

Adam TATUŚ  
Witold SILEIKIS  
Politechnika Śląska

## KOMPUTEROWO WSPOMAGANE PROJEKTOWANIE WAŁU REDUKTORA

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono aplikację do wspomagania projektowania wału reduktora obrotów. Aplikacja została napisana w języku AutoLISP i działa ona w środowisku AutoCAD'a.

## COMPUTER AIDED DESIGN OF A SHAFT REDUCER

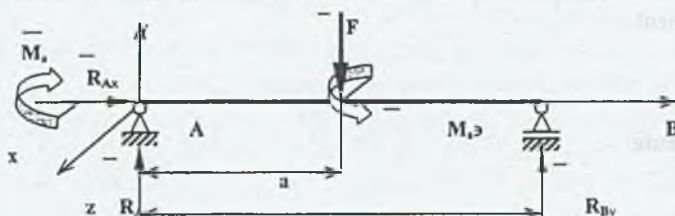
**Summary.** In the paper an application for aiding of design process of a reducer shaft is presented. The application was written in AutoLISP and it works in AutoCAD environment.

### 1. Wprowadzenie

AutoCAD jest jednym z popularniejszych programów z szerokiej rodziny programów CAD (komputerowego wspomagania projektowania). Ze względu na swą otwartą architekturę możliwa jest, niewielkim nakładem sił i środków, adaptacja AutoCAD'a do wspomagania różnorodnych zadań inżynierskich, zaczynając od prostej automatyzacji kreślenia, aż do złożonych systemów projektowych. Spośród wielu obsługiwanych przez AutoCAD'a języków programowania (w odniesieniu do wersji 14: AutoLISP, VisualBasic, C) dla celów aplikacji wybrano AutoLISP [1,2,3,4]. Uzasadnione to jest względną prostotą i czytelnością języka, brakiem konieczności posiadania zewnętrznych kompilatorów i środowiska programistycznego, dobrą współpracą z językiem programowania okienek dialogowych DCL [1,2], wewnętrzną bazą rysunku oraz zgodnością kodu źródłowego na wszystkich dostępnych platformach sprzętowych (DOS, WINDOWS, UNIX, OS, MAC) w przypadku wersji AutoCAD'a od 12 wzwyż.

## 2. Projektowanie wału reduktora

Przedmiotem procesu projektowego jest dwupodporowy, pełny wał reduktora obrotów o modelu przedstawionym na rys. 1. Założono, że wał jest obciążony siłą skupioną  $F$  i przenosi jednocześnie moment gnący i skręcający. W modelu nie uwzględnia się istnienia obciążeń wzdłużnych oraz pomija się masy wału i zamocowanych na nim elementów. Naprężenia zastępcze wyznaczone są na podstawie hipotezy M.T. Hubera (o największej energii odkształcenia postaciowego). Średnica wału w przekroju najbardziej obciążonym zostaje obliczona na podstawie warunku wytrzymałościowego. W celu oszacowania rzeczywistego współczynnika bezpieczeństwa przeprowadzone zostają obliczenia zmęczeniowe z uwzględnieniem: kształtu przedmiotu, wpływu karbu (spowodowanego połączeniem wpustowym łączącym koło i wał), wielkości przedmiotu, rodzaju obróbki i stanu powierzchni. Ostatecznej weryfikacji konstrukcji dokonuje się na podstawie warunku sztywnościowego.



Rys. 1. Model wału  
Fig. 1. Model of shaft

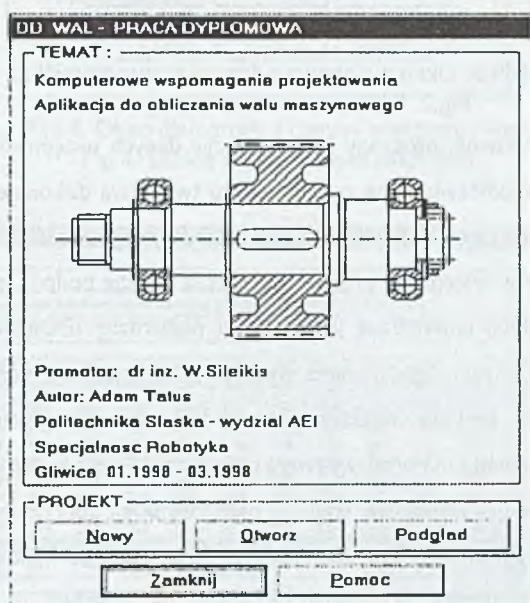
Wspomagany komputerem proces projektowania wału reduktora składa się z trzech etapów i polega na:

- zadaniu wartości parametrów opisujących model obliczeniowy wału, takich jak: wymiary, tworzywo, wielkość i charakter zmienności przenoszonego obciążenia (w celu rozpoczęcia obliczeń wytrzymałościowych i wyznaczenia teoretycznego kształtu wału), [5,6],
- przeprowadzeniu sprawdzających obliczeń zmęczeniowych i oszacowaniu rzeczywistego współczynnika bezpieczeństwa [7,8] oraz weryfikacji konstrukcji na podstawie warunku sztywnościowego (dopuszczalne kąty ugięcia i skręcenia wału oraz krytyczna prędkość obrotowa),

- ukształtowaniu wału, doborze osprzętu współpracującego (łożyska, nakrętki, podkładki łożyskowe, pierścienie osadcze, kliny wpustowe, połączenia wielowypustowe) zgodnie z wymaganiami Polskich Norm i sporządzeniu rysunku wykonawczego.

### 3. Opis aplikacji

Aby zapewnić funkcjonalność, aplikacja została podzielona na dwie części: część zawierającą bazę danych tworzyw – plik dd\_mat.lsp oraz część projektową – plik dd\_wal.lsp. Przed pierwszym uruchomieniem aplikacji należy poleceniem preferences w programie AutoCAD dodać do ścieżki dostępu katalog z aplikacją dd\_wal. W celu załadowania programu należy do linii poleceń wpisać: (load"dd\_wal") i nacisnąć Enter. Uruchomienie programu następuje po wpisaniu polecenia (wal) do linii komend AutoCAD'a. Na ekranie monitora pojawi się okno dialogowe zarządzania projektem (rys.2).



Rys.2. Okno dialogowe zarządzania projektem

Fig.2. Dialog box of project management

Udostępnia ono następujące możliwości: otwarcie nowego projektu klawiszem Nowy, edycję istniejącego projektu klawiszem Otwórz, podgląd plików wygenerowanych przez aplikację klawiszem Podgląd, (projekty \*.prj, raporty z obliczeń \*.rep, zestawienia materiałów \*.bom).

W dowolnym momencie pracy dostępna jest krótka pomoc wywoływana klawiszem



Pomoc. Po rozpoczęciu pracy nad nowym projektem na ekranie pojawi się okno dialogowe (rys.3.). Określa się w nim informacje o projekcie.

**DD WAL**

**NOWY PROJEKT**

Plik projektu : reduktor

Nazwa projektu : Reduktor zabawy

Autor : AT

Data : 31.03.1998

Wersja : 1

**OPIS PROJEKTU**

Opis #1 : Wał napadowy reduktora obrotów

Opis #2 : 1200 / 120

Opis #3 :

Opis #4 :

Opis #5 :

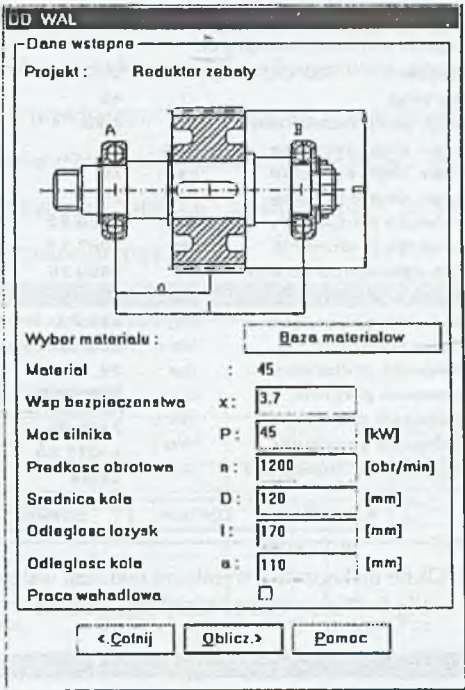
Opis #6 :

< Cofnij    Dalej >    Pomoc

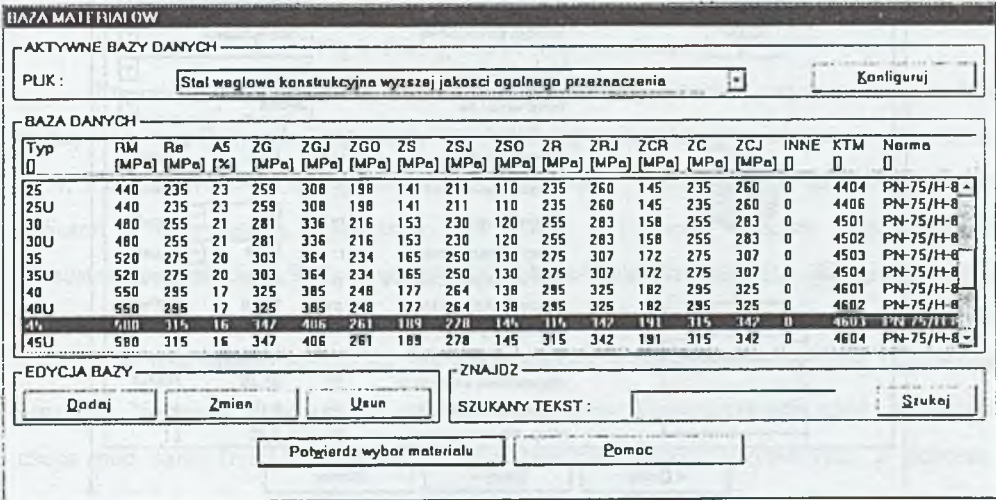
Rys.3. Okno dialogowe z danymi nowego projektu

Fig.3. Dialog box with new project data

Następnie użytkownik proszony jest o podanie danych wstępnych. Na ekranie pojawi się okno dialogowe przedstawione na rys.4. Wyboru tworzywa dokonuje się klawiszem Baza materiałów, korzystając z aplikacji (dd\_mat.lsp) zarządzającej bazą danych tworzyw (rys.5.). Po ustaleniu parametrów wstępnych program wyznacza reakcje podpór, momenty (zginający i skręcający) oraz średnicę teoretyczną w przekroju najbardziej obciążonym. Automatycznie proponowana jest minimalna dopuszczalna średnica wału zgodna z normą PN-78/M-02041 [9]. Możliwy jest wybór średnicy większej zgodnej z PN w celu uwzględnienia osłabienia wału związanego z mocowaniem koła oraz wpływem innych czynników konstrukcyjnych. Następnie obliczone jest połączenie wpustowe wału z osadzonym na nim kołem (rys.7). Program samoczynnie dobiera parametry wpustu pryzmatycznego zgodnie z normą PN-70/M-85005 [10] (tj. szerokość, wysokość) oraz wyznacza długość na podstawie określonych warunków pracy połączenia, tworzywa i liczby wpustów. Jednocześnie przeliczone zostają parametry wytrzymałościowe połączenia oraz wstępne współczynniki bezpieczeństwa.



Rys.4. Okno dialogowe z danymi wstępnymi wału  
Fig.4. Dialog box with input shaft data



Rys.5. Okno dialogowe bazy materiałów  
Fig.5. Dialog box of material database

**DD WAI**

Wyniki obliczeń wstępnych

Projekt: REDUKTOR ZEBATY

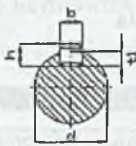

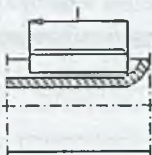
|                        |       |          |                    |
|------------------------|-------|----------|--------------------|
| Materiał               | :     | 45       |                    |
| Wsp. bezpieczeństwa    | x :   | 3.70     |                    |
| Napr. dopuszczalne     | kgo : | 71       | [MPa]              |
| Napr. dopuszczalne     | kaj : | 75       | [MPa]              |
| Napr. dopuszczalne     | kao : | 39       | [MPa]              |
| Reakcja podpory A      | Ra :  | 2106.62  | [N]                |
| Reakcja podpory B      | Rb :  | 3862.13  | [N]                |
| Sila działająca na wał | F :   | 5968.75  | [N]                |
| Moment skręcający      | Ms :  | 358.13   | [Nm]               |
| Moment zginający       | Mg :  | 231.73   | [Nm]               |
| Moment zastępczy       | Mz :  | 286.29   | [Nm]               |
| Srednica obliczona     | dw :  | 34.37    | [mm]               |
| Srednica przyjęta      | d :   | 42       | [mm]               |
| Wskaznik przekroju     | Wx :  | 7408.80  | [mm <sup>3</sup> ] |
| Wskaznik przekroju     | Wo :  | 14817.60 | [mm <sup>3</sup> ] |
| Naprezenia zastępcze   | Sz :  | 38.64    | [MPa]              |

<Cofnij    Dalej.>    Pomoc

Rys.6. Okno dialogowe z wynikami obliczeń wstępnych  
Fig.6. Dialog box of initial calculations

**DD WAI**

Połączenia wpustowe

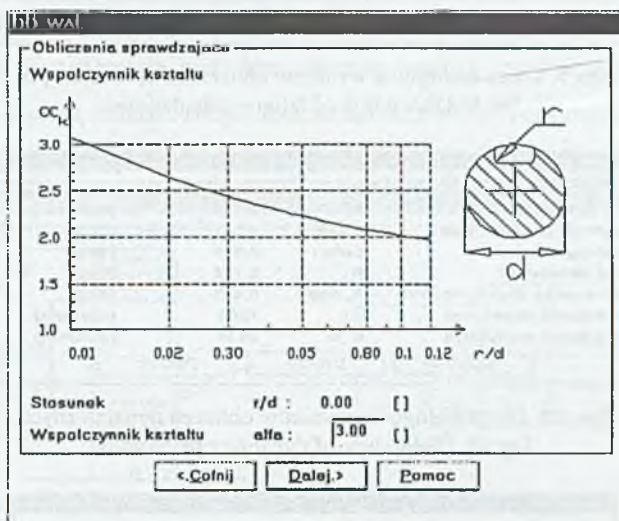
|                          |       |             |                    |
|--------------------------|-------|-------------|--------------------|
| Srednica walu            | dw :  | 42          | [mm]               |
| Sila działająca na wpust | F :   | 17054       | [N]                |
| Materiał wpustu          |       | ST7         |                    |
| Wpust [b x h]            |       | 4x4         |                    |
| Rodzaj połączenia        |       | Spoczynkowa |                    |
| Warunki pracy            |       | Zmienne     |                    |
| Ilość wpustów            |       | Jeden       |                    |
| Długość czynna           | la :  | 65.0        | [mm]               |
| Długość całkowita        | l :   | 69.0        | [mm]               |
| Długość wpustu           | lw :  | 70          | [mm]               |
| Promień zaokr. rowka     | r :   | 0.10        | [mm]               |
| Naciski powierzchniowe   | p :   | 97.45       | [MPa]              |
| Naciski dopuszczalne     | pd :  | 105.0       | [MPa]              |
| Wskaznik przekroju       | Wx' : | 7223.06     | [mm <sup>3</sup> ] |
| Wskaznik przekroju       | Wo' : | 14631.86    | [mm <sup>3</sup> ] |
| Naprezenia zastępcze     | Sz :  | 39.46       | [MPa]              |
| Wsp. bezp zginanie       | Xg :  | 8.14        | [ ]                |
| Wsp. bezp skrecanie      | Xs :  | 7.72        | [ ]                |

<Cofnij    Dalej.>    Pomoc

Rys.7. Okno dialogowe obliczeń połączenia wpustowego  
Fig.7. Dialog box of parallel key calculations



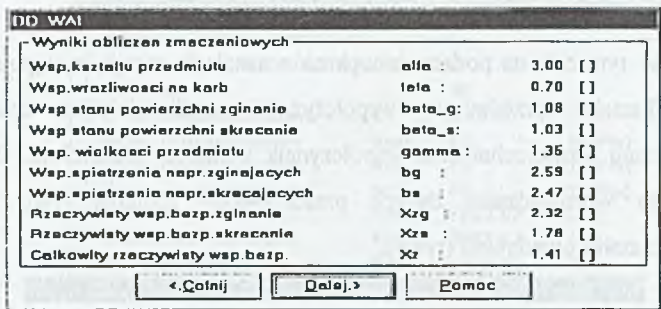
Po ustaleniu parametrów wpustu przechodzi się do sprawdzenia wytrzymałości zmęczeniowej. W tym celu na podstawie wykresów ustalone zostają następujące parametry: współczynnik kształtu przedmiotu, współczynnik wrażliwości na działanie karbu, współczynniki stanu powierzchni oraz współczynnik wielkości przedmiotu. Ze względu na podobny sposób wprowadzania danych przedstawiony zostanie tylko wygląd okna współczynnika kształtu przedmiotu (rys.8).



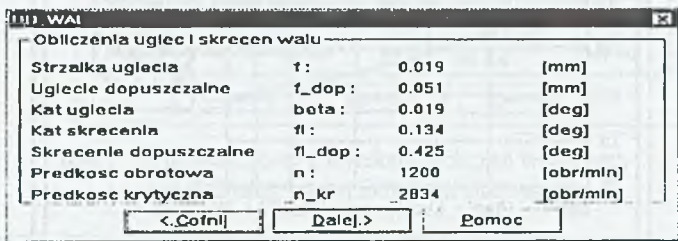
Rys.8. Okno dialogowe współczynnika kształtu

Fig. 8. Dialog box of shape coefficient

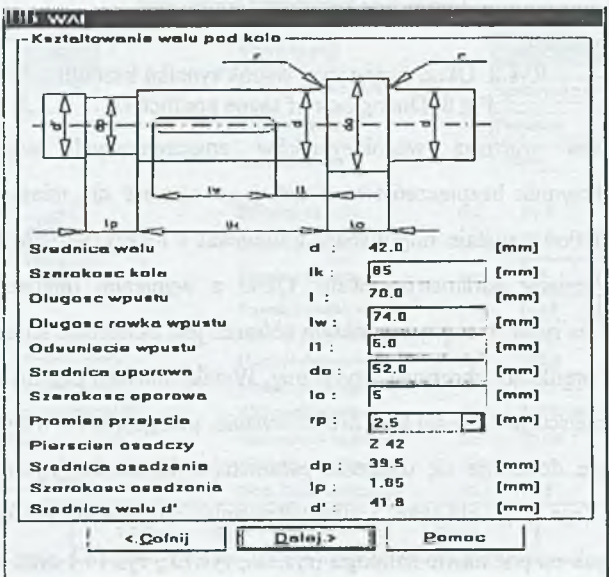
Po ustaleniu wartości współczynników zmęczeniowych wyznaczony zostaje rzeczywisty współczynnik bezpieczeństwa. Jeżeli jego wartość nie mieści się w przedziale  $\langle 1.4, 2.0 \rangle$ , wyświetlony zostaje odpowiedni komunikat i należy wrócić do wcześniejszych obliczeń w celu zmiany parametrów wału. Okno z wynikami obliczeń zmęczeniowych przedstawione jest na rys.9. Kolejnym punktem obliczeń jest określenie strzałki ugięcia, kątów skręceń wału oraz prędkości obrotowej krytycznej. Wyniki obliczeń przedstawione są w oknie z rys 10. W tym miejscu kończy się faza projektowania, polegająca na weryfikacji konstrukcji wstępnej. Następnie dokonuje się ustalenia parametrów konstrukcyjnych wału: wymiarów czopa pod koło (rys.11.), obliczeń i ukształtowania czopów łożyskowych z doбором odpowiednich łożysk na podstawie katalogu (rys.12., rys.13., rys.14.) oraz doboru połączenia wielowypustowego ze sprzęgłem (rys.15, rys.16).



Rys.9. Okno dialogowe wyników obliczeń zmęczeniowych  
Fig.9. Dialog box of fatigue calculations



Rys.10. Okno dialogowe wyników obliczeń dynamicznych  
Fig.10. Dialog box of dynamic calculations



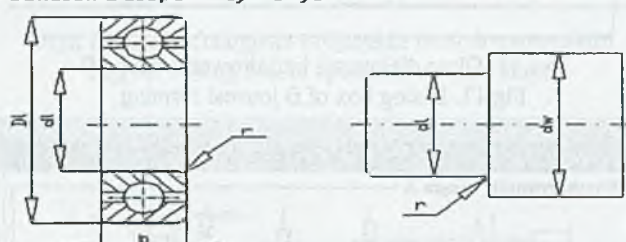
Rys.11. Okno dialogowe kształtowania walu  
Fig.11. Dialog box of shaft forming



W ostatniej fazie procesu projektowania wspomagane jest dobieranie osprzętu współpracującego z wałem. W zależności od średnicy wału przyjęte zostają typy pierścieni osadczych sprężynujących, ustalających koło i łożysko czopa A wzdłużnie (dobór wg PN-81/M-85111 [11]). W przypadku czopa B dobrana zostaje podkładka łożyskowa wraz z nakrętką (zgodnie z PN-82/M-86482 [12], PN-82/M-86478 [13]). Na podstawie wyboru rodzaju wielowypustu (wg PN-63/M-85016 [14] lub PN-63/M-85015 [15]), łączącego wał ze sprężem (rys.15.), wyznaczone zostają parametry geometryczne wielowypustu (rys.16.). Ostatnim etapem kształtowania wału jest ustalenie warstwy, na której będzie wykonany rysunek wału za pomocą standardowego okna zarządzania warstwami programu AutoCAD.

**DD WAL**

**Obliczenia czopów łożyskowych**



|                      |      |                                 |       |
|----------------------|------|---------------------------------|-------|
| Moment zastępczy     | Mz': | 168.1                           | [Nm]  |
| Średnica czopa wału  | dlo: | 28.8                            | [mm]  |
| Średnica przyjęta    | dl:  | <input type="text" value="35"/> | [mm]  |
| Wytr. na skracanie   | ts:  | 19.6                            | [MPa] |
| Dop. napr skracające | ksj: | 75                              | [MPa] |

**Dobór łożysk**

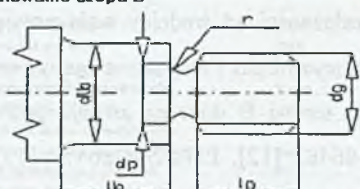
|                 |     |                                    |     |
|-----------------|-----|------------------------------------|-----|
| Trwałość łożysk | Lh: | <input type="text" value="20000"/> | [h] |
|-----------------|-----|------------------------------------|-----|

| Parametry łożysk |     | Czop A                            | Czop B                            |       |
|------------------|-----|-----------------------------------|-----------------------------------|-------|
| Nosność ruchowa  | Ca: | 2379                              | 4362                              | [daN] |
| Średnica czopa   | d:  | 35                                | 35                                | [mm]  |
| Typ łożyska      | :   | <input type="text" value="6307"/> | <input type="text" value="6407"/> | [ ]   |
| Szerokość        | B:  | <input type="text" value="21"/>   | <input type="text" value="25"/>   | [mm]  |
| Promień zaokr.   | r:  | <input type="text" value="2.5"/>  | <input type="text" value="2.5"/>  | [mm]  |

Rys.12. Okno dialogowe obliczenia czopów łożyskowych  
Fig.12. Dialog box of bearing journal calculation

**DD\_WAL**

**Kształtowanie czopa B**



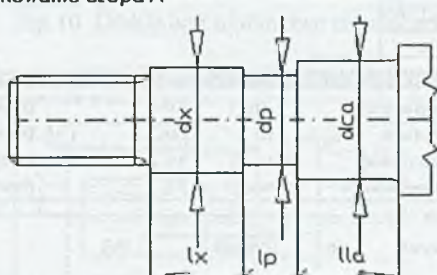
|                     |       |         |      |
|---------------------|-------|---------|------|
| Srednica czopa      | db :  | 35.0    | [mm] |
| Szerokosc lozyska   | b :   | 25.0    | [mm] |
| Szerokosc czopa     | lb :  | 25.0    | [mm] |
| Srednica podcięcia  | dp :  | 25      | [mm] |
| Promień podcięcia   | rp :  | 3.0     | [mm] |
| Nakrętka łożyskowa  | Typ : | KM6     |      |
| Podkładka łożyskowa | Typ : | MB6     |      |
| Gwint M(dg) x Ph    | Typ : | M30x1.5 | [mm] |
| Długość gwintu      | lg :  | 10.0    | [mm] |

Rys.13. Okno dialogowe kształtowania czopa B

Fig.13. Dialog box of B journal forming

**DD\_WAL**

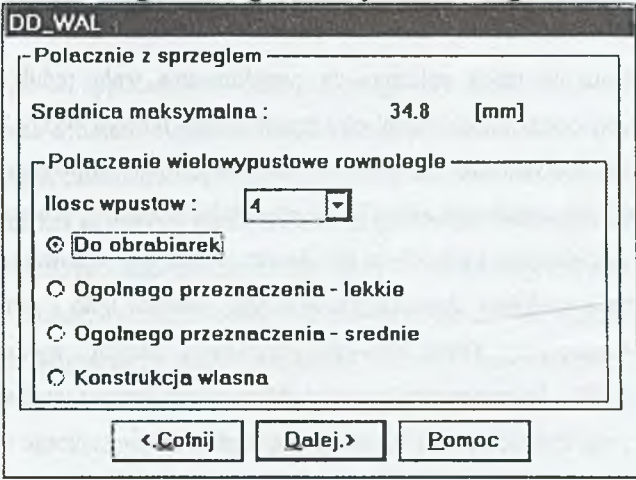
**Kształtowanie czopa A**



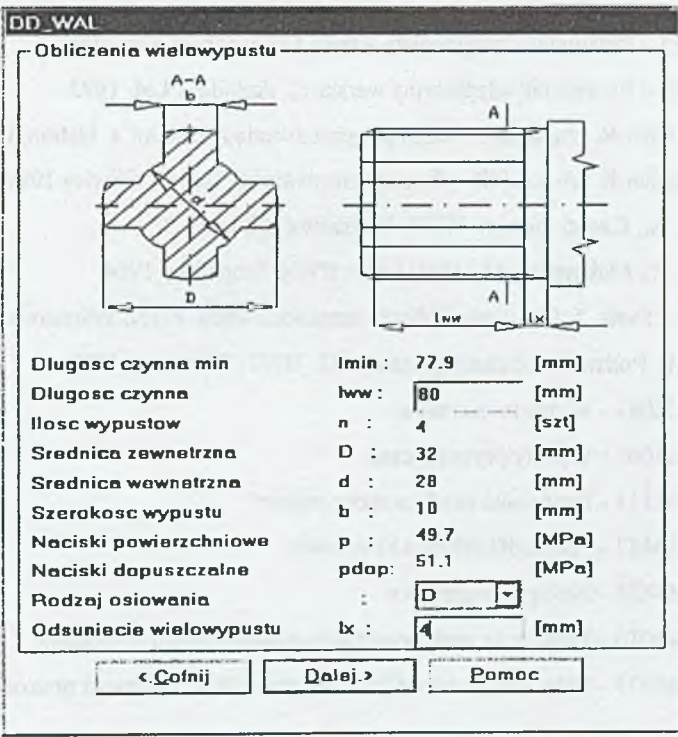
|                     |       |      |      |
|---------------------|-------|------|------|
| Srednica czopa      | dca : | 35.0 | [mm] |
| Szerokosc lozyska   | la :  | 21.0 | [mm] |
| Szerokosc czopa     | lla : | 22.0 | [mm] |
| Pierścien osadczy   | Typ : | 235  |      |
| Srednica osadzenia  | dp :  | 33.0 | [mm] |
| Szerokosc osadzenia | lp :  | 1.60 | [mm] |
| Srednica przejścia  | dx :  | 34.8 | [mm] |
| Długość przejścia   | lx :  | 5.0  | [mm] |

Rys.14. Okno dialogowe kształtowania czopa A

Fig.14. Dialog box of A journal forming



Rys.15. Okno dialogowe połączenia wielowypustowego  
Fig.15. Dialog box of splined conection choice



Rys.16. Okno dialogowe obliczeń wielowypustu  
Fig.16. Dialog box of straight-sided splines calculation



#### 4. Podsumowanie

Przedstawiona w pracy aplikacja do projektowania wału reduktora nie stanowi kompendium wiedzy o wszystkich rodzajach i typach wałów maszynowych. Zajmuje się tylko jednym z częściej spotykanych przypadków konstrukcyjnych. Głównym celem podczas tworzenia aplikacji była możliwość zapewnienia otwartości programu, polegającej na łatwości modyfikacji kodu źródłowego i zawartości baz danych w celu przystosowania do konkretnych potrzeb, np. dodanie modułów obliczających inne typy połączeń koło - wał. Wybór metody obliczeniowej podyktowany został niewielką szybkością działań, wykonywanych przez interpreter AutoLISP'u. Rekompensatą prostoty obliczeniowej jest zgromadzenie w programie procedur doboru, wg. Polskich Norm, typowego osprzętu współpracującego z wałem.

#### LITERATURA

1. AUTOCAD – Przewodnik programisty wersja 12; Autodesk Ltd. 1993.
2. AUTOCAD – Podręcznik adaptacyjny wersja 12. Autodesk Ltd. 1993.
3. Smith J. Gesner R.: AutoLISP – czyli programowanie AutoCAD'a. Helion, Gliwice 1995.
4. Smith J. Gesner R.: AutoLISP – dla zaawansowanych. Helion, Gliwice 1997.
5. Rutkowski A.: Części maszyn. WSiP, Warszawa 1986.
6. Dąbrowski Z., Maksymiuk M.: Wały i osie. PWN, Warszawa 1984.
7. Kocańda S., Szala. J.: Podstawy Obliczeń zmęzeniowych. PWN, Warszawa 1991.
8. Dietrich. M.: Podstawy konstrukcji maszyn t1. WNT, Warszawa 1995.
9. PN-78/M-02041 - Wymiary normalne.
10. PN-70/M-85005 - Wpusty pryzmatyczne.
11. PN-81/M-85111 - Pierścienie osadcze sprężynujące.
12. PN-82/M-86482 - Podkładki zębate i kształtowe.
13. PN-82/M-86478 - Nakrętki łożyskowe.
14. PN-63/M-85016 - Połączenia wielowypustowe równoległe do obrabiarek.
15. PN-63/M-85015 - Połączenia wielowypustowe równoległe ogólnego przeznaczenia.

Recenzent: Dr hab.inż. Jerzy Świder, prof.Pol.Śl.

## Abstract

In the paper an application for aiding of design of a speed reducer shaft is presented. The application was written in AutoLISP language and it works in AutoCAD environment. An algorithm of strength calculations bases on M.T. Huber theory about the most strain energy of distortion. Verification of constructions bases on fatigue calculations in relation to influence of notch, condition of surface and the size of the object. Final forming and choice of accessories are carried out in accordance with Polish Standard (PN). As a result of the program working drawing, report of fatigue and strength calculations and bill of materials, are being obtained.