

Mariusz Łoboda, Adam Krysztofiak  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Akademia Rolnicza w Poznaniu

## OPROGRAMOWANIE WSPOMAGAJĄCE PROCES KONSTRUOWANIA ŁOŻYSKA ŚLIZGOWEGO

### Streszczenie

Procedura obliczeniowa łożysk ślizgowych pracujących w warunkach tarcia płynnego często ma charakter typowo iteracyjny. Po wstępnym przyjęciu wartości niektórych parametrów łożyska konstruktor, aby spełnić finalne warunki funkcjonalne, z reguły zmuszony jest kilkakrotnie powtarzać obliczenia, korygując założenia. Zbudowano więc system wspomagający pracę konstruktora w tym zakresie. Jasna i przejrzysta forma poszczególnych formularzy algorytmu obliczeń wzbogaconych stosownymi rysunkami umożliwia wykorzystanie tego oprogramowania także w dydaktyce przedmiotu *Części maszyn* m.in. na kierunku *Technika Rolnicza i Leśna*.

**Słowa kluczowe:** łożysko ślizgowe, tarcie płynne, film olejowy

### Wprowadzenie

Ekonomiczne i bezawaryjne użytkowanie nowoczesnych maszyn rolniczych można zapewnić m.in. przez zoptymalizowanie konstrukcji ich części i podzespołów. Ruch obrotowy wałów i osi zapewniają różnego rodzaju węzły łożyskowe, wśród których ważne znaczenie mają łożyska ślizgowe.

Jednym z trudniejszych problemów w zakresie konstrukcji łożyskowań jest dobór i obliczanie parametrów zapewniających trwałą i bezawaryjną pracę łożysk ślizgowych. Zależy to m.in. od uzyskania wymaganych warunków tarcia np. płynnego dla szerokiego zakresu prędkości i obciążeń oraz realizacji bilansu cieplnego łożyska przy realnych poziomach temperatur mediów chłodzących. Procedura obliczeniowa często zmusza konstruktora do korekty przyjętych pierwotnie wartości parametrów i tym samym do wielokrotnego wykonywania tych samych czynności. Nadaje się, więc ona dobrze do oprogramowania w celu zautomatyzowania tych obliczeń, co powinno zaowocować ewidentnym skróceniem czasu konstruowania danego węzła łożyskowego i uzyskania rozwiązań bliższych optimum.

## Procedura projektowania łożysk ślizgowych

Obliczanie ślizgowych łożysk poprzecznych (dominujących w większości konstrukcji) uzależnione jest od projektowanego rodzaju tarcia czopa z panewką (tarcie suche lub mieszane albo tarcie płynne). W obu przypadkach [Osiński 2002; Niemann 1960] konieczne jest przeliczenie wymiarów czopa na naciski powierzchniowe, wytrzymałość na zginanie oraz szacunkowe sprawdzenie na grzanie. Natomiast dla tarcia płynnego należy procedurę obliczeń rozszerzyć o dobór luzów, chropowatość i niewsólności współpracujących powierzchni, wyliczenie lepkości smaru, oporów tarcia, a także o sporządzenie szczegółowego bilansu cieplnego. Na tej podstawie można dopiero określić odpowiednie pasowanie czopa w panewce.

Przechodząc kolejne kroki tej procedury konstruktor na poszczególnych jej etapach często zmuszony jest korygować założenia i obliczone na ich podstawie wartości parametrów, jeżeli uzyskiwane wyniki nie mieszczą się w technicznie realnych zakresach. Dotyczy to szczególnie lepkości środka smarnego, chropowatości powierzchni współpracujących oraz różnicy temperatur powietrza i oleju na wyjściu i wejściu.

## Cel pracy i analiza wymagań oprogramowania

Przedstawione cechy algorytmu obliczania łożysk ślizgowych są typowe dla systemów ze sprzężeniem zwrotnym. Jest to charakterystyczne działanie „w pętli” z ograniczeniami (niektóre zakładane i wyliczane parametry mogą przyjmować tylko określone wartości dyskretne, dodatkowo determinowane czynnikami pozamerytorycznymi, np. ceną, dostępnością, wyposażeniem technicznym producenta). Celem niniejszej pracy było więc stworzenie systemu informatycznego wspomagającego proces konstruowania łożysk ślizgowych. Wstępna wersja oprogramowania była tematem pracy magisterskiej na kierunku *Technika Rolnicza i Leśna* realizowanej w *Instyucie Inżynierii Rolniczej AR w Poznaniu*.

Przed przystąpieniem do budowy systemu sformułowano ogólne wymagania funkcjonalne:

- możliwość wyznaczania wartości parametrów łożyska w kolejnych etapach algorytmu,
- klasyfikacja parametrów w ramach dopuszczalnych przedziałów wartości,
- ewentualność powrotu do określonego etapu procedury obliczeniowej,

- możliwość zapisywania wyników obliczeń do pliku oraz ich wydruk,
  - umożliwianie aktualizacji poszczególnych baz danych,
- które szczegółowo są realizowane za pomocą odpowiednich formularzy z przejrzystymi, praktycznymi interfejsami.

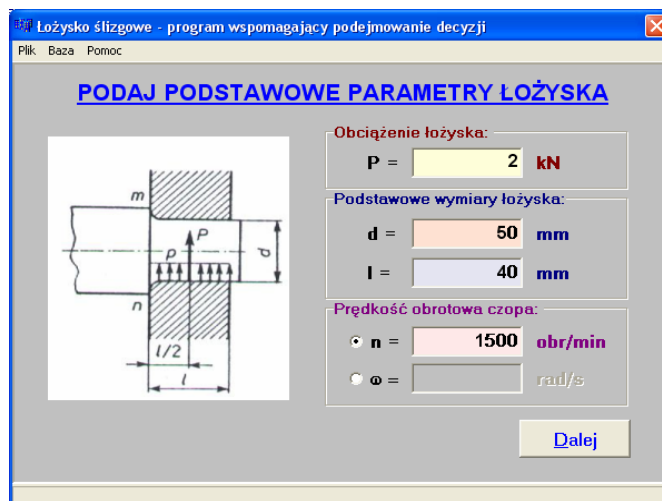
### **Budowa systemu i opis działania programu**

Algorytm obliczania łożysk ślizgowych poprzecznych określa zakres kolejnych formularzy. Dotychczasowa wersja programu zawiera formularze realizujące następujące funkcje:

- wprowadzanie podstawowych danych dla łożyska,
- sprawdzanie kryterium nacisków powierzchniowych,
- sprawdzanie warunku naprężeń gnących czopa,
- sprawdzanie wstępnego warunku na grzanie łożyska,
- dobór względnego luzu promieniowego,
- wyznaczanie minimalnej wysokości filmu olejowego,
- dobór lepkości smaru,
- prezentacja raportu wyników,
- edycja baz danych dla:
  - nacisków dopuszczalnych,
  - granic plastyczności,
  - chropowatości materiału czopa i panewki,
  - względnych luzów promieniowych.

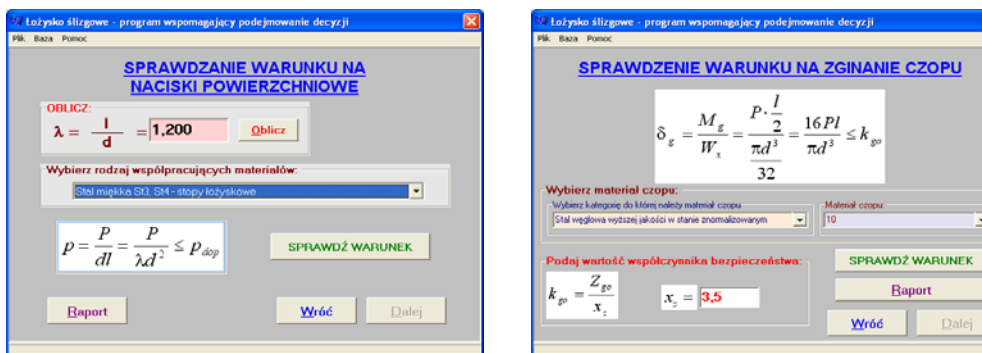
Za pomocą pakietu *Rational Rose 2000* firmy *Rational Software* sporządzono diagram przypadków użycia, diagram klas oraz diagram współpracy - dla umożliwienia dokładnej analizy komunikacji programu z otoczeniem, jego struktury i interakcji między obiektami programu. Sam program stworzony został przy wykorzystaniu systemu wytwarzania aplikacji *Borland C++ Builder* [Reisdorph, Henderson 1998; Stroustrup 2000].

Po uruchomieniu programu i wybraniu rodzaju łożyska należy podać jego podstawowe parametry: obciążenie, wymiary i prędkość obrotową – w dwóch wariantach [obr/min] lub [rad/s], rys. 1.



Rys. 1. Okno wstawiania danych wejściowych  
 Fig. 1. Window of input data insert

Na ich podstawie można sprawdzić wytrzymałość na naciski (gwarantujące założoną trwałość) i na zginanie czopa (rys. 2).

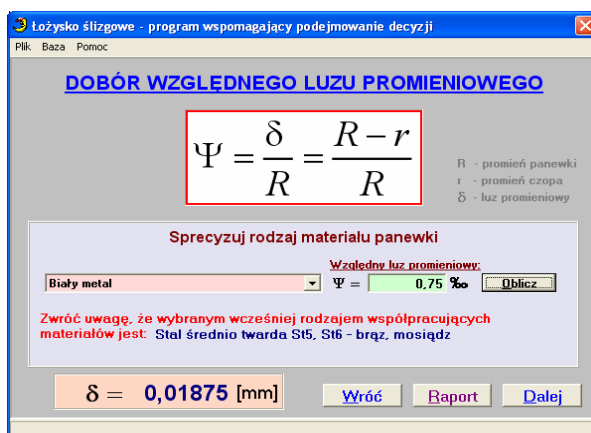


Rys. 2. Okna warunków wytrzymałościowych (lewe - naciski powierzchniowe, prawe - zginanie czopa)  
 Fig. 2. Windows of strength materials conditions (left - pressures, right - pin bending)

W każdym z warunków należy wstępnie przyjąć dane materiałowe, a dla zginania - dodatkowo poziom współczynnika bezpieczeństwa. Następnym formularzem jest

sprawdzenie wstępnego warunku na grzanie. Wskaźnikiem jest iloczyn  $pv$  (naciśków i prędkości obwodowej), którego graniczne wartości są zależne od charakteru pracy łożyska (praca ciągła lub okresowa).

Dalsze obliczenia dotyczą łożyska pracującego w warunkach tarcia płynnego. Należy określić wartość względnego luzu promieniowego (rys. 3) i obliczyć minimalną wysokość filmu olejowego (rys. 4), gwarantującą brak bezpośredniego kontaktu materiału czopa i panewki.



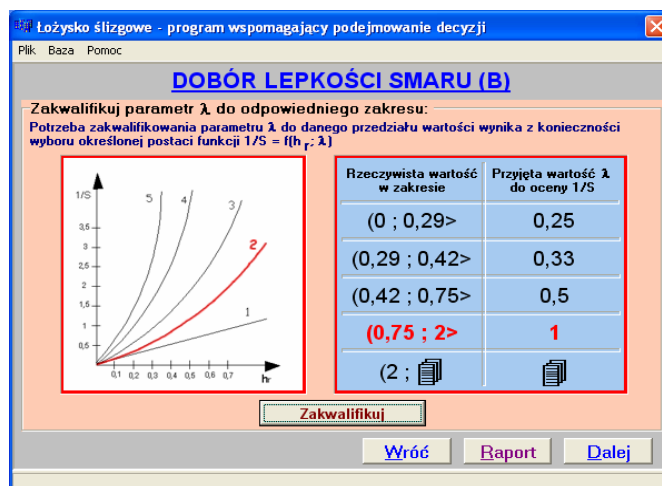
Rys. 3. Okno względnego luzu promieniowego  
Fig. 3. Window of relative radial clearance



Rys. 4. Okno minimalnej wysokości filmu olejowego  
Fig. 4. Window of minimum oil film height

Minimalna wysokość filmu olejowego zależy bezpośrednio od chropowatości współpracujących powierzchni, których poziom wynika z parku maszynowego producenta. Wpływ ma również niewspółosiowość czopa i panewki, którą należy oszacować m.in. w oparciu o sztywność giętną wału (w skrajnych przypadkach można zastosować panew wahlową).

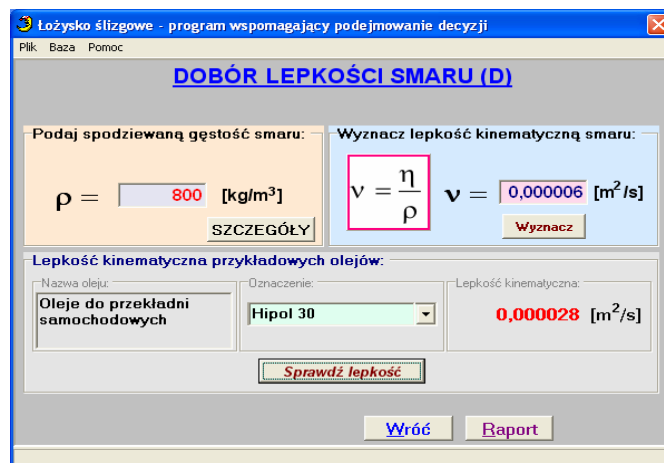
Powyższe zmienne stanowią podstawę do doboru środka smarnego na bazie jego lepkości. Proponowana procedura w nieoprogramowanej wersji korzystała na tym etapie z wykresu, zawierającego szereg krzywych w zależności od stosunku długości łożyska do jego średnicy. Zbudowany program, po wyliczeniu zmiennych pomocniczych, wstępnie klasyfikuje „przynależność” do właściwej krzywej, a następnie (w jej miejsce) stosuje odpowiednią postać funkcji regresji wielomianowej - wyznaczając wartość funkcji odwrotności liczby Sommerfelda S (rys. 5).



Rys. 5. Okno wyznaczania analitycznej postaci funkcji podanej wykresami (dla doboru lepkości oleju)

Fig. 5. Window of analytic form calculation for functions presented by graphs (for selection of oil stickiness)

Z funkcji tej wyznacza się lepkość dynamiczną, a po oszacowaniu gęstości oleju - jego lepkość kinematyczną. Wielkość ta stanowi podstawę do wyszukania z bazy danych, dostępnych na rynku środków smarnych, produktu najlepiej najbardziej zbliżonych parametrach (rys. 6).



Rys. 6. Finalne okno doboru środka smarnego

Fig. 6. Final window of lubricant selection

W przypadku, gdy wartość wymaganej (ze względu na warunki tarcia płynnego) lepkości kinematycznej oleju wykracza poza zakres dostępnych, handlowych olejów należy powrócić z procedurą obliczeniową do etapu doboru względnego luzu promieniowego, doboru współpracujących materiałów i ich chropowatości, bądź nawet zmienić wymiary łożyska.

W menu *Pomoc* program udostępnia w ramach trzech zakładek:

- *Zawartość* (ogólny opis pracy łożyska w warunkach tarcia suchego, mieszane oraz płynnego),
- *Instrukcja* (zasada działania algorytmu obliczeniowego),
- *Indeks* (spis parametrów).

Tam też dostępne jest *Info*, w którym znajduje się informacja dotycząca programu oraz autorów.

## Podsumowanie

1. Oprogramowanie algorytmu obliczeniowego w sposób umożliwiający interaktywne obliczanie poszczególnych parametrów łożyska ślizgowego znacznie skraca czas konstruowania danego węzła.
2. Zbudowany program jest uniwersalny: zapewnia prawidłowy dobór parametrów konstrukcyjnych łożyska oraz parametrów jego pracy, umożliwia zdobywanie ogólnej i specjalistycznej wiedzy w tym zakresie, może służyć także jako pomoc dydaktyczna dla studentów w zakresie przedmiotu *Części maszyn* dla kierunku *Technika Rolnicza i Leśna*.

3. Czytelna i powtarzająca się struktura interfejsu pozwala na łatwą obsługę programu. Użytkownik w krótkim czasie przyzwyczaja się do jednorodnej struktury interfejsu w wyniku, czego bezproblemowo postępuje wg ściśle określonego algorytmu doboru łożyska.
4. Opracowana struktura systemu daje administratorowi możliwość rozbudowy programu o procedurę obliczeniową doboru łożysk wzdłużnych a także uzupełnić algorytm dotyczący łożysk poprzecznych o segment szczegółowego bilansu cieplnego.

### **Bibliografia**

Mienann G. 1960. Maschinenelemente, Sprinter-Verlag, Berlin.

Osiński Z. 2002. Podstawy konstrukcji maszyn, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Reisdorph K., Henderson K. 1998. C++ Builder, Helion, Gliwice.

Stroustrup B. 2000. Język C++, W N-T, Warszawa.

## **SOFTWARE OF SLIDE BEARING CONSTRUCTION PROCESS AID**

### **Summary**

The computational procedure of slide bearings working in smooth friction conditions has often the typically iterative character. After preliminary foundations of some bearing parameters value, for final functional conditions execute, the constructor often should several the times to repeat calculations, correcting foundation. Therefore the computer system for constructor's work aid in this range was built. Clear and transparent form of each forms of computing algorithm with proper drawings makes possible to use this software also in didactics for subject *Machine elements* among others for specialization *Agriculture and Forest Technic*.

**Key words:** slide bearing, smooth friction, oil film