawanie. Po zamknięciu planszy wybierano węzły na krawędzi i na narożniki wkładu plastikowego. Program sam dzieli elementy tak aby były związane z krawędziami elementów. Po zadaniu dwóch warstw kliknięto w przycisk Zakończ i powtórnie wybra-

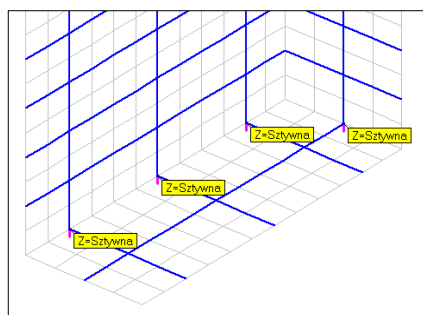
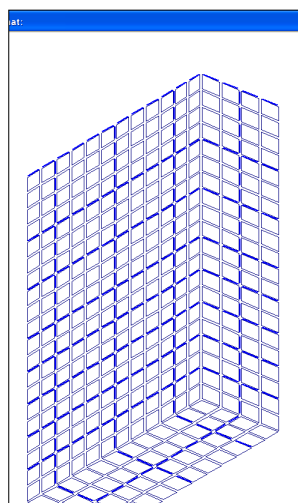
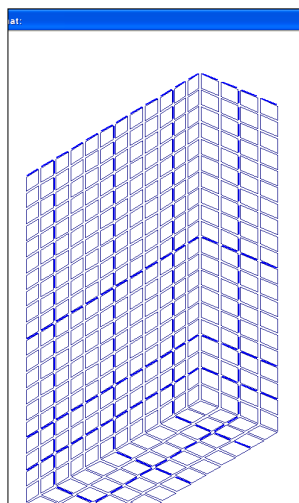
no dodawanie elementów, ale tym razem włączono kierunek przekrojowej osi y' zgodny z główną osią X. Na ścianie szczytowej wprowadzono też dwa odcinki elementów prętowych. Po lewej pokazano na rysunku stan po wprowadzeniu tych elementów.

Zadawanie pozostałych podpórek było łatwiejsze ponieważ na planszy danych wprowadzono kierunek przekrojowej osi y' zgodny z główną osią Z. Teraz wystarczyło wprowadzić elementy od razu w boczną ścianę i ścianę czołową. Gotowy model $\frac{1}{4}$ kosza pokazano po prawej stronie.

Teraz są dwie drogi dalszego postępowania. Można zadać dwie płaszczyzny symetrii lub powielić dwa razy wykorzystując odbicie lustrzane. W tym

drugim przypadku otrzyma się model całego kosza. Same wyniki w jednym i drugim przypadku będą takie same, tyle, że zadanie z całym koszem będzie dużo większe. W zadaniu KoszPlast przyjęto warunki symetrii.

Z menu Więzy wybrano opcję Symetria i wskazano trzy węzły na pionowej płaszczyźnie podłużnej. Program pokazał w tych węzłach ikony odebranych stopni swobody. Powtórnie wybrano tę opcję i wprowadzono warunki symetrii dla płaszczyzny poprzecznej. Podpory wprowadzono w narożnych węzłach kosza.

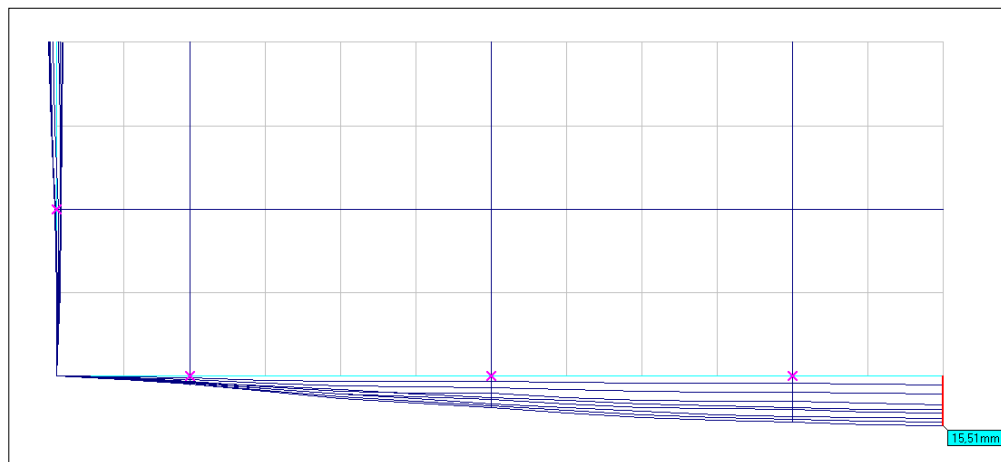
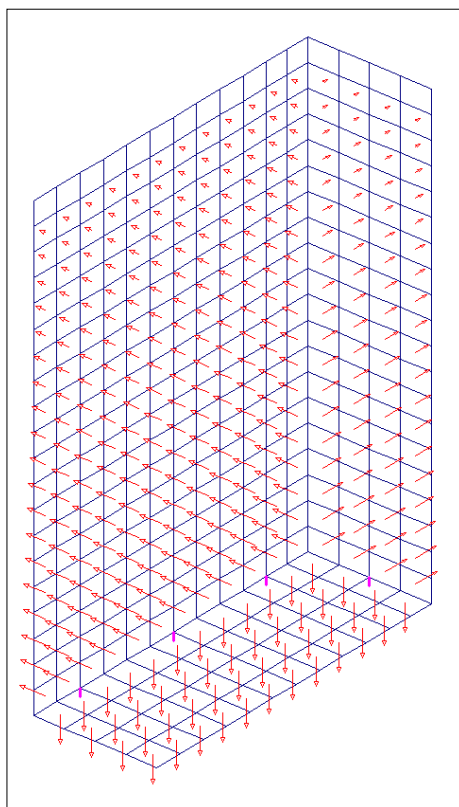


Przyjęto dwa schematy obciążenia: ciężar własny i obciążenie cieczą. Po wybraniu przycisku Obciążenia od razu pokazały się przyciski z obciążeniami. Wybrano Ciężar i zaakceptowano kierunek wektora grawitacji podpowiadany na planszy (-Z). Po wybraniu przycisku Nowy przełączono się na zadawanie nowego schematu. Przyjęto w nim obciążenie hydrostatyczne cieczą o ciężarze właściwym 13 kN/m^3 . Lustro cieczy zadano na poziomie $3,5 \text{ m}$. Na planszy danych włączono jeszcze niebieską stronę jako mokrą.

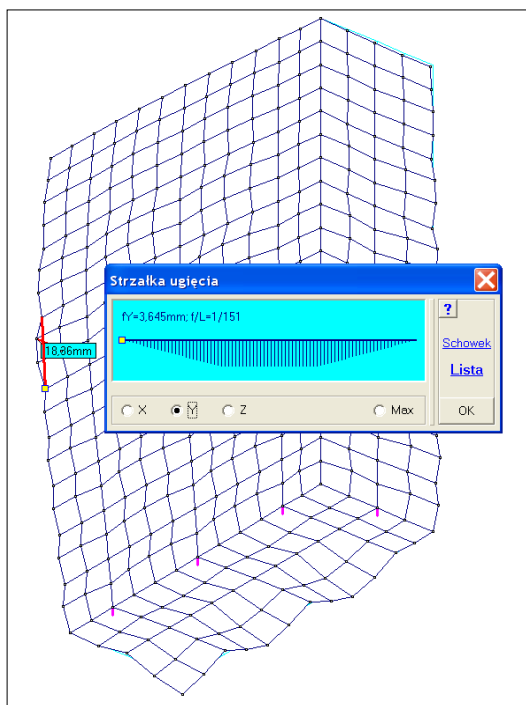
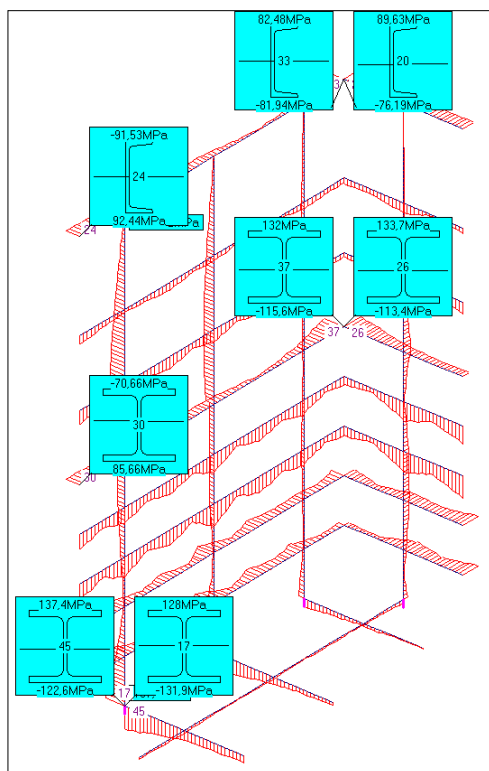
W rzeczywistym obiekcie pole powierzchni na którą działa parcie hydrostatyczne jest równe $5,1 \times 3,4 \text{ m} = 17,34 \text{ m}^2$. W modelu powierzchnia obciążona ma wymiary $5,3 \times 3,5 \text{ m} = 18,55 \text{ m}^2$ i jest większa o 7% od powierzchni rzeczywistej. Należy pamiętać o tej różnicy przy szacowaniu stopnia rezerw w obiekcie rzeczywistym.

Po rozwiązaniu otrzymano przemieszczenia węzłów, siły wewnętrzne i naprężenia. W module WYNIKI przygotowano dodatkowy wariant wyników będący sumą wyników dla pierwszego schematu obciążenia i wynikami dla drugiego schematu obciążenia pomniejszonymi o 7%. Dla tego wariantu pokazano dalej przykładowe wyniki.

Poziome przemieszczenie słupów środkowych na bocznej ścianie osiąga $15,5 \text{ mm}$. Na rysunku poniżej pokazano model ograniczony do samych prętów w rzucie na płaszczyznę XY.

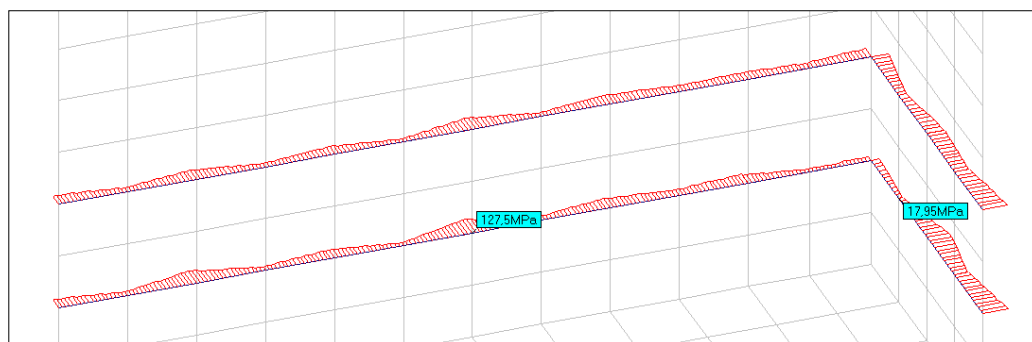


Chcąc określić wielkość wygięcia plastikowego kosza w polach pomiędzy podparciami skorzystano z opcji Strzałka z menu Ugięcie. Opcja ta pozwoliła wyznaczyć wygięcie na bocznej ścianie rzędu $3,6 \text{ mm}$, a w dnie rzędu $9,5 \text{ mm}$.



Po ograniczeniu modelu do elementów prętowych pokazano rozkład naprężeń w formie wykresów rzędnych. Maksymalne naprężenie wynosi 137 MPa i występuje w poziomej belce łączącej środkowe słupy bocznych ścian. W samym słupie w tym miejscu naprężenie osiąga poziom 132 MPa. Na rysunku po lewej stronie pokazano odczytane wartości naprężeń wraz z rozkładem na przekroju. Naprężenia w środkowym wieńcu, w narożniku, dochodzą do 134 MPa. W górnym wieńcu naprężenia nie przekraczają 92 MPa. Tym razem maksymalne naprężenia pojawiają się w połowie dłuższego boku wieńca.

W programie jest wygodny mechanizm szybkiego sprawdzania ekstremalnych wartości. Wystarczy w menu Fragment wybrać opcję Przekroje i na planszy zostawić tylko pierwszy przekrój. Program narysuje elementy z pierwszym przekrojem i poda miejsce i wartości maksymalnych naprężeń. Nad przyciskiem Ośie pokaże się przycisk z trójkątami który pozwala sekwencyjnie zmieniać pokazywane przekroje. Dla każdego fragmentu będzie pokazywana maksymalna wartość i miejsce jej występowania (poniżej elementy z R60x40x3).

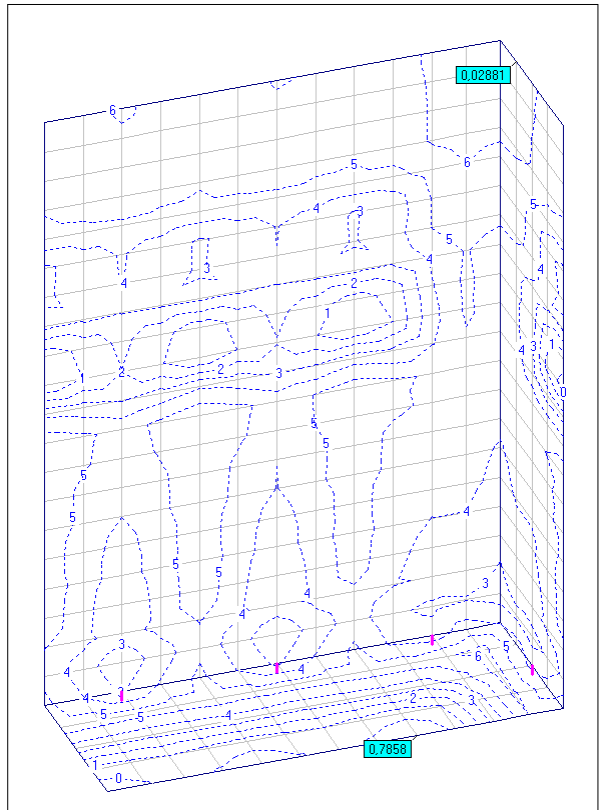


Przykładowe zadania

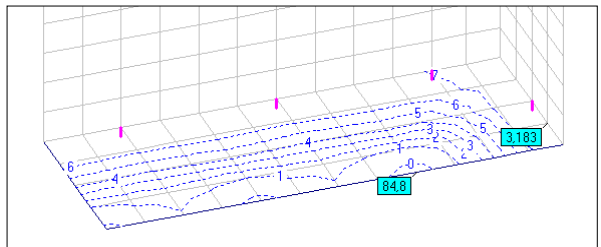
Dysponując maksymalną wartością naprężenia można oszacować współczynnik bezpieczeństwa konstrukcji. Przyjmując że kształtowniki są wykonane ze stali St3S można przy tych grubościach przyjąć $R_{\min} = 235$ MPa. Zatem współczynnik bezpieczeństwa będzie wynosił 1,72.

Oczywiście korzystając z możliwości programu można przeprowadzić wymiarowanie konstrukcji stalowej wg PN-90/B-03200, otrzymując stopień wykorzystania nośności przekroju dla: HEB140 – 0,6, dla HEA120 – 0,51, dla C200 – 0,51, dla R60x40x3 – 0,49 i dla R40x40x4 – 0,5.

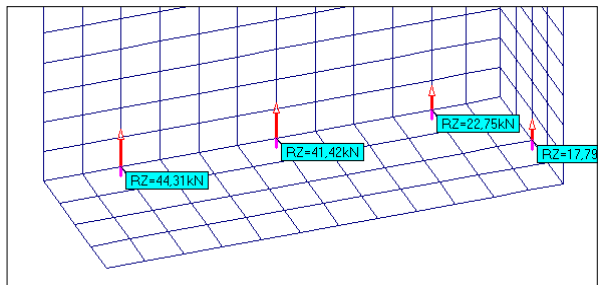
Po ograniczeniu modelu do elementów powłokowych można poznać rozkład naprężeń w plastikowym wkładzie. Największe naprężenia występują w dnie i wynoszą 0,7858 MPa. Należy pamiętać że jest to polipropylen.



W menu Naprężenia pojawi się opcja Drugie elem. Po włączeniu pokaże się rozkład naprężeń w blasze która jest zadana w elementach dna. Poziom naprężen w tych elementach wynosi 84,8 MPa. Obok pokazano rozkład tych naprężeń.

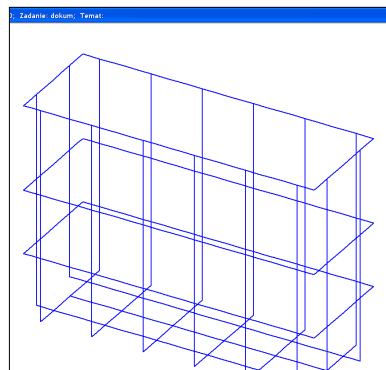


Na rysunku obok pokazano wartości reakcji jakie pojawiają się w podpartych węzłach.

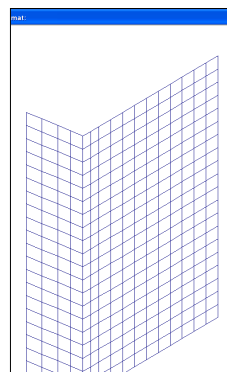
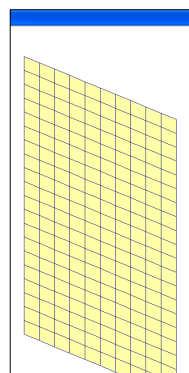


58.6. Stalowy, uzebrowany pojemnik

W zadaniu KoszStal pokazano jak zbudować model prostopadłościennego pojemnika ze stalowej blachy, uzebrowanego profilami. Pojemnik służy do przechowywania materiału sypkiego. Wymiary wewnętrzne tego pojemnika wynoszą: długość 5,1 m, szerokość 1,8 m i wysokość 3,68 m. Pojemnik wykonany jest z blachy o grubości 6 mm. Główne uzebrowanie w postaci układu słupów i opasek wykonane jest z profilu HEA140. Górny wieńiec ma przekrój C200. Ponadto z kątownika L80x40x6 wykonano pomocnicze uzebrowanie blachy. Wszystkie żebra są przyspawane do blachy od zewnątrz. W ten sposób od środka jest gładka powierzchnia. Na rysunku obok pokazano układ głównych żeber pojemnika.

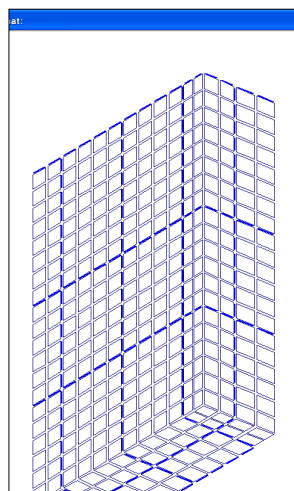


Przyjęto, że na ścianach bocznych pionowe żebra są rozmieszczone co 0,9 m, na ścianach szczytowych odległość między żebrami wynosi 1,0 m. Ponieważ żebra są przyspawane do poszycia stąd przy wyznaczaniu parametrów przekrojowych musi się uwzględnić szerokość współpracującą blachy. Z drugiej strony model powłokowy będzie zbudowany na wymiarach wewnętrznych powiększonych o grubość blachy. Ponieważ są dwie pionowe płaszczyzny symetrii stąd zbudowano model obejmujący ¼ obiektu. Tym razem budowanie modelu rozpoczęto od wprowadzenia elementów powłokowych modelujących poszycie. Na planszy startu wprowadzono jako początkową płaszczyznę X-Z. W kierunku osi X wpisano wymiar 2,25 m (2,5 razy odległość między pionowymi żebrami). W kierunku osi Z zadano wymiar 3.68. Wprowadzono oczko o wymiarach 0,225 x 0,184 co daje podział po osi X równy 10, po osi Z równy 20. Pierwszy obszar po pokazaniu go z pionową osią Z pokazano na rysunku obok. Po wywołaniu z menu Elementy opcji Dodaj obszar – Równoległobok dodano obszar o wymiarach 3,68 x 0,3 m. Jako bazę wybrano pionową lewą krawędź istniejącego obszaru. Węzeł kierunkowy wybrano z istniejących już węzłów. Na planszy danych obszaru wprowadzono wysokość 0,3 m, jej podział na 2 i kierunek utworzenia -T (wynika to z przyjęcia trzeciego węzła kierunkowego). Kolejnym obszarem będzie fragment ściany czołowej o wymiarach 3.68 x 0,4 m. Jako bazę wybrano pionową lewą krawędź, węzeł kierunkowy znowu był w istniejącej płaszczyźnie. Na planszy danych wpisano wysokość ściany = 0,4, podział wysokości na 2 i kierunek utworzenia N. W kolejnym kroku dodano drugi fragment ściany czołowej o wymiarach 3,68 x 0,5 m. Ten fragment też utworzono w kierunku -T. Na rysunku obok pokazano siatkę ścian pojemnika.

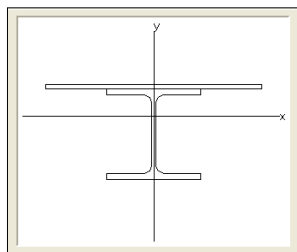


Po obróceniu wokół osi Z przystąpiono do dodania siarki dna. Ze względu na nierówny podział dolnej krawędzi ściany czołowej dno zadano w dwóch krokach. W pierwszym przyjęto jako bazę dolną krawędź ściany bocznej, a węzeł kierunkowy wybrano na krawędzi ściany czołowej. W drugim kroku przyjęto jako bazę krawędź ostatnio zadanego obszaru i węzeł kierunkowy w narożniku ściany czołowej.

Teraz w menu Ogólne włączono opcję Elem.belkowe. Wywołując menu Elementy będzie można wybrać zadawanie elementów belkowych lub powłokowych. Z menu Elementy – Belkowe wybrano opcję Dodaj pręty. Na planszy włączono podział równy 1 i ciągle zadawanie. Po zamknięciu planszy rozpoczęto zadawanie elementów belkowych. Wybierano węzeł u góry obszaru, następnie na krawędzi załamania i kończono na drugiej krawędzi. Wtedy naciskano prawy przycisk myszy i z podręcznego menu wybierano opcję Nowa belka. Na rysunku obok pokazano układ elementów belkowych wprowadzonych do modelu.

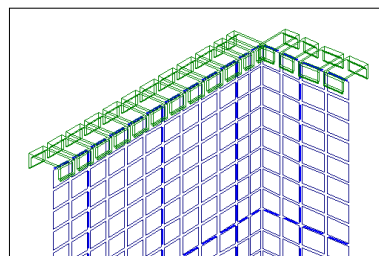


W elementach prętowych jest zadany materiał, nie ma natomiast przekroju. Z menu Przekrój wybrano opcję Obliczany – Nowy i po pokazaniu się planszy MOMBEZa, na zakładce uźebrowanie ustalono grubość blachy, oraz szerokość współpracującą. Ponieważ uźebrowanie miało być z przekroju HEA140, szerokość współpracującą przyjęto jako 30 grubości blachy stąd wpisano 320 mm. Przyciskiem Walcowane wywołano zakładkę z profilami walcowanymi, wybrano Dwuteownik, HEA i wyróżnik 140 i przyciskiem Powrót wprowadzono go do przekroju uźebrowania.

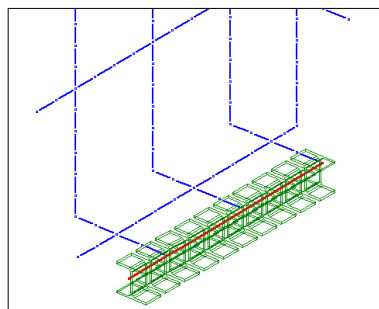


Po zamknięciu planszy MOMBEZa ten przekrój przyjął się we wszystkich elementach belkowych. Jego układ przestrzenny zostanie sprawdzony po zadaniu przekroju wieńca górnego. Wieniec górny został zrobiony z przekroju C160. Przyjęto że szerokość współpracująca jest równa 180 mm (30 x grubość blachy). Po zamknięciu planszy MOMBEZa można było wybrać odcinkiem krótszy i dłuższy bok górnego wieńca zadając po każdym wyborze kierunek ustawienia przekrojowej osi y' . Ponieważ przekrój ten przyjął się odwrotnie (półkami do góry) z

menu Przekrój wybrano opcję Obróć przekrój i po wybraniu odpowiedniego odcinka na planszy włączono „Układy współrzędnych”. W ten sposób można było wybrać oś wokół której należało przekrój obrócić o 180° . Należy zaznaczyć, że w przypadku takiego przekroju nie wchodzi w grę obrót wokół osi x' . Na rysunku obok pokazano ustawienie przekroju górnego wieńca. Następnie tą samą opcją wybierano pozostałe odcinki i w razie potrzeby obracano przekrój żebra HEA140. W tym wypadku można było obracać wokół elementowej osi x' .



Ponieważ zamierzano zadanie obliczyć z wykorzystaniem płaszczyzn symetrii stąd w elementach leżących na tej płaszczyźnie musiano założyć przekrój sprowadzony. Ponownie wywołano MOMBEZa, zadano uźebrowanie z profilu HEA140 i po włączeniu planszy Pełna lista kliknięto w przycisk Połowa. Program MOMBEZ w takim przypadku wszystkie parametry zmniejszy o połowę. Zarys będzie nadal taki sam, tyle, że do opisu przekroju dojdzie $\frac{1}{2}$. Po zamknięciu planszy MOMBEZa zadano ten przekrój w elementy rusztu dna znajdujące się na krawędzi.



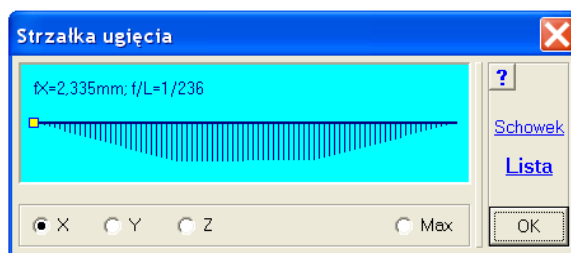
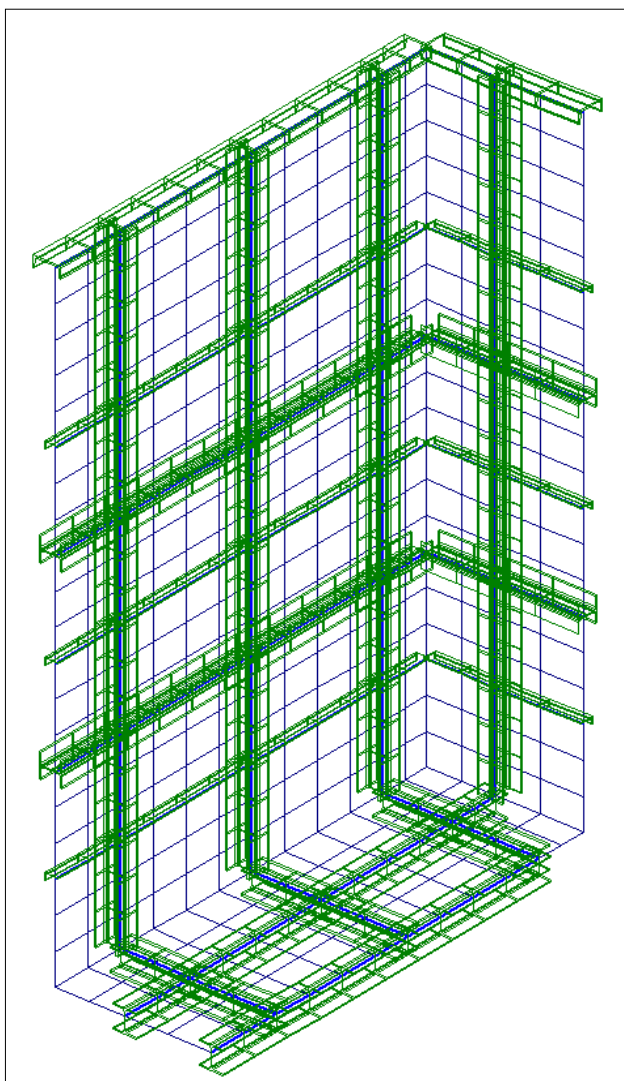
Poza głównym uźebrowaniem w obiekcie wprowadzono pomocnicze uźebrowanie z kątownika nierównoramiennego L80x40x6 którym podzielono pola pomiędzy wieńcami. Tym razem najpierw zadano uźebrowanie, a dopiero potem wprowadzono elementy z tym przekrojem. Po zadaniu elementów sprawdzono konfigurację przekroju i w miejscach w których była nieprawidłowa obrócono ją opcją Obróć przekrój.

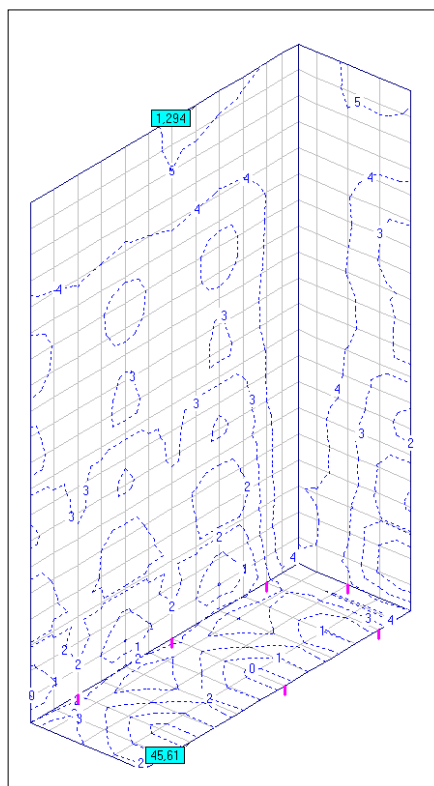
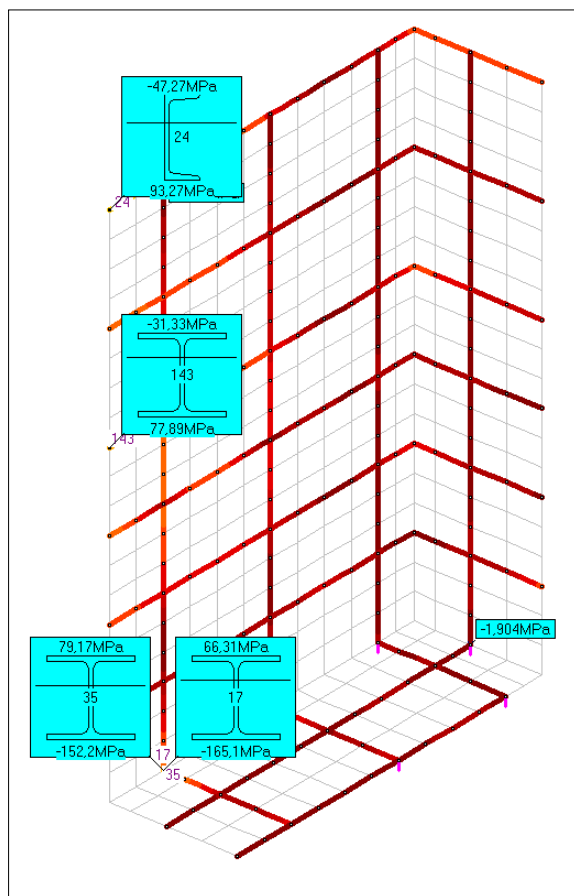
Siatka pojemnika była praktycznie gotowa.

Z menu Więzy wybrano opcje Symetria i wybrano trzy węzły leżące na podłużnej płaszczyźnie symetrii. W taki sam sposób zadano poprzeczną płaszczyznę symetrii. Na zakończenie wprowadzono pionowe podpory.

Po wybraniu przycisku Obciążenia zadano w pierwszym schemacie działanie tylko ciężaru własnego. Przyciskiem Nowy można przejść do nowego schematu. W drugim schemacie zadano obciążenie parciem materiału sypkiego o ciężarze właściwym $= 25 \text{ kN/m}^3$, o kącie tarcia wewnętrznego $= 20^\circ$ i o poziomie zasypu $= 3,5 \text{ m}$. Na planszy danych o obciążeniu sypkim wybrano oddziaływanie na niebieską stronę elementów powłokowych. Po zamknięciu planszy wybrano wszystkie elementy powłokowe. Program sam ustalił które z nich będą obciążone.

Po rozwiązaniu utworzono trzeci, dodatkowy wariant wyników będący sumą pierwszego i drugiego obciążenia. Maksymalne wygięcie żebra na bocznej ścianie było równe 9,5 mm. Po ograniczeniu modelu tylko do elementów powłokowych można było opcją Strzałka (z menu Ugięcia) wyznaczyć wielkość wygięcia poszycia w polach pomiędzy uźebrowaniem.

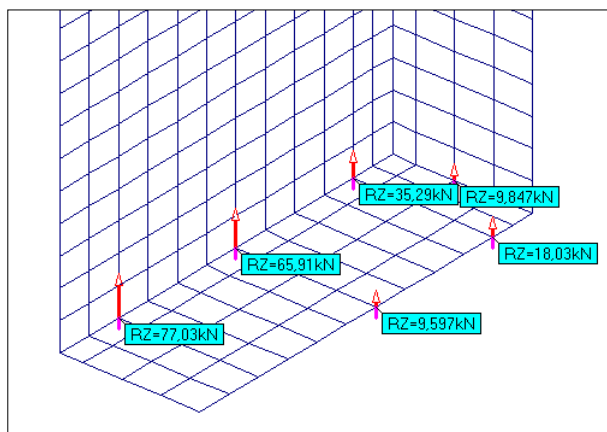




Obok pokazano odczytane wartości naprężeń w elementach belkowych. Maksymalne wartości są znowu przy połączeniu środkowych słupów bocznych ścian z belkami

dolnego rusztu. W samym poszyciu poziom naprężeń nie przekraczał 46 MPa. Izolinie naprężeń w poszyciu pokazano po prawej stronie.

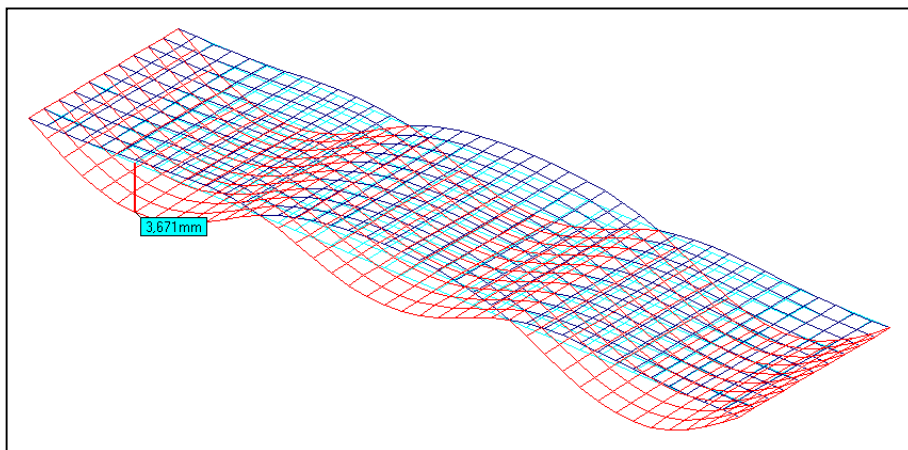
Obok pokazano rozkład i wartości reakcji jakie wystąpią przy łącznym działaniu obciążeń.



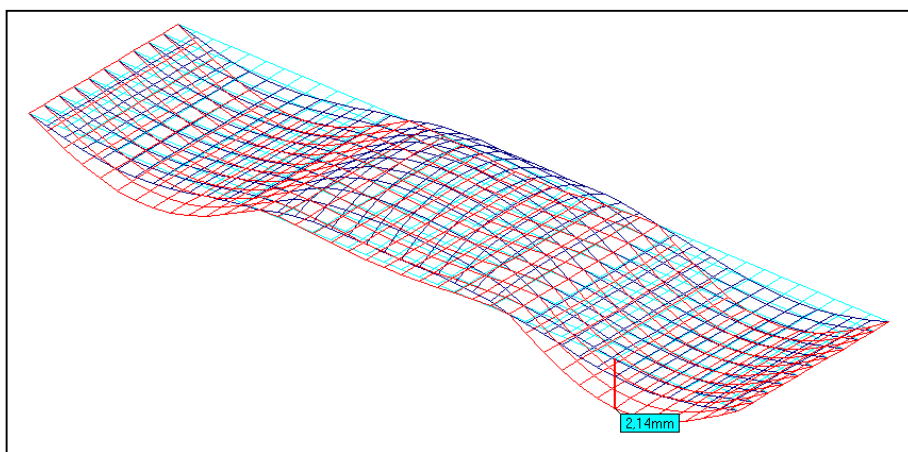
58.7. Pasma3Przesla

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.

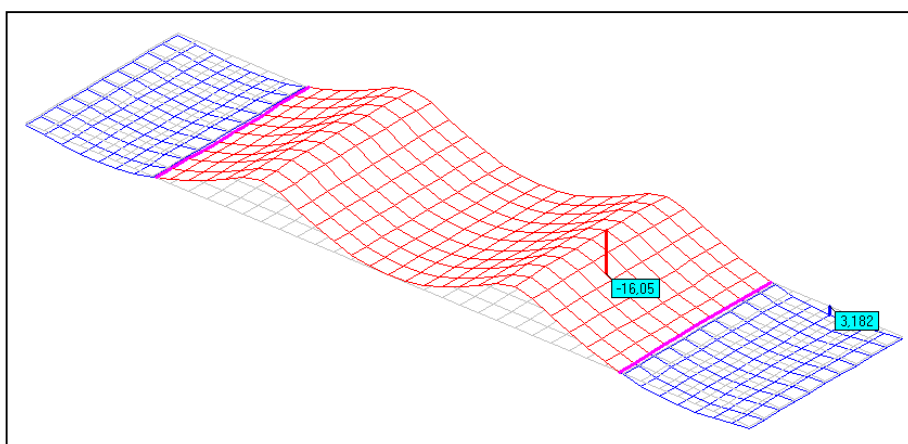
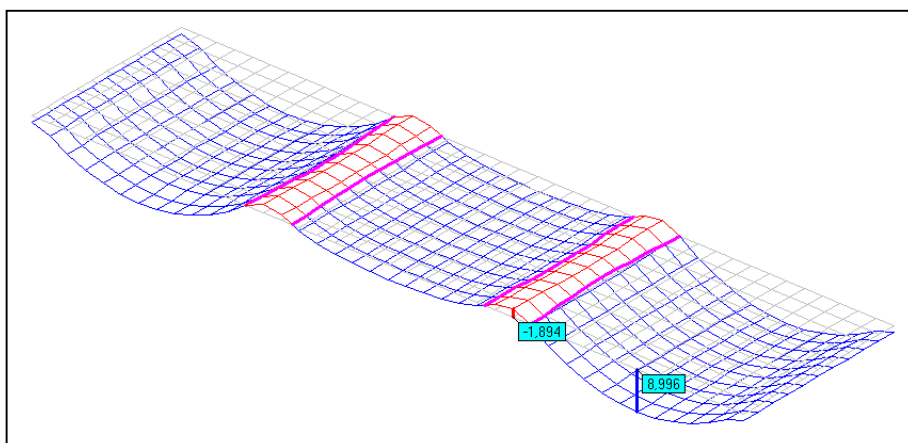
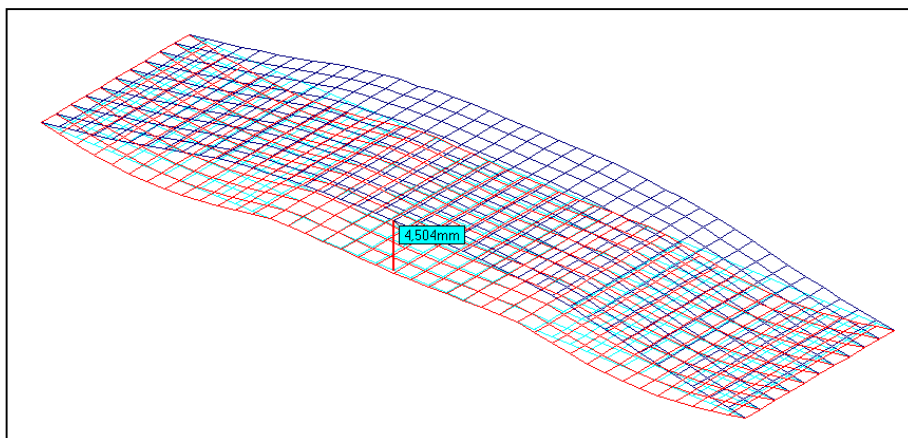


Po powtórnym wywołaniu opcji **Atrybuty i mnożniki** najpierw kliknięto w przycisk **Nowy zestaw**. Wszystkie warianty otrzymały atrybut Stałe, i jednostkowe mnożniki obciążenia. Teraz z liczenia obwiedni wyłączono drugi, trzeci, czwarty, szósty i siódmy wariant. Dla piątego wariantu (obciążenia termiczne)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



Przykładowe zadania

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”

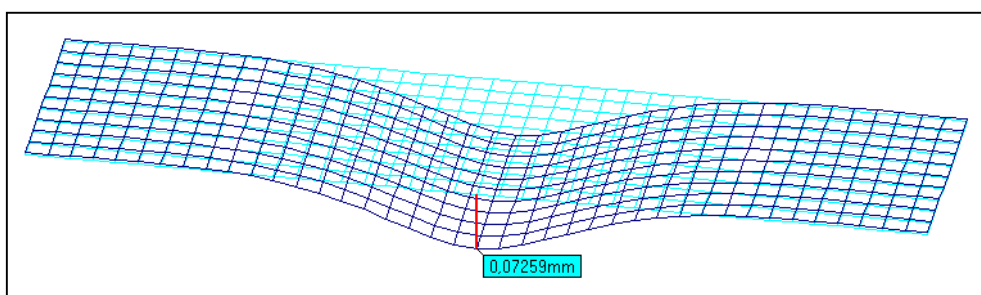


Ekstremalne momenty dla zestawu „Wstępne”

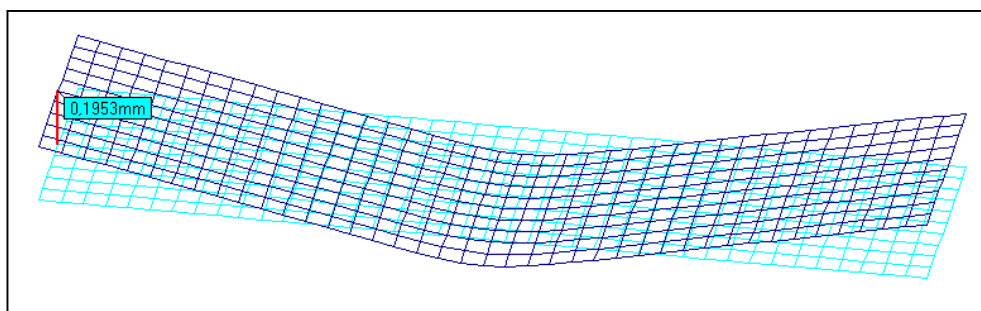
58.8. Podłoże liniowe i nieliniowe

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.

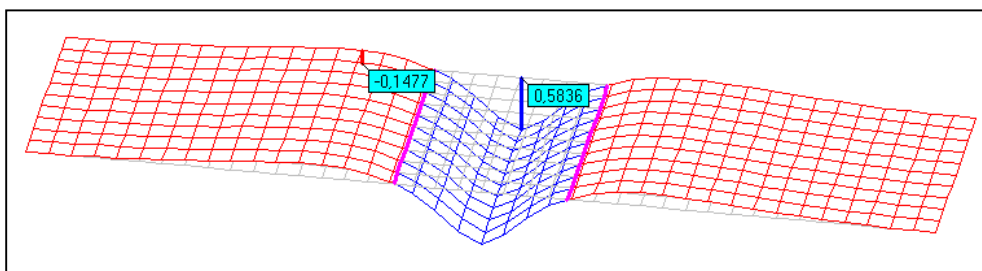
Poniżej pokazano zestawienie wyników dla rozwiązania liniowego i nieliniowego dla pierwszego schematu



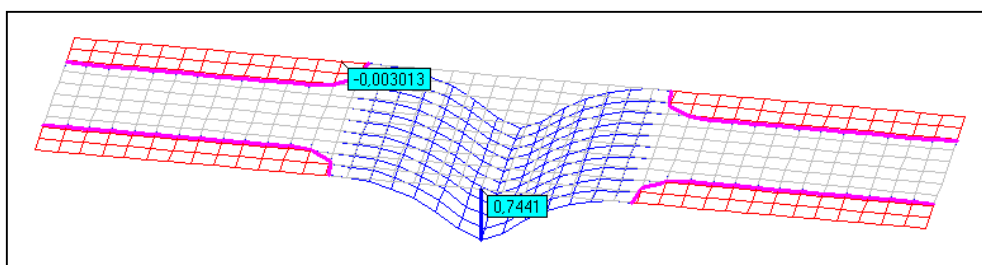
Ugięcia w modelu liniowym



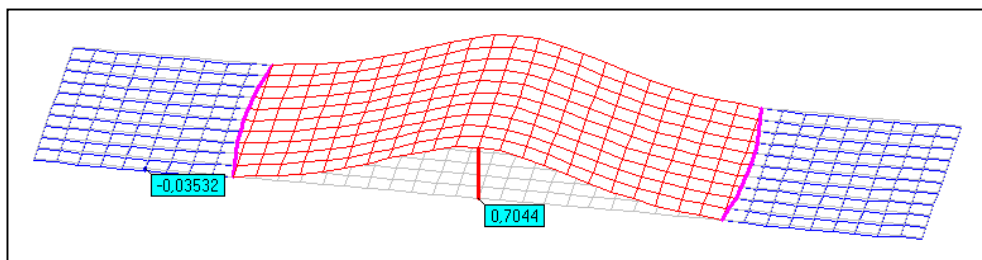
Ugięcia w modelu liniowym



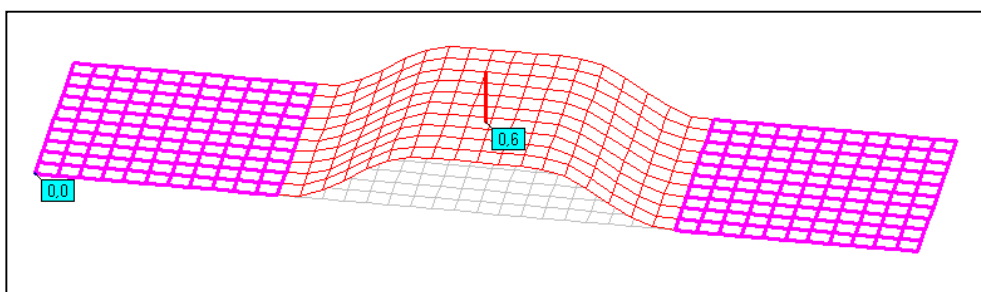
Momenty w modelu liniowym



Momenty w modelu nieliniowym



Odpory w modelu liniowym



Odpory w modelu nieliniowym

58.9. Podpory liniowe i 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%.

Przykładowe zadania

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:

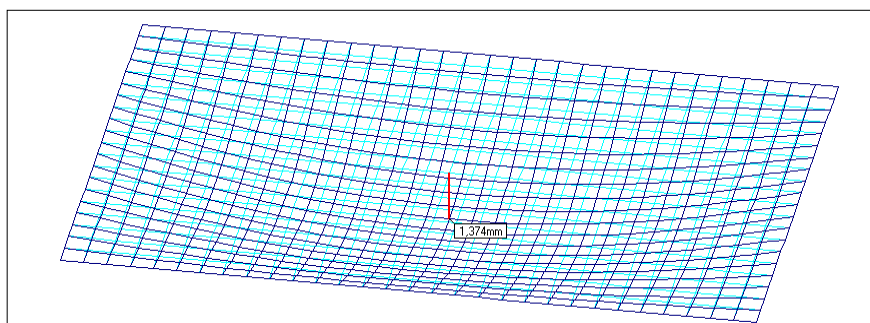
δ - współczynnik – dla płyty o stosunku boków $b/a=1,5$ wynosi 0,085,

podstawiając odpowiednie wartości otrzymano:

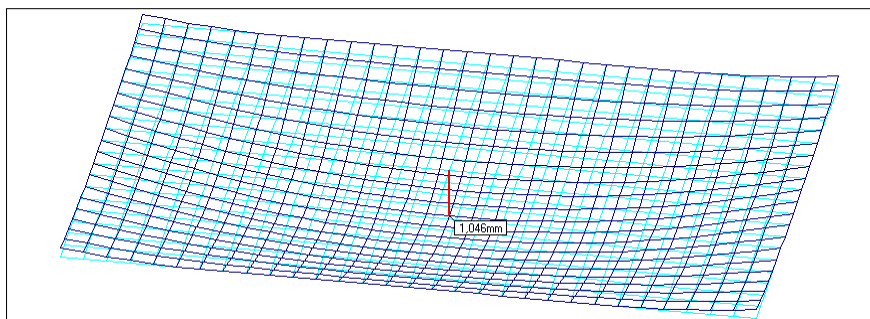
$$R^T = 3,06 \text{ kN}$$

Te wartości różnią się o 1,7%.

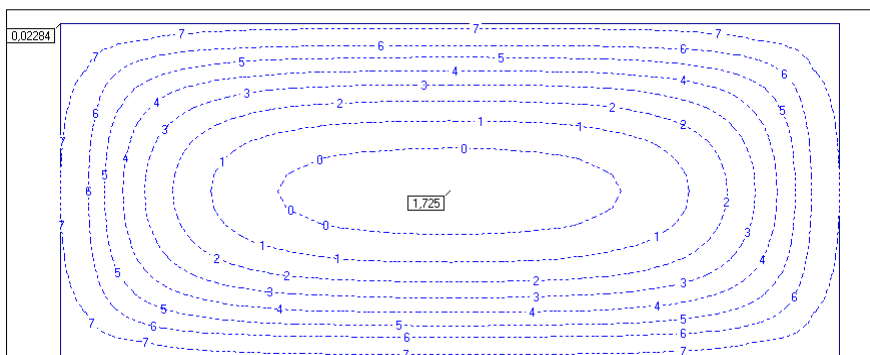
Ponieważ reakcja narożna jest ujemna stąd można przeprowadzić rozwiązanie w którym zostanie uwzględnione odrywanie się strefy narożnikowej. W zadaniu Podp_Nieliniowe otrzymano rozwiązanie dla obu schematów obciążenia. Dalej pokazano parami rozwiązania liniowe i nieliniowe. Dla pierwszego schematu porównano 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.



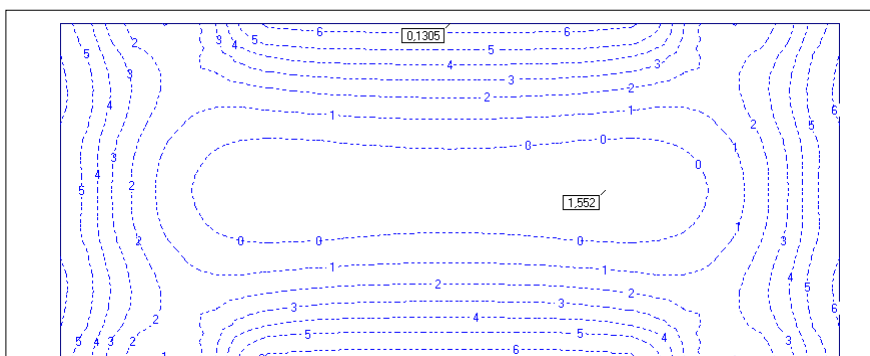
Ugięcia dla rozwiązania liniowego



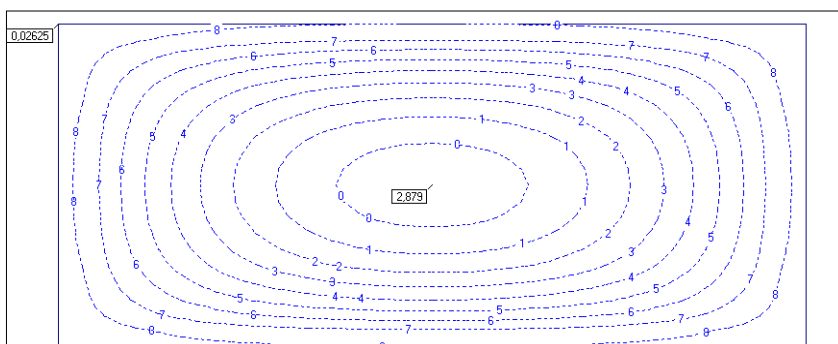
Ugięcia dla rozwiązania nieliniowego



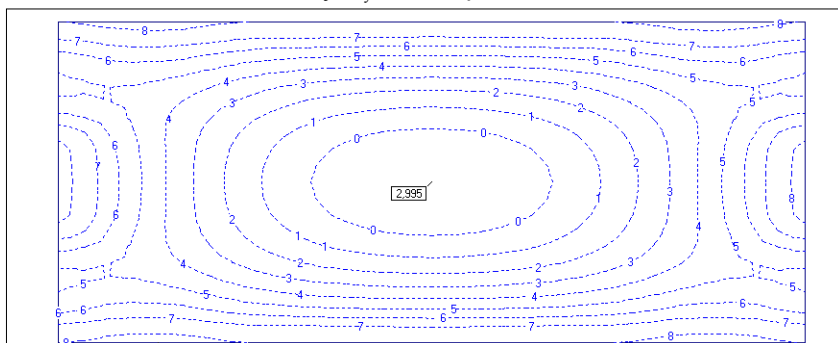
Momenty m_x – rozwiązanie liniowe



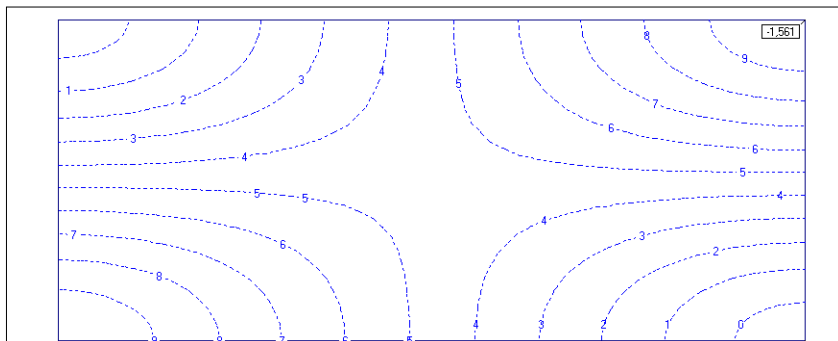
Momenty m_x - rozwiązanie nieliniowe



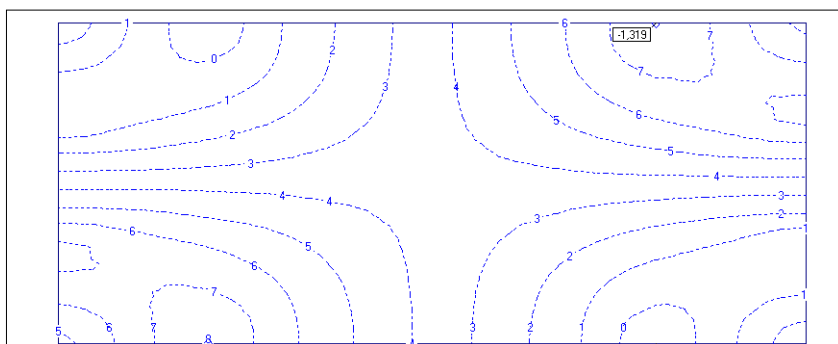
Momenty m_y – rozwiązanie liniowe



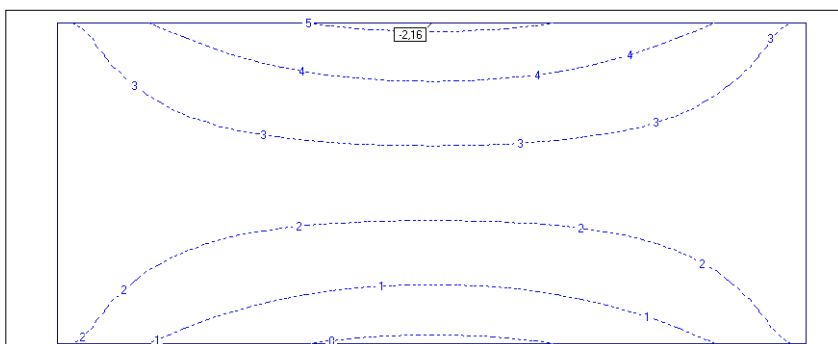
Momenty m_y – rozwiązanie nieliniowe



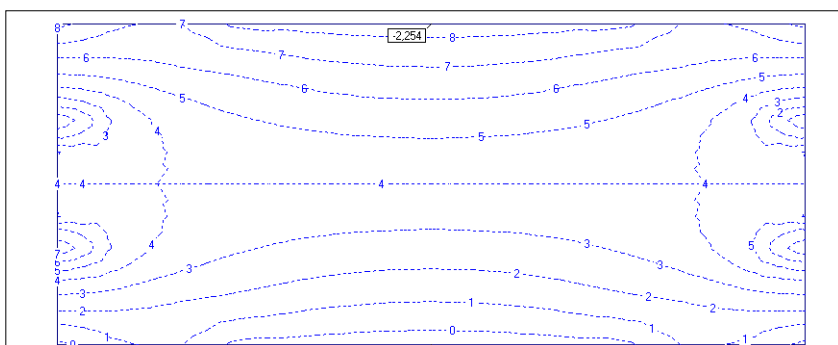
Momenty m_s – rozwiązanie liniowe



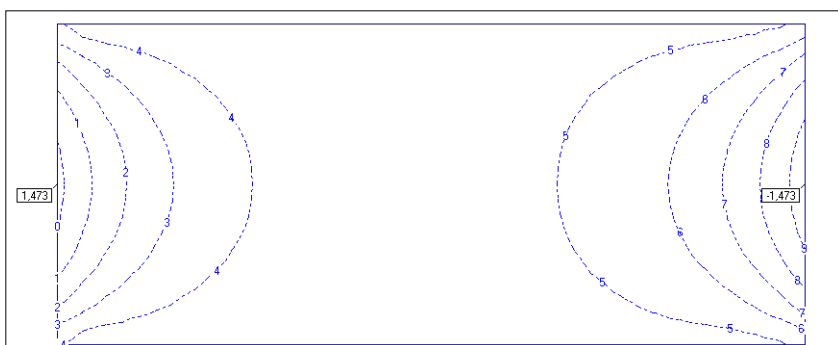
Momenty m_s – rozwiązanie nieliniowe



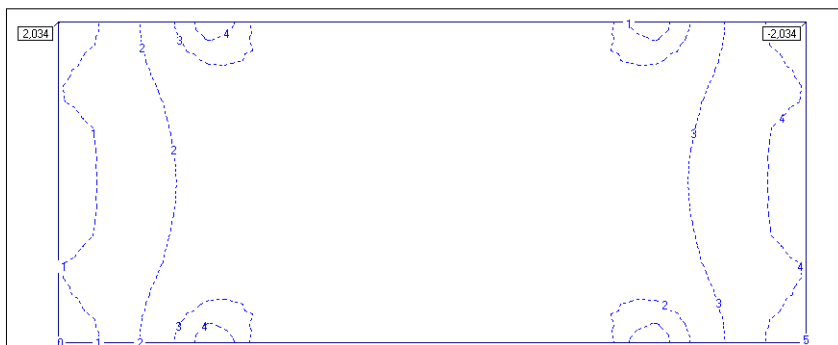
Siły poprzeczne q_x – rozwiązanie liniowe



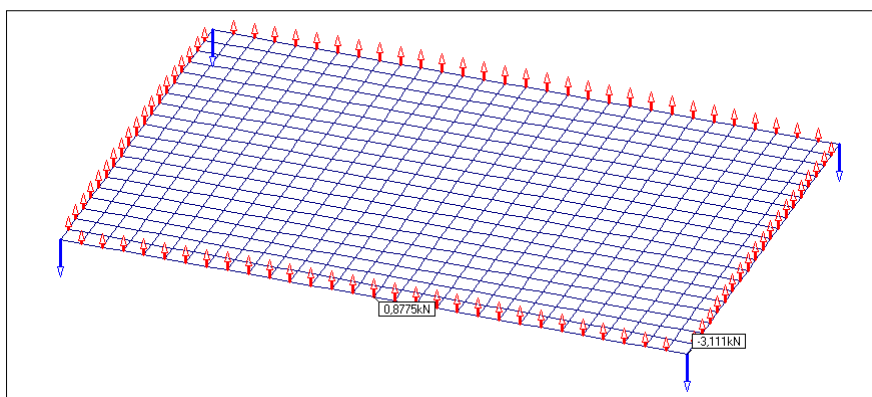
Siły poprzeczne q_x – rozwiązanie nieliniowe



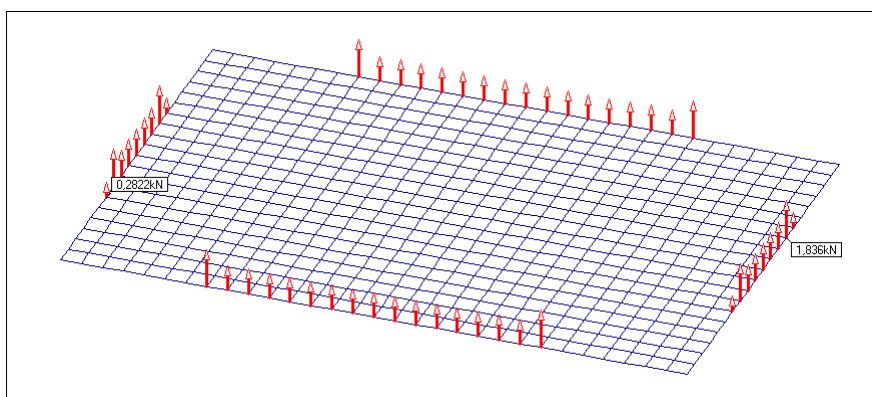
Siły poprzeczne q_y – rozwiązanie liniowe



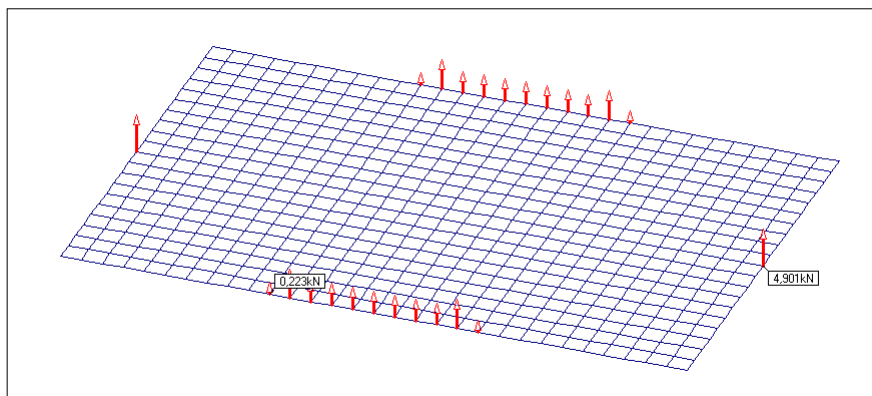
Siły poprzeczne q_y – rozwiązanie nieliniowe



Reakcje – rozwiązanie liniowe



Reakcje – rozwiązanie nieliniowe



Reakcje wywołane siłą skupioną – rozwiązanie nieliniowe

58.10. Rurociąg

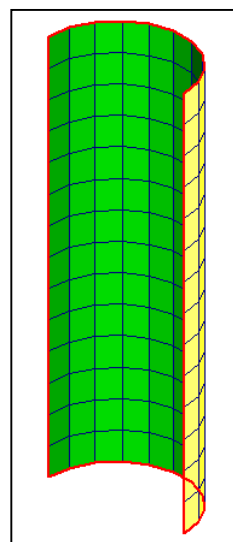
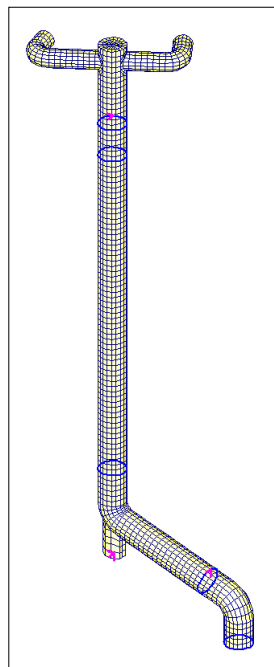
W zadaniu Rurociąg pokazano model fragmentu rurociągu zasilającego zbiornik z osadem. Analizowano fragment pomiędzy kompensatorami. W instalacji zastosowano kompensatory mieszko- we które całkowicie oddziela jedną część rurociągu od drugiej.

Rurociąg ma średnicę 1,2 m i grubość ścianki 10 mm. Składa się z pionowej rury o długości 21,53 m przechodzącej na dole w kolano o promieniu 0,9 m i kącie 76° . Z drugiej strony kolano przechodzi w prostoliniowy odcinek o długości 5,6 m nachylony do poziomu pod kątem 24° . Na końcu tego odcinka jest kolejne kolano o kącie 76° które zakończone jest krótkim, pionowym odcinkiem o długości 1,2 m. U góry rurociąg rozgałęzia się w dwa poziome odcinki o średnicy 0,8 m. Grubość ścianki w tych odcinkach też wynosi 10 mm. Jeden z odcinków ma długość 1,5 m, a drugi 1,9 m. Krótszy odcinek wchodzi do poziomego kolana o kącie 90° i promieniu 0,6 m. Z drugiej strony kolana dochodzi poziomy odcinek o długości 1 m. Dłuższy odcinek wchodzi do poziomego kolana o kącie 110° i promieniu 0,6 m. Z drugiej strony tego kolana dochodzi poziomy odcinek o długości 0,8 m. Pionowa część rurociągu u samej góry jest zamknięta. Rurociąg jest podzielony na trzy części: górną część z trójnikiem, środkowa część prosta o długości 14 m i część dolna złożona z dwóch kolan, odcinka ukośnego, dwóch odcinków pionowych i podpory stałej. Odcinki są połączone typowymi złączami kołnierзовymi.

Rurociąg jest podparty w stałym punkcie pod pierwszym kolaniem, ponadto jest podpora na ukośnej części rurociągu i w pobliżu trójnika. W miejscu podpór pomocniczych wprowadzono pierścienie usztywniające.

Rurociągiem transportowana jest ciecz o ciężarze właściwym 12 kN/m^3 z prędkością $V = 2,3 \text{ m/sek}$. Na górnym wylocie ciśnienie cieczy jest równe 50 mBarów. Ponadto rurociąg narażony jest na działanie wiatru.

Budowę modelu zaczęto od górnego trójnika. Na planszy startu wybrano materiał Stal, zadano grubość 0,01 m i włączono „Walec”. Pokazała się plansza danych walca. Wpisano promień podstawy 0,605 m i wysokość górnego odcinka równą 2 m. Zadano podział wysokości 8x i podział kąta 180° równy 10. Ustalono oś walca Z i wpisano współrzędną podstawy Z = 20 m. Po zamknięciu planszy pokazała się siatka pierwszego obszaru. Teraz z menu Elementy wybrano opcję Dodaj obszar – Króciec i na planszy danych wprowadzono, że będzie to model połowy króćca, zadano średnicę = 0,81 m, grubość części walcowej = 0,01 m, wysokość króćca = 0,1 m, podział kąta 180° równy 8, szerokość pojedynczego pierścienia pośredniego = 0,1 z grubością 0,01 m. Po zamknięciu planszy przyciskiem [OK.] wybrano trzy węzły na łuku w połowie wysokości pierwszego obszaru. Otrzymano siatkę króćca wprowadzoną do siatki walca. Program sam nie łączy siatki króćca z resztą siatki, trzeba to zrobić ręcznie.



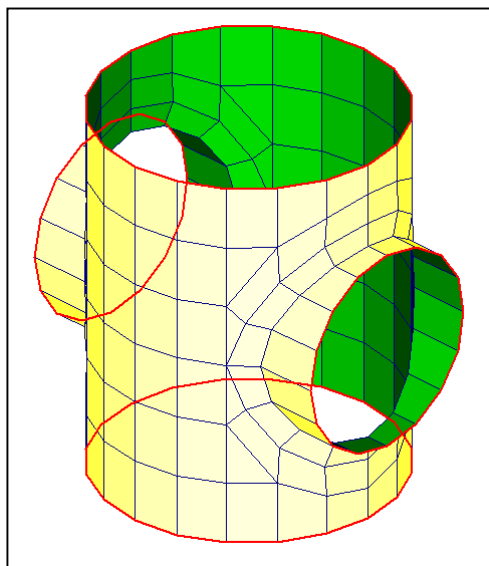
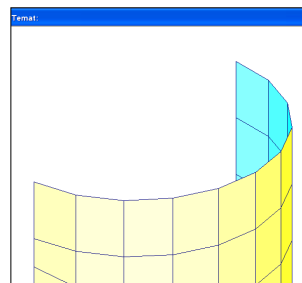
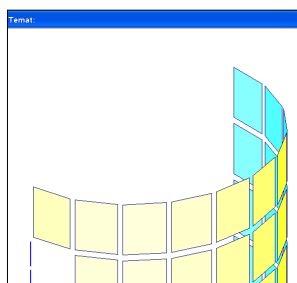
Przed połączeniem wybrano menu Osie i opcję Rzut XY pokazano model w rzucie. Teraz z menu Elementy wybrano opcję Usun' wybrane i usunięto wszystkie elementy pod osią króćca. Ponownie wybrano menu Elementy i opcję Skasuj ukryte usunięto całkowicie zbędne elementy z modelu.

Po analizie sposobu połączenia stwierdzono że trzeba przesunąć wzdłuż osi Z jeden węzeł (na rysunku ma odczytane współrzędne), oraz będzie potrzebny dodatkowy węzeł na płaszczyźnie symetrii. Ponieważ w programie nie ma możliwości samodzielnego wprowadzania węzłów postanowiono w tym miejscu zadać elementy belkowe. Najpierw z menu Ogólne włączono opcję Elem. belkowe, a następnie z menu Elementy – Belki opcję Dodaj pręty wywołano planszę założeń. Na planszy wyłączono ciągle zadawanie i włączono podział na 2. Następnie wybrano dwa węzły. Na rysunku wyraźnie widać wprowadzony element prętowy. Następnie z menu Elementy – Powłokowe wybrano opcję Dodaj płaski i wskazując odpowiednie węzły wprowadzano pojedyncze elementy wypełniając miejsce między króćcem a walcem. Przy dawaniu pojedynczych elementów węzły wybierano zachowując obieg przeciwny do ruchu wskazówek zegara. Dzięki temu zachowano tą samą stronę powłoki. Po zadaniu wszystkich elementów wywołano ponownie menu Ogólne i wyłączono opcje Elem. belkowe. Przez wyłączenie tej opcji z modelu są usuwane wszystkie elementy belkowe z opisem przekrojów. Tych akurat jeszcze nie było.

Teraz z menu Elementy wybrano opcję Usun' wybrane i usunięto elementy walca leżące po drugiej stronie w stosunku do króćca. Następnie wywołano trzy razy opcję Powiel (menu Elementy) i za każdym razem lustrzanym odbiciem podwajano liczbę elementów. Na koniec otrzymano siatkę pokazaną na rysunku.

W kolejnym kroku usunięto górną warstwę elementów i z menu Elementy wywołano opcje Dodaj obszar – Kołowy. Na planszy zadano podział promienia równy 3, pozostawiono materiał i grubość =0,01m. Po zamknięciu planszy wybrano trzy węzły na górnym okręgu. Węzły wybierano obwodowo przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, co zapewniło ciągłość strony elementów powłokowych, i w taki sposób, aby pierwszy bezpośrednio sąsiadował z ostatnim. Oznacza to, że pomiędzy pierwszym i ostatnim węzłem wyboru musi być krawędź jednego elementu.

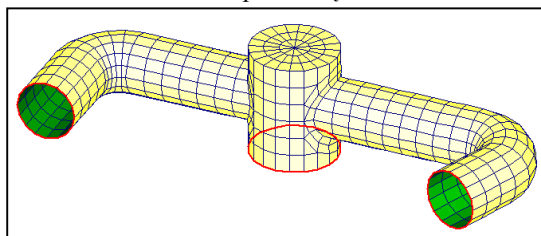
W następnych krokach z menu Elementy wybierano opcję Dodaj obszar i na przemian opcje Rura i Kołano.



Najpierw dodano rurę o długości 1,5 m, potem poziome kolano o kącie 90° i znowu rurę o długości 1 m. Podobnie zrobiono po drugiej stronie tyle, że tam pierwszy odcinek rury miał długość 1,9 m, kolano kąt 110° , a ostatni odcinek rury miał długość 0,8 m.

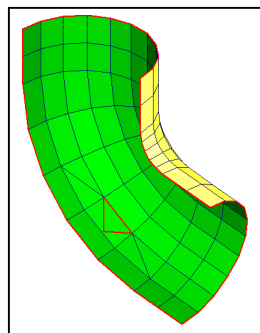
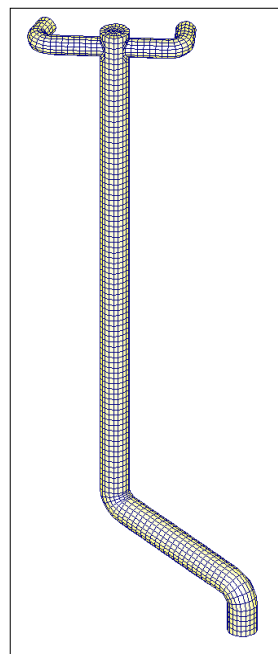
Za każdym razem wybierano węzły na odpowiednich okręgach zachowując zasadę aby pierwszy i ostatni węzeł bezpośrednio sąsiadowały ze sobą. Przy definicji kolana wpisano promień osi kolana = 0,6 m, kąt kolana i podział kąta. Akceptowano też warunek, że płaszczyzna kolana będzie przechodzić przez pierwszy węzeł konturu. W ten sposób przy wyborze kolana jako pierwszy wybierano węzeł mający tę samą współrzędną Z co oś poziomego odcinka. Efekt tych działań pokazano na rysunku.

Ponieważ układ trójkąta jest obrócony o 36° w stosunku do płaszczyzny wyznaczonej przez pionową i ukośną część rurociągu z menu Węzły wybrano opcję Obróć węzły i po zdefiniowaniu osi i płaszczyzny odniesienia obrócono cały dotychczasowy model o potrzebny kąt. Oś obrotu została zdefiniowana przez węzeł ze środka kołowego zamknięcia i przez drugi punkt o współrzędnych X i Y takich samych, a współrzędna Z była mniejsza o 1 m.

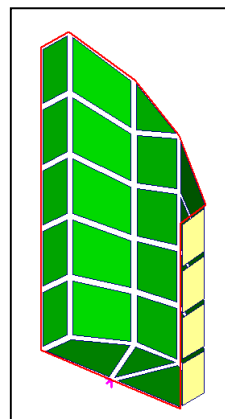


Po ustawieniu górnej części z menu Elementy wybrano opcję Rura i Kolano wprowadzając dolną część rurociągu. W obu kolanach zadano kąt 76° . Prawie gotowy model pokazano obok.

Przystąpiono teraz do modelowania podpory stałej. Jest to eliptyczna rura umieszczona pod środkowym kolaniem. W pierwszym kroku wybrano fragment obejmujący połowę środkowego kolana. Następnie podzielono z menu Elementy wybrano opcję Podziel jeden i podzielono na dwa trójkąty dwa elementy prostokątne. Ponownie włączono możliwość dodawania do modelu elementów belkowych (menu Ogólne – opcja Elem. belkowe). Teraz z menu Elementy – Belkowe wybrano opcję Dodaj pręty i w sposób ciągły wprowadzono elementy belkowe. Podział elementów powłokowych i elementy belkowe pokazano na rysunku. Są to tymczasowe elementy wprowadzone tylko do zamodelowania podpory. Następnie z menu Fragment wybrano opcję Tylko Belki. Z menu Elementy – Belkowe wybrano opcję Powiel i oknem wybrano wszystkie pomocnicze elementy. Na planszy zaznaczono Liniowo i wpisano przesunięcie w kierunku osi Z o wartość $-1,1$ m. Otrzymano pięć nowych elementów belkowych przesuniętych w dół. Z menu Węzły wybrano opcję Przesuń węzły i oknem wybrano te ostatnie elementy. Na planszy wpisano wspólną współrzędną Z = $-2,56$ m.



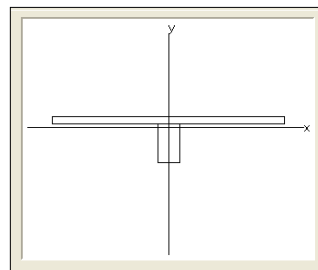
Teraz z menu Elementy – Belkowe wybrano opcję Dodaj pręty, na planszy włączono zadawanie odcinkowe (nieciągłe) i wpisano podział odcinka na 5 elementów. Wprowadzono jeden odcinek łączący najwyższy węzeł z górnych pomocniczych elementów z odpowiadającym mu węzłem z dolnych elementów. Z menu Elementy – Powłokowe wybrano opcję Dodaj obszar – Czworokąt i jako bazę wybrano od dołu do góry węzły leżące na pionowych elementach belkowych. Trzeci węzeł wybrano najbliższy na górnych elementach, czwarty węzeł najbliższy na dolnych elementach. Na planszy danych do generacji wpisano podział wysokości równy 1, zadano nową grubość = 12 mm i otrzymano pięć nowych elementów powłokowych. Ponownie wybrano opcję Dodaj obszar – Czworokąt i tym razem jako bazę wybierano węzły na pionowej krawędzi ostatnio zadanego obszaru. Podział wysokości przyjęto jako 1, a reszta danych została bez zmian. Po kolejnym wywołaniu opcji Czworokąt wybrano bazę z pięciu węzłów pomijając najwyższy. Znowu zadano podział wysokości równy 1. Przy pomocy opcji Czworokąt zadano jeszcze dwa obszary przyjmując w każdym podział wysokości równy 1. Po wprowadzeniu jednego trójkątnego elementu boczna ściana podpory była gotowa. W płaszczyźnie spodu wprowadzono jeszcze jeden pomocniczy odcinek podzielony na dwa elementy, po to by dostać węzeł w środku układu do którego będzie potem wprowadzana podpora. Następnie opcją Dodaj płaski wprowadzono trzy elementy powłokowe leżące w poziomej płaszczyźnie. Efekt tych działań pokazano na rysunku obok. Ponieważ był to model połowy układu podporowego należało opcją Powiel (menu Elementy – Powłoki) zrobić lustrzane odbicie. Przed tą operacją usunięto z modelu pomocnicze elementy belkowe (menu Ogólne – wyłączyć opcję Elem. belkowe). Po utworzeniu odbicia lustrzanego przywrócono cały model i na wszelki wypadek z menu Węzły wywołano opcję Razem automat.



Część powłokowa modelu była gotowa. Należało teraz wprowadzić elementy belkowe modelujące połączenia kołnierzowe, pierścienie usztywniające przy podporach pomocniczych i na dole rurociągu. Ponownie wywołano menu Ogólne i opcją Elem. belkowe włączono możliwość wprowadzania elementów belkowych. Po wybraniu menu Elementy – Belkowe opcji Dodaj łuk na planszy wybrano łuk kołowy z równym podziałem łuku, złożony z 20 elementów, łuk będzie definiowany przez trzy węzły, ale generować się będzie pełny okrąg 360° . Włączono jeszcze ustawienie przekrojowej osi y do środka łuku. Po zamknięciu planszy w odpowiednich miejscach wybierano trzy węzły. To postępowanie powtarzano jeszcze cztery razy ponieważ w modelu jest pięć pierścieni.

Przyjęto, że pierścienie połączenia kołnierzowego mają szerokość 50 mm i grubość 14. Z menu Przekrój wywołano opcję Obliczany – Nowy i po pojawieniu się planszy MOMBEZa wybrano typ uźebrowania Proste, na zakładce Proste wpisano wymiary prostokąta: 50 mm i 28 mm. Po kliknięciu w przycisk Powrót wrócono do planszy Uźebrowanie. Pozostawiono szerokość części współpracującej równą $30x$. Pierwszy przekrój został przyjęty we wszystkich elementach belkowych.

Jako drugi przyjęto pierścień usztywniający na dolnym wylocie rury. Jest on jednocześnie elementem mocowania kompensatora. Przyjęto przekrój prostokątny 50 x 14.



Na planszy MOMBEZa zadano szerokość współpracującą tylko 10x. Po zamknięciu planszy MOMBEZa wybrano elementy dolnego pierścienia. Na planszy kierunku wybrano przełącznik „bz” zostawiając przyjęty wcześniej układ elementowych.

Trzeci przekrój był ceownikiem ekonomicznym CE100. Taki przekrój przyjęto w górnym pierścieniu z podporą pomocniczą. Na planszy kierunku która pokazała się po wybraniu elementów też pozostawiono kierunek osi elementowych bez zmian. Ponieważ przekrój ustawił się półkami do góry, z menu Przekrój wybrano opcję Obróć przekrój i po wybraniu wszystkich elementów tego pierścienia obrócono przekrój o 180° wokół lokalnej osi y'.

Ostatnim przekrojem jest pierścień podporowy na ukośnej części rurociągu. Ze względu na potężne oddziaływanie hydrauliczne przyjęto jego przekrój w postaci skrzynki. Po zamknięciu planszy MOMBEZa wybrano elementy pierścienia podporowego i pozostawiono na planszy kierunku przekrojowej y' położenie bez zmian.

Teraz z menu Podpory wybrano podporę sztywną XYZ i zadano ją w węźle na środku zamknięcia układu podporowego. Dla ułatwienia można wcześniej ograniczyć model tylko do fragmentu o grubości 0,1 m. W najniższym węźle dużego pierścienia podporowego zadano podporę o składowych YZ odbierając przemieszczenie poziome prostopadłe do osi ukośnej części i przemieszczenie pionowe. W drugim pierścieniu podporowym zadano podporę o składowych XY.

W pierwszym schemacie zadano ciężar własny rurociągu. W drugim schemacie wprowadzono obciążenie parciem hydrostatycznym obliczając poziom cieczy z nadwyżki ciśnienia na wylocie. Do poziomu górnego węzła z poziomych części rurociągu należy dodać wysokość:

$$h_d = p / \gamma = 5 \text{ kPa} / 12 \text{ kN/m}^3 = 0,42 \text{ m}$$

Współrzędna Z tego węzła wynosi 21,4 m czyli poziom lustra cieczy należy przyjąć 21,82 m. Przez zadaniem tego obciążenia wybrano z menu Pokaż opcję Grupy i uporządkowano grupy elementów pozostawiając dwie: rurociąg i układ podpory głównej. Po wybraniu w menu Fragment opcja Grupy tylko elementów powłokowych rurociągu wywołano Menu Obciążenie i opcją Nowy schemat wprowadzono obciążenie hydrostatyczne cieczą o ciężarze 12 kN/m³ i o wysokości lustra 21,82 m. Zadano że strona niebieska jest zwilżona. Po zamknięciu planszy wybrano wszystkie widoczne elementy powłokowe.

W trzecim schemacie zadano oddziaływanie prędkości przepływu cieczy. Struga cieczy przepływając przez kolano działa na nie reakcją będącą różnicą wektorową

$$\mathbf{R} = \rho Q (\mathbf{V}_p - \mathbf{V}_k)$$

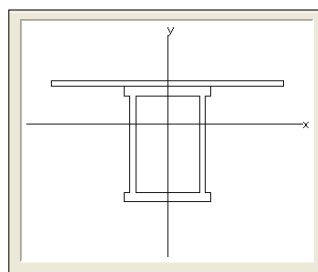
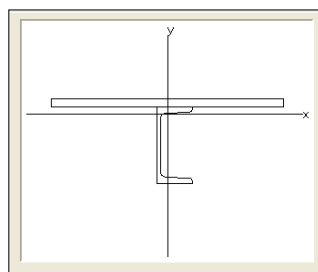
gdzie:

ρ - masa właściwa cieczy = 1200 kg/m³,

Q – natężenie przepływu = $V \pi D_n^2/4$,

V – prędkość przepływu = 2,3 m/s²,

D_n – nominalna średnica rurociągu.



Przykładowe zadania

W programie Obiekt3D oddziaływanie strugi można zamodelować wprowadzając stałe ciśnienie obliczone z wzoru:

$$p = \rho V^2 = 6,348 \text{ kPa}$$

W czwartym i piątym schemacie przyjęto obciążenie wiatrem. Zadano wiatr z kierunku -X (schemat 4) i wtedy przyjęto, że działa on tylko na pionową część, natomiast w piątym schemacie zadano działanie wiatru z kierunku +Y i wtedy działa on nie tylko na pionową część, ale też ma ukośną. Obciążenie wiatrem przyjęto zgodnie z PN-77/B-02011 zakładając ciśnienie parcia wiatru:

$$p_k = q_k C_e C_\beta$$

gdzie

q_k – charakterystyczne ciśnienie prędkości wiatru przyjęte dla strefy I = 250 Pa,

C_e – współczynnik ekspozycji przyjęty dla terenu C = 0,7

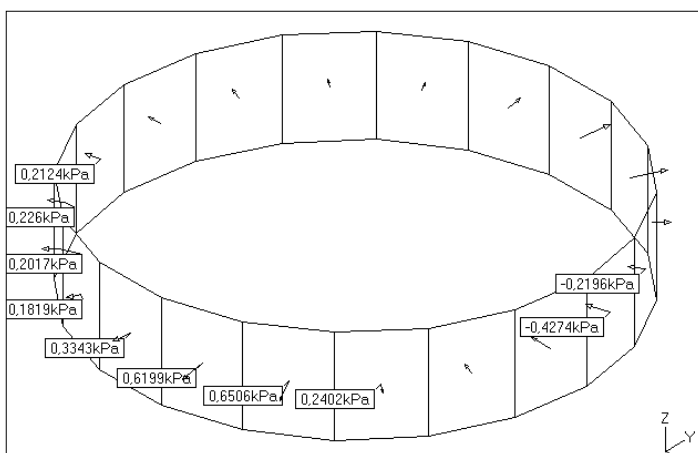
C – współczynnik aerodynamiczny obliczony zgodnie z załącznikiem Z1 tabela 12

β - współczynnik działania porywu wiatru; przyjęto = 1,8

Przed wybraniem obciążenia ograniczono pokazywane elementy powłokowe do pionowej części walcowej. W menu Ciśnienia, po włączeniu niebieskiego przycisku [M] wybrano opcję Wiatr na walec i na planszy wybrano odpowiednie wielkości deklarując, że wiatr będzie z kierunku -X. Następnie wybrano trzy węzły na łuku walca.

Na rysunku pokazano przyjęte obciążenia wiatrem.

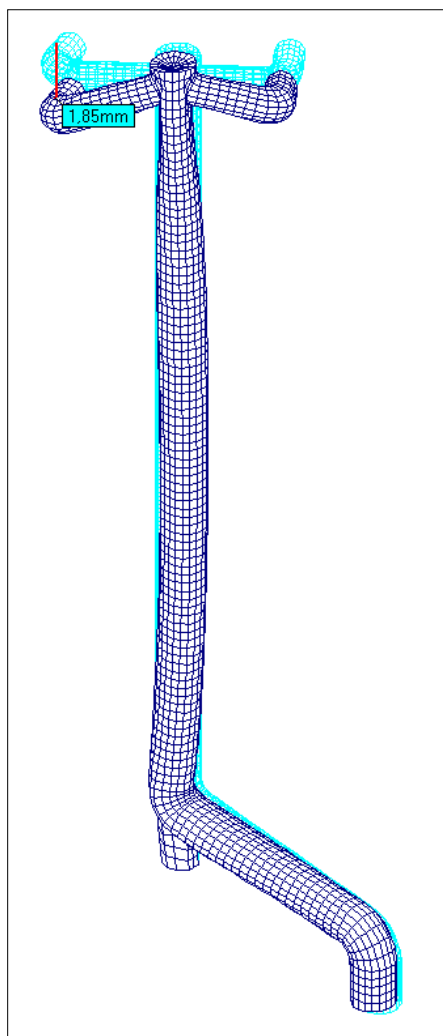
W piątym schemacie zadano tak samo wiatr tyle, że robiono to w dwóch krokach, najpierw na walcową część pionową, a potem na walcową część ukośną.



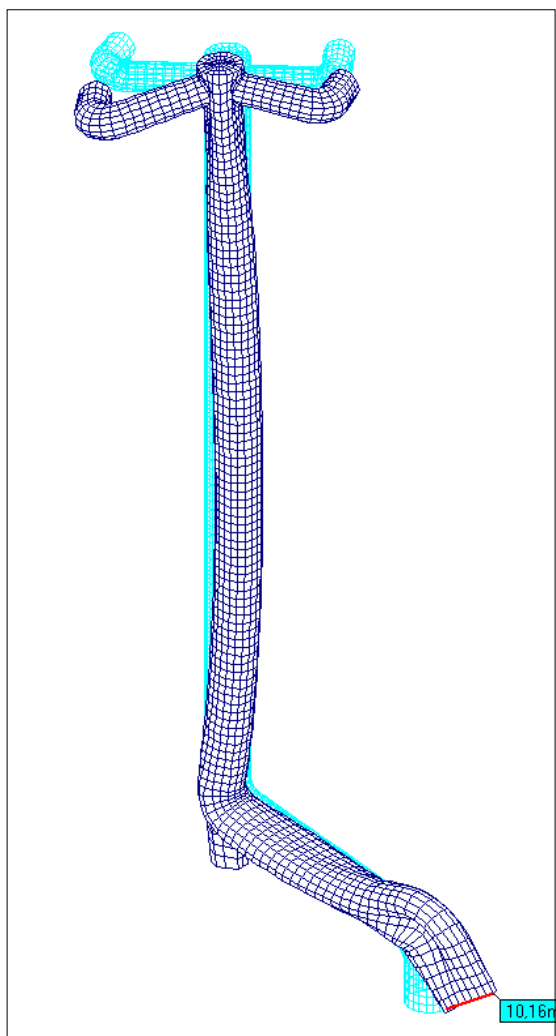
Po rozwiązaniu wybrano z menu Obwiednia opcję Atrybuty i mnożniki i zadano warunki pokazane w poniższej tabeli.

Tabela 1

Nr	Opis	Obc(+)	Obc(-)	Udział	Atrybut	Grupy
1	Ciężar własny	1,1	1,1	1,0	Stały	
2	Hydro (h=21,82)	1,2	1,1	1,0	Zmienny	
3	Ciśnienie (6,348)	1,2	1,1	1,0	Zmienny	
4	Wiatr -X	1,4	1,1	1,0	Warunkowy	1
5	Wiatr Y	1,4	1,1	1,0	Warunkowy	1

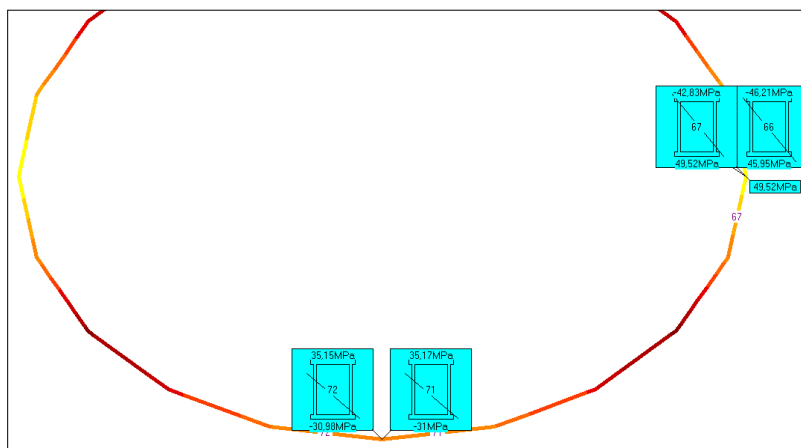


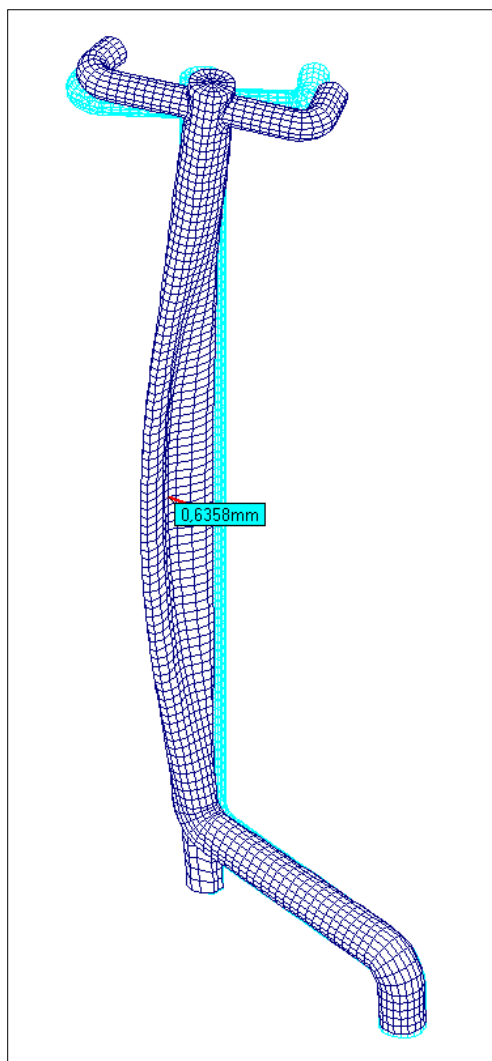
Odształcenia wywołane ciężarem własnym



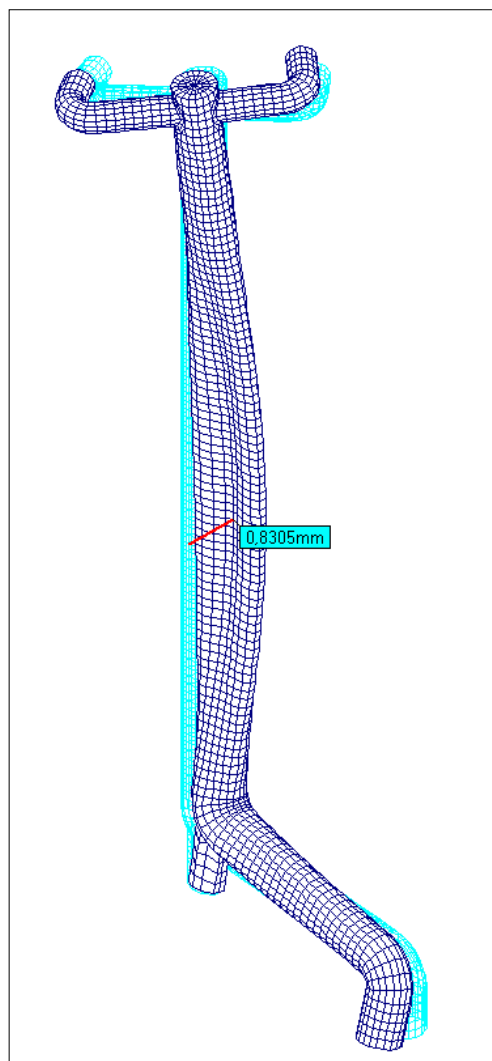
wywołane parciem hydrostatycznym

Na rysunku obok pokazano rozkład naprężeń w głównym pierścieniu podporowym.





Obciążenie wiatrem z kierunku -X



wiatrem z kierunku Y

58.11. Silosy

58.11.1. Silos z płaskim dnem

Założenia

Norma PN-EN 1991-4:2006

- ciężar właściwy $\gamma = 15 \text{ kN/m}^3$,
- współczynnik tarcia o pionową ściankę $\mu = 0,1$,
- współrzędna (wysokość) zastępczej powierzchni ośrodka $H = 5 \text{ m}$
- kąt tarcia wewnętrznego $\phi_{im} = 25^\circ$,
- średnica nominalna silosu $D = 2 \text{ m}$,
- grubość ścianki $g = 0,01 \text{ m}$,

Iloraz parcia bocznego został obliczony ze wzoru (4.7)

$$K = 1,1 (1 - \sin\phi_{im}) = 0,6351$$

Średnica $d_c = D - g = 1,99 \text{ m}$

Stosunek A/U dla przekroju kołowego jest równy $d_c/4 = 0,4975$

Wysokość z_o została obliczona ze wzoru (5.5)

$$z_o = 7,833 \text{ m}$$

parcie p_{ho} zostało obliczone ze wzoru (5.4)

$$p_{ho} = 74,625 \text{ kPa}$$

Wartość $Y_j(z)$ na głębokości 1,25 m została obliczona ze wzoru (5.6)

$$Y_j(1,25) = 0,1475$$

Parcie na ściankę boczną zostało obliczone ze wzoru (5.1)

$$p_{hf} = 74,625 * 0,1475 = 11,01 \text{ kPa}$$

Wartość $Y_j(z)$ na głębokości 3,75 m została obliczona ze wzoru (5.6)

$$Y_j(3,75) = 0,3804$$

Parcie na ściankę boczną zostało obliczone ze wzoru (5.1)

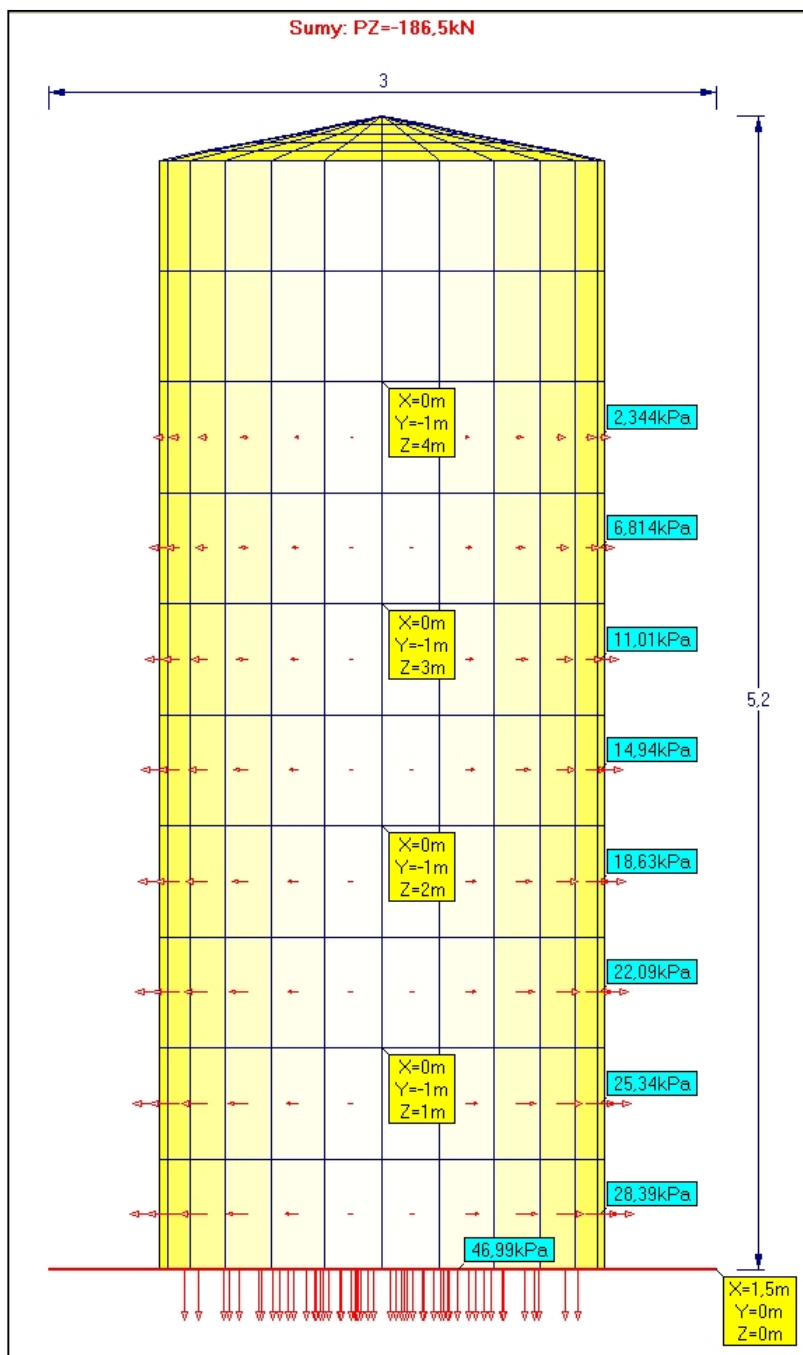
$$p_{hf} = 74,625 * 0,3804 = 28,39 \text{ kPa}$$

Parcie na dno obliczono ze wzoru (5.3) obliczając $Y_j(4) = 0,3999$

$$p_{vf} = 74,625 * 0,3999 / 0,6351 = 46,99 \text{ kPa}$$

Ciężar materiału w silosie $G = \pi d_c^2 / 4 H \gamma = 186,6 \text{ kN}$

Przykładowe zadania



Obciążenie silosu z płaskim dnem.

58.11.2.Silos ze stożkowym dnem

Założenia dla części walcowej takie same jak poprzednio

Założenia dla części stożkowej

- współczynnik tarcia o ściankę leja $\mu_h = 0,1$,
- wysokość stożka do teoretycznego wierzchołka $h_h = 2,222$ m
- kąt stożka $\beta = 24.23^\circ$,
- współczynnik zwiększający obciążenie dna $C_b = 1,0$

wartość parametru F_f obliczono ze wzoru (6.17)

$$F_f = 0,9636$$

wykładnik n obliczono ze wzoru (6.18) przyjmując $S = 2$ (stożek)

$$n = 0,3555$$

parcie na poziomie $Z=0$ (góra leja) wynosi:

$$p_{vf} = 46,99 \text{ kPa}$$

dla poziomu $x = 2,022$ m obliczono parcie $p_v = 48,39$ kPa

składnik prostopadły do ścianki leja obliczono ze wzoru (6.19)

$$p_{nf} = F_f p_v = 46,63 \text{ kPa}$$

dla poziomu $x = 1,622$ m obliczono parcie $p_v = 50,50$ kPa

składnik prostopadły do ścianki leja obliczono ze wzoru (6.19)

$$p_{nf} = F_f p_v = 48,67 \text{ kPa}$$

Parcie na dno obliczono ze wzoru (5.3) obliczając $Y_j(6) = 0,5351$

$$p_{vf} = 74,625 * 0,5351 / 0,6351 = 62,88 \text{ kPa}$$

Objętość leja wynosi

$$V = 2,302 \text{ m}^3$$

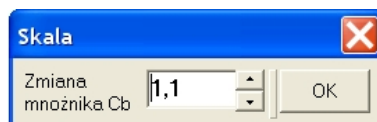
Ciężar materiału w silosie jest sumą części walcowe i stożkowej

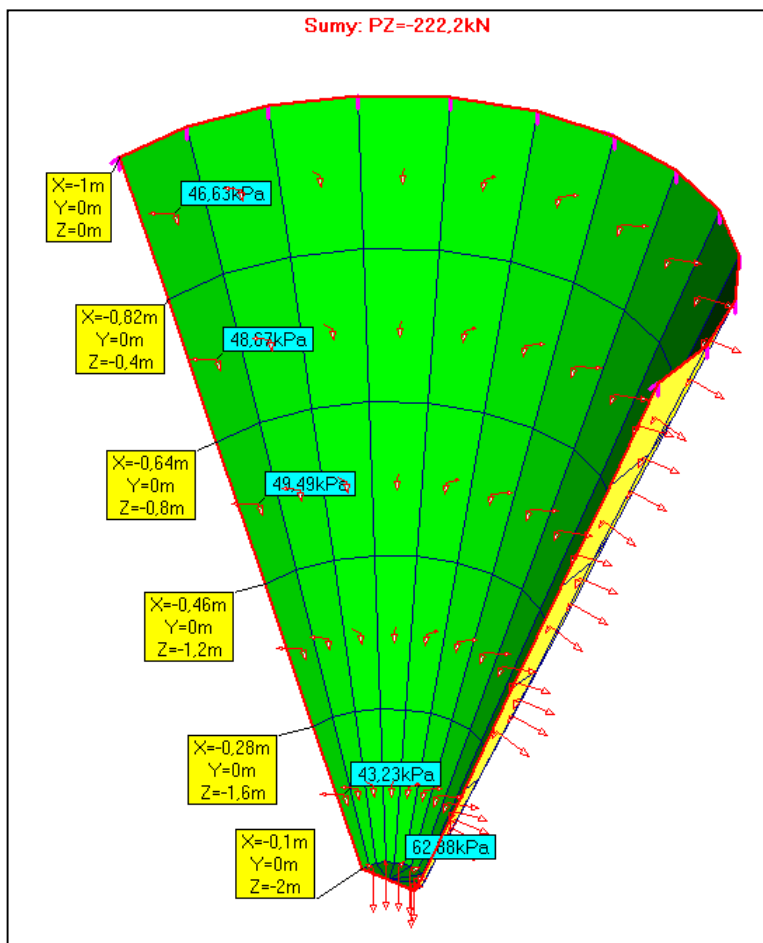
$$G = 221,1 \text{ kN}$$

W przykładowym zadaniu jest on o 0,5% za mały od sumy sił pionowych w modelu.

Jeśli różnica byłaby większa to proponuję skorygować sumę ciężaru współczynnikiem C_b

Wywołuje się z menu Ciśnienia opcję Skaluj.. i wpisuje nową wartość mnożnika C_b . Po naciśnięciu przycisku OK. zaraz pojawi się nowa suma sił i można ocenić poprawność korekty.





58.11.3. Uwagi o zadawaniu obciążenia w silosie.

Dla silosu o płaskim dnie obciążenie zadaje się jednorazowo wybierając trzy węzły na obwodzie walca. Węzły te muszą być na tym samym poziomie. Na wybór miejsc obciążonych nie ma wpływu Opcja Fragment.

Dla silosu z lejem stożkowym obciążenie zadaje się w dwóch kolejnych krokach. Pierwszy jest taki sam jak dla silosu o płaskim dnie. Następnie należy wywołać ponownie opcję Ciśnienia, Silos okrągły i na planszy założeń włączyć Część silosu – Stożkowa. Będzie można zadać tylko współczynnik tarcia i mnożnik C_b . Potem trzeba wybrać cztery węzły. Trzy na dowolnym łuku stożka i jeden na tworzącej, ale nie na poziomym łuku.

Silos kołowy wg PN-EN 1991-4

Opis: **Na walec** ☒ Silos smukły ?

Ciężar objętościowy (właściwy): **15 kN/m³**

Współczynnik tarcia o pionową ścianę: **0,1**

Iloraz parcia bocznego K: **0,6351**

Kąt tarcia wewnętrzznego: **25°**

Wsp. Z powierzchni zastępczej zasypu: **4**

☒ Napełnianie ☐ Opróżnianie

Wsp. parcia poziomego Ch: **1,0**

Wsp. tarcia o ścianę Ow: **1,0**

Wsp. obciążenia dna Cb: **1,0**

Kształt silosu: ☐ Z płaskim dnem ☒ Z lejem stożkowym

Wybierana część silosu: ☒ Walcowa ☐ Stożkowa

Wewnętrzna strona silosu: **musi być niebieska**
 Elementowe osie x' muszą być skierowane w kierunku dna silosu

Anuluj OK

Silos kołowy wg PN-EN 1991-4

Opis: **Na stożek** ☒ Silos smukły ?

Ciężar objętościowy (właściwy): **15 kN/m³**

Współczynnik tarcia o część stożkową: **0,1**

Wsp. zwiększający obciążenie dna Cb: **1,0**

Wsp. Z powierzchni zastępczej zasypu: **4 m**

☒ Napełnianie ☐ Opróżnianie

Wsp. parcia poziomego Ch: **1,0**

Wsp. tarcia o ścianę Ow: **1,0**

Wsp. obciążenia dna Cb: **1,0**

Kształt silosu: ☐ Z płaskim dnem ☒ Z lejem stożkowym

Wybierana część silosu: ☐ Walcowa ☒ Stożkowa

Wewnętrzna strona silosu: **musi być niebieska**
 Elementowe osie x' muszą być skierowane w kierunku dna silosu

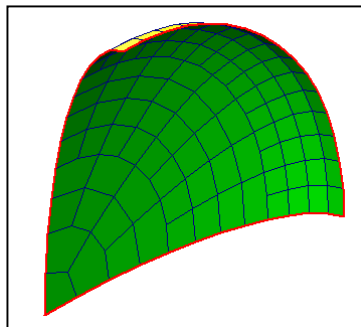
Anuluj OK

Dodatkowym wymogiem który musi być spełniony to lokalizacja elementowych układów współrzędnych. Elementowe osie x' muszą być skierowane w kierunku dna silosu. W menu Elementy jest opcja Obróć układ, którą obrócić elementowy układ współrzędnych.

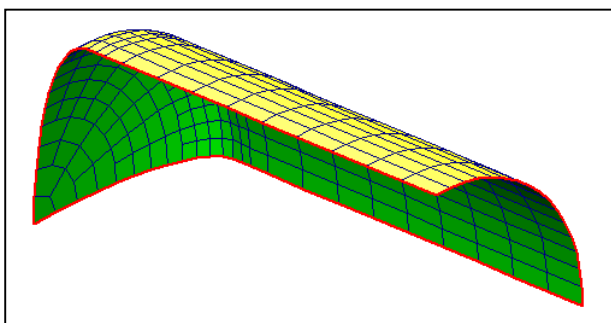
58.12. Zbiornik ciśnieniowy

W zadaniu ZbiornikCisnieniowy zamodelowano walcowy zbiornik ciśnieniowy o eliptycznych dennicach. Ponieważ analizowano tylko naprężenia wywołane ciśnieniem można było ograniczyć model do 1/8 pełnego zbiornika. W przypadku kiedy w obiekcie są obszary klasy kuli modelowanie należy zacząć od nich. Siatka obiektu klasy kula ma określony podział obwodowy do którego można dopasować obszary walcowe. Nie da się tego zrobić odwrotnie.

Na planszy startu wybrano przełącznik „Kula” i po pokazaniu się planszy danych do obiektów klasy Kula wybrano przełącznik „Dennica eliptyczna”. Wprowadzono promień dennicy (1 m), wysokość (0,3 m), przyjęto podział południka 12, wybrano kąt dennicy (90°) i wybrano podział obwodowy 16. Zadano też stosunek szerokości elementów na małym promieniu do elementów na dużym promieniu (3). Wybrano też oś dennicy i kierunek (-X). Otrzymano pierwszy fragment zbiornika pokazany na rysunku.



Teraz z menu Elementy wybrano Dodaj obszar – Walec i na planszy założeń zadano wysokość walca (2m) wraz z podziałem wysokości (10). Pozostałe parametry które przeniosły się automatycznie pozostawiono bez zmian. Po zamknięciu planszy otrzymano prawie gotową siatkę modelu. Warto zwrócić uwagę, że dzięki spójnemu podziałowi obwodu dennicy i walca (te same podziały obwodowe) nastąpiło automatyczne połączenie starego i nowego obszaru.



Na styku walca z dennicą warto wprowadzić dodatkowy podział poosiowy. Przed dodatkowym podziałem ograniczono pokazywany model do walca (menu Fragment- opcja Walec) i tak ustawiono osie aby pierścień elementów przy dennicy można było łatwo wybrać. Z menu Elementy wybrano opcję Podziel pasmo, następnie prawym przyciskiem myszy wyświetlono poręczne menu w którym przełączono sposób wyboru na Łukiem. Teraz wybrano dwa razy elementy na pierścieniu wprowadzając dodatkowe zagęszczenie siatki w miejscu styku z dennicą. Otrzymano pierścienie elementów o malejących szerokościach pasm. Gotową siatkę pokazano na rysunku obok.

Wystarczy teraz zadać trzy płaszczyzny symetrii i obciążenia. Warunki symetrii zadano wybierając z menu Więzy opcję Symetria i następnie wskazując trzy węzły nie leżące na jednej prostej. Dla zadania trzech płaszczyzn symetrii trzeba trzy razy wywołać menu Więzy.

Wystarczy teraz zadać trzy płaszczyzny symetrii i obciążenia. Warunki symetrii zadano wybierając z menu Więzy opcję Symetria i następnie wskazując trzy węzły nie leżące na jednej prostej. Dla zadania trzech płaszczyzn symetrii trzeba trzy razy wywołać menu Więzy.

Po kliknięciu w przycisk Obciążenia wybrano z kolei Ciśnienia i wpisano wartość 1000 kPa. Przyjęto wartość dodatnią ponieważ w zbiorniku strona dodatnia (żółta) jest na zewnątrz. Obciążenie ciśnieniem przyłożono do wszystkich elementów. Po rozwiązaniu otrzymano przemieszczenia węzłów i naprężenia w elementach.

W walcowej części zbiornika naprężenia obwodowe i poosiowe są określone wzorami:

$$\sigma_{obw} = \frac{pD}{2t} \quad \sigma_{poosi} = \frac{pD}{4t}$$

gdzie:

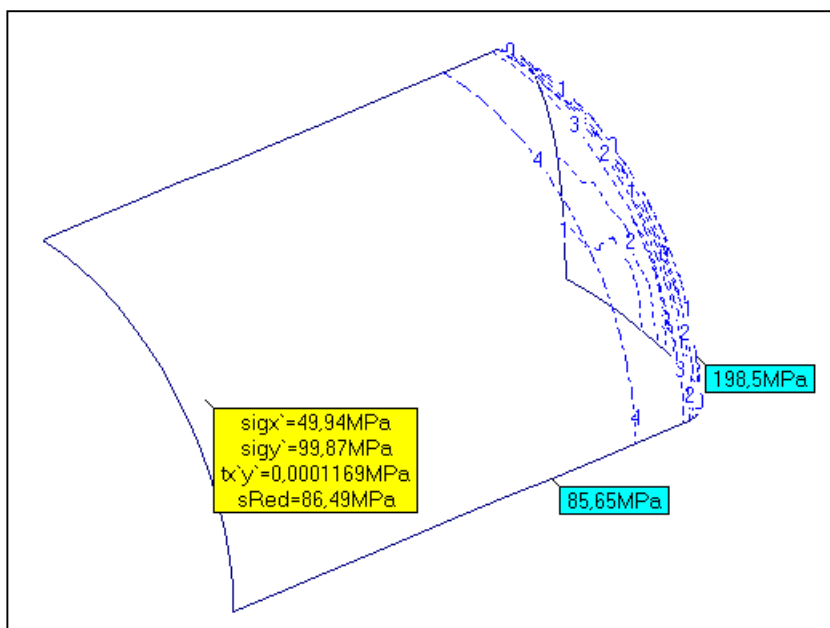
p – ciśnienie = 1000 kPa,
D – średnica zbiornika = 2 m,
t- grubość ścianki = 0,01 m.

Po podstawieniu wartości otrzymano naprężenia:

$$\sigma_{obw} = 100 \text{ MPa i } \sigma_{poosi} = 50 \text{ MPa.}$$

Wartości obliczone numerycznie wynoszą odpowiednio:

$$\sigma_{obwMES} = 99,88 \text{ MPa i } \sigma_{poosiMES} = 49,94 \text{ MPa}$$



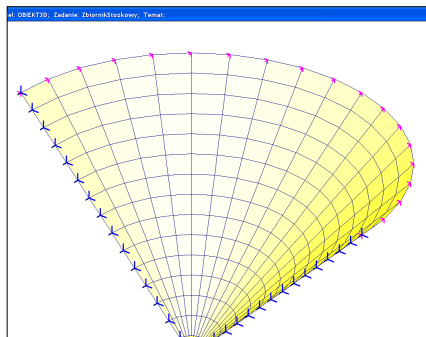
58.13. Zbiornik stożkowy

W zadaniu ZbiornikStożkowy zamodelowano stożkowy zbiornik na wodę. Na planszy startowej wybrano przełącznik stożek i na planszy danych stożka wprowadzono: promień podstawy = 3 m, wysokość stożka = 3 m, podział wysokości 15, kąt środkowy podstawy przyjęto 180° , podział obwodowy = 18. Na rysunku obok pokazano siatkę stożka utworzoną zaraz po zamknięciu planszy danych. Ponieważ pozostawiono kierunek (+Z) otrzymano dach stożkowy. Ponieważ ma to być zbiornik należało obrócić siatkę. Wykorzystano z menu Węzły opcję Lustrzane odbicie i odbito w lustrze wszystkie węzły. Lustro zdefiniowano trzema węzłami leżącymi na łuku podstawy stożka.

W węzłach łuku podstawy zadano przegubowe nieprzesuwne podparcie, a w węzłach leżących na płaszczyźnie symetrii warunki brzegowe. Na rysunku obok pokazano siatkę zbiornika razem z wprowadzonymi warunkami podparcia i symetrii.

Po kliknięciu w przycisk Obciążenia włączono pełny zakres obciążeń (niebieski przycisk [M]) i wybrano Ciśnienia – Hydrostatyczne. Na planszy danych wprowadzono ciężar właściwy cieczy, poziom lustra i ustalono, że mokra będzie żółta strona elementów. Należy zwrócić uwagę, że po lustrzanym odbiciu wierzchołek stożka ma współrzędną -3 m, a poziom lustra współrzędną 0 m.

Po rozwiązaniu wybrano przycisk Naprężenia, następnie opcję Główne i Środek. W ten sposób pokazano naprężenia główne dla stanu tarczowego. Maksymalne naprężenia główne σ_1 w ścianie zbiornika określa wzór:



$$(\sigma_1)_{\max} = \frac{H^2 \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}{4 \cdot t \cdot \cos(\varphi)}$$

gdzie:

H – poziom lustra cieczy = 3 m,

γ - ciężar właściwy cieczy = 10 kN/m³,

t – grubość ścianki = 0,01 m,

φ - połowa kąta wierzchołkowego = 45° .

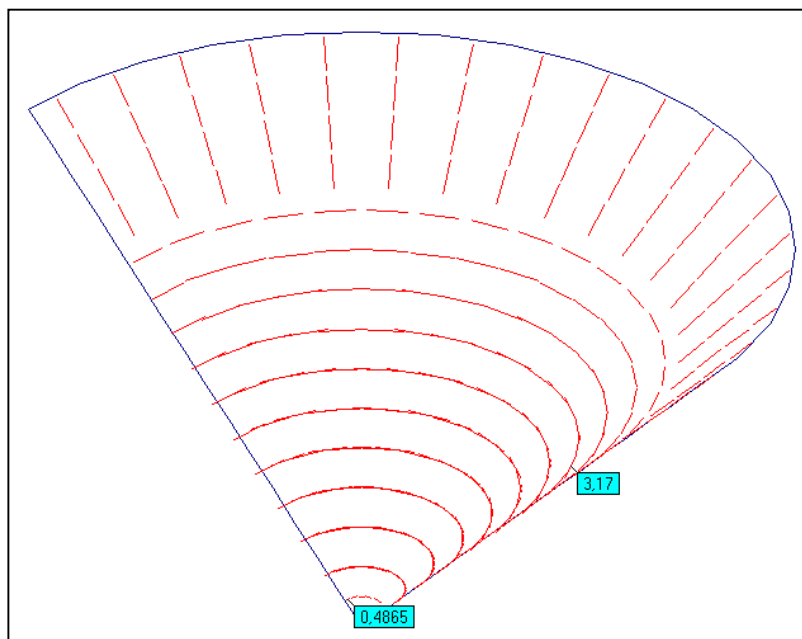
Maksymalne naprężenie σ_1 występuje w połowie wysokości i wynosi: $\sigma_1 = 3,182$ MPa.

Maksymalne naprężenia główne σ_2 w ścianie zbiornika określa wzór:

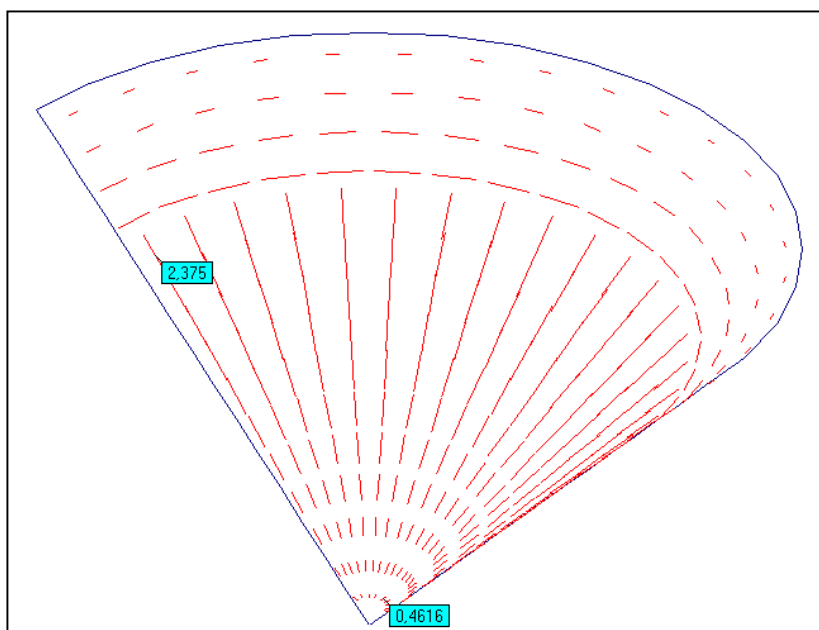
$$(\sigma_2)_{\max} = \frac{3 \cdot H^2 \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg}(\varphi)}{16 \cdot t \cdot \cos(\varphi)}$$

Maksymalne naprężenie σ_2 występuje w 3/4 wysokości i wynosi: $\sigma_2 = 2,386$ MPa.

Na rysunku poniżej pokazano rozkład naprężeń σ_1 . Wartość obliczona numerycznie jest praktycznie taka sama, różnica jest mniejsza od 1%. Również miejsce maksymalnej wartości odpowiada warunkowi $H/2$.



Na drugim rysunku pokazano rozkład naprężeń σ_2 . Wartość obliczona numerycznie jest praktycznie taka sama, różnica jest mniejsza od 1%. Również miejsce maksymalnej wartości odpowiada warunkowi $\frac{3}{4} H$.



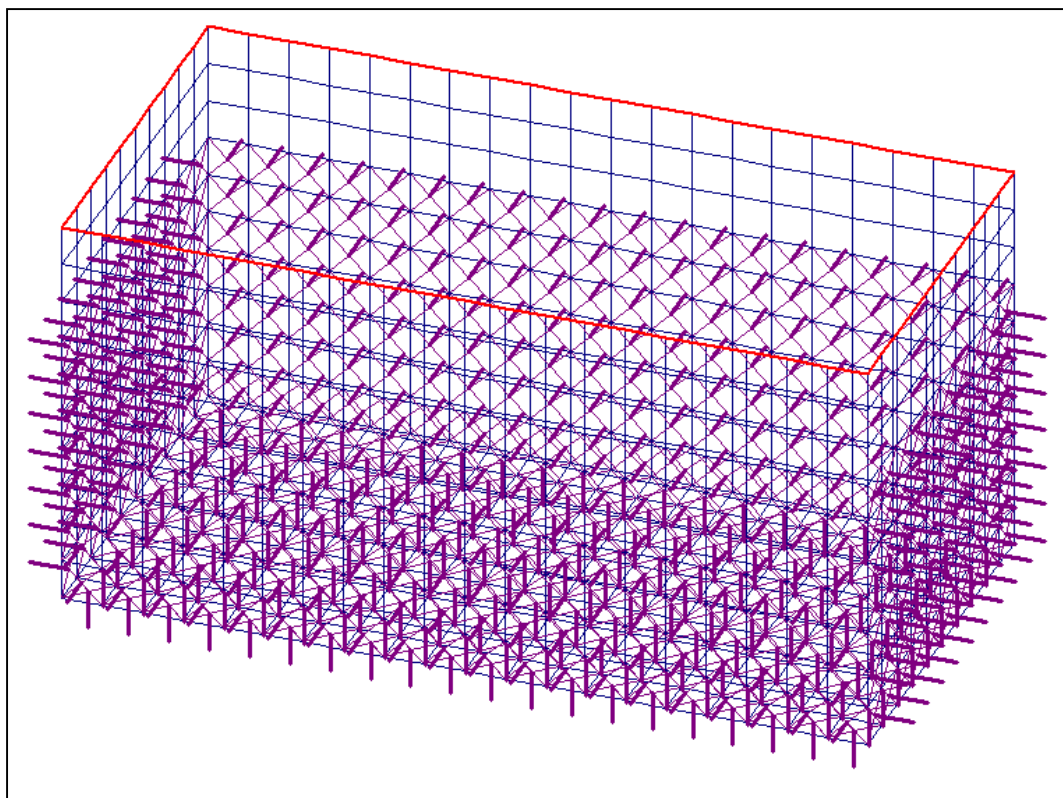
58.14. Żelbetowy zbiornik w gruncie

W zadaniu ZbiornikWgruncie pokazano w jaki sposób można zamodelować prostopadłościenny zbiornik częściowo zagłębiony w gruncie. W tym zadaniu pokazano jak grunt będący w styku z pionowymi ścianami dla zbiornika pełnego będzie podparciem, a dla zbiornika pustego będzie obciążeniem. Przyjęto, że zbiornik jest prostopadłościenną skrzynią bez przykrycia o długości 6 m, szerokości 3 m i wysokości 3 m. Zbiornik jest zagłębiony w gruncie do głębokości 2,1 m, czyli ponad poziom gruntu wystaje na wysokość 0,9 m. Zarówno dno jak i wszystkie ściany zbiornika mają jednakową grubość = 0,12 m. Zbiornik wykonano z betonu C20/25. Zbiornik jest napełniany wodą do pełna.

Na planszy startu przyjęto dane dna; płaszczyzna XY, obszar prostokątny o wymiarach 6 x 3 m, oczko siatki 0,3 x 0,3 m, grubość 0,12 m. Materiał C20/25. Po zamknięciu planszy otrzymano pierwszy obszar.

Następnie z menu Elementy wybrano opcję Zmień stronę i zmieniono stronę we wszystkich elementach. Teraz z menu Elementy wybrano opcję Dodaj ścianę. Na planszy danych wprowadzono wysokość ściany = 3 m, podział wysokości = 10, grubość ściany równą 0,12 m i materiał C20/25. Włączono zadawanie ściany odcinkiem. Na rysunku pokazano stan kiedy dwie sąsiednie ściany są już wprowadzone. Po zadaniu czterech ścian otrzymano gotowy model zbiornika. Niebieski kolor od wnętrza i żółty od zewnątrz informuje, że lokalne osie z' elementów są skierowane na zewnątrz.

Teraz z menu fragment wybrano opcję Współrzędne i na planszy wpisano maksymalną wartość współrzędnej $Z = 2,1$ m. Nie zmieniano pozostałych współrzędnych. Po zamknięciu planszy model zostanie ograniczony do zadanej współrzędnej.



Z menu Podłoże wybrano opcję Winkler i na planszy danych wprowadzono współczynnik sztywności podłoża, oraz włączono żółtą stronę elementów jako tę która będzie w styku z podłożem. Nie zadano składowej stycznej podłoża. Po zamknięciu planszy przyciskiem [OK.] wybrano wszystkie

widoczne elementy. Po powtórным wyborze menu Podłoże wyłączono pokazywanie podłoża. Przed rozpoczęciem zadawania obciążeń, w menu Fragment włączono opcję Cały model.

Po wybraniu przycisku Obciążenia rozpoczęto zadawanie pierwszego schematu. Przyjęto, że w pierwszym schemacie będzie obciążenie wynikające z pełnego zbiornika. Włączono ciężar własny i po wciśnięciu przycisku z niebieską literą [M] wybrano opcję Ciśnienia. Z menu wybrano opcję Hydrostatyczne. Na planszy zadano ciężar właściwy (dla wody zaakceptowano wartość podpowiadaną), następnie wpisano współrzędną lustra woda = 3 m i włączono niebieską stronę elementów jako tę która będzie mokra.

Na rysunku obok pokazano mapę ilustrującą rozkład ciśnień hydrostatycznych dla pierwszego schematu obciążenia.

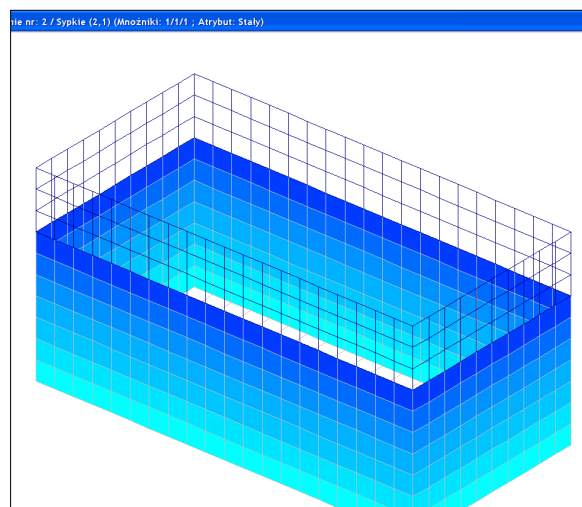
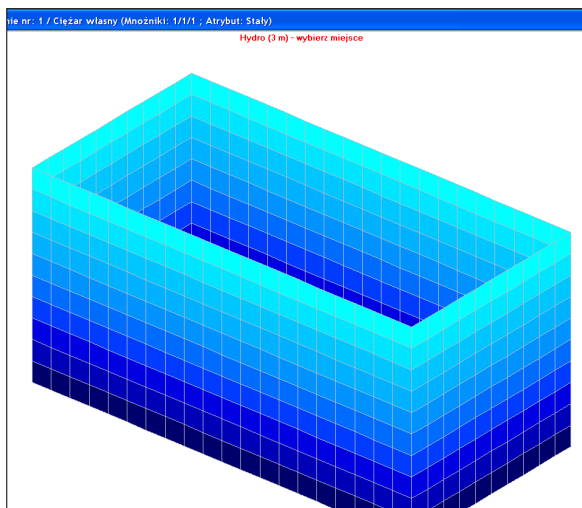
W drugim schemacie zamodelowano pusty zbiornik. Włączono ciężar własny i dodano parcie ziemi na ściany. Przed zdefiniowaniem tego obciążenia z menu Fragment wybrano opcję Płaszczyzna, wybrano trzy węzły z dna zbiornika i usunięto elementy tworzące dno. Po wybraniu przycisku Ciśnienia wybrano opcję Materiał sypki i na planszy zadano ciężar właściwy ziemi przyjmując 25 kN/m^3 , kąt tarcia wewnętrznego $= 25^\circ$, i wysokość zasypu $= 2,1 \text{ m}$. Ponadto włączono żółtą stronę jako tę która jest w styku z ziemią. Potem wybrano wszystkie widoczne elementy. Program sam ustalił które elementy są obciążone.

Na rysunku obok widać jak program zadał obciążenie parciem sypkim.

W kolejnym kroku dokonano modyfikacji podparcia modelu. W drugim schemacie w którym zadano oddziaływanie ziemi jako materiału sypkiego nie można mieć podparcia ścian podłożem. W programie można w każdym schemacie zadać inny układ podpory.

Dla zmiany podparcia wybrano z menu Obciążenia opcję Edycja starego – drugi schemat i kliknięto w czerwony przycisk Struktura. Z menu wybrano opcję Usuń zbędne podłoże i metodą Płaszczyzna wybrano wszystkie elementy podłoża przyłożone do ścian. W efekcie w drugim schemacie otrzymano tylko podłoże przyłożone do elementów dna. Ponieważ zadano wyłącznie sztywność normalną do elementów, w drugim schemacie model uzyskał swobodę przemieszczeń w płaszczyźnie XY.

Aby odebrać te przemieszczenia wprowadzono dodatkowe podpory o składowych XY, X i Y. Przyjęto taki układ podparcia, aby umożliwić swobodę odkształceń. Ale ten układ podpór jest zupełnie zbędny w pierwszym schemacie. Dlatego też wybrano do edycji pierwszy schemat i z menu Struktura wybrano opcję Usuń zbędne podpory i wyłączono dla tego schematu wszystkie podpory. Rozwiązanie dla tak zbudowanego modelu będzie tzn. statyką wielokrotną.

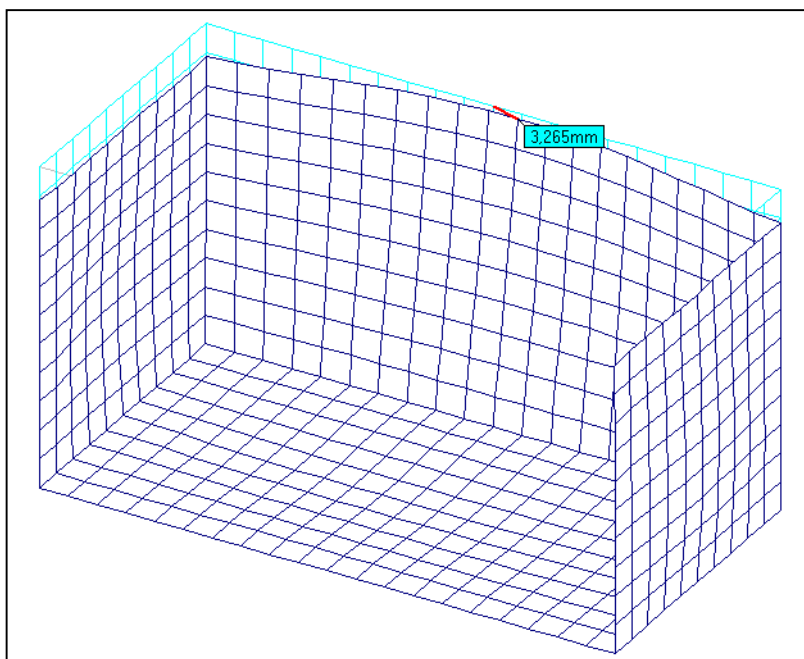


Przykładowe zadania

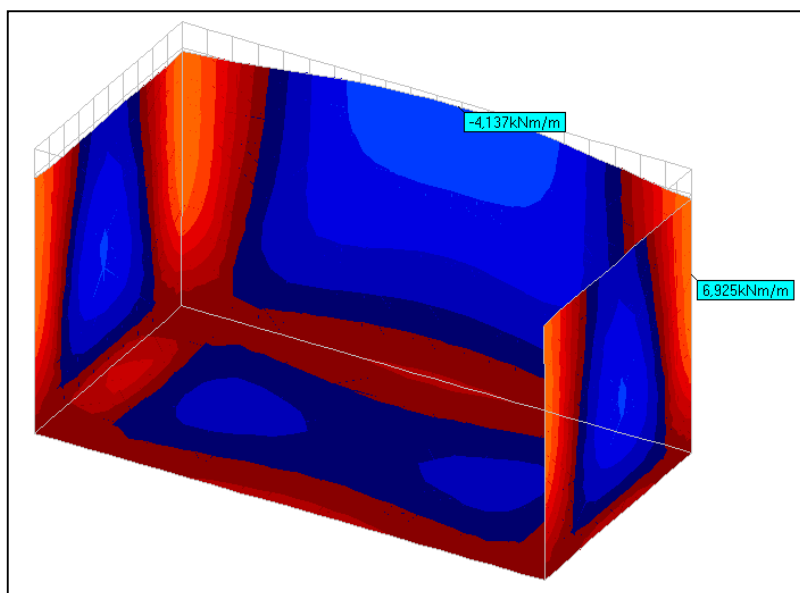
Oznacza to, że dla każdego schematu budowana jest od nowa macierz sztywności i przeprowadzane jest rozwiązanie. W efekcie otrzymano odkształcenia, siły wewnętrzne i odpory dla zbiornika pełnego w którym ściany opierają się na podłożu sprężystym i w którym wyłączone są podpory skupione oraz wyniki dla zbiornika pustego w którym ściany nie opierają się na podłożu, za to są obciążone parciem sypkim.

Dalej pokazano odkształcenia, rozkłady momentów m_x i odpory w pełnym i pustym zbiorniku. Dla czytelności usunięto jedną ścianę. Przy prezentacji odkształceń modelu pozostawiono zarys nie odkształconej siarki.

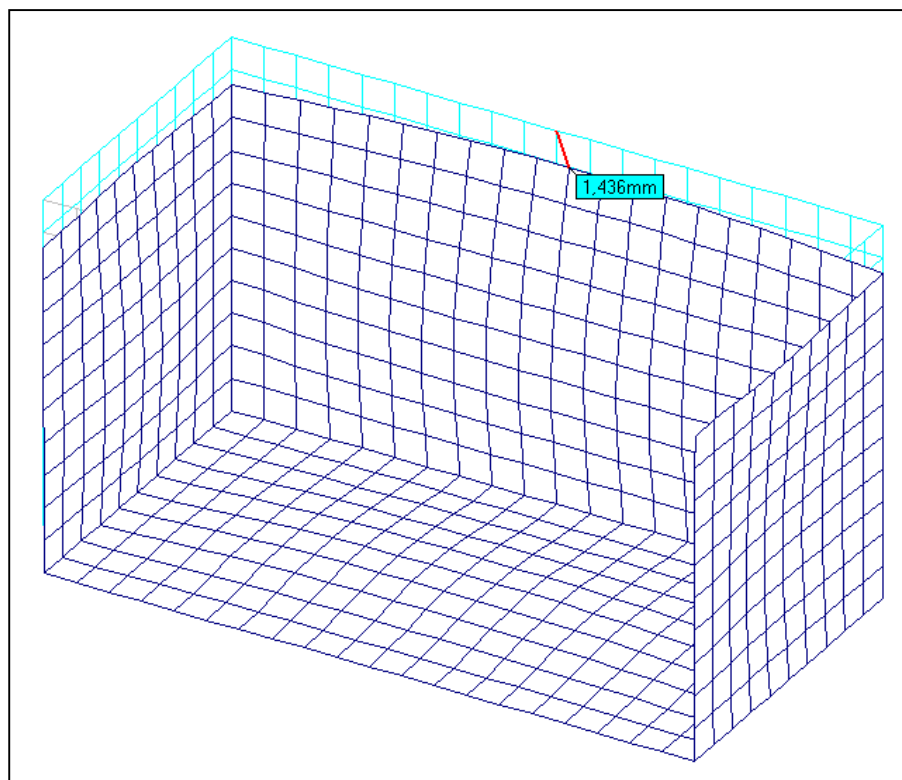
Odształcenia zbiornika dla pierwszego schematu obciążenia.



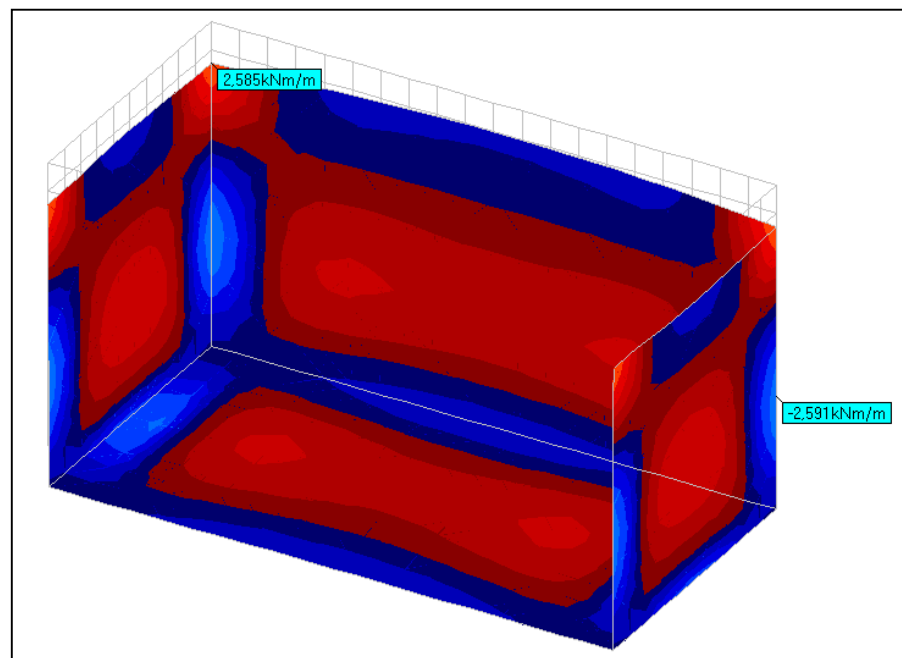
Rozkład momentów m_x dla pierwszego schematu obciążenia



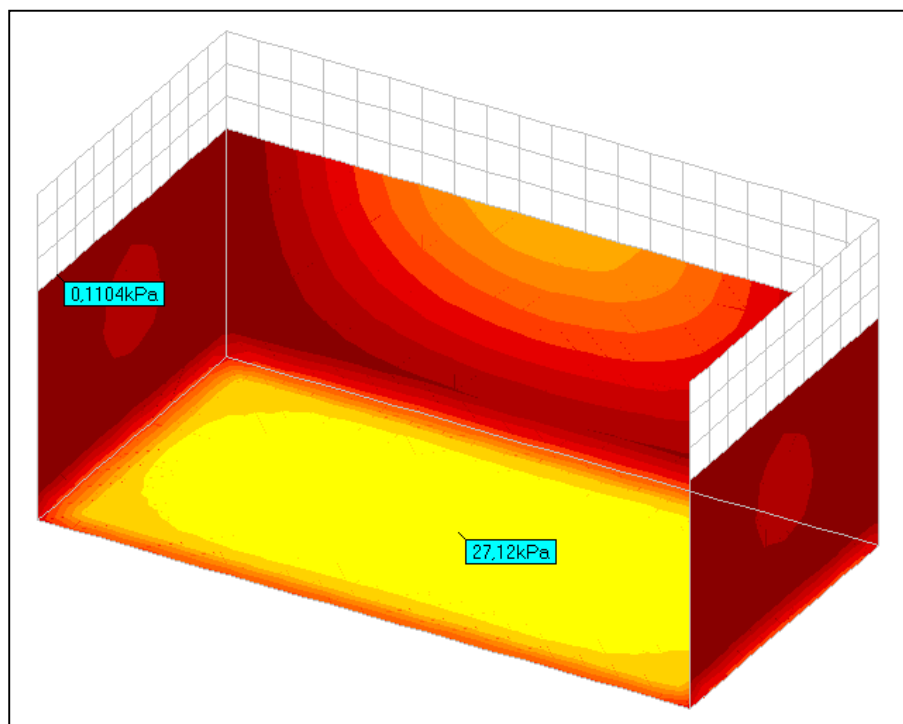
Odkształcenia
zbiornika pustego
(drugi schemat
obciążenia)



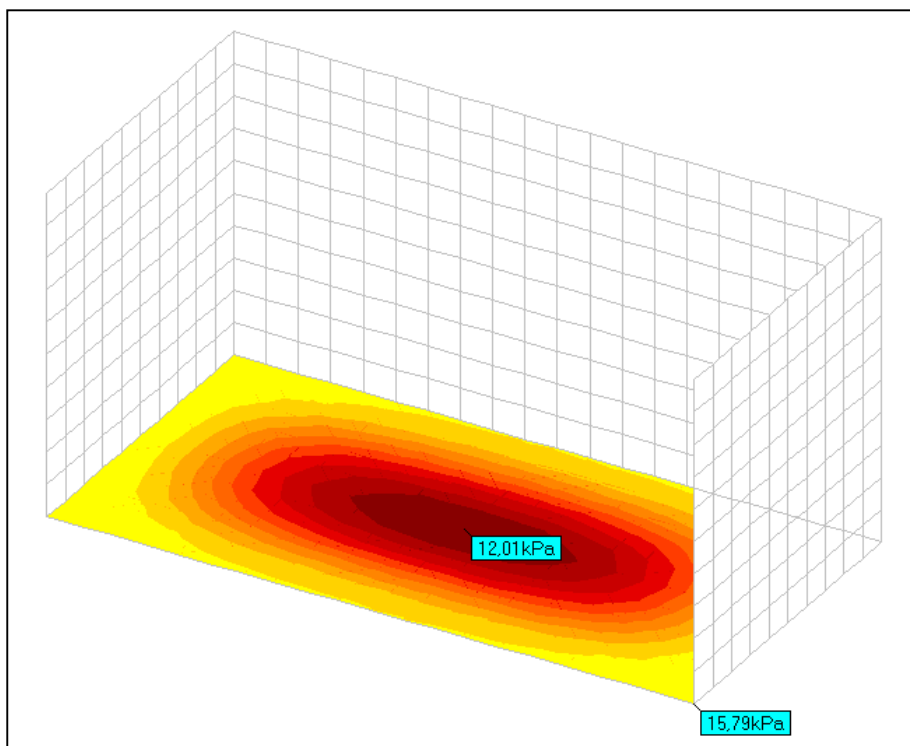
Rozkład momentów m_x dla
pustego zbiornika



Rozkład odporów dla pełnego zbiornika

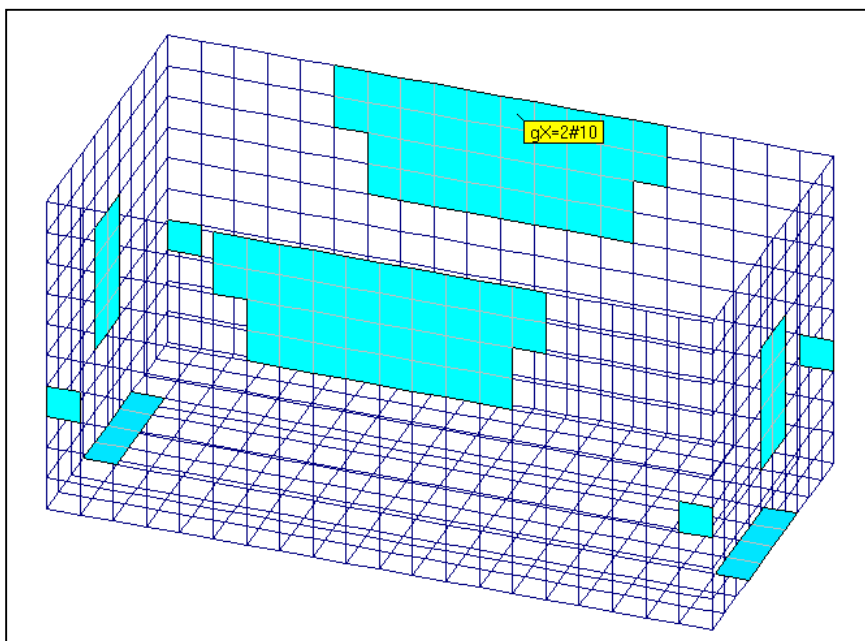


Rozkład odporów dla pustego zbiornika

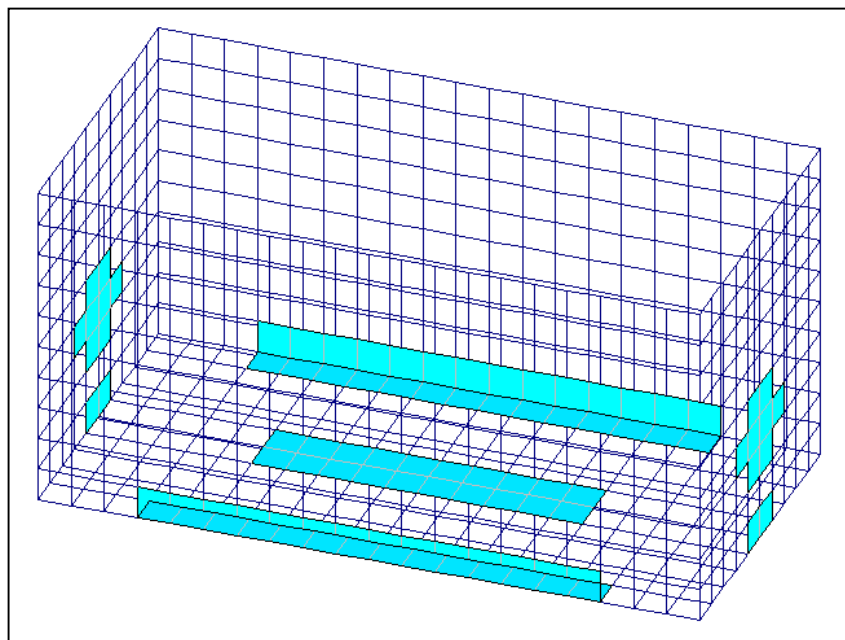


W przypadku tak skonstruowanych obciążeń, do obliczania zbrojenia, należało włączyć obwiednię przez wybór ze stałych. W menu Obwiednia w opcji Atrybuty i mnożniki zadano mnożniki obciążenia i następnie wybierano płaskie fragmenty modelu. Dla każdego fragmentu najpierw pokazuje się plansza założeń do zbrojenia, potem zbrojenie.

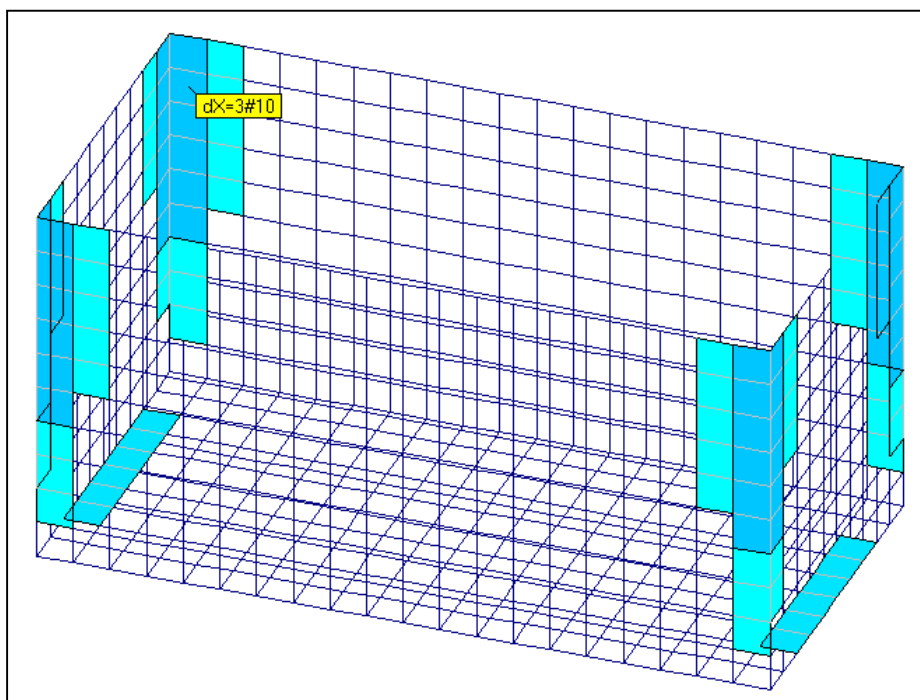
Zbrojenie poziome
po zewnętrznej
stronie.



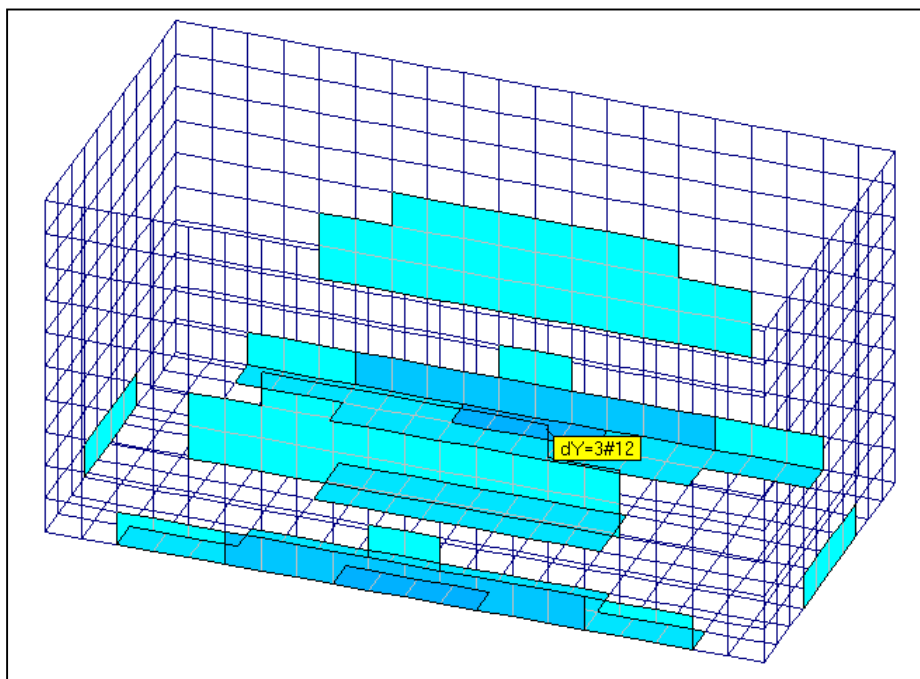
Zbrojenie pionowe
po zewnętrznej stro-
nie.



Zbrojenie
poziome po
wewnętrznej
stronie.



Zbrojenie
pionowe po
wewnętrznej
stronie.



Zarysowanie po
wewnętrznej
stronie.

