

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

OPROGRAMOWANIE WSPOMAGAJĄCE PROJEKTOWANIE WAŁÓW I OSI

Streszczenie

Praca dotyczy aplikacji wspomagającej pracę inżyniera w zakresie konstruowania wałów i osi. Algorytm analityczno-wykreślnej metody wyznaczania zarysu wałów i osi oprogramowano w środowisku *C++ Builder 6.0* ilustrując każdy etap stosownymi szkicami i wykresami. Założony cel edukacyjny uzyskano wzbogacając budowany system o panele m.in. uczące poprawnego formułowania równań statyki dla rozpatrywanego wału/osi.

Słowa kluczowe: wały i osie, teoretyczny i funkcjonalny zarys wału

Wprowadzenie

Rozwój technik komputerowych oraz ich wykorzystanie w firmach projektowych i produkcyjnych powoduje wzrost zapotrzebowania na specjalistyczne oprogramowanie dla każdego etapu produkcji. Ponieważ wały i osie, będące podstawowymi częściami maszyn i urządzeń w prawie każdej konstrukcji, podlegają zalgorytmizowanej procedurze obliczeniowej, można efektywnie wspomóc pracę inżyniera w tym zakresie wykorzystując stosowne oprogramowanie.

Kształcenie przyszłych inżynierów musi uwzględniać posługiwanie się narzędziami informatycznymi. Jednak poprawne rozwiązania konstrukcyjne części i zespołów mogą być tylko wynikiem racjonalnych działań w oparciu o aktualny stan wiedzy i wynikające stąd relacje przyczynowo-skutkowe. Bez tych informacji uzyskiwane rozwiązania nie będą optymalne. Użytkownik oprogramowania musi więc znać podstawy merytoryczne działania danego programu.

Dostępne na rynku komercyjne programy użyteczne dla konstruktorów, np. *ANSYS Mechanical*TM [<http://www.ansys.com/products/mechanical.asp#>], *Motion Inventor* [<http://www.solid-dynamics.com>], *Femap* [<http://www.femap.co.uk>], są ukierun-

kowane na profesjonalistów. Uniwersalność ich zastosowań z reguły okupiona jest skomplikowaną obsługą, wymagającą specjalistycznej wiedzy, długim okresem wdrażania i znacznymi kosztami inwestycyjnymi oraz serwisowymi. Przydatność takiego oprogramowania dla celów edukacyjnych w zakresie nauki podstaw konstruowania jest niewielka.

Dlatego też w Instytucie Inżynierii Rolniczej Akademii Rolniczej w Poznaniu buduje się programy wspomagające pracę inżyniera konstruktora w typowych jego zadaniach, jednak z wyraźnym nastawieniem edukacyjnym. Jak wspomniano obliczanie wałów i osi jest jednym z takich zadań o jednoznacznie sprecyzowanym algorytmie, dla którego celowym było stworzenie systemu obliczeniowo-kształcącego. Może on być z powodzeniem stosowany w nauczaniu *Części maszyn* na kierunku studiów *Technika Rolnicza i Leśna*.

Oprogramowanie algorytmu metody analityczno-wykresłej wyznaczania zarysu wału/osi

Wyznaczenie zarysu teoretycznego wału/osi (a następnie „obudowanie” go zarysem funkcjonalnym) polega na obliczeniu (w oparciu o naprężenia zredukowane) w każdym jego przekroju średnicy, która zapewni prawidłowe funkcjonowanie tego elementu.

Procedura obliczeń [Osiński 2002] wymaga określenia wszystkich sił obciążających wał. W budowanym systemie przyjęto możliwość współpracy wału z kołami zębatymi (o uzębieniu prostym i skośnym) oraz kołami pasowymi (z pasem płaskim i klinowym). W oparciu o wprowadzone parametry wału, wartość momentu obrotowego oraz parametry kół program wylicza składowe siły dla poszczególnych osi układu współrzędnych odpowiednio dla każdego z kół. Następnie w oparciu o równania statyki wyznaczone są wartości reakcji łożysk. Każda wykonywana operacja ilustrowana jest na bieżąco na przejrzystym szkicu poglądowym wału. Na tym etapie można skorzystać z paneli edukacyjnych wspomagających naukę m.in. poprawnego formułowania statycznych równań równowagi (dla każdego składnika równania należy wybrać właściwy znak, wartość siły i ewentualnie – dla momentów – jej ramię działania).

Całkowity układ sił stanowi podstawę do wyznaczenia funkcji momentów gnących w dwóch prostopadłych do siebie płaszczyznach. Dla obciążeń skupionych wykres momentów gnących jest linią łamaną o wartościach zerowych w miejscach łożyskowania wału. Wystarczy więc wyznaczyć rzędne wykresów w miejscach osadzenia kół. Wypadkowy moment gnący w dowolnym przekroju poprzecznym wału otrzymuje się przez geometryczne sumowanie momentów obu prostopadłych

płaszczyzn. W przedziałach pomiędzy miejscami osadzenia łożysk a kołami sumy te są również funkcjami liniowymi, natomiast pomiędzy kołami – z uwagi na nieliniowy charakter przebiegu – konieczne było zastosowanie procedury iteracyjnej.

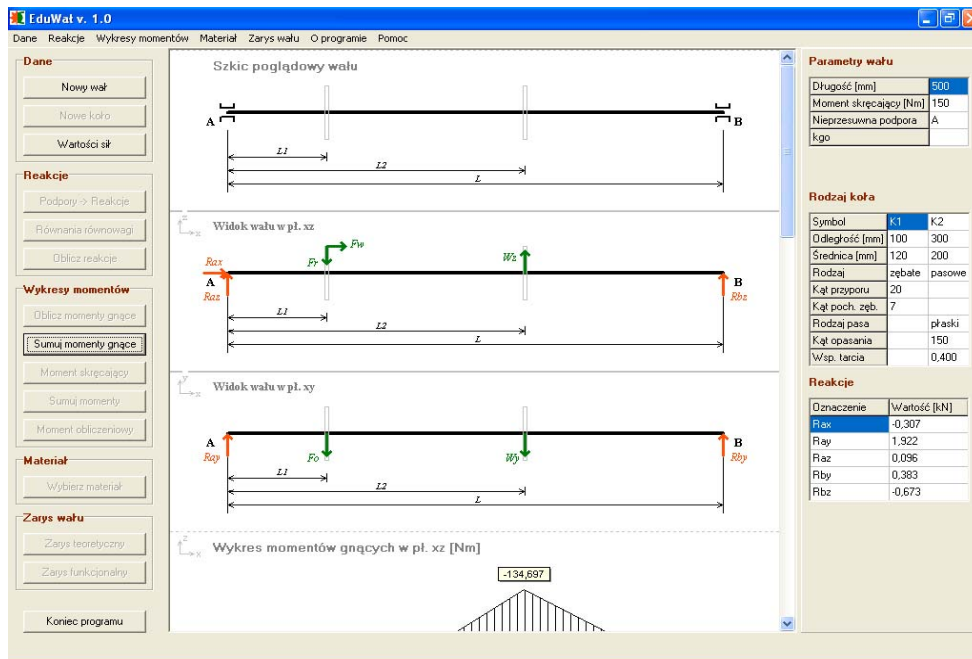
Uwzględnienie równoczesnego oddziaływania momentu gnącego i skręcającego realizowane jest w oparciu o hipotezę wytrzymałościową Hubera [Nieżgodziński M.E., Niezgodziński T. 2002] poprzez wyznaczenie momentu zastępczego. Moment ten w przedziale pomiędzy kołami również wyliczany jest iteracyjnie. Moment obliczeniowy, będący bazą dla obliczeń wytrzymałościowych średnic wału, powstaje poprzez „wyrównanie” momentu zastępczego linią łamaną. Każdy krok wyznaczania momentów jest ilustrowany odpowiednim wykresem, zgodnym z kanonami przyjętymi w nauce wytrzymałości materiałów.

Ostatnim etapem jest określenie (dla wybranego rodzaju materiału i współczynnika bezpieczeństwa) zarysu teoretycznego wału, czyli wartości minimalnych średnic w każdym przekroju, spełniających warunek wytrzymałościowy. Liczba punktów, w których dokonuje się tych obliczeń wpływa oczywiście na dokładność wyniku. Zarys teoretyczny stanowi podstawę dla kształtowania rzeczywistej konstrukcji wału, tzn. postaci spełniającej założone dla wału funkcje. W tzw. zarysie funkcjonalnym należy przewidzieć czopy pod łożyska i ewentualnie pod planowane koła oraz sposób ich osadzenia na wale. W żadnym przekroju zarys funkcjonalny nie może przeciąć zarysu teoretycznego określającego „minimum wytrzymałościowe”.

Budowa systemu i opis działania programu

Po sformułowaniu wymagań funkcjonalnych projektowanego systemu informacyjnego przeprowadzono modelowanie obiektowe w notacji UML (za pomocą narzędzia *Magic Draw UML* firmy *No Magic*), w wyniku którego uzyskano diagramy przypadków użycia, diagramy klas i stanów. Fazę implementacji zrealizowano w środowisku *C++ Builder 6.0* firmy *Borland* [Hollingworth i in. 2001; Reisdorph, Henderson 1998].

Główny obszar roboczy aplikacji podzielony jest na trzy części (rys. 1), z których lewy panel zawiera przyciski uruchamiające poszczególne moduły programu, odpowiadające kolejnym etapom procedury konstruowania wałów metodą analityczno-wykreślną. Rozpoczynając pracę z programem użytkownik ma możliwość użycia tylko przycisku *Nowy wał*. Pozostałe klawisze stają się dostępne dopiero po zakończeniu wcześniejszych, niezbędnych operacji. Np. klawisz *Zarys teoretyczny* jest aktywny dopiero po zakończeniu wyznaczania momentu obliczeniowego na wale.



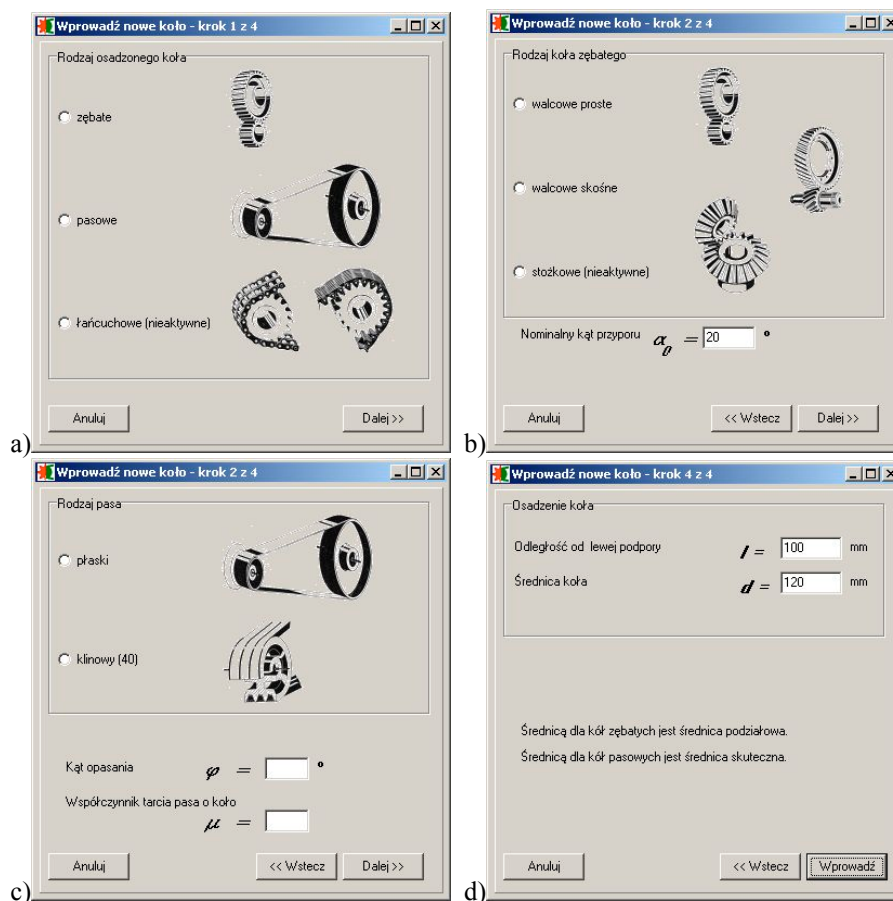
Rys. 1. Okno główne aplikacji

Fig. 1. View of the main sheet

Na panelu z prawej strony pojawiają się ważniejsze informacje i wyniki obliczeń dokonywanych w trakcie działania programu, czyli parametry projektowanego wału, charakterystyka osadzonych kół oraz wyliczone reakcje w podporach.

Część środkowa przeznaczona jest na rysunki i wykresy, które niezbędne są do zobrazowania kolejnych etapów analityczno-wykreślnej metody konstruowania wałów. Z powodu dużej liczby wykresów widoczna jest jedynie ich część. Aby obejrzeć pozostałe należy „przewinąć” okno posługując się paskiem znajdującym się po prawej stronie, tuż przy rysunkach.

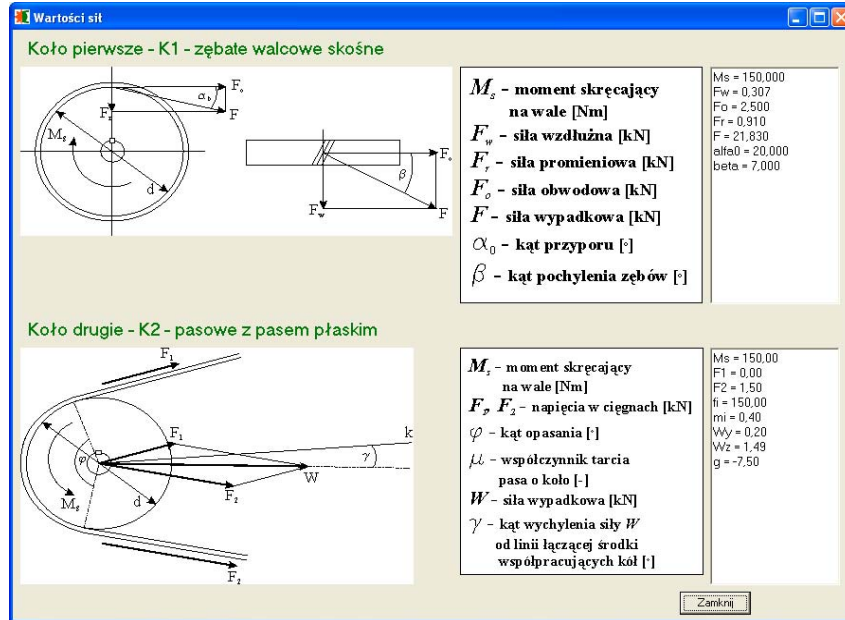
Rozpoczęcie pracy programu (naciśnięcie klawisza *Nowy wał*) powoduje możliwość wprowadzenia wartości podstawowych parametrów wału (długość i moment obrotowy). Następnie (klawisz *Nowe koło*) uaktywniają się kolejne okna dialogowe (rys. 2) definiujące osadzane na wale koła.



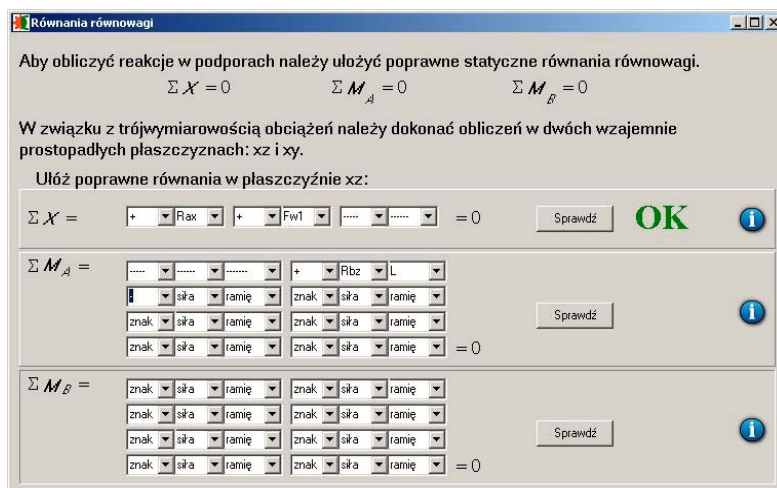
Rys. 2. Formularze dodawania koła: a) wybór rodzaju koła, b) wybór rodzaju uzębienia, c) wybór rodzaju i parametrów pasa, d) wybór miejsca osadzenia koła i jego średnicy

Fig. 2. Sheets of addition of wheel: a) choice of kind of wheel, b) choice of kind of teeth, c) choice of kind and parameters of belt, d) choice of place of wheel fasten and its diameter

System wymaga osadzenia dwóch kół na projektowany wał. Wówczas aplikacja aktywuje panel *Wartości sił* (rys. 3) z informacjami o składowych obciążeniach wraz z odpowiednimi ilustracjami. Uwalnianie z więzów uzupełnione zostało dwiema funkcjami edukacyjnymi. W pierwszej należy w obu końcach wału poprawnie wybrać rodzaje sił reakcji właściwe dla rozpatrywanego przypadku, natomiast druga funkcja (rys. 4) służy nauczaniu prawidłowego formułowania statycznych równań równowagi dla wału.



Rys. 3. Formularz Wartości sił
Fig. 3. Forces value sheet

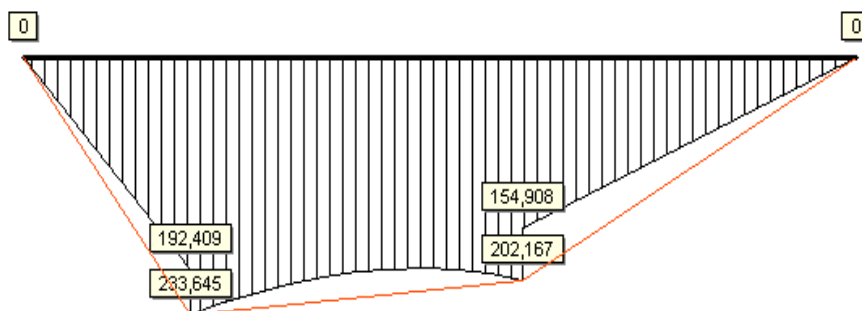


Rys. 4. Fragment panelu edukacyjnego formułowania statycznych równań równowagi
Fig. 4. Part of educational panel for formulating the static equations of equilibrium

Ułożenie równania polega na wybraniu z rozwijanych list w odpowiednich polach prawidłowych komponentów. Niewystępowanie danego składnika równania realizuje się poprzez wybór wszystkich jego „zerowych” komponentów. W układaniu równań równowagi pomocne są rysunki *Widok wału w pł. xz* i *Widok wału w pł. xy* w oknie głównym systemu.

W kolejnym kroku program umożliwia wyznaczenie wykresów momentów w obu płaszczyznach, ich sumy geometrycznej, momentu zastępczego i momentu obliczeniowego (rys. 5).

Wykres momentu zastępczego [Nm]



Rys. 5. Przykładowy wykres momentu zastępczego „obwiedziony” momentem obliczeniowym

Fig. 5. Example of substitutional moment graph with envelope curve of computational moment

Wartości momentu obliczeniowego w poszczególnych przekrojach stanowią podstawę dla wytrzymałościowych obliczeń średnic wału. Ich wynik zależy od własności wytrzymałościowych wybranego gatunku stali (z rozwijanej listy najczęściej stosowanych na wały) oraz przyjętego współczynnika bezpieczeństwa (rys. 6).

Wybierz materiał, z którego ma być wykonany projektowany przez ciebie wał.

Z_{go} - granica wytrzymałości zmęczeniowej dla cyklu obustronnie zmiennego

X_z - współczynnik bezpieczeństwa

Gatunek	Oznaczenie	Z _{go} [MPa]	Zastosowanie
Stal węglowa zwykłej jakości w stanie surowym	S12	140	wał słabo obciążony o dużej sztywności
	S13	160	
	S14	180	
	S15	210	
	S16	250	
	S17	290	
	Stal węglowa wyższej jakości w stanie znormalizowanym	10	
15		160	
20		170	
25		180	
35		220	
45		250	
45		250	
Stal stopowa do nawęglania w stanie nawęglonym i ulepszonym	15H	290	wał o dużej twardości i odporności na ścieranie
	15HGM	380	
	12HN3	400	
	18H2N2	500	
	30G2	310	
Stal stopowa do ulepszenia w stanie ulepszonym	30H	380	wał o szczególnym zastosowaniu
	30HGS	460	
	25HMA	290	

Podaj współczynnik bezpieczeństwa $X_z =$

(przeciętne wartości dla stali poddanych obciążeniom zmęczeniowym zawierają się w przedziale od 3,5 do 4)

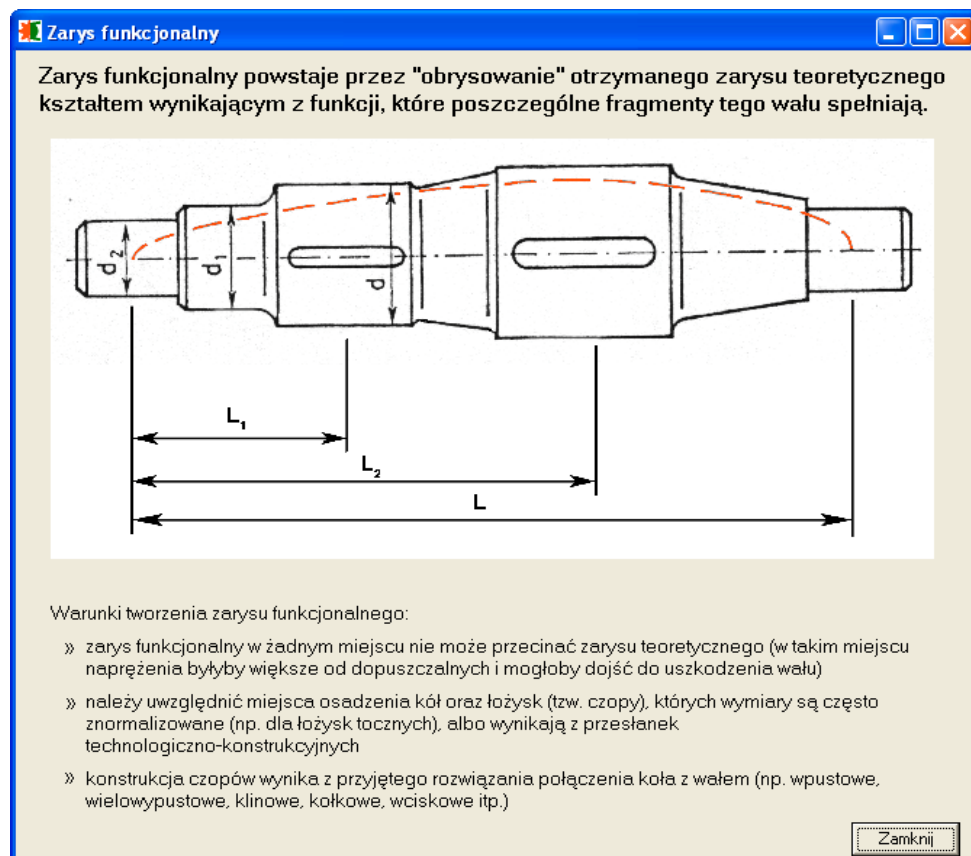
$$k_{go} = \frac{160}{3,5} = 45,71 \text{ MPa}$$

Rys. 6. Formularz doboru materiału na wał i współczynnika bezpieczeństwa

Fig. 6. Sheet of selection for shaft material and safety factor value

W efekcie uzyskuje się teoretyczny zarys wału, który stanowi podstawę dla finalnej konstrukcji (rys. 7).

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. ujemna długość lub brak wyboru) wyświetlaniem stosownego komunikatu.



Rys. 7. Okno edukacyjne kształtowania konstrukcji wału

Fig. 7. Educational window for shaft construction shaping

Podsumowanie

1. Zbudowany system jest programem edukacyjno-obliczeniowym i może służyć z powodzeniem jako pomoc dydaktyczna dla studentów, np. w ramach przedmiotu *Części maszyn* dla kierunku studiów *Technika Rolnicza i Leśna*.
2. Oprogramowanie procedury obliczania funkcjonalnego zarysu wału ukierunkowane na dydaktykę okazało się zadaniem wymagającym poszerzonej analizy możliwych zachowań przyszłego użytkownika nie posiadającego dużej wiedzy w zakresie merytorycznym oraz wprawy w obsłudze danego programu.
3. Opracowana struktura systemu pozwala administratorowi na stosunkowo łatwe jego rozbudowanie o dodatkowe funkcje.

Bibliografia

Hollingworth J., Butterfield D., Swart B., Allosop J. 2001. C++ Builder, Helion, Gliwice.

Niezdziński M. E., Niezdziński T. 2002. Wytrzymałość materiałów, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.

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

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

SOFTWARE AIDING THE DESIGN OF SHAFTS AND AXIS

Summary

The work concerns of software application for support engineer's work in range of shaft and axis construction. The algorithm of analytic-graphical method of drafting the shafts and axis outline was created in environment *C++ Builder 6.0* with illustrating every stage appropriate drafts and graphs. Established educational aim was got by making additions in the built system among other things about panels teaching on expressing the right static equations for analyzable shaft/axis.

Key words: shaft and axis, theoretical and functional shaft outline