

Agnieszka DEREWOŃKO¹

PONTONOWY MOST KASETOWY: DORAŻNE UZUPEŁNIENIE INFRASTRUKTURY TRANSPORTOWEJ

W pracy przedstawiona została nowa koncepcja kasetowego mostu pontonowego, który jest przeznaczony do zapewnienia tymczasowej przeprawy przez przeszkodę wodną. Opisana została zasada działania powtarzalnego modułu takiego mostu. Pneumatyczny ponton, element nośny konstrukcji, jest napełniany powietrzem co powoduje, że jego wyporność jest regulowana. Zaprezentowano rezultaty numerycznych symulacji zachowania pontonowego mostu kasetowego w różnych konfiguracjach, przeprowadzonych przy użyciu programu Ls-Dyna. Przeprowadzone nieliniowe analizy dynamiczne pozwoliły określić wartości przemieszczeń części jezdnej konstrukcji.

CASSETTE PONTOON BRIDGE AS TEMPORARY COMPLETION TRANSPORT INFRASTRUCTURE

A new idea of the cassette pontoon bridge as a temporary roadway under a water obstacle is presented in the paper. The operation principle of the repetitive cassette pontoon bridge unit with adjustable load capacity is described. Buoyancy and load capacity of the bridge unit is assured by a pneumatic airbag become the standard in lifting heavy structures at present. The results of initial simulations of the behavior of the cassette pontoon bridge assembles in the form of two configurations under moving loading with the use of Ls-Dyna software is shown. A non-linear explicit dynamic finite element analysis is carried out to determine displacement of the roadway part of the cassette pontoon bridge unit.

1. WSTĘP

Logistyka jako proces planowania, realizowania i kontrolowania sprawnego i efektywnego przepływu towarów musi uwzględniać istniejącą infrastrukturę drogową. W procesie planowania należy przewidzieć nieprzewidziane okoliczności takie jak na przykład klęski żywiołowe czy miejscowe ograniczenia wynikające między innymi z czasowego wyłączenia dróg transportowych. W czasie kompleksowej analizy przedsięwzięcia warto również brać pod uwagę istnienie rozwiązań umożliwiających techniczne zabezpieczenie łańcucha dostaw. Takim rozwiązaniem może być kasetowy most pontonowy o regulowanej nośności.

¹ Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej WAT, ul. Gen S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 49, tel. +48 022 683 79 06, email: aderewonko@wat.edu.pl

Ostatnie klęski żywiołowe, w szczególności powodzie, spowodowały, że zniszczeniu uległo wiele przepraw wodnych o różnym znaczeniu: globalnym i lokalnym. W wielu regionach nastąpiły również miejscowe podtopienia lub zalania odcinków dróg powodując odcięcie od świata różnej wielkości skupisk ludzkich. Zabezpieczenie dostaw w takim przypadku możliwe byłoby dzięki wykorzystaniu kasetowego mostu kasetowego lub tylko pewnej liczby jego modułów, do zapewnienia swobodnego przejazdu przez niedostępne obszary.

Element nośny konstrukcji, poduszka ciśnieniowa, jest już wykorzystywana głównie przez służby ratownicze do podnoszenia i rozpierania ciężkich konstrukcji. Poduszka taka, w stanie podstawowym ma niewielką objętość i może być używana w przypadku braku lub ograniczonego dostępu do przedmiotu operacji. Jej zalety, duża siła i wysokość podnoszenia, wykorzystane w konstrukcji powtarzalnego modułu mostu kasetowego powoduje, że moduł może być wykorzystany w każdych warunkach, a jego transport i przygotowanie do użycia jest operacją prostą, bez konieczności stosowania specjalnego wyposażenia.

Celem artykułu jest zaprezentowanie koncepcji pontonowego mostu kasetowego, przy konstrukcji którego trwają obecnie prace.

2. ZASADA DZIAŁANIA

Zasada działania pojedynczego modułu mostu kasetowego oparta jest na prawie Archimedesesa, która mówi, że siła wyporu F_w działająca na ciało zanurzone w cieczy jest równa ciężarowi cieczy wypartego przez to ciało i jest zapisywana wzorem

$$F_w = \rho \cdot g \cdot V \quad (1)$$

gdzie ρ jest gęstością cieczy lub gazu w którym zanurzone jest ciało, V to objętość części ciała, która jest zanurzona i g jest przyspieszeniem ziemskim.

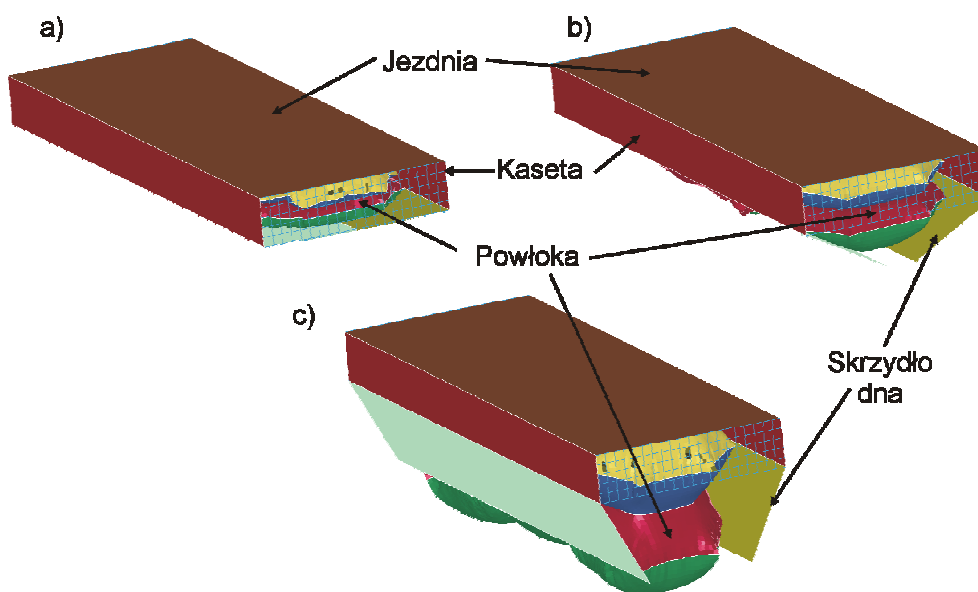
Aby ciało pływało po powierzchni wody jego ciężar musi być zrównoważony przez siłę wyporu. Przy niewielkiej masie własnej modułu m_m i dużej wyporności elastycznej powłoki, moduł może być obciążony dodatkową masą przeprawianego obiektu. Wartość tej masy m_d można oszacować przy pomocy wzoru:

$$m_d = \rho \cdot V - m_m \quad (2)$$

Funkcjonalność przedstawionego rozwiązania zapewniona jest przez minimalizacją masy własnej modułu powiązanej z wypornością urządzenia pozwalającą na przeprawy obiektów o dużej masie (np. ciężarówek).

W metalowo-kompozytowej kasecie o kształcie prostopadłościanu, którego górna ściana pełni jednocześnie funkcję drogi, umieszczona jest złożona elastyczna, gazoszczelna powłoka napełniana, w miejscu przeprawy, powietrzem np. ze sprężarki. Objętość powłoki, podzielonej na co najmniej trzy komory, zapewnia siłę wyporu, która jest równa sumie masy własnej modułu i poruszającego się po niej obiektu. Podział na komory zapewnia zachowanie jej funkcji nawet przy uszkodzeniu materiału powłoki.

Dolna ściana kasety jest dwudzielnym dnem, którego skrzydła są przymocowane do boków kasety przy pomocy połączeń przegubowych. W przypadku zwiększania objętości powłoki, skrzydła te są otwierane siłą spowodowaną przez ciśnienie powietrza w powłoce (pontonie) (Rys. 1).



Rys. 1 Zasada działania modułu: a) stan podstawowy, b) stan pośredni, c) stan pełny

Kaseta pełni również funkcję ochronną dla umieszczonej w niej powłoki oraz przewodów do jej napełniania. Zarówno ściany boczne jak otwieralne skrzydła dna zabezpieczają elastyczną powłokę przed uszkodzeniem zanieczyszczeniami niesionymi przez wodę (np. gałęzie drzew). W zastosowaniach wojskowych boki i skrzydła dna kasety stanowią ochronę balistyczną o żądanej przez użytkownika klasie odporności balistycznej przed pociskami oraz odłamkami.

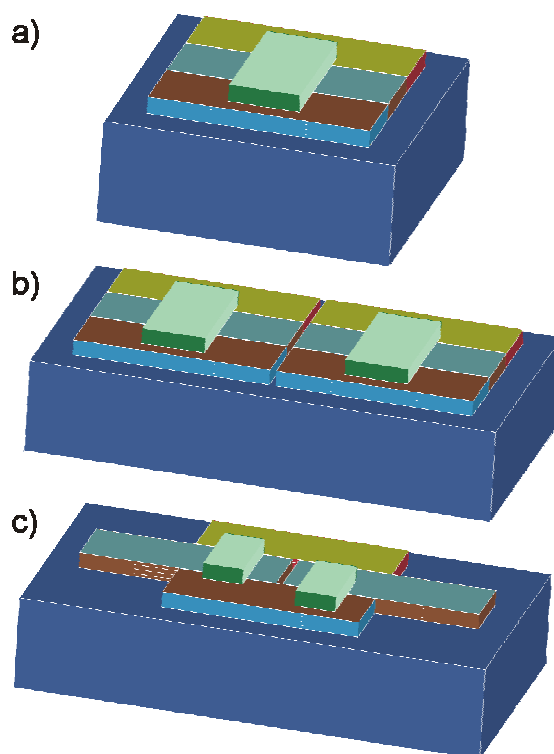
Kaseta jest jednocześnie pojemnikiem transportowym, którego wymiary są tak dobrane aby w ładowni standardowej naczepy Tir mieściło się pięć pojedynczych modułów. Dzięki takiemu rozwiązaniu, przewiezienie zestawu pięciu modułów nie wymaga specjalnego pojazdu i może być prowadzone na drogach publicznych bez spełniania odrębnych warunków formalnych.

Ze względu na różne funkcje poszczególnych elementów konstrukcji, do ich wykonania użyto różnorodnych materiałów. Tkanina powleczona gumą lub tworzywami sztucznymi gwarantuje elastycznej powłoce gazoszczelność przy jej odpowiedniej wytrzymałości. Szttywna, stalowa jezdnia umożliwia przeprawę pojazdów o różnym nacisku na oś. Ściany boczne oraz skrzydła dna kasety są zbudowane ze stalowych, znormalizowanych profili, pokrytych obustronnie płytami z metali lekkich lub kompozytów. Taka konstrukcja zapewnia odpowiednią wytrzymałość i sztywność przy stosunkowo małej masie własnej modułu.

Przeprowadzone obliczenia szacunkowe wyporności i stateczności [1], zweryfikowane analizami numerycznymi wskazują, że powtarzalny moduł może być używany jako samodzielny obiekt przeprawowy – prom. Maksymalna nośność pojedynczego modułu może osiągnąć wartości 8 ton. Dodatkowe symulacje przeprowadzone na potrzeby zastosowań wojskowych, pokazały że materiał użyty do wyprodukowania elastycznej powłoki o zmiennej objętości nie jest podatny na działanie fali uderzeniowej wywołanej eksplozją podwodnego ładunku wybuchowego [2]. Rezultaty obliczeń analitycznych przedstawione w wymienionych wyżej pracach są walidacją modelu numerycznego pojedynczego modułu, który po zwielokrotnieniu, został wykorzystany w symulacjach zachowania kasetowego mostu pontonowego w różnych konfiguracjach i o różnorodnym zastosowaniu.

3. PONTONOWY MOST KASETOWY

Pontonowy most kasetowy powstaje przez zestawienie pojedynczych modułów w dowolnej konfiguracji (Rys. 2).



Rys. 2 Przykłady wstęp: a) pojedynczej, b) podwójnej, c) mieszanej

W nomenklaturze wojskowej do określenia zestawienia umożliwiającego przeprawę sprzętu (np. czołgów) używana jest nazwa wstęp. Konfiguracja przeprawy zależy od wielu

czynników, m.in. od masy przeprawianych obiektów oraz szerokości rzeki, na której ma być zestawiona. Na przykład z kompletu Parku Pontonowego PP-64, który jest obecnie na wyposażeniu Sił Zbrojnych RP [3] może być zbudowana pojedyncza wstęga o długości 186 m lub wstęga mieszana długości 152 m, obie o nośności 40 ton [4].

Prezentowany most pontonowy konstruowany jest przy założeniu nośności wstęgi pojedynczej ok. 50 ton.

Powtarzalność pojedynczego modułu, łatwość jego transportu i eksploatacji powodują, że może być używany w wielu zastosowaniach: od przepraw pojazdów wojskowych (np. czołgów), przez przeprawy zastępcze dla samochodów ciężarowych (np. dostarczających materiały do budowy mostu stałego) po wstęgi pojedyncze zastępujące podtopione drogi oraz kładki dla pieszych na powiększonych nagle ciekach wodnych.

4. ZASTOSOWANIE

Wstępne prace przy projektowaniu pontonowego mostu kasetowego obejmowały symulacje zachowania m.in. pojedynczej wstęgi pod maksymalnym obciążeniem i pełnym napełnieniu powłoki powietrzem oraz zestawienia dwóch zamkniętych modułów w wąską kładkę dla pieszych. W obu przypadkach założono, że użytkownicy zaczynają się poruszać po moście dopiero po jego całkowitym przygotowaniu do eksploatacji tzn. napełnieniu powłok do objętości gwarantującej odpowiednią wyporność pojedynczego modułu. Drugim założeniem była stała, niewielka prędkość poruszających się obiektów.

Do nieliniowych analiz dynamicznych wykorzystano program Ls-Dyna, którego algorytmy oparte są na jawnych metodach całkowania czyli otrzymywania rozwiązania wprost, na podstawie rozwiązania z kroku poprzedniego całkowania po czasie. Wszystkie części kasety zamodelowano elementami powłokowymi zakładając sprężysty lub sprężysto-plastyczny model materiału. Model elastycznej powłoki utworzono również z czterowęzłowych elementów powłokowych. Symulację napełniania powietrzem powłok przeprowadzono wykorzystując opcję Airbag, rozwiązanie oparte na zdefiniowaniu powierzchni otaczającej kontrolowaną objętość. Algorytm rozwiązujący to zagadnienie oparty jest na podstawowych prawach termodynamiki i mechaniki płynów. Założono, że powłoki pontonu napełniane są powietrzem podawanym przez mobilną sprężarkę umieszczoną w miejscu tymczasowej przeprawy. Zastosowanie sprężarki gwarantuje jednakowy wydatek masowy powietrza dostarczanego do każdej komory wszystkich powłok.

Do utworzenia modelu wody wykorzystano ośmiowęzłowe elementy bryłowe z jednym punktem całkowania. Rzeczywiste zachowanie wody odwzorowano definiując odpowiednie równanie stanu.

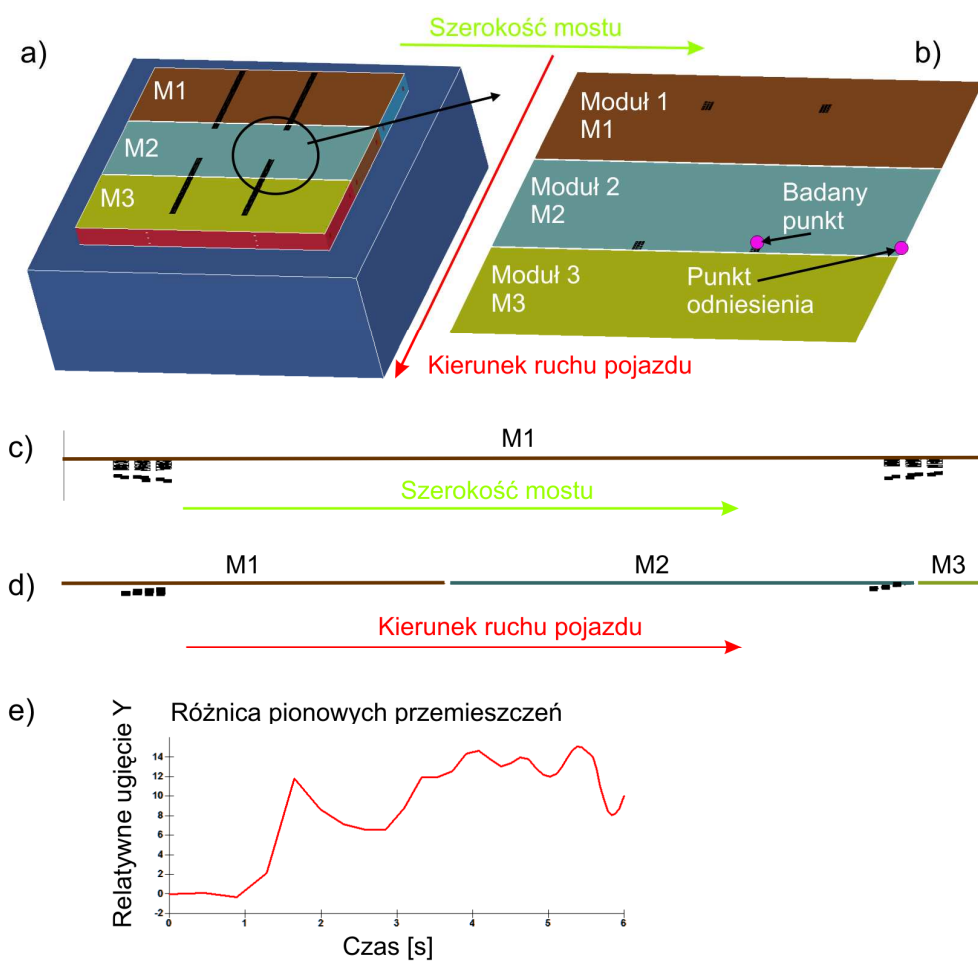
Wzajemne oddziaływanie sąsiadujących ze sobą modułów zapewniło wprowadzenie modeli zamków mechanicznych w postaci połączeń przegubowych.

W obu przypadkach przedstawiono wartość ugięcia zarejestrowane dla węzła środkowego modułu znajdującego się w części centralnej śladu ruchu obiektu.

4.1 Wstęga pojedyncza

Model wstęgi pojedynczej składa się z trzech modułów umieszczonych na wodzie, połączonych zamkami mechanicznymi.

Założono, że pojazd o masie 4000 kg przejeżdża z prędkością 20 km/godz. po torze i kierunku ruchu widocznymi na Rys. 3a. Obciążenie przenoszone jest przez cztery koła (Rys. 3b). Odległość między pojedynczymi śladami odpowiada rozstawowi kół przemieszczającego się obiektu.

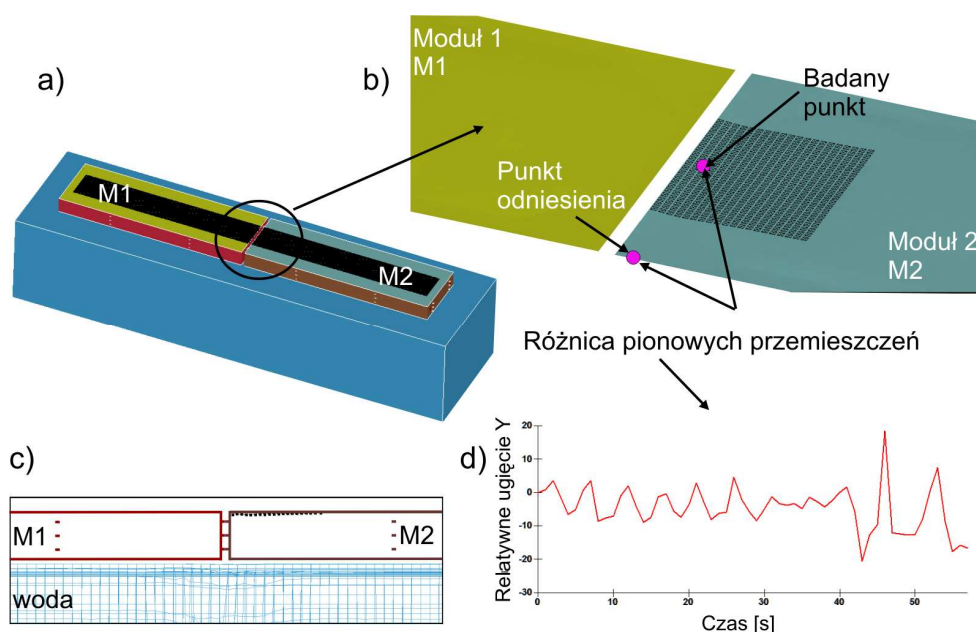


Rys. 3 Wstęga pojedyncza: a) tor ruchu pojazdu, b) obszar rejestracji przemieszczeń, c) deformacja w kierunku szerokości modułu, d) deformacja w kierunku ruchu pojazdu, e) różnica pionowych przemieszczeń w funkcji czasu

Przy założonych warunkach, deformacja powierzchni jezdni w obszarze śladu nacisku jednego koła w kierunku szerokości powtarzalnego modułu widoczna jest na Rys. 3c, natomiast w kierunku ruchu pojazdu na Rys. 3d. Wartości przemieszczenia pionowego Y węzła położonego w centralnej części śladu pojedynczego koła odniesiono do odpowiedniego przemieszczenia węzła leżącego na krawędzi modułu. Uzyskano w ten sposób względne ugięcie powierzchni jezdni wywołane naciskiem koła. Rozkład wartości ugięcia w funkcji czasu przedstawiono w postaci wykresu na Rys. 3e.

4.2 Kładka

W modelu kładki dla pieszych, dwa moduły zostały zestawione ze sobą krótszymi bokami (Rys. 4a). Założono, że piesi o masie 220 kg przechodzą równym krokiem z prędkością ok. 0.8 km/godz.



Rys. 4 Kładka dla pieszych: a) tor ruchu pojazdu, b) obszar rejestracji przemieszczeń, c) deformacja w kierunku ruchu pojazdu, d) różnica pionowych przemieszczeń w funkcji czasu

Przeanalizowano zmianę ugięcia jezdni wywołaną ruchem obiektu. Przesunięcie pionowe punktu leżącego w środku śladu koła pojazdu w obszarze przejazdu przez połączenie modułów, porównano z przemieszczeniem odpowiadającego mu punktu położonego na dłuższej krawędzi modułu (Rys. 4b). Uzyskany wynik w funkcji czasu przedstawiono postaci wykresu (Rys. 4d). Deformację jezdni zaprezentowano na Rys. 4c.

3. WNIOSKI

Pontonowy most kasetowy jest strukturą o zastosowaniu wszechstronnym: zarówno cywilnym jak wojskowym. Jego konstrukcja, oparta na powtarzalnych modułach, pozwala zestawić zarówno przeprawę przez przeszkodę wodną w miejscu, w którym budowa stałego mostu jest nie ekonomiczna, zastąpić zniszczone mosty eliminując uciążliwe objazdy, jak również zapewnić dostęp do statków w obrębie portu czy posłużyć jako tymczasowy prom do przewozu obiektów o mniejszej masie.

Konstrukcja mostu umożliwia dostosowanie jego nośności do istniejących warunków i potrzeb, dzięki zastosowaniu wysoko wytrzymałych poduszek powietrznych. Metalowa, sztywna jezdnia pozwala na przeprawę ciężkiego sprzętu bez uszkodzenia jej nawierzchni. Zamknięta kasetka stanowi doskonałe zabezpieczenie w czasie transportu. W fazie eksploatacji chroni elastyczną powłokę o regulowanej wyporności przed uszkodzeniami zarówno w wodzie jak z powietrza. Oszacowane ugięcie wywołane obciążeniem przeprawianego obiektu wskazuje, że przyjęte wstępne założenia były właściwe, a konstrukcja spełnia wymagania dotyczące sztywności i wytrzymałości.

Przedstawione rozwiązanie może być stosowane jako uzupełnienie istniejącej infrastruktury w przypadkach klęsk żywiołowych, budowy lub naprawy mostów lub w obszarach gdzie konieczne jest zapewnienie takiej przeprawy.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Derewońko A., Cassete pontoon bridge with high mobility, 2010, IInd International Conference TRANSPORT PROBLEMS, 8-11.06.2010, Kraków.
- [2] Derewońko A., Niezgoda T., Sławiński G., Szacowanie stabilności modułu pontonowego mostu kasetowego, 2010, VIII Międzynarodowa Konferencja Uzbrojeniowa „Naukowe Aspekty Techniki Uzbrojenia i Bezpieczeństwa”, 6-8 października 2010, Pułtusk.
- [3] <http://wojsko.wo.funpic.de>, 10.02.2011.
- [4] Krasoń W., Wieczorek M, Wytrzymałość mostów pływających w ujęciu komputerowym, BEL Studio Sp. Z o.o., Warszawa 2004.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego rozwojowego nr O R00 0079 09, finansowanego w latach 2009-2011 przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego