

KOMPUTEROWY SYSTEM WSPOMAGAJĄCY KONSTRUOWANIE POŁĄCZEŃ PIAST KÓŁ Z WAŁAMI

Mariusz Łoboda, Adam Krysztofiak, Zbigniew Dworecki, Rafał Frankowski
Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Streszczenie. Prezentowany system obliczeniowy konstruowania połączeń piast kół (zębatach, pasowych, łańcuchowych) z czopami wałów oprócz funkcji typowo wspomagającej pracę inżyniera w tym zakresie ma również charakter edukacyjny. Po zdefiniowaniu sytuacji problemowej użytkownik systemu może wybrać rodzaj połączenia kształtowego, np. wpustowe, wielowypustowe lub kołkowe, a następnie dla wprowadzonych wielkości oraz zawartych w systemie baz danych zaprojektować parametry tego połączenia (wymiały wraz z doborem stosownych materiałów). Każdy etap realizowanego algorytmu ilustrowany jest odpowiednim szkicem oraz uzupełniony wyjaśniającym komentarzem. Podnosi to walor edukacyjny programu.

Słowa kluczowe: połączenie piasta – czop wału, wpust, wielowypust, kołek

Wprowadzenie

Większość rozwiązań konstrukcyjnych układów napędowych zawiera elementy mocujące piasty kół na czopach wałów. Wśród możliwych rozwiązań, szczególnie w sytuacjach spodziewanych procesów demontażowych, często stosuje się rozłączne połączenia kształtowe. Do najczęściej stosowanych należą połączenia wpustowe, wielowypustowe oraz kołkowe. Wybór danego rozwiązania wiąże się każdorazowo z koniecznością przeprowadzenia stosownych obliczeń wytrzymałościowych dla określenia parametrów tego połączenia (tzn. materiałów i wymiarów).

Analizując procedury obliczeniowe połączeń wpustowych, wielowypustowych i kołkowych można zauważyć, że:

- obliczenia konstrukcyjne dla wybranego rodzaju połączenia można stosunkowo łatwo zalgorytmizować wykorzystując określone warunki wytrzymałościowe,
- często zachodzi potrzeba kilkukrotnego powtórzenia przeliczeń z powodu niesatysfakcjonujących wyników (np. zbyt długi wpust przyrównany zwiększający niepotrzebnie wymiary pasty koła lub zastosowanie niedostępnego w danej sytuacji rodzaju materiału),
- czasem z przeprowadzonych obliczeń wynika, że przyjęte pierwotnie założenia i wynikające stąd ograniczenia konstrukcyjne eliminują dane rozwiązanie. Zachodzi wówczas konieczność zmiany koncepcji i wybrania innej konstrukcji połączenia. Pociąga to za sobą konieczność kolejnych (często również wielokrotnie powtarzanych) obliczeń.

Powyższe spostrzeżenia wskazują, że proces projektowania połączeń piast kół z czopami wałów spełnia warunki formalne i celowe dla jego oprogramowania. Wytworzony system znacznie wspomógłby pracę inżyniera konstruktora w tym zakresie. Dostępne na rynku profesjonalne systemy informatyczne z zakresu konstruowania zespołów mechanicznych, np. Mechanical CAD firmy SolidWorks [www.solidworks.com], ANSYS Mechanical [www.ansys.com], MSC.NASTRAN [www.mssoftware.com], bazujące na metodzie elementów skończonych, nie zawierają prostych modułów obliczeniowych w zakresie obliczeń wytrzymałościowych połączeń kształtowych, w szczególności o charakterze edukacyjnym.

Tematyka połączeń części maszyn (w tym osadzenia kół na wałach) stanowi ważny zakres zagadnień w nauczaniu *Podstaw konstrukcji maszyn* na kierunku *Technika Rolnicza i Leśna*. Jak wskazują doświadczenia autorów [Łoboda, Krysztofiak 2005; Łoboda i in. 2005; Łoboda i in. 2006; Łoboda i in. 2007a] efektywność i atrakcyjność w dydaktyce tej tematyki znacznie podniosłoby wykorzystanie odpowiedniego programu komputerowego. Aplikacja taka, oprócz typowych funkcji inżynierskich, powinna mieć cechy typowo edukacyjne (rozbudowany system wyjaśnień, komentarzy i informacji wzbogacony szeregiem ilustracji oraz możliwość migracji w ramach kolejnych etapów procedury obliczeniowej).

Celem pracy jest więc wytworzenie programu komputerowego dla obliczeń projektowych rozłącznych połączeń kształtowych piast kół z czopami wałów, który równocześnie będzie posiadał cechy programu edukacyjnego. W powiązaniu z wykonanym już [Łoboda i in. 2007b] oprogramowaniem projektowania połączeń wciskowych system realizowany w niniejszej pracy będzie tworzył spójną tematyczną całość.

Koncepcja projektowanego systemu

W zależności od posiadanych informacji i celu działań różny jest proces obliczeń konstrukcyjnych połączenia czopa wału z piastą koła. W przypadku tworzenia całkowicie nowej konstrukcji z reguły danymi wejściowymi są: moment obrotowy (ew. moc i liczba obrotów) i średnica wału w miejscu osadzenia piasty oraz proponowany przez konstruktora rodzaj połączenia (wpustowe, wielowypustowe lub kołkowe). Wybór ten wynika z szeregu przesłanek, wśród których dominującymi są możliwości technologiczne w powiązaniu z analizą opłacalności proponowanego wariantu. Wówczas wyliczeniu podlegają parametry połączenia (wymiary elementów konstrukcyjnych skorelowane z własnościami wytrzymałościowymi zaproponowanych materiałów).

Dla konstrukcji adaptowanych lub w przypadku konieczności zastosowania zunifikowanego rozwiązania najczęściej posiadanymi informacjami są rodzaj i parametry konstrukcyjne połączenia oraz średnica wału. Do określenia pozostaje maksymalna wartość obciążenia tego połączenia (wyrażona z reguły momentem obrotowym).

Projektowany system winien obejmować te dwie, możliwe w praktyce, tzw. sytuacje problemowe. Wybór każdej z nich aktywuje odpowiednie kolejne etapy procedury obliczeniowej.

W obu przypadkach algorytm przewiduje wybór rodzaju połączenia z uwzględnieniem możliwych wariantów:

- połączenie wpustowe z wpustem:
 - pryzmatycznym,
 - czółenkowym,
 - czopkowym,

- połączenie wielowypustowe,
- połączenie z kołkiem poprzecznym,
- połączenie z kołkiem wzdłużnym.

Wprowadzane następnie dane są zależne zarówno od wybranej sytuacji problemowej, jak i od przyjętego wariantu połączenia. Projektując np. nowe połączenie wpustowe (należące do grupy połączeń pośrednich) – w stosunku do połączenia wielowypustowego – należy oprócz materiałów wału i piasty dodatkowo określić materiał wpustu.

W kolejnym (obliczeniowym) etapie, w oparciu o stosowne – dla występujących stanów naprężeń – zależności wytrzymałościowe [Osiński 2002; Pietrzyk 1978], wyliczeniu podlegają poszukiwane parametry konstrukcyjne połączenia (ew. maksymalny moment obrotowy, którym możemy dane połączenie obciążyć):

- dla połączeń wpustowych obliczenia wymiarów wpustu oparte są na wartościach nacisków (o założonym rozkładzie) na powierzchniach bocznych wpustu; kryterium ścinania wpustu jest warunkiem sprawdzającym,
- dla połączeń wielowypustowych efektywną długość połączenia oblicza się na podstawie uśrednionych nacisków na współpracujących bokach wypustów,
- dla połączeń z kołkiem poprzecznym średnicę kołka wyznacza się na podstawie nacisków w otworze wału, nacisków w piaście i ścinania kołka,
- dla połączeń z kołkiem wzdłużnym średnicę i długość kołka ograniczają naciski na powierzchniach oddziaływania z wałem i piastą; kryterium ścinania kołka jest warunkiem sprawdzającym.

Każdy z wariantów korzysta z odpowiednich baz danych zawartych w programie. Niektóre z nich pełnią funkcję uniwersalną (np. dane materiałowe stali konstrukcyjnych), inne służą tylko jednemu rodzajowi rozwiązania konstrukcyjnego połączenia (np. wymiary wpustów pryzmatycznych PN-M-85005:1970, czółenkowych PN-M-85008:1988, czopkowych PN-M-85047:1973, wielowypustów PN-ISO 14:1994, kołków PN-EN ISO 2338:2003, itp.).

W przypadku uzyskania niezadowolających wyników algorytm umożliwia powrót do zadeklarowanych punktów procedury w celu wprowadzenia zmian danych, ewentualnie – w przypadku nowych konstrukcji - aby zmienić rodzaj połączenia.

Budowa i opis działania wytworzonej aplikacji

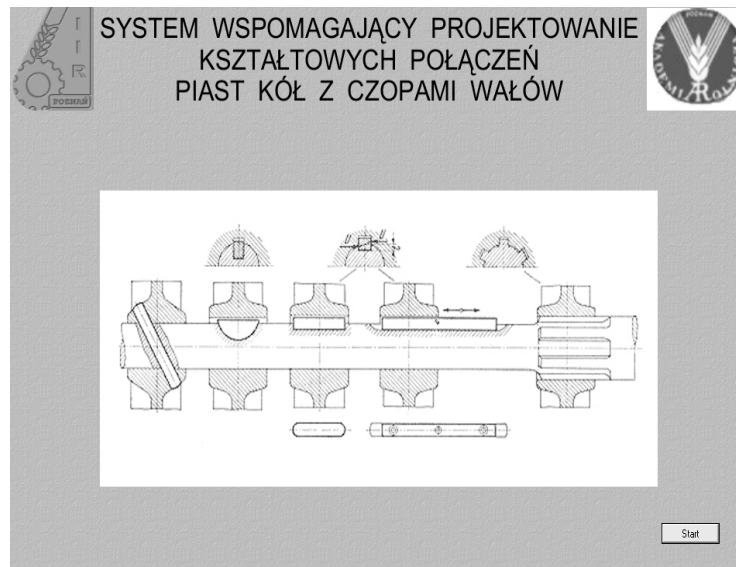
Zgodnie z zasadami inżynierii oprogramowania po sformułowaniu wymagań funkcjonalnych i niefunkcjonalnych projektowanego systemu informatycznego przeprowadzono modelowanie obiektowe (w notacji UML), budując stosowne diagramy. Aplikację wykonano w środowisku *Visual Studio .NET* [Dunaway 2003].

Po uruchomieniu programu pojawia się okno powitalne (rys. 1) z ilustracją ukierunkowującą użytkownika na przeznaczenie produktu.

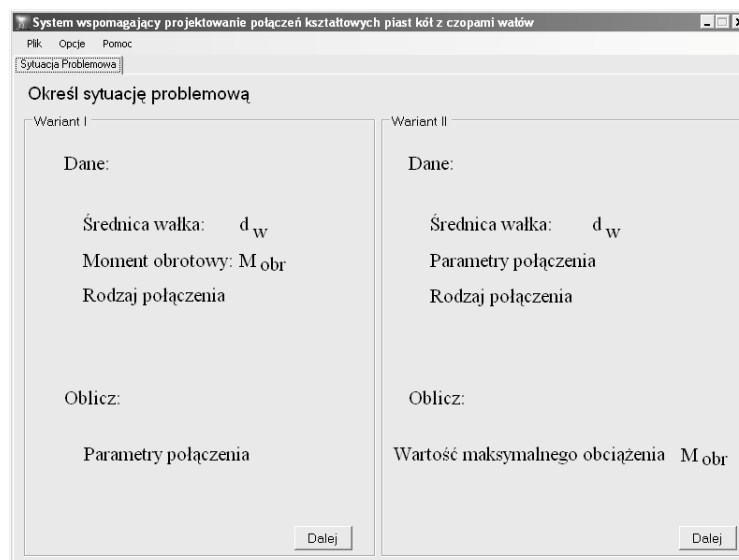
Uruchomienie programu łączy formularz okna głównego z kolejno aktywującymi się zakładkami. Pierwsza (rys. 2) definiuje możliwe sytuacje problemowe.

Wybór jednego z wariantów uruchamia przejście do formularza wyboru rodzaju połączenia (rys. 3).

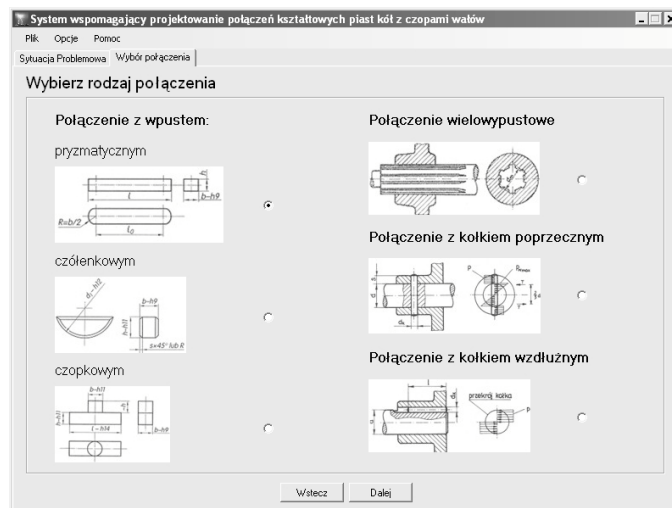
Następnie w zależności od realizowanego wariantu obliczeń i rodzaju połączenia otwiera się okno wprowadzania danych (np. projektowanego połączenia wpustowego z wpustem pryzmatycznym – rys. 4).



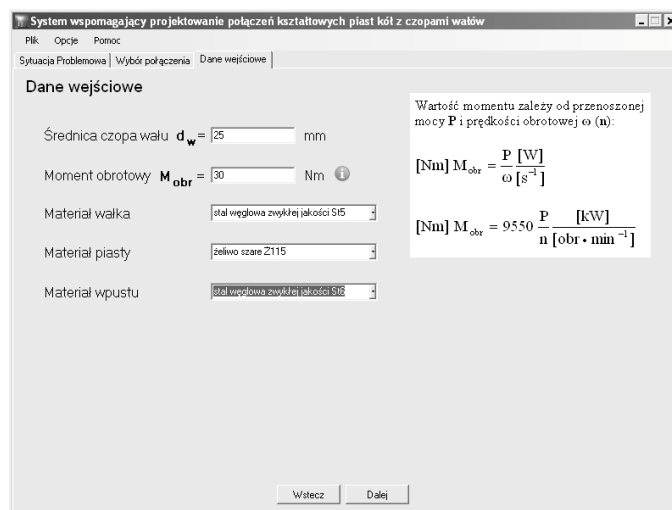
Rys. 1. Okno powitalne programu
Fig. 1. The program welcoming window



Rys. 2. Formularz wyboru sytuacji problemowej
Fig. 2. Problem situation selection form



Rys. 3. Formularz wyboru rodzaju połączenia
 Fig. 3. Joint type selection form



Rys. 4. Okno wprowadzania danych
 Fig. 4. Data entering window

W sytuacji braku wartości momentu obrotowego użytkownik może (aktywując załączoną informację) uzyskać pomoc – w tym przypadku zależność momentu w funkcji mocy i obrotów w różnych jednostkach.

Kolejny formularz dotyczy obliczeń parametrów połączenia. Przedstawione na rys. 5 zależności dotyczą kontynuacji przykładu z rys. 4.

System wspomagający projektowanie połączeń kształtowych piast kół z czopami wałów

Sytuacja Problemowa | Wybór połączenia | Dane wejściowe | **Obliczenia**

Obliczenia

Zalecane wymiary przekroju poprzecznego wpustu pryzmatycznego (dla typowych materiałów konstrukcyjnych) dla: $d_w = 25$ mm są następujące:
 $b \times h = 8$ mm x 7 mm, oraz głębokość rowka w czopie wału $t_1 = 4$ mm

Dla przyjętych wymiarów $b \times h$ wpustu obliczeniu podlega jego długość robocza l
 Wyciąga się ją z warunku na naciski (pomiędzy czopem wału a wpustem P_{w-wp} oraz pomiędzy wpustem a piastą P_{wp-p}), a następnie sprawdza warunkiem na ścinanie wpustu τ_t

Określ spodziewany rozkład nacisków na powierzchni bocznej wpustu: trójkątny (zalecane) równomierny

Z warunku na naciski:

$$P_{w-wp} = \frac{4 \cdot M_{obr}}{l \cdot d_w \cdot t_1} \leq P_{dop} \quad \rightarrow \quad l \geq 24,00 \text{ mm}$$

Z warunku na naciski:

$$P_{wp-p} = \frac{4 \cdot M_{obr}}{l \cdot d_w \cdot (h - t_1)} \leq P_{dop} \quad \rightarrow \quad l \geq 32,00 \text{ mm}$$

Wymagana długość wpustu: $l = 32$ mm

Sprawdzenie warunkiem na ścinanie wpustu:

$$\tau_t = \frac{2 \cdot M_{obr}}{l \cdot d_w \cdot b} \leq k_t$$
 $\tau_t = 9,375 \text{ MPa} \leq k_t = 97,5 \text{ MPa}$

Warunek spełniony

Wstecz Dalej

Rys. 5. Formularz obliczeń parametrów połączenia
 Fig. 5. The form for joint parameters calculations

System wspomagający projektowanie połączeń kształtowych piast kół z czopami wałów

Plik Opcje Pomoc

Sytuacja Problemowa | Wybór połączenia | Dane wejściowe | Obliczenia | **Wyniki**

Wyniki:

Ostateczne wymiary zaprojektowanego połączenia wpustowego:

Wpust pryzmatyczny o wymiarach $b \times h \times l$:

$b = 8$ mm $h = 7$ mm $l = 32$ mm

Wróć do danych wejściowych
 Wróć do wyboru rodzaju połączenia
 Zakończ program

Rys. 6. Okno prezentacji wyników
 Fig. 6. Results presentation window

Wymiary poprzeczne wpustu pryzmatycznego i głębokości stosownych rowków zależą od średnicy czopa. Po przyjęciu spodziewanego rozkładu nacisków procedura wylicza graniczne długości wpustu i wybiera wartość większą. Poprawność tego wymiaru sprawdza warunek wytrzymałościowy na ścinanie wpustu. Uzyskane wyniki są przedstawione na kolejnym formularzu (rys. 6).

Jeżeli rezultaty są satysfakcjonujące pod względem konstrukcyjnym i funkcjonalnym to oznacza zakończenie procedury decyzyjno-obliczeniowej. W przeciwnym wypadku istnieje możliwość powrotu i zmiany materiałów konstrukcyjnych lub zmiany rodzaju połączenia (np. zastąpienie zbyt długiego wpustu wielowypustem).

Podsumowanie

1. Wytworzona aplikacja spełnia postawione w celu pracy zadania – jest programem wspomagającym pracę konstruktora przy projektowaniu rozłącznych połączeń kół z wałami, a równocześnie zadowalająco spełnia funkcję edukacyjną w zakresie tej problematyki.
2. Metodycznie przedstawiona procedura obliczeniowa wraz z możliwymi wariantami zmian przyjętych założeń dobrze systematyzuje wiedzę w zakresie połączeń i może być przydatna również po okresie studiów.
3. W powiązaniu z cytowanym w pracy programem do obliczeń połączeń wciskowych niniejsza aplikacja tworzy tematycznie spójną całość obliczeniowo-edukacyjną dotyczącą osadzania piast kół na czopach wałów.

Bibliografia

- Dunaway R.B.** 2003. Visual Studio .NET, Wydawnictwo MIKOM, Warszawa. ISBN 83-7279-304-2.
- Loboda M., Krysztofiak A.** 2005. Oprogramowanie wspomagające proces konstruowania łożyska ślizgowego. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(62). s. 93-100.
- Loboda M., Krysztofiak A., Dworecki Z.** 2005. System wspomagający rozwiązywanie belek dla wariantowych obciążeń statycznych. Inżynieria Rolnicza. Nr 14(74). s. 221-227.
- Loboda M., Krysztofiak A., Dworecki Z., Przybył J.** 2006. Oprogramowanie wspomagające projektowanie wałów i osi. Inżynieria Rolnicza. Nr 13(88). s. 323-332.
- Loboda M., Krysztofiak A., Dworecki Z., Drewniak Ł., Mytkowski R.** 2007a. System edukacyjny rozwiązywania wybranych ustrojów belkowych. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(90): 167-174.
- Loboda M., Krysztofiak A., Dworecki Z., Przybył J.** 2007b. System wspomagająco-edukacyjny projektowania połączeń wciskowych. Inżynieria Rolnicza 2 (90): 159-166.
- Osiński Z.** 2002. Podstawy konstrukcji maszyn, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa. ISBN 83-01-12806-2.
- Pietrzyk W.** 1978. Połączenia w konstrukcji maszyn. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. s. 153-161.
- PN-M-85005:1970. Wpusty pryzmatyczne.
- PN-M-85008:1988. Wpusty czółenkowe.
- PN-M-85047:1973. Wpusty czopkowe.
- PN-ISO 14:1994. Połączenia wielowypustowe równoległe walcowe osiowane na średnicy wewnętrznej – Wymiary, tolerancje i sprawdzanie.
- PN-EN ISO 2338:2003. Kołki walcowe ze stali, niehartowane lub z austenitycznej stali nierdzewnej.

www.solidworks.com [dostęp15-01-2008].
www.ansys.com [dostęp15-01-2008].
www.mssoftware.com [dostęp15-01-2008].

COMPUTER SYSTEM SUPPORTING DESIGN OF JOINTS BETWEEN WHEEL HUBS AND SHAFTS

Abstract. Presented computational system used to design joints between hubs of wheels (gear wheels, belt pulleys, chain wheels) and shaft necks has function that typically supports engineer's work in this extent. Besides that, it also has educational character. After having defined the problem situation, the system user may choose joint type, e.g. key, splines or pin, and then design parameters of this joint (dimensions with selection of proper materials), for entered values and databases contained in the system. Each stage of the algorithm being executed is illustrated by a suitable draft and supplemented with an explanatory note. This increases educational value of the program.

Key words: joint hub – shaft neck, key, splines, pin

Adres do korespondencji:

Mariusz Łoboda; e-mail: loboda@au.poznan.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 50
60-637 Poznań