Słowa kluczowe,
transport, symulacja komputerowa,
dynamika, Mathematica, MES, LS-DYNA
.

Wacław SZCZEŚNIAK[1]

WYBRANE ZADANIA SYMULACJI KOMPUTEROWYCH W TRANSPORCIE

Praca dotyczy wybranych zadań z dynamiki analitycznej i dynamiki konstrukcji mających zastosowanie w transporcie, których wyniki rozwiązania symulowano na małym i dużym komputerze. W opracowaniu bazowano na kodach Mathemtica w przypadku prostszych układów materialnych i na kodzie LS-DYNA w przypadkach konstrukcji złożonych.

SOME PROBLEMS OF COMPUTER SIMULATION IN TRANSPORT

The paper deals with selected problems of analytical dynamics and dynamics of structures applicable in transport. Computer simulations are performed using Mathemtica code and LS-DYNA program.

1. WSTĘP

W roku 1994 Profesor Ralph C. Huntsinger z California State University, Chico USA, prezydent międzynarodowej organizacji SCSI Society for Computer Simulation International oraz dyrektor McLeod Institute of Simulation Sciences otworzył, pierwsze Warsztaty Naukowe nowo utworzonego Polskiego Towarzystwa Symulacji Komputerowej PTSK, w Mielnie. Od roku 1994 do chwili obecnej wydano 15 tomów zawierających około 600 referatów z różnych dziedzin naukowych, przy czym, zdecydowanie najwięcej opublikowanych prac dotyczy symulacji w transporcie. Te coroczne konferencje noszą wspólną nazwę „Symulacja w badaniach i rozwoju". W zakresie tematyki inżynierii lądowej wygłoszono i opublikowano tylko kilka prac.

Drugą cykliczną konferencją naukową zorganizowaną po raz pierwszy w 1977 roku a trwająca do chwili obecnej są konferencje „Metody Komputerowe w Mechanice Konstrukcji MKMK. Początkowo w końcu lat siedemdziesiątych i poprzez lata osiemdziesiąte wydawano kilkutomowe dzieła z pełnymi referatami autorów z różnych pod dziedzin mechaniki, budownictwa, inżynierii lądowej i innych. W ostatnich latach drukowane są jedynie abstrakty a referaty w całości umieszczane są na dyskietkach CD.

Trzecią cykliczną konferencją naukową w Polsce poświęconą w dużej części symulacji komputerowej są konferencje, organizowane corocznie w Zakopanem przez Wydział Transportu Politechniki Radomskiej, TRANSCOMP „Komputerowe Systemy

[1] Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, 00-637 Warszawa, Al. Armii Ludowej 16, tel.: +48 22 234 65 07, e-mail: w.szczesniak@il.pw.edu.pl

wspomaganie nauki, przemysłu i transportu". Czternasta już konferencja odbędzie się w grudniu w Zakopanem w 2010 roku. W tych materiałach po konferencyjnych są sekcje budownictwo transportowe, drogi kolejowe, drogi samochodowe i lotniska i inne

w których zagadnienia, zwłaszcza podstaw teoretycznych inżynierii lądowej, mają dużą reprezentacje referatową. Liczba opublikowanych tam prac dotyczących zagadnień inżynierii lądowej wynosi około 100 referatów.

Konferencje Polsko-Ukraińskie „Theoretical Foundations of Civil Engineering" wydały od 1993 roku do chwili obecnej 17 bardzo obszernych tomów (1300 referatów) w których symulacje komputerowe odgrywają duże znaczenie.

Periodyk naukowy IPPT PAN „Mechanika i Komputer"wydawany od 1979 zakończył swoje istnienie praktycznie w roku 1987 z powodów ekonomicznych. Również periodyk „Metody Komputerowe w Inżynierii Lądowej' wydawany od 1990 roku w Instytucie Mechaniki Konstrukcji Inżynierskich, Wydziału Inżynierii Lądowej, Politechniki Warszawskiej zaprzestał swoją działalność w 1997 roku przede wszystkim ze względów również finansowych. Tak więc w chwili obecnej w Polsce nie ma periodyku integrującego środowisko zawodowe w zainteresowaniach którego znajdują się metody i techniki komputerowe oraz symulacje komputerowe w różnych, najszerzej rozumianych dziedzinach transportu, budownictwa i inżynierii lądowej.

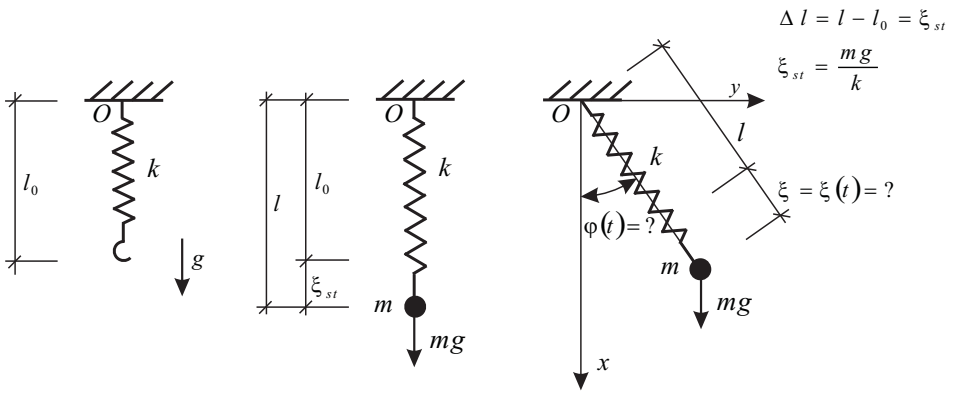
Symulacje komputerowe kojarzone i związane są nierozłącznie zatem z rozwojem informatyki, metod numerycznych, budowy komputerów i ich wzrastających mocy obliczeniowych oraz oprogramowania, w tym oprogramowania inżynierskiego w szczególności. To dzięki komputerom zadania które do niedawna wydawały się nie do rozwiązania są dzisiaj przedmiotem rozważań nawet w dydaktyce w uniwersytetach i uczelniach technicznych.

Celem opracowania jest pokazanie kilku symulacji wykonanych na małym i dużym komputerze. Symulacje na małym komputerem dotyczą dynamiki analitycznej i dynamiki konstrukcji inżynierskich. W zakresie dynamiki analitycznej analizowano na komputerze typu PC podwójne wahadło matematyczne programem Wolframa MATHEMATICA. W przypadku dużego komputera wykorzystano program LS DANA.

2. ANALITYCZNE METODY ROZWIĄZANIA ZADAŃ

2.1 Podwójne wahadło matematyczne

Rozważamy podwójne wahadło matematyczne jak na rysunku 1. Układ ma dwa stopnie swobody opisane współrzędnymi uogólnionymi $\xi = \xi(t)$, $\varphi = \varphi(t)$.

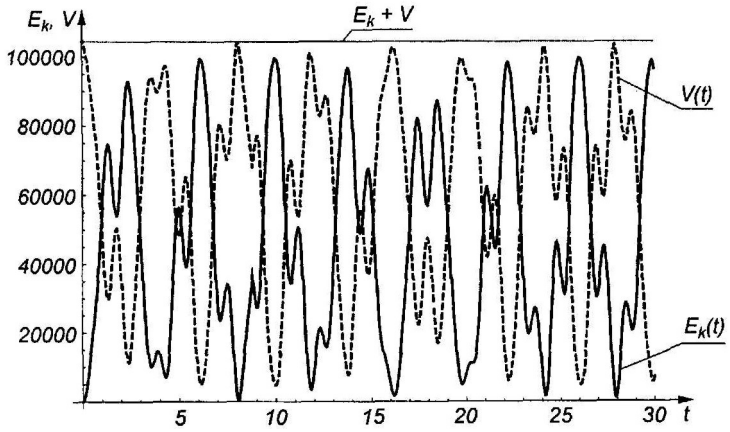


Rys. 1. Schemat dynamiczny rozważanego zadania

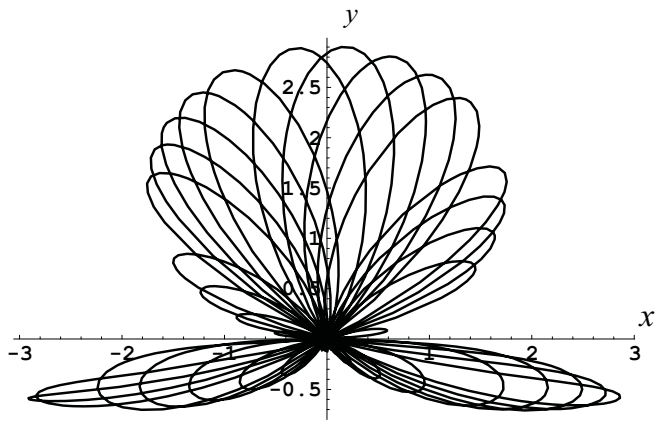
Dwa nieliniowe równania ruchu Lagrange'a są następujące:

$$\begin{aligned} m\ddot{\xi} + k\xi - m(l+\xi)\dot{\varphi}^2 - mg(1-\cos\varphi) = 0, \\ m(l+\xi)\left[(l+\xi)\ddot{\varphi} + 2\dot{\xi}\dot{\varphi} + g\sin\varphi\right] = 0. \end{aligned} \tag{1}$$

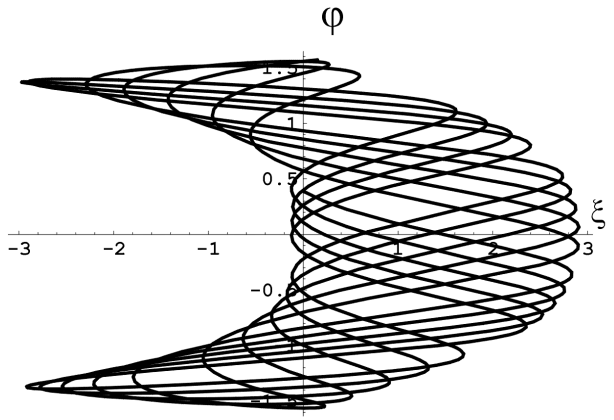
Numeryczne rozwiązanie równań (1) prowadzi do następujących wyników pokazanych graficznie na wykresach.



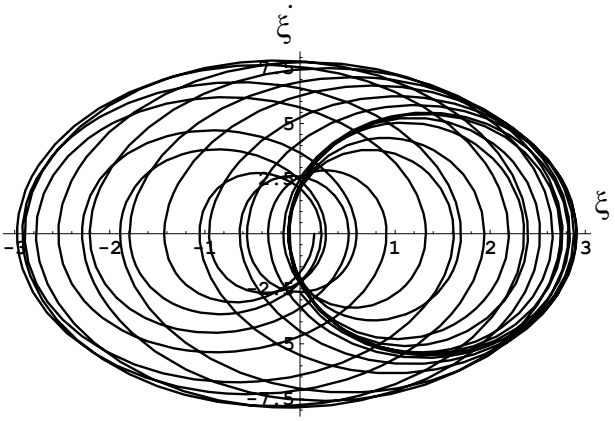
Rys. 2. Wykresy energii kinetycznej $E_k(t)$ (linia ciągła), energii potencjalnej $V(t)$ (linia przerywana) oraz sumy energii $E_k(t)+V(t)$ w czasie



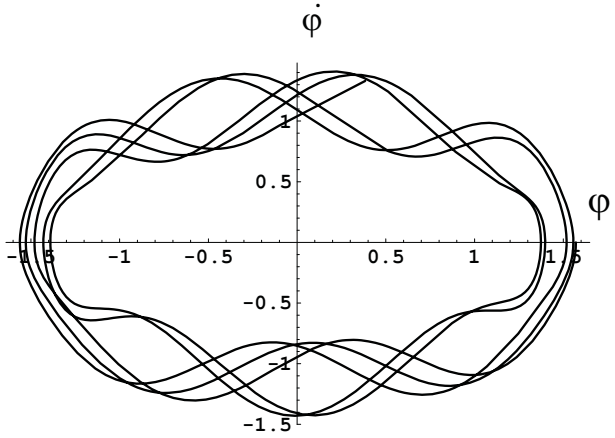
Rys. 3. Trajektoria ruchu masy wahadła m we współrzędnych x i y. Przy czym $x = \xi \sin\varphi$ *oraz* $y = \xi \cos\varphi$



Rys. 4. Trajektoria ruchu masy wahadła m we współrzędnych $\xi = \xi(t)$ *i* $\varphi = \varphi(t)$



Rys. 5. Portret fazowy we współrzędnych $\xi = \xi(t)$ *i* $\dot{\xi} = \dot{\xi}(t)$



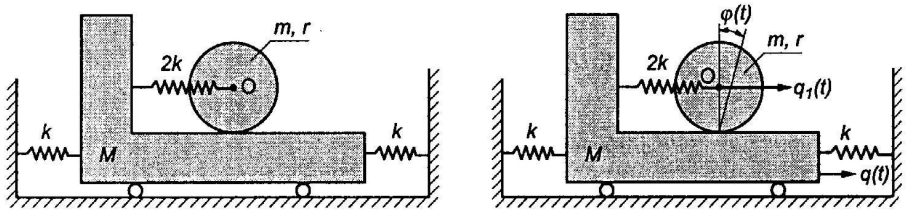
Rys. 6. Portret fazowy współrzędnych $\varphi = \varphi(t)$ *oraz* $\dot{\varphi} = \dot{\varphi}(t)$

2.2. Układ materialny o dwóch stopniach swobody

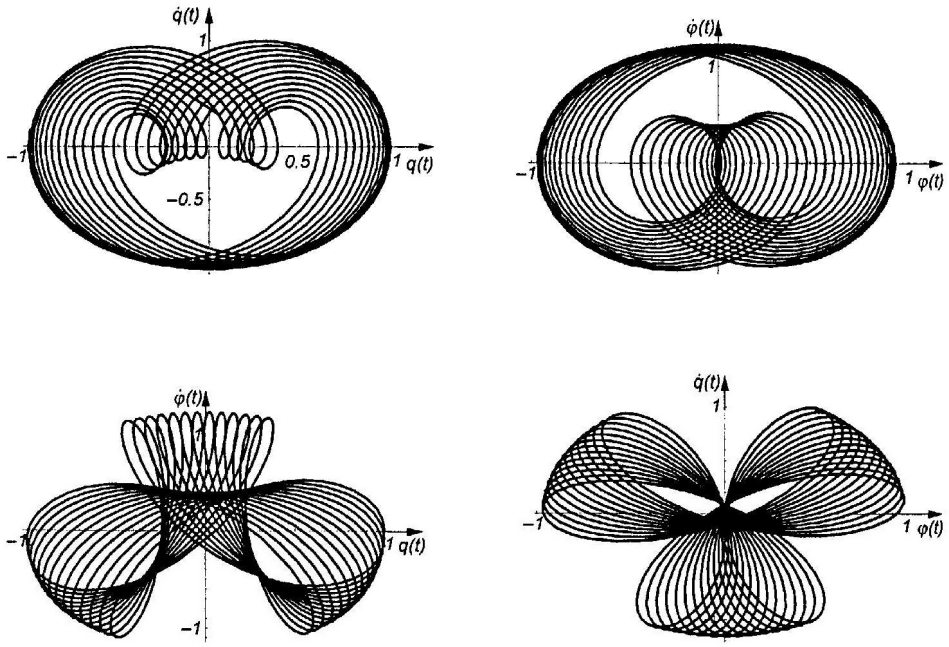
Pokazany na rysunku 7 układ ma dwa stopnie swobody q i q_1, powiązane równaniem więzów: $q_1 = q + R\varphi$. Liniowy układ dwóch równań ruchu:

$$\begin{aligned} (M+m)\ddot{q} + mr\ddot{\varphi} + 2kq = 0, \\ 2m\ddot{q} + 3mr\dot{\varphi} + 4kr\varphi = 0. \end{aligned} \tag{2}$$

rozwiązano numerycznie, a niektóre wyniki rozwiązania pokazano na rysunkach 8.



Rys. 7. Schemat dynamiczny układu i współrzędne uogólnione

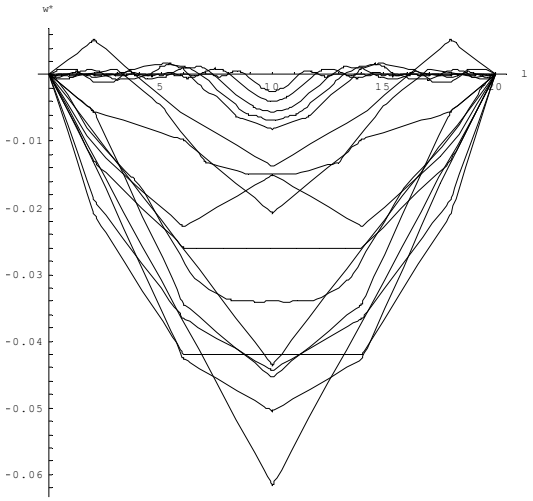


Rys. 8. Wybrane portrety fazowe we współrzędnych uogólnionych

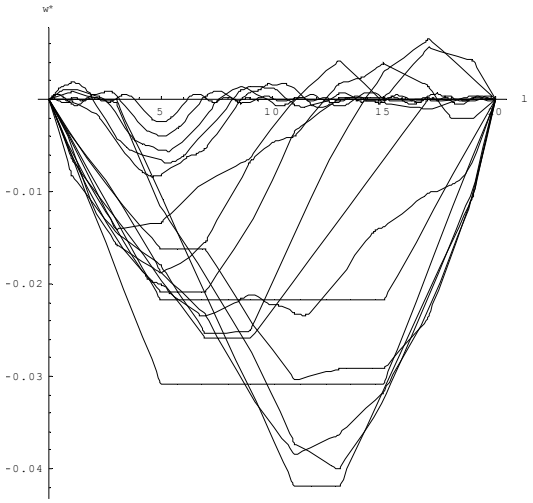
2.3. Obciążenie belki Eulera impulsem siły

Klasyczne równanie dynamiki belki Eulera obciążono impulsem siły S w środku rozpiętości. Cząstkowe równanie ruchu rozwiązano przy zastosowaniu skończonej transformacji Fouriera uzyskując wyrażenie na ugięcie dynamiczne pod postacią szeregu. Rozwiązano również przypadek działania impulsu na belkę w odległości $x = l/4$. Wyniki rozwiązania pokazano na rysunkach 9 i 10. Pewnego komentarza wymaga rysunek 10, bowiem impuls przyłożony w jednej czwartej rozpiętości belki, wywołał po jednej czwartej podstawowego okresu drgań własnych, maksymalne ugięcie w odległości trzy czwarte

rozpiętości belki. Jest to znany efekt działania falowego w przypadku wymuszeń prędkościowych, udarowych.



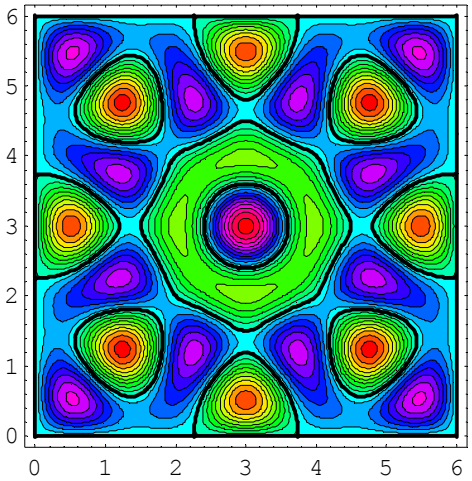
Rys. 9. Ugięcie belki w czasie wywołane impulsem siły przyłożonym w środku rozpiętości belki Eulera



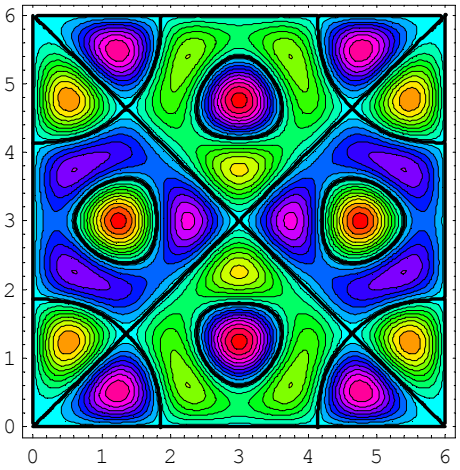
Rys. 10. Ugięcie belki w czasie wywołane impulsem siły przyłożonym w jednej czwartej rozpiętości belki Eulera

2.4. Figury Chladniego na płycie Kirchhoffa

Biharmoniczne równanie ruchu zagadnienia własnego cienkiej płyty Kirchhoffa rozwiązano podwójnymi szeregami sinusoidalnymi spełniającymi warunki brzegowe płyty sprężystej, swobodnie przegubowo podpartej na całym obwodzie. Przez prostą zasadę superpozycyjną dwóch fal uzyskano symetryczne i antysymetryczne postacie drgań własnych przy dowolnej kombinacji m i n. Linie czarne pokazują tzw. linie węzłowe przy których ugięcia płyty są równe zeru.



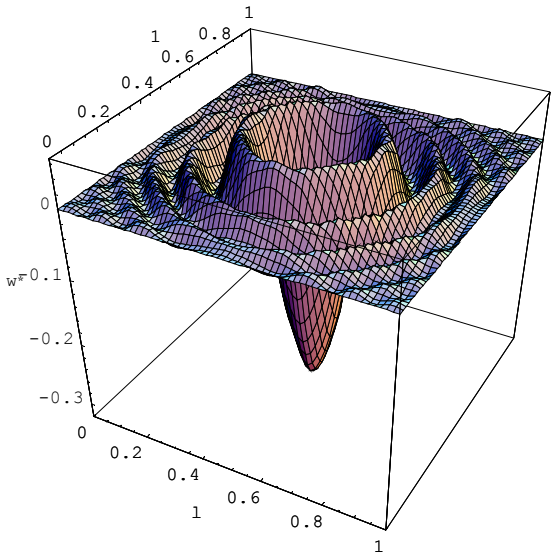
Rys. 11. Symetryczna figura Chladniego przy m = 3 i n = 7



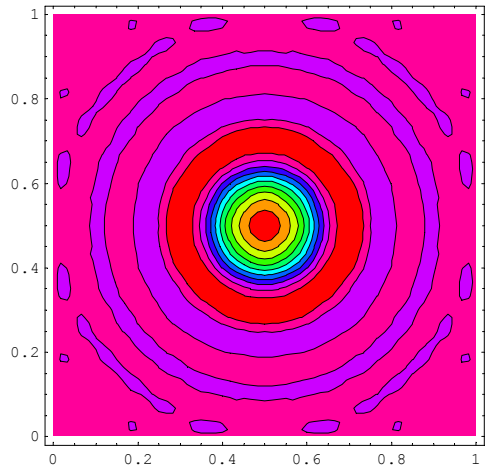
Rys. 12. Antysymetryczna figura Chladniego przy m = 3 i n = 7

2.5. Obciążenie impulsowe na cienkiej płycie Kirchhoffa

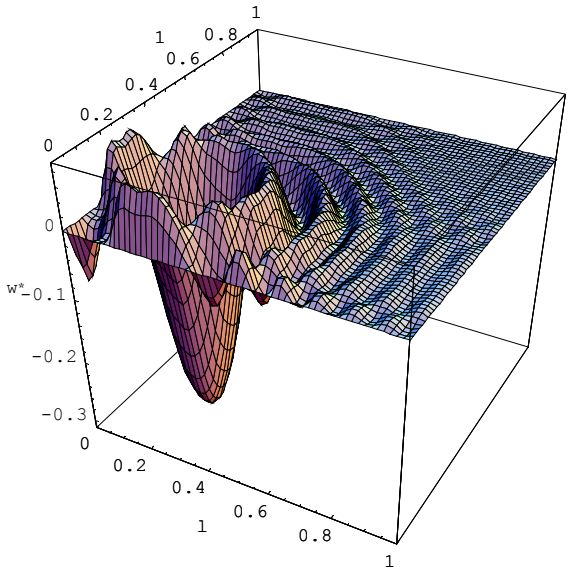
Biharminiczne niejednorodne równanie ruchu rozwiązano analitycznie w przypadkach bądź pojedynczego impulsu bądź grypy impulsów działających równocześnie albo z przesunięciem fazowym.



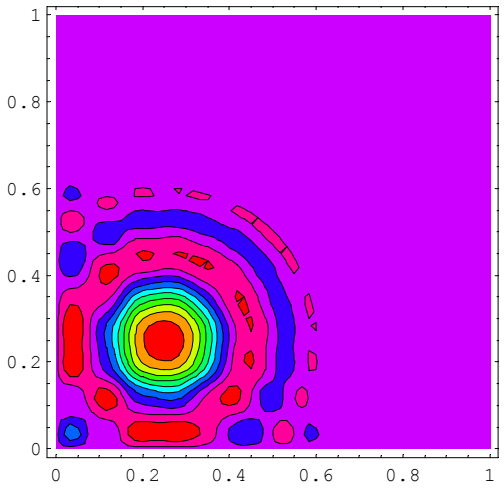
Rys. 13. Kwadratowa płyta obciążona pojedynczym impulsem w środku w czasie $\frac{1}{10}T_{1,1}$



Rys.14. Układ warstwicowy na płycie z rysunku 1, impuls działa w środku płyty



Rys. 15. Kwadratowa płyta obciążona pojedynczym impulsem przy $x_0 = y_0 = \frac{a}{4}$ *w czasie* $\frac{1}{10}T_{1,1}$



Rys. 16. Układ warstwicowy na płycie z rysunku 3, impuls działa w punkcie $x_0 = y_0 = \frac{a}{4}$

3. NUMERYCZNE METODY ROZWIĄZANIA ZADAŃ. MES. SYMULACJE NA DUŻYCH KOMPUTERACH

3.1. Wybuch i autobus

Na slajdach pokazano symulację komputerową wybuchu ładunku C4 przed drzwiami mini autobusu Ford Eldorado. Zastosowano do symulacji metodę LS-DYNA, a obliczenia przeprowadzono na superkomputerze w Uniwersytecie Floryda w USA. Wykorzystano metodę elementów skończonych i różnic skończonych w opisach Lagrange'a i Eulera.

3.2. Zderzenia mini autobusów pomiędzy sobą

Wykorzystując siatki MES symulowano zderzenia busów Ford Eldorado poruszającymi się z prędkościami $60\,\mathrm{km/h}$.

3.3. Wybrane symulacje nawierzchni drogowej i pokrywy studzienki telekomunikacyjnej

Pokazano model komputerowy wyciętego fragmentu podatnej nawierzchni drogowej obciążonej ruchomym kołem pojazdu ciężarowego poruszającego się z prędkością 60 i 120 km/h. Następnie zamodelowano MESem pokrywę studzienki komunikacyjnej w ciągu nawierzchni drogowej obciążonej dynamicznie rzeczywistym kołem samochodowym.

3.4. Wybrane symulacje interakcji cieczy w zbiorniku ruchomym (cysternie)

W rzeczywistej cysternie pokazano dynamiczne zachowanie się cieczy w cysternie przy przejeździe pojazdu na prostej, pojedynczym i podwójnym łuku drogi. Wykorzystano procedurę ALE w kodzie LS-DYNA. Opracowanie wykonane w ramach projektu badawczego MNiSZW N501 010 31/0964 w latach 2006-2009.

3.5. Inne symulacje wykonane przy zastosowaniu LS-DYNA

Na kolejnych slajdach będą pokazane inne symulacje takie jak poduszka powietrzna, zderzenia lokomotyw i wagonów i inne.

4. WNIOSKI

Opracowanie przeglądowe w którym pokazano symulacje komputerowe wybranych zadań z dynamiki analitycznej i dynamiki konstrukcji wykonanych przede wszystkim w IMKI na Wydziale IL PW. Opracowanie składa się wyraźnie z dwóch części. W przypadku prostych zadań wykorzystano program Wolframa Mathematica, zaś w przypadku złożonych problemów bazowano na kodzie komputerowym LS-Dyna. Niektóre wyniki są rezultatem projektów badawczych MNiSZW na przykład N501 010 31/0964 w latach 2006-2009.
W pracy omówiono również problemy symulacji komputerowej w Polsce przede wszystkim dzięki aktywności Polskiego Towarzystwa Symulacji Komputerowych

działającego od 1993 roku, oraz periodyku naukowego IPPT PAN „Mechanika i Komputer" wydawanego w latach od 1979- 1987.

5. BIBLIOGRAFIA

[1] Szcześniak W.: Mechanika klasyczna, analityczna i <<MATHEMATCA>> w zadaniach i przykładach obliczeniowych. OW PW ,Warszawa 2003
[2] Szcześniak W.: Dynamika analityczna i <<MATHEMATICA>> w zadaniach i przykładach obliczeniowych. OW PW ,Warszawa 2005
[3] Szcześniak W.: Dynamika teoretyczna dla zaawansowanych. OW PW ,Warszawa 2007
[4] Szcześniak W.: Dynamika teoretyczna w zadaniach dla dociekliwych. OW PW, Warszawa 2010
[5] Kwaśniewski L., Balcerzak M.: Liquid structure interaction in a moving tank. Theoretical Foundations of Civil Engineering. (2009), Nr.17, pp.197-202
[6] Kwaśniewski L.: Numerical analysis of dynamic fluid – structure interaction in a tank. Theoretical Foundations of Civil Engineering. (2006), Nr.14, pp.159-168
[7] Kwaśniewski L., Puchacz P., Sitek M.: Liquid motion in a tank subjected to pitching oscillation. Theoretical Foundations of Civil Engineering. (2007), Nr.15, pp.381-396
[8] Szcześniak W., Ataman M., Kwaśniewski L.: Dynamic analysis of liquid motionin a tank using hoop and ball method with damping. Computes Systems Aided Science and Engineering Work in Transport, Mechanical and Electrical Engineering Monograph No22, Radom 2008, pp.517-522
[9] Kwaśniewski L., Szcześniak W. Sybilski D., Ataman M.: Analiza układu koło nawierzchnia drogowa. Theoretical Foundations of Civil Engineering. (2007), Nr.15, pp.407-424
[10] Kwaśniewski L., Wekezer J.: Development of finie element model for Ford Eldorado transit Bus. Theoretical Foundations of Civil Engineering. (2002), Nr.10, pp.255-268
[11] Szcześniak W., Ataman M.: Pojedynczy impuls na płycie Kirchhoffa. XVIII Russian-Slovak Polish Seminar, Archangielsk 2009, pp.157-164. Część 2 , Grupy impulsów, str.165-170
[12] Strzyżakowski Z., Szcześniak W.: Symulacje komputerowe w budownictwie transportowym i pojazdach. Prace Naukowe Politechniki Radomskiej, Transport 2(20), 2004, pp. 519-538
[13] Szcześniak W.: Linie węzłowe na płytach (figury Chladniego)-rys historyczny zagadnienia własnego. Theoretical Foundations of Civil Engineering. (2000), Nr.8, pp.293-310
[14] Szcześniak W.: Wybrane zagadnienia z dynamiki płyt. OW PW, Warszawa 2000

Recenzent

Dr hab. inż. Aniela Glinicka