SYSTEM WSPOMAGAJĄCO-EDUKACYJNY PROJEKTOWANIA POŁĄCZEŃ WCISKOWYCH

Mariusz Łoboda, Adam Krysztofiak, Zbigniew Dworecki, Jacek Przybył
Instytut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Poznaniu

Streszczenie. Jednym z częściej stosowanych sposobów osadzania piast kół na czopach wałów jest połączenie wciskowe. Prezentowana praca przedstawia oprogramowanie wspomagające pracę inżyniera w zakresie wymaganych obliczeń przy projektowaniu połączeń wciskowych z wariantowym wyborem „ścieżki" postępowania. Przyjazny interfejs wraz z ilustracjami poszczególnych kroków postępowania umożliwiają wykorzystanie systemu w dydaktyce.

Słowa kluczowe: połączenie wciskowe, siła i moment tarcia, wytrzymałość piasty

Wprowadzenie

Jednym z częściej stosowanych sposobów osadzania piast kół na czopach wałów jest połączenie wciskowe. Dla niektórych elementów (np. pierścieni łożysk tocznych i niedzielonych panewek łożysk ślizgowych) połączenie wciskowe jest praktycznie jedynym możliwym rozwiązaniem. Jest to połączenie cierne, w którym siła tarcia jest skutkiem nacisków powierzchniowych. Wartość nacisków na powierzchni współpracy czopa z piastą wynika ze skojarzenia wymiarów przed montażem rzeczywistych średnic obu elementów.

Na etapie konstruowania, zakładając klasy dokładności wykonania wymiaru średnic czopa i piasty oraz położenie pól tolerancji w stosunku do wymiaru nominalnego, nieznana jest rzeczywista wartość luzu (wcisku) projektowanego pasowania. Ocenić można jedynie ich wartości graniczne: L_{max} i L_{min} ($-W_{min}$ i $-W_{max}$). Określone na tej podstawie skrajne wartości nacisków p_{min} i p_{max} stanowią podstawę dla sformułowania warunków: funkcjonalnego (dotyczącego przeniesienia obciążenia) oraz wytrzymałościowego (związanego z nieprzekroczeniem naprężeń dopuszczalnych piasty i czopa).

Projektując połączenie wciskowe konstruktor najczęściej staje wobec następujących problemów:

– dla znanych wymiarów połączenia i określonych parametrów pasowania należy sprawdzić warunek wytrzymałościowy oraz wyznaczyć dopuszczalne obciążenie,
– dla wymaganych wartości obciążeń i wstępnych wymiarów połączenia należy wyznaczyć parametry pasowania gwarantujące równocześnie spełnienie warunku wytrzymałościowego.

Z uwagi na powtarzalną - stosunkowo skomplikowaną - procedurę postępowania w obu powyższych sytuacjach oraz częstą konieczność wielokrotnej modyfikacji przyjętych założeń problematyka obliczania połączeń wciskowych dobrze nadaje się do oprogramowania.

Celem niniejszej pracy było więc wytworzenie systemu informatycznego wspomagającego pracę inżyniera w tym zakresie. Równocześnie, wzbogacając poszczególne etapy postępowania wyjaśniającymi ilustracjami, możliwe będzie wykorzystanie wytworzonej aplikacji jako pomoc edukacyjną (np. w ramach przedmiotu *Części maszyn* na kierunku studiów *Technika Rolnicza i Leśna*).

Koncepcja algorytmu tworzonej aplikacji

W zależności od posiadanych i dostępnych danych projektowanego połączenia wciskowego konstruktor definiuje problem kwalifikując go do jednego z dwóch proponowanych wariantów procedury obliczeniowej. W pierwszym, w którym oprócz wymiarów nominalnych znane są parametry zastosowanego pasowania, istnieje możliwość wyznaczenia z warunku funkcjonalnego wartości maksymalnych obciążeń. Drugi wariant jako dane wejściowe zakłada spodziewane obciążenie (jego charakter i wartość) i prowadzi do doboru właściwego pasowania. W obu wariantach procedura sprawdza wytrzymałość współpracujących elementów. Relacje między wciskiem (luzem ujemnym) a naprężeniami i naciskami w czopie i piaście określa się w teorii sprężystości w oparciu o rozwiązanie tzw. *zagadnienia Lame'go* [Zielnica 1998, Osiński 2002].

W wariancie pierwszym, po określeniu nominalnych wymiarów połączenia, konstruktor definiuje pasowanie, przyjmując zasadę jego budowy, klasy dokładności wykonania elementów i położenia pól tolerancji. Stanowi to podstawę do wyznaczenia wcisków granicznych

$$W_{\min} = ei - ES \quad \text{oraz} \quad W_{\max} = es - EI\,, \tag{1}$$

gdzie: *ES, EI, es, ei* - odchyłki górne i dolne odpowiednio wymiarów piasty i czopa.

Następnie na podstawie charakterystyk materiałowych czopa i piasty (modułów Younga E i współczynników Poissona v) oraz współczynników wydrążenia x (czyli stosunku średnicy wewnętrznej do zewnętrznej elementu) określa się zakres możliwych do uzyskania wartości nacisków p_{min} i p_{max}. Minimalne z nich, wstawione do warunku funkcjonalnego

$$\sqrt{P^2 + \frac{2M_s}{d}} \le T_{\max} = p_{\min} \cdot \pi \cdot d \cdot l \cdot \mu_{kinet}\,, \tag{2}$$

gdzie:

T_{max} – maksymalna siła tarcia, jaką można obciążyć połączenie,
p_{min} – najmniejsze z możliwych do uzyskania nacisków,
d, l – wymiary połączenia,
μ_{kinet} – ruchowy współczynnik tarcia czopa z piastą.

określają dopuszczalne wartości: siły osiowej P lub momentu skręcającego M_s (ewentualnie - po określeniu udziałów procentowych - równocześnie działających siły i momentu). Maksymalne naciski, w powiązaniu z przyjętymi naprężeniami granicznymi Q_r dla czopa i piasty oraz poziomem współczynnika bezpieczeństwa, służą do sprawdzenia warunków wytrzymałościowych.

Alternatywną proponowaną procedurą jest wyznaczenie parametrów pasowania dla zadanych wartości obciążeń połączenia. Podobnie jak w wariancie pierwszym możliwe są trzy sytuacje: siła osiowa, moment lub obie wielkości działające równocześnie. Wyliczone na ich podstawie - z zależności (2) - minimalne naciski powierzchniowe pozwalają wyznaczyć początkowy wcisk minimalny, a stąd – o oparciu o (1) - wstępną wartość odchyłki podstawowej otworu *ES* (dla pasowania zbudowanego na zasadzie stałego wałka - *ZSW*) lub odchyłki podstawowej wałka *ei* (dla zasady stałego otworu – *ZSO*). Korygując uzyskane wartości danymi dyskretnej funkcji znormalizowanych odchyłek podstawowych oraz przyjmując klasy dokładności wykonania średnic czopa T_w i piasty T_o można wyznaczyć finalne wartości odchyłek oraz wynikające z nich wciski graniczne. Korzystając ponownie z rozwiązania *zagadnienia Lame'go* dla przeliczenia wcisków na naciski należy sprawdzić dla p_{max} warunki wytrzymałościowe, natomiast dla p_{min} rzeczywiste możliwe obciążenie projektowanego połączenia. Pozytywny wynik postępowania pozwala zaakceptować zbudowane pasowanie. W przeciwnym przypadku konieczna jest zmiana przyjętych założeń, możliwa w różnych zakresach działania procedury obliczeniowej (klasy dokładności wykonania średnic, wymiary nominalne połączenia, własności wytrzymałościowe materiałów, itp.).

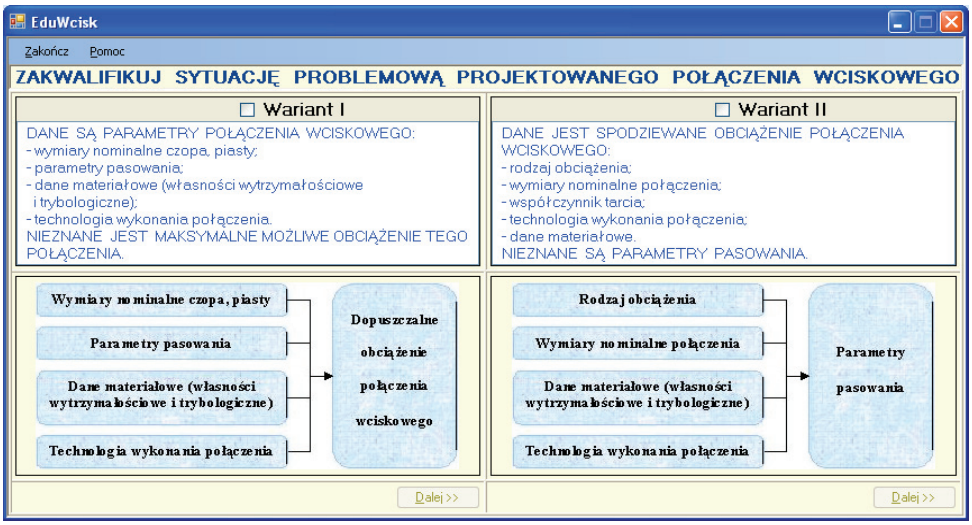
W obu wariantach, podczas wyznaczania wcisków, należy zadeklarować technologię wykonania połączenia (skurczowa, rozprężna lub przez wtłaczanie), która w ostatnim z przypadków koryguje wartość wcisku o tę część – ok. 60% chropowatości, która ulega ścięciu podczas procesu wtłaczania [Pietrzyk 1978].

Opis działania programu

Aplikację wykonano w środowisku *Visual Studio .NET* [Dunaway 2003]. Po uruchomieniu pojawia się okno główne (rys. 1) zawierające pod przyciskiem *O programie* podstawowe informacje, dotyczące m.in. zalecanego przeznaczenia.

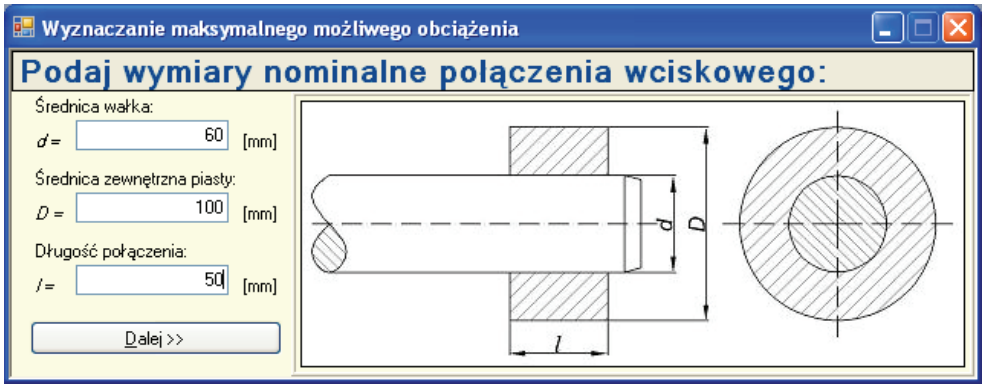
Rys. 1. Główne okno programu (przy oprogramowaniu współpracował student Arkadiusz Jurkiewicz)
Fig. 1. Main window of application (student Arkadiusz Jurkiewicz co-operated near software)

Przycisk *Start* otwiera formularz wyboru wariantu działań użytkownika (rys. 2).

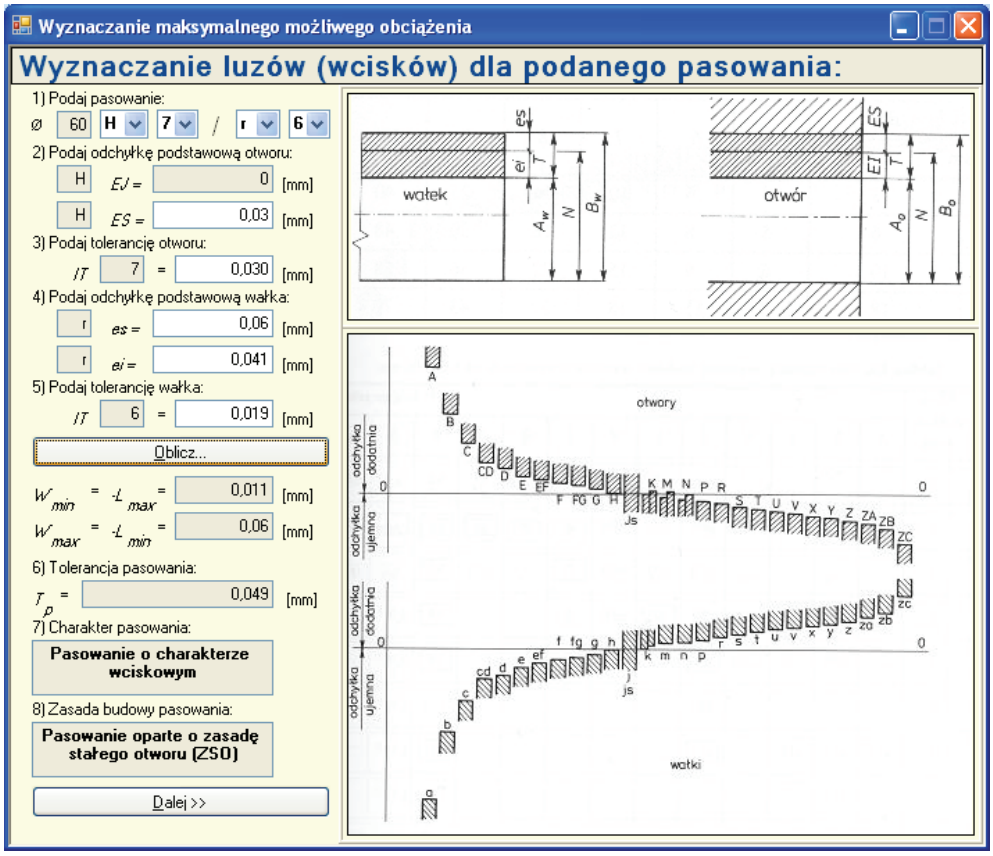


Rys. 2. Wybór wariantu postępowania (zakres dostępnych danych i oczekiwany wynik obliczeń)
Fig. 2. Choice of proceeding variant (range of accessible data and expected result of calculations)

Po wyborze należy wprowadzić nominalne wymiary połączenia (rys. 3) i (w wariancie I) parametry pasowania, z których program wylicza luzy (wciski) graniczne, ewentualnie sygnalizując nieuzyskanie dodatnich wcisków w całym zakresie możliwych skojarzeń wymiarów (rys. 4).



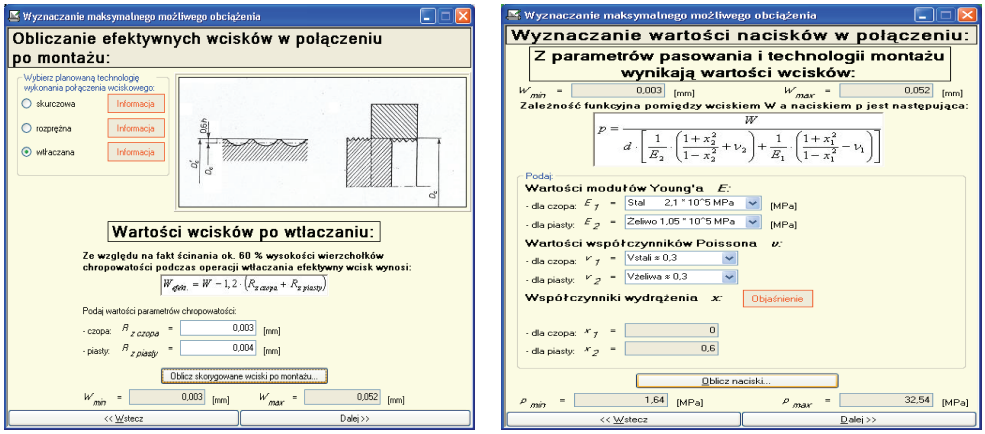
Rys. 3. Okno wprowadzania wymiarów nominalnych połączenia
Fig. 3. Window of input of joint nominal dimensions



Rys. 4. Formularz obliczania wcisków granicznych (W_{min} i W_{max})
Fig. 4. Sheet of calculating of limiting negative allowance (W_{min} i W_{max})

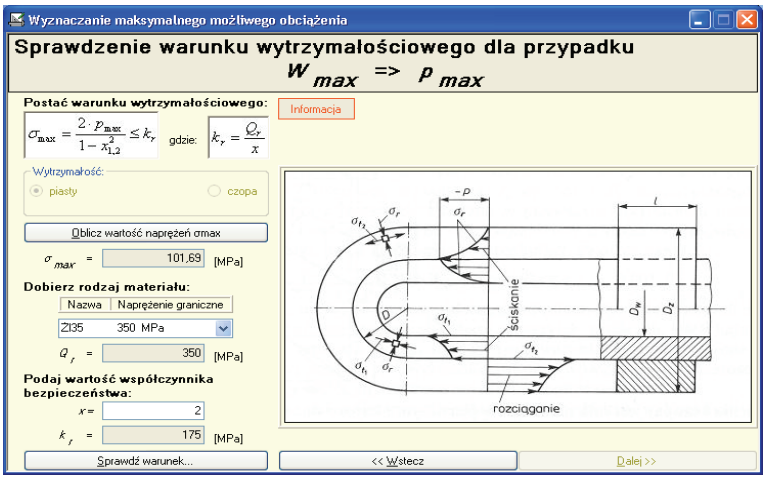
Następnie, po wyborze technologii montażu, system wyznacza efektywne wartości wcisków (rys. 5 po lewej), oraz – po wyborze danych materiałowych – graniczne wartości nacisków p_{min} i p_{max} na powierzchni współpracy czopa z piastą (rys. 5 po prawej).

Maksymalne naciski limitują wytrzymałość piasty i czopa. W kolejnym więc kroku (rys. 6) program wylicza wartości działających naprężeń i – po wyborze materiału i poziomu bezpieczeństwa – sprawdza warunki wytrzymałościowe.



Rys. 5. Wpływ technologii montażu na wciski (po lewej) oraz wyznaczanie granicznych wartości nacisków (po prawej)

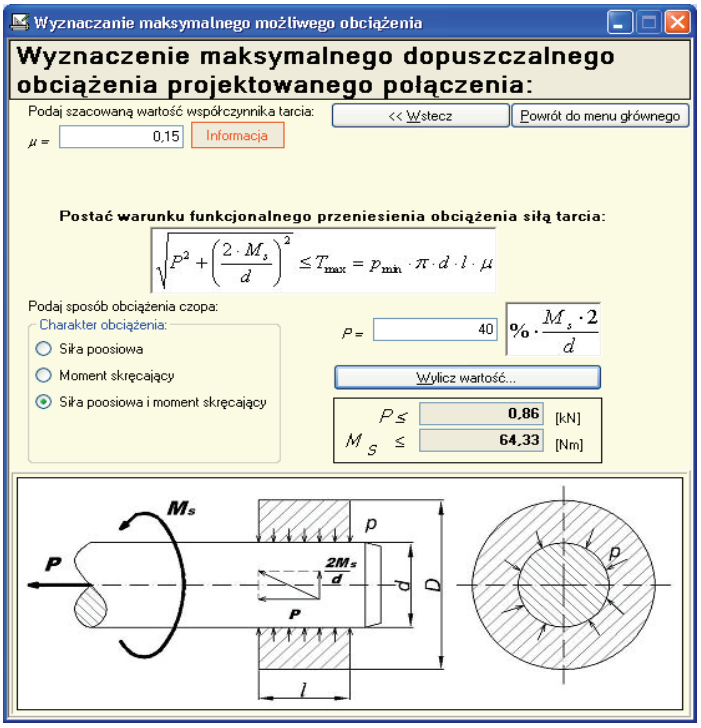
Fig. 5. Influence of the assembly technology on forced-in values (left) and extreme pressure values (right)



Rys. 6. Analiza wytrzymałościowa piasty i czopa

Fig. 6. Stamina analysis of the hub and pin

Minimalne naciski określają dolną granicę siły tarcia, która stanowi podstawę wyznaczenia dopuszczalnych obciążeń dla projektowanego połączenia (rys. 7). Po zadeklarowaniu spodziewanego charakteru obciążenia (siła osiowa i/lub moment, ewentualnie udział procentowy) system wyznacza poszukiwane wartości.



Rys. 7. Dopuszczalne obciążenie połączenia
Fig. 7. Calculate of permissible load

Procedura postępowania dla wariantu II częściowo korzysta z przedstawionych powyżej formularzy i dodatkowo zawiera algorytm doboru rodzaju pasowania (funkcja nieciągła) do wyznaczonych wcisków oraz określa efektywne obciążenie połączenia dla przyjętego pasowania.

Korzystanie ze zbudowanego oprogramowania wspomagane jest w wielu miejscach systemem okien informacyjnych dotyczących aktualnie wykonywanych operacji. Okna dialogowe zabezpieczone są przed wprowadzaniem nieprawidłowych danych (np. mniejsza średnica zewnętrzna piasty niż czopa, ujemna długość lub brak wyboru) wyświetlaniem stosownych komunikatów. Każdy z wariantów obliczeń może być podsumowany stosownym raportem.

Podsumowanie

1. Oprogramowanie procedury projektowania połączeń wciskowych ze względu na konieczność równoczesnego spełnienia przenikających się wzajemnie warunków funkcjonalnego i wytrzymałościowego wymagało poszerzonej analizy obszaru możliwych rozwiązań oraz uwzględnienie ich w algorytmie działania programu.

2. Budowa wspomagającego pracę konstruktora programu o wyraźnie edukacyjnym charakterze narzuciła konieczność wzbogacenia każdego formularza o przejrzystą graficzną ilustrację wyjaśniającą znaczenie symboli i stosowanych aktualnie relacji funkcyjnych. Uzyskano system niewymagający od użytkownika szczególnego przygotowania merytorycznego.
3. Wariantowy układ programu wraz z logicznym podziałem procedur obliczeniowych na zamknięte, spójne etapy umożliwiają stosowanie go jako pomoc dydaktyczną na poziomie akademickim, np. w zakresie przedmiotu *Części maszyn*.
4. Opracowana struktura systemu daje administratorowi możliwość rozbudowy bez naruszania podstawowego szkieletu programu.

Bibliografia

Dunaway R.B. 2003. Visual Studio .NET, Wydawnictwo MIKOM, Warszawa. ISBN 83-7279-304-2.
Osiński Z. 2002. Podstawy konstrukcji maszyn, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa. ISBN 83-01-12806-2.
Pietrzyk W. 1978. Połączenia w konstrukcji maszyn. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. s. 153-161.
Zielnica J. 1998. Wytrzymałość materiałów, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. ISBN 83-7143-180-5.

THE SUPPORTING-EDUCATIONAL SYSTEM OF CONSTRUCTING THE FORCED-IN JOINT

Summary. The forced-in joint is one of more often applied ways of settling the hub of wheels on the shaft pins. The work represents software helping the engineer work in the range of required calculations on constructing forced-in joints with the variant choice of conduct "path". The friendly interface together with the illustrations of the each step of the calculating way make possible to use the system in the didactics.

Key words: forced-in joint, friction force and moment, hub stamina

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