

SYSTEM EDUKACYJNY ROZWIĄZYWANIA WYBRANYCH USTROJÓW BELKOWYCH

Mariusz Łoboda, Adam Krysztofiak, Zbigniew Dworecki,
Łukasz Drewniak, Robert Mytkowski

Instytut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Poznaniu

Streszczenie. Praca dotyczy systemu obliczającego reakcje i siły wewnętrzne (wraz z wykresami) dla wybranych układów belek i ram. Przejrzysty interfejs wraz z aktualizowanymi na bieżąco ilustracjami kolejnych kroków oraz panel nauki budowania równań równowagi podnosi walor edukacyjny programu.

Słowa kluczowe: belka przegubowa, rama, siły wewnętrzne

Wprowadzenie

Obecnie istnieje potrzeba unowocześnienia i uatrakcyjnienia procesów nauczania, szczególnie na poziomie akademickim, i to głównie w zakresie przedmiotów postrzeganych przez studentów jako trudne. Pomocą mogłoby być oprogramowanie, merytorycznie dotyczące danego zagadnienia inżynierskiego, jednak o charakterze wyraźnie edukacyjnym.

Firmy programistyczne wytwarzające profesjonalne komercyjne oprogramowanie – nie znając konkretnego przyszłego użytkownika – starają się zbudować swój produkt o możliwie uniwersalnym przeznaczeniu. Ta pozornie pozytywna cecha powoduje, że program staje się bardzo rozbudowany, jego obsługa – w zakresie wykorzystania wszystkich możliwości – wymaga dużego nakładu pracy i czasu oraz sprawia, że cena jest relatywnie wysoka. Ukierunkowanie na odbiorcę, który jest profesjonalistą w swojej dziedzinie, z reguły eliminuje z programu rzeczy proste, podstawy działania algorytmów obliczeniowych wraz z ilustracjami poszczególnych kroków, oczywiste zależności przyczynowo-skutkowe zakładając, że wiedza ta jest użytkownikowi doskonale znana. Tym samym funkcja edukacyjna takiego programu jest znacznie ograniczona.

Jednym z korzystnych rozwiązań jest wytwarzanie potrzebnego oprogramowania bezpośrednio przez prowadzącego dany przedmiot, wykorzystując zainteresowanie studentów (ew. magistrantów) i ich znajomość aktualnej technologii informatycznej. Doświadczenie dydaktyczne przyszłego użytkownika gwarantuje właściwe spełnianie przez program funkcji edukacyjnych. W tej sytuacji również ewentualna modyfikacja oprogramowania, w przeciwieństwie do produktów komercyjnych, nie stanowi problemu.

Na kierunkach technicznych, w ramach przedmiotów *Mechanika* i *Wytrzymałość materiałów* część zagadnień dotyczy tzw. rozwiązywania belek i ram. Mimo, że procedury stosowane do wyznaczania reakcji w podporach i przebiegów sił wewnętrznych są jednoznaczne i algebraicznie nieskomplikowane (szczególnie dla zadań statycznie wyznaczal-

nych), jednak stanowią one dla kolejnych roczników studentów wyraźną trudność. Celem niniejszej pracy było więc zbudowanie systemu informatycznego wspomagającego proces nauczania w zakresie rozwiązywania belek i ram. Ze względu na charakter edukacyjny program miał być wyposażony w przejrzysty i przyjazny użytkownikowi interfejs ułatwiający jego obsługę, a każda kolejna operacja zilustrowana wyraźnym i czytelnym rysunkiem.

Adaptacja procedury obliczeniowej belek i ram pod kątem oprogramowania

Spośród wielu możliwych typów zadań z tego zakresu wybrano:

- belki bez przegubu
 - jednostronnie utwierdzone
 - podparte na dwóch podporach przegubowych
- belki z jednym przegubem podparte na trzech podporach przegubowych
- ramy (jedno- i dwukrotnie załamane) podparte na dwóch podporach przegubowych, rozpatrywane jako układy płaskie.

Dla każdego przypadku należało dostosować algorytm obliczania reakcji i sił wewnętrznych dla potrzeb oprogramowania. W każdym z przypadków przyjęto początek oraz usytuowanie układu odniesienia i względem niego definiowano położenie podpór i zewnętrznych obciążeń (sił i momentów skupionych oraz obciążeń ciągłych). Ponieważ wszystkie zadania spełniają warunek statycznej wyznaczalności [Misiak 1997], więc dla uwolnienia z więzów skorzystano z trzech standardowych równań równowagi ($\sum X = 0$, $\sum M = 0$, $\sum Y = 0$), wyprowadzając ich zależności w postaci ogólnej. Ze względu na czytelność rysunków ograniczono liczbę każdego z obciążeń w poszczególnych zadaniach (np. dla belek - do trzech sił, oraz po jednym momencie i jednym obciążeniu ciągłym).

Algorytm wyznaczania sił wewnętrznych $N(x)$, $T(x)$ i $M(x)$ oparto również o równania równowagi. Wyprowadzono ogólną ich postać (dla wszystkich możliwych obciążeń z uwzględnieniem ich uzmiennionych położenia).

Procedura budowania wykresów wylicza z zadaniem krokiem wartość funkcji, weryfikując każdorazowo występowanie danej zmiennej.

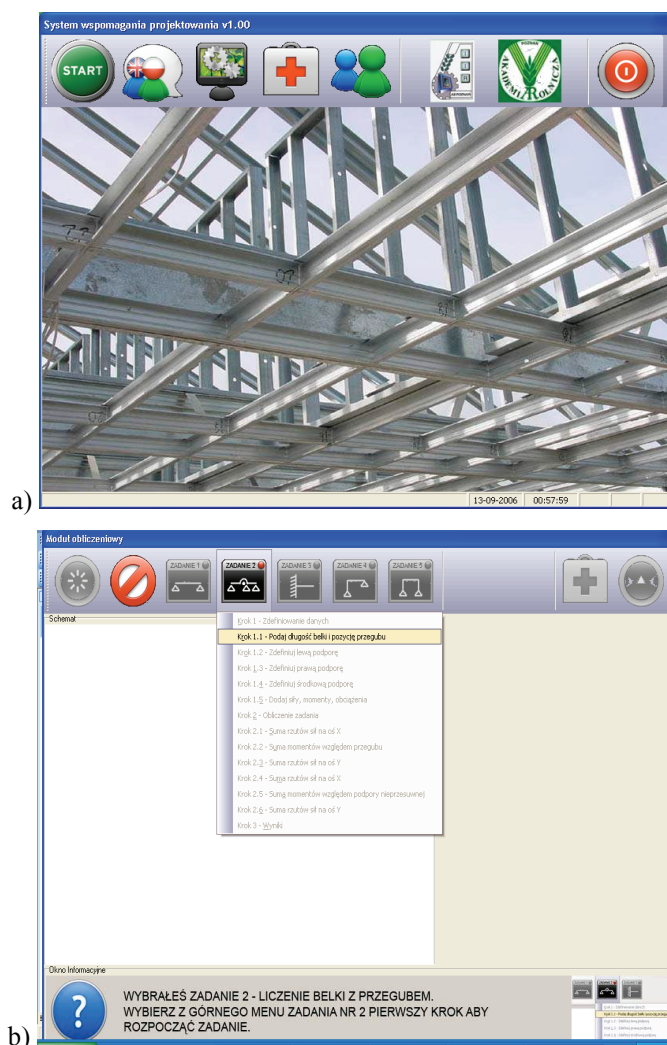
Budowa systemu i opis działania programu

Po sformułowaniu wymagań funkcjonalnych i niefunkcjonalnych projektowanego systemu informatycznego przeprowadzono modelowanie obiektowe (w notacji UML), budując stosowne diagramy. Fazę implementacji zrealizowano w środowisku *C++ Builder 5.0* firmy *Borland* [Hollingworth i in. 2001; Reisdorph, Henderson 1998].

Po uaktywnieniu w oknie startowym programu pojawia się formularz okna głównego (rys. 1a), w którym w górnej części (nad zmieniającymi się ilustracjami przykładowych konstrukcji ustrojów belkowych) umiejscowiono przyciski (od lewej):

- uruchamiający moduł obliczeniowy programu,
- zmiany języka,
- otwierający okno zmiany ustawień,
- pomocy,
- uruchamiający okno z informacjami o programie,
- wyjścia z programu.

Załączając moduł obliczeniowy użytkownik uaktywnia formularz z proponowanymi typami zadań (rys. 1 b), dla których (po wybraniu) rozwijana jest lista kolejnych kroków do wykonania. Dalsze działanie programu zobrazowane będzie na przykładzie belki przegubowej podpartej na trzech podporach. Po zdefiniowaniu wymiarów belki, położenia przegubu i podpór system automatycznie ilustruje to w postaci przejrzystego schematu. W kolejnych krokach (rys. 2) należy zadeklarować rodzaje i parametry (wartości, położenie, itp.) obciążeń zewnętrznych, które również w postaci jednoznacznych symboli są nanoszone na istniejący schemat belki.



Rys. 1. Okna programu: a) główne, b) wyboru typu zadania
Fig. 1. Windows of application: a) main, b) choice of task

Moduł obliczeniowy

Schemat

P1, 30°; 12 kN P2, 0°; 9 kN 2 kN/m M1, 15 kN·m P3, 180°; 5 kN

14 m 5 m 3 m 13 m 4 m 8.1 m 2 m 9 m 13 m 15 m

Krok 1.5 - Dodaj siły

Dodaj siły

	Położenie	Kąt	Wartość
☒ Siła P1	0,00 m	30°	12,00 kN
☒ Siła P2	4,00 m	0°	9,00 kN
☒ Siła P3	13,00 m	180°	5,00 kN

Położenie siły - mierzone od lewej krawędzi belki
Kąt - 0 stopni odpowiada siłę skierowanej pionowo w dół
Kąt - mierzony zgodnie z ruchem wskazówek zegara

Dodaj obciążenie ciągłe o stałej wartości

	Położenie	Długość	Wartość
☒ Obciąż.	5,00 m	3,00 m	2,00 kN/m

Lewy początek obciążenia - mierzony od lewej krawędzi belki

Dodaj moment

	Położenie	Wartość
☒ Moment M1	14,00 m	15,00 kN·m

Położenie momentu - mierzone od lewej krawędzi belki

Okno Informacyjne

😊 DANE WPISANE POPRAWNIE. W GÓRNYM AKTYWNYM MENU DOSTĘPNY JEST KOLEJNY KROK ZADANIA. MOŻESZ WYBRAĆ: **RĘCZNE LICZENIE ZADANIA** LUB **PRZEJŚCIE DO WYNIKÓW** MOŻESZ TEŻ ZMIENIĆ DANE W AKTUALNYM KROKU I JE ZAKTUALIZOWAĆ.

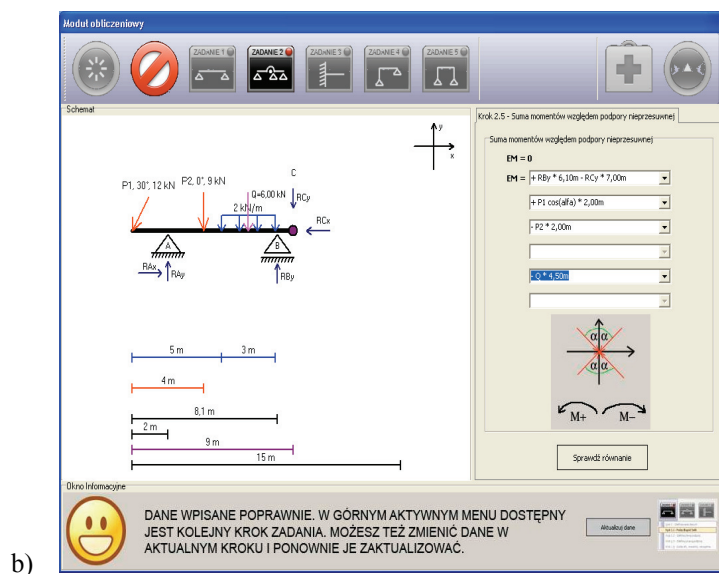
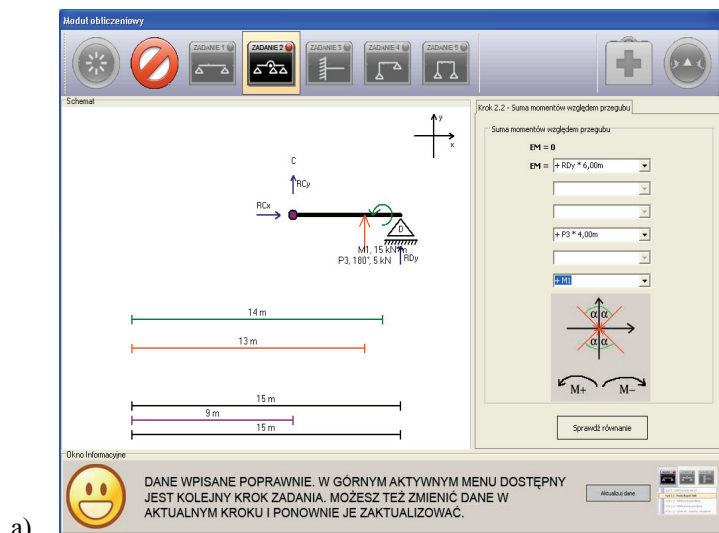
Aktualizuj dane

Rys. 2. Formularz deklarowania obciążeń belki przegubowej trójpodporowej

Fig. 2. Form of declare loads for beam with three supports

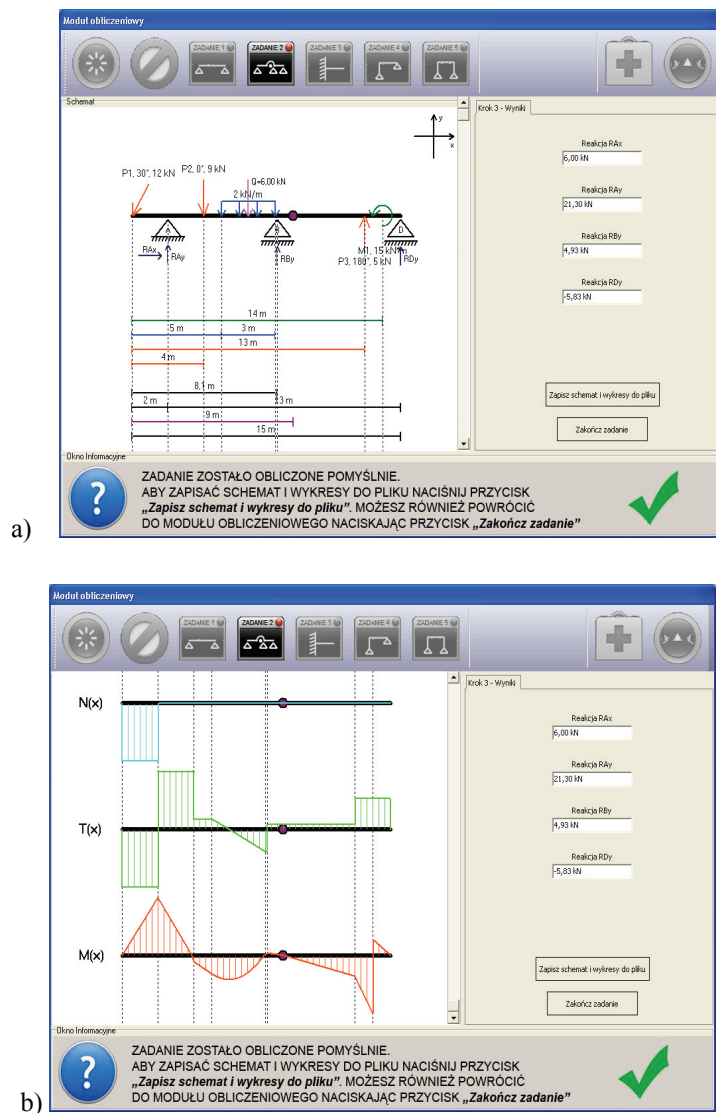
Przechodząc do rozwiązania zadania należy w miejsce podpór wstawić właściwe reakcje. W analizowanym typie zadania (jedna podpora przegubowa nieprzesuwna i dwie podpory przesuwne) nieznanne są cztery reakcje. Aby uzyskać statyczną wyznaczalność należy rozdzielić belkę w miejscu przegubu. Ponieważ definicyjnie przegub nie przenosi momentu, więc w miejscu podziału pojawiają się dodatkowe dwie składowe siły reakcji jednej części belki na drugą. System automatycznie rozpoznaje statycznie wyznaczalną część belki, dla której należy w kolejnych formularzach poprawnie sformułować równania równowagi (np. rys. 3 a). Następnie podobne równania należy ułożyć dla pozostałej części belki (np. rys. 3 b). Układanie każdego z równań polega na wyborze w aktywnych polach *combo* jednego z proponowanych przez system poprawnych i niepoprawnych składników. Ewentualny błędny wybór sygnalizowany jest czerwonym kolorem pierwszego niepoprawnego pola oraz uniemożliwia przejście do następnego kroku procedury.

Kolejny formularz (rys. 4) dotyczy przedstawienia wyników obliczeń. Prawa część formularza prezentuje wartości wyznaczonych sił reakcji w podporach, natomiast lewa wykresy sił wewnętrznych.



Rys. 3. Okna formułowania równań równowagi sumy momentów: a) dla prawej, b) dla lewej części belki

Fig. 3. Windows for formulating equilibrium equations for sums of moments: a) for right, b) for left part of beam

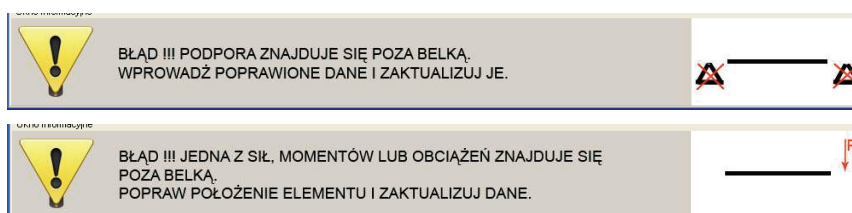


Rys. 4. Okno wyników: a) widok początkowy, b) widok po przewinięciu obszaru wykresów „suwakiem”

Fig. 4. Results window: a) initial view, b) view after scrolling of graph area

Aby zachować tradycyjną formę przedstawiania wykresów sił wewnętrznych (warstwowo pod belką), w ograniczonym co do wymiarów i rozdzielczości polu, zdecydowano się na wprowadzenie „suwaka” dla przewijania pola prezentacji. Formularz ten umożliwia również zapisanie schematu obciążeń belki wraz z wykresami oraz wyników obliczeń do pliku (w formacie *bmp*).

Na każdym etapie pracy programu w dolnej części formularza znajduje się okno informacyjne, w którym wyświetlają się komunikaty ułatwiające obsługę systemu. Wprowadzanie wszelkich danych jest na bieżąco weryfikowane logicznie. Próba wpisania niewłaściwej wartości (np. ujemna odległość, położenie obciążenia poza belką, itp.) sygnalizowana jest odpowiednim komunikatem (rys. 5).



Rys. 5. Przykładowe komunikaty ostrzegające w oknie informacyjnym

Fig. 5. Examples of warning messages in informative window

Podsumowanie

1. Zbudowany system jest programem edukacyjno-obliczeniowym z zakresu rozwiązywania belek i ram. Może on służyć jako pomoc dydaktyczna dla studentów w ramach przedmiotów *Mechanika* i *Wytrzymałość materiałów*.
2. Z uwagi na charakter edukacyjny program zawiera rozbudowany panel wspomagający i ukierunkowujący przyszłego użytkownika, a jego obsługa jest intuicyjna (nie wymaga wdrażania).
3. Bieżąca wizualizacja wykonywanych czynności (nanoszenie na rysunku wymiarów, więzów, obciążeń, reakcji, itp.) znacznie podnosi walory edukacyjne systemu.
4. Zachowanie czytelności rysunków i wykresów spowodowało ograniczenie liczby zadawanych obciążeń.

Bibliografia

Hollingworth J., Butterfield D., Swart B., Allosop J. 2001. C++ Builder, Helion, Gliwice. ISBN: 83-7197-447-7.

Misiak J. 1997. Mechanika techniczna, tom 1, WN-T, Warszawa. ISBN 83-204-2175-6.

Reisdorph K., Henderson K. 1998. C++ Builder, Helion, Gliwice. ISBN 83-7197-018-8.

THE EDUCATIONAL SYSTEM OF SOLVING CHOSEN BEAM STRUCTURES

Summary. The work concerns the system of counting reactions and internal forces (together with graphs) for the chosen beam and frame structures. The clear interface together with on line actualize illustrations of sequence steps and the learning panel of building equilibrium equations raises the educational value of the programme.

Key words: jointed beam, frame, internal forces

Adres do korespondencji:

Mariusz Łoboda; e-mail: loboda@au.poznan.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 50
60-627 Poznań