

Włodzimierz ADAMSKI
WSK-PZL-MIELEC

ELEKTRONICZNA POSTAĆ DOKUMENTACJI KONSTRUKCYJNEJ I TECHNOLOGICZNEJ

Streszczenie: Projektowanie powierzchni numerycznych jest bardzo pracochłonne i wymaga dużego doświadczenia. Czas opracowania powierzchni można skrócić wprowadzając odpowiednie metody (FOCUS) modelowania powierzchni. Przedstawiono tutaj najbardziej znane w świecie i najczęściej stosowane systemy projektowania i wytwarzania wspomaganego komputerem CAD/CAM. Opisano system stosowany w WSK PZL Mielec. Podano różne przykłady użycia systemu CAD/CAM.

ELECTRONIC FORM OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL DOCUMENTATION

Summary: Surface definition is today a very time-consuming process which it would be very profitable to automate as much as possible. However, it is also a task which is very complex and can only be done by specialists. All our tests also indicate that the time taken for the definition of high-quality surfaces can be drastically reduced with FOCUS optimization method. Some examples are given in using CAD/CAM systems in polish aviation industry

ЭЛЕКТРОННАЯ ФОРМА КОНСТРУКТОРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Резюме: Проектирование численных поверхностей является весьма трудоемким и требующим большого опыта процессом. Время разработки поверхности можно сократить путем введения соответственных методов (FOKUS) моделирования поверхности. Представлены наиболее известные и применяемые в мире системы проектирования и генерации, поддерживаемые компьютером CAD/CAM. Описана система применяемая на ВСК ПЗЛ МИЕЛЕЦ. Показаны разные примеры использования системы CAD/CAM.

W systemie projektowania wspomaganego komputerem ważne jest jednoznaczne określenie zapisu konstrukcji. Dotyczy to opisu struktury zewnętrznej, tj. geometrii zewnętrznej samolotu, kształtu nadwozia samochodu czy kształtu statku morskiego. Zagadnienie to rozwiązuje *system definiowania powierzchni o podwójnej krzywiznie DAMS*. System numerycznego modelowania zewnętrznych kształtów samolotu DAMS (Design All Manufacturing Surfaces) jest kompatybilny co do danych wejściowych i wyjściowych z

systemami NMG czy ANVIL stosowanymi w brytyjskim i szwedzkim przemyśle lotniczym (British Aerospace, SAAB-SCANIA).

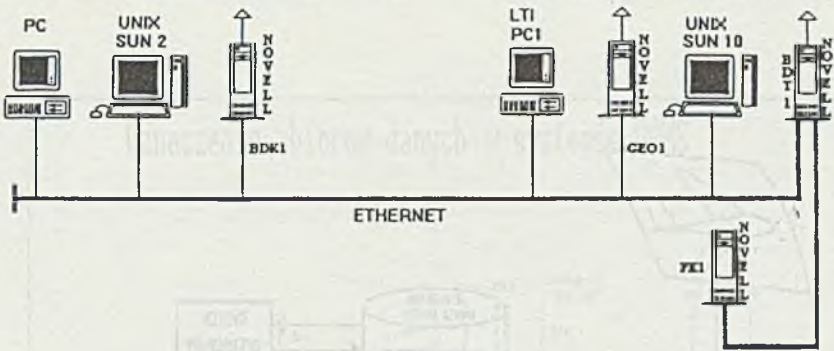
Na rys. 1 przedstawiono najczęściej używane systemy CAD/CAM w przemyśle lotniczym i samochodowym. Jak widać, niekwestionowanym liderem na świecie jest system CATIA autorstwa lotniczej firmy francuskiej DASSAULT sprzedawany przez znaną powszechnie firmę IBM.

Przemysł lotniczy bardziej niż inne gałęzie przemysłu rozwinął szeroką kooperację między poszczególnymi zakładami. Różnorodność powstałych systemów CAD/CAM narzuciła od razu problem ich integracji i wymiany danych między tymi systemami. Eksploatowane obecnie w przemyśle europejskim systemy, związane z numerycznym opisem kształtu, takie jak: *MBB-Cadcam, *Aerospatiale-Computervision, STREAM 100, *Aeritalia-Computervision, *Dassault-Catia, *British Aerospace-NMG, ANVIL 4000, *Saab-Scania - NMG, Catia, *PZL Mielec - NMG, DAMS, CADD5, NASTRAN umożliwiają zwiększenie wydajności konstruktora, uzyskanie polepszenia konstrukcji przez zbadanie alternatywnych rozwiązań, skrócenie czasu opracowań oraz opracowanie programów obróbczych na obrabiarkach sterowanych numerycznie. Stosowany w WSK PZL Mielec system DAMS składa się z czterech głównych modułów i dwóch preprocesorów służących do przygotowania danych wejściowych. System jest systemem otwartym, tzn. można go uzupełniać o swoje własne specjalistyczne moduły. System działa niezależnie na mikrokomputerze kompatybilnym IBM PC/AT z kartą Hercules, EGA, VGA lub w wersji sieciowej (NOVELL), gdzie jest założona centralna baza danych geometrycznych na "file serwerze". Ze względu na optymalne wykorzystanie pamięci operacyjnej komputera, system ten posiada budowę modułową (rys.2.). Geometrie zespołów wyrobu opisują powierzchnie z nazwami z rozszerzeniem .srf, które są tworzone przez moduł DAMS0. Dokładny opis wszystkich typów zbiorów przedstawiono na rys.3. System ten umożliwia także obliczenie drogi narzędzia (frezu kulistego lub tarczowego) obrabiarki sterowanej numerycznie. System DAMS składa się z następujących modułów :

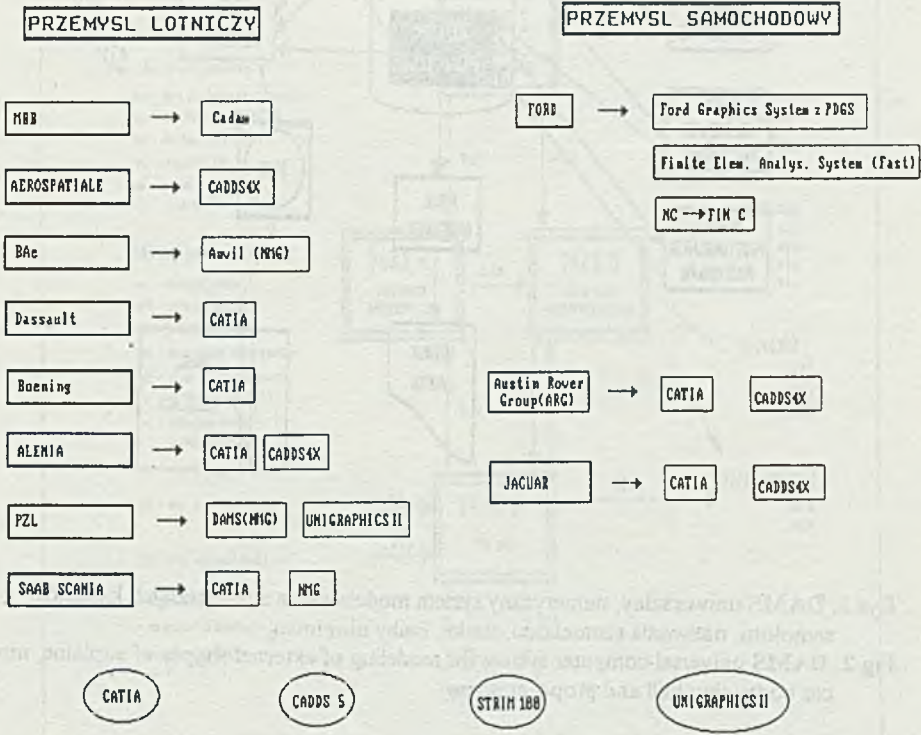
- **DAMS0: moduł definiowania powierzchni.** W module tym konstruktor projektuje i tworzy numeryczny kształt powierzchni. Moduł posiada dodatkowe funkcje, jak:
 - transformacja powierzchni z jednego układu w drugi,
 - łączenie kilku powierzchni w jedną,
 - zmiana założonej gęstości siatki,
 - wydzielanie określonego fragmentu powierzchni.

Powierzchnia jest określonym zbiorem dyskowym identyfikowanym przez nazwę danego zbioru dyskowego.

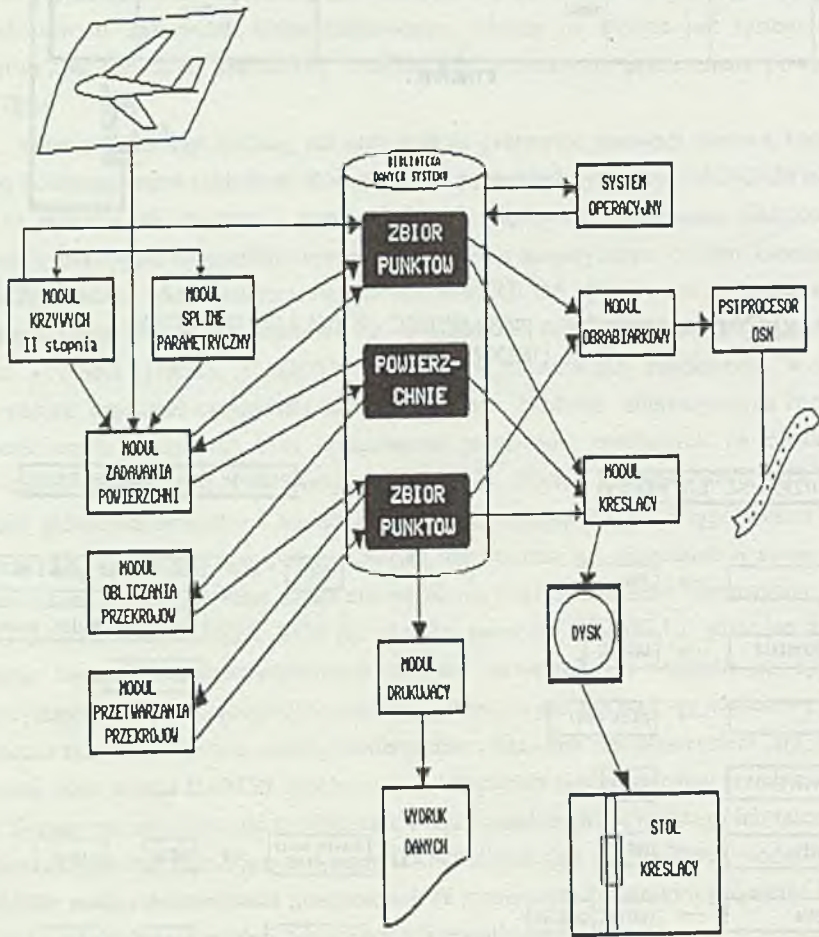
- **DAMS1: moduł definiowania i obróbki krzywych.** Moduł ten służy do definiowania krzywych gładkich zadawanych za pomocą współrzędnych. Są dwa rodzaje krzywych typu "spline". Moduł ten przygotowuje dane dla modułu DAMS0.



SIEĆ KOMPUTEROWA PZL MIELEC - ZAKŁAD LOTNICZY
UNIX NOVELL



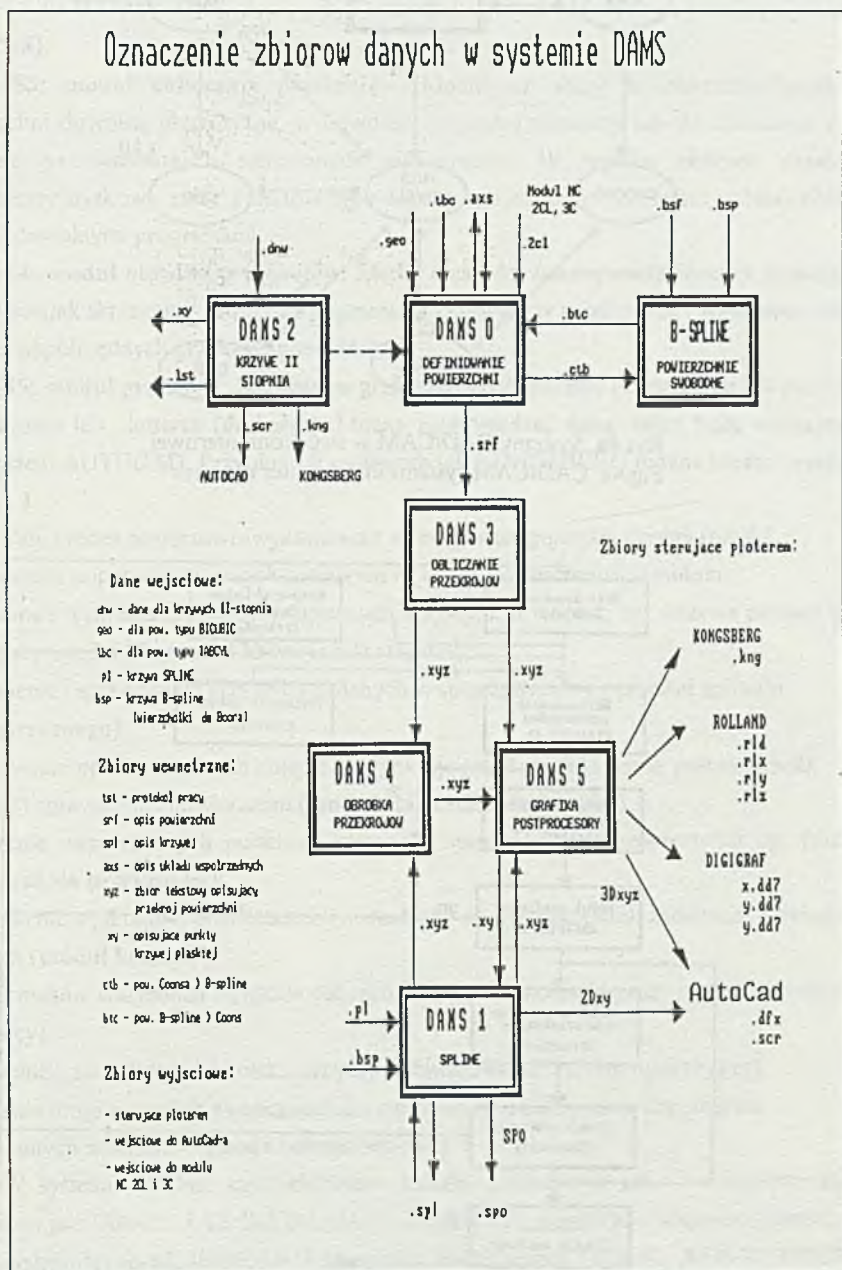
Rys. 1. Najczęściej stosowane systemy CAD/CAM
Fig. 1. Most often applied CAD/CAM systems



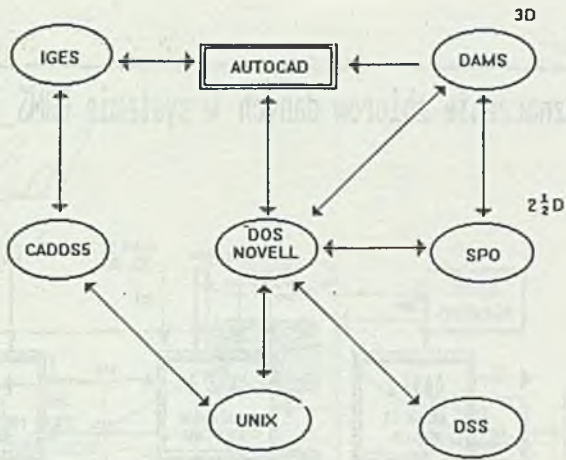
Rys.2. DAMS uniwersalny, numeryczny system modelowania zewnętrznych kształtów samolotu, nadwozia samochodu, statku, śruby okrętowej

Fig.2. DAMS universal computer system for modeling of external shapes of airplane, motor-car body, ship hull and propeller screw

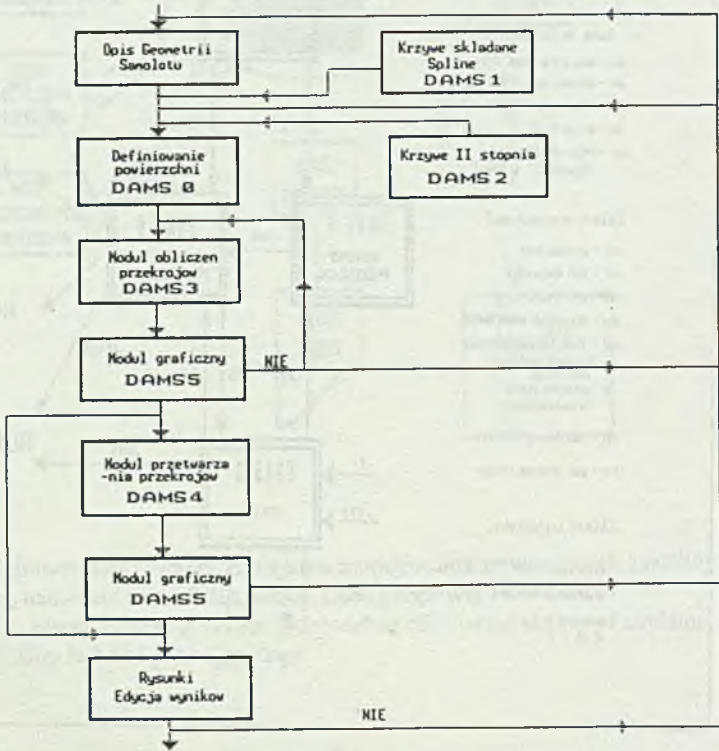
Oznaczenie zbiorów danych w systemie DAMS



Rys.3. Oznaczenie zbiorów danych w systemie DAMS
Fig.3. Data set description in DAMS system



Rys.4a. Systemy CAD/CAM w sieci komputerowej
 Fig.4a. CAD/CAM systems in computer network



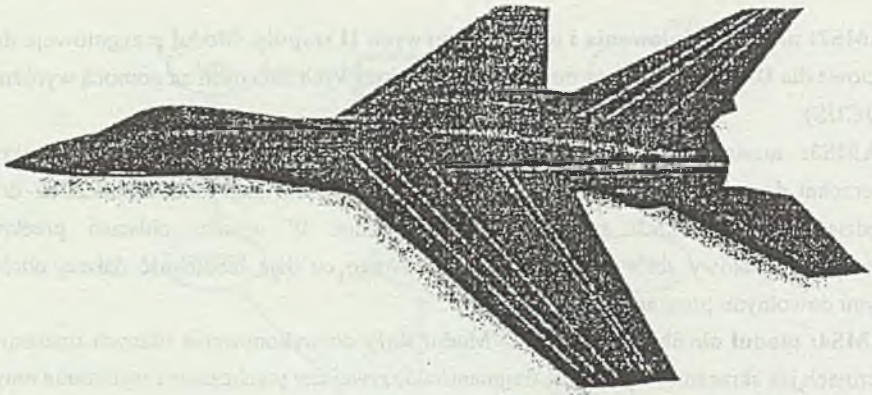
Rys.4b. Ogólny schemat używania systemu DAMS
 Fig.4b. Block chart of DAMS system application

- **DAMS2: moduł definiowania i obróbki krzywych II stopnia.** Moduł przygotowuje dane wejściowe dla DAMS0. Służy on do projektowania krzywych zadanych za pomocą wyróżnika f (FOCUS).
- **DAMS3: moduł obliczania przekrojów.** Moduł ten służy do obliczania przekroju powierzchni dowolną płaszczyzną, w dowolnie założonej tolerancji lub do obliczania drogi narzędzia na obrabiarkach sterowanych numerycznie. W wyniku obliczeń przekroju otrzymujemy dyskowy zbiór punktów typu tekstowego, co daje możliwość dalszej obróbki różnymi dowolnymi programami.
- **DAMS4: moduł obróbki przekrojów.** Moduł służy do wykonywania różnych operacji na przekrojach, jak skracanie, wybieranie fragmentów krzywej czy przeliczanie i wyliczanie innych wartości współrzędnych przekroju powierzchni.
- **DAMS5: moduł graficzny.** Pozwala na graficzne przedstawienie powierzchni lub przekroju na monitorze lub lotterze (drukarka). Można wyprowadzać dane, które będą wczytywane przez system AUTOCAD. Przy dużych plotterach, jak KONGSBERG, można kreślić przekroje w skali 1:1.

Cały proces projektowo-wykonawczy wymaga następujących działań (rys.4.) :

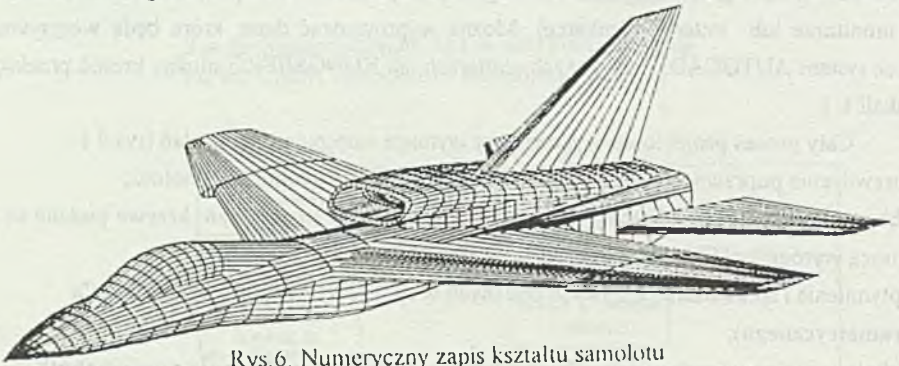
- sprawdzenie poprawności danych zawartych na rysunkach geometrii samolotu;
- obliczenie i wykreślenie kształtów opisanych krzywymi II stopnia, tzn. krzywe podane są za pomocą wyróżnika "f" (**moduł krzywych II stopnia**);
- upłynnienie i sprawdzenie krzywych podanych w sposób dyskretny (**moduł spline'a parametrycznego**);
- definiowanie powierzchni i ich kolejne modyfikacje (**moduł zadawania powierzchni**);
- badanie i sprawdzenie powierzchni (**moduł obliczania przekrojów**);
- obliczenie współrzędnych punktów, stycznych, normalnych do powierzchni itp. (**moduł przetwarzania przekrojów**);
- wykreślenie rysunków powierzchni (w rzutach, w perspektywie) zadanych przekrojów, krzywych (**moduł kreślący**);
- wydrukowanie wszystkich wyników obliczeń oraz protokolowanie pracy systemu (**moduł drukujący**);
- sterowanie i zarządzanie biblioteką danych, archiwizowanie (**system operacyjny**);
- obliczanie drogi narzędzia na obrabiarkach sterowanych numerycznie dla płaskich i przestrzennych wzorników (**moduł obrabiarkowy**).

W systemie DAMS zaprojektowano kształty zewnętrzne, jak i wewnętrzne takich samolotów, jak: AN-28, I-22 IRYDA, M-26 ISKIERKA, niektórych zespołów (usterzenie, klapy, wysięgniki) IŁ-86, IŁ-96, M-18 Dromader, M-20 Seneca, ATR-42, ATR-72, BOEING-757, łopatki turbin, wózki golfowe MELEX, szybowce. Opis numeryczny kształtu służy następnie do wykonania na komputerze SM-4 Kongsberg z plotterem o wym. 1.6m x 6m w skali 1:1 pełnego rozrysowania płazowo-konstrukcyjnego na specjalnej stabilnej folii.



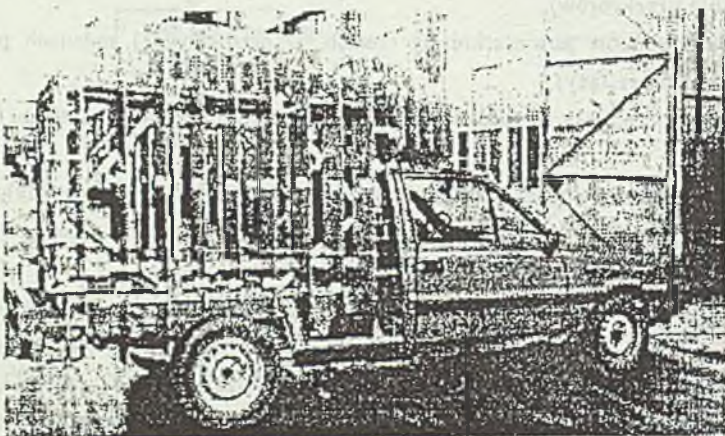
Rys 5 Model aerodynamiczny samolotu wykonany na OSN

Fig 5 Aerodynamical airplane model made on numerically controlled machine



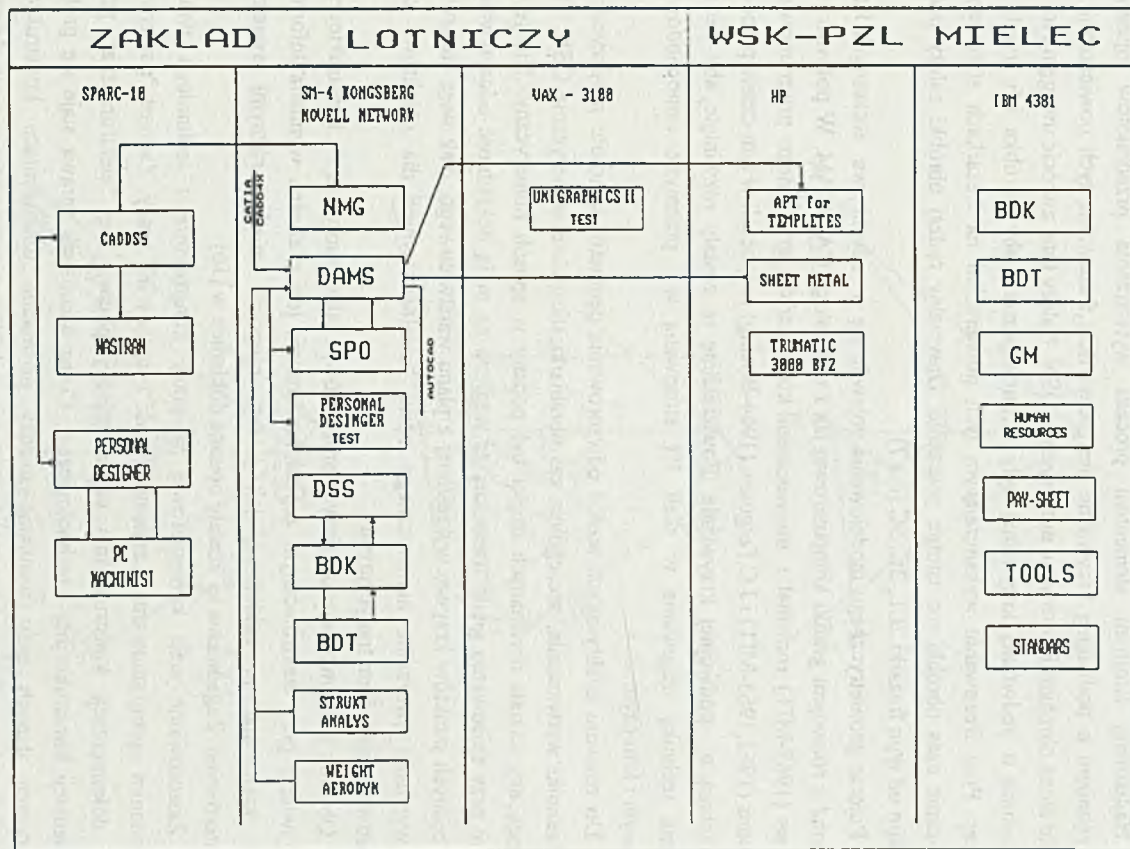
Rys.6. Numeryczny zapis kształtu samolotu

Fig.6. Numerical representation of aircraft shape



Rys.7 Makieta nowego nadwozia samochodu wykonana na podstawie numerycznego modelu komputerowego

Fig.7 New motor-car body mock-up made basing on numerical model



Rys. 8. Zestawienie obecnie używanego sprzętu komputerowego i oprogramowania
 Fig. 8. Hardware and software used in Aviation Plant

Oczywiście, modele do dmuchań aerodynamicznych, wzorniki płaskie i przestrzenne robi się także bezpośrednio korzystając z numerycznego zapisu kształtu na OSN (rys.5 i rys.6).

Najbardziej istotnym elementem procesu wytwarzania przedmiotów opisanych powierzchniami o podwójnej krzywiznie jest, oczywiście, frezowanie tych powierzchni. Do tego celu służą obrabiarki sterowane numerycznie OSN. Należy tutaj zwrócić uwagę na to, aby powierzchnie o podwójnej krzywiznie były technologiczne i aby obróbka ich trwała jak najkrócej. Przy frezowaniu wykańczającym tych powierzchni na frezarkach sterowanych numerycznie czas obróbki ma istotne znaczenie. Optymalny rodzaj obróbki zależy przede wszystkim od typu frezarki 2CL, 3C, 5C (rys.7).

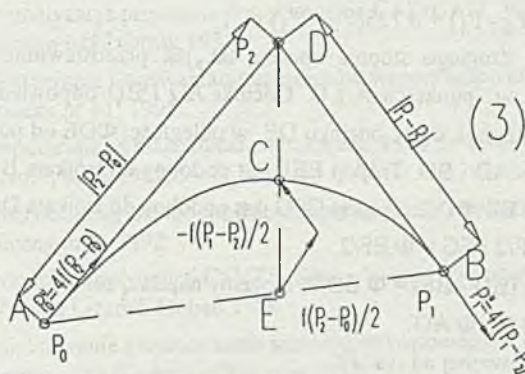
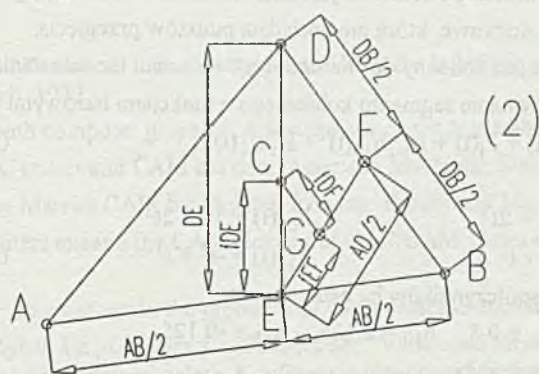
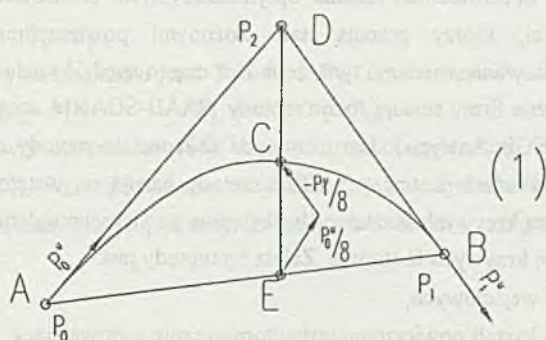
Pojęcie geometrycznego modelowania pojawiło się w użyciu we wczesnych latach 1970 wraz z rozwojem grafiki komputerowej, jak i technologii CAD/CAM. W połowie 1960 D.T.Ross (1967-MIT) rozwinął i unowocześnił komputer do graficznego programowania. S.A.Coons (1963,1965-MIT) i J.C.Ferguson (1964-Boeing) rozpoczęli w tym czasie prace nad powierzchnią o podwójnej krzywiznie. Powierzchnie te zostały rozwinięte, aby zastąpić klasyczną technikę trasowania w skali 1:1 stosowaną w przemyśle samochodowym, okrętowym i lotniczym.

Do rozwoju analitycznych metod odwzorowania geometrii samolotu przyczyniły się nowe techniki wytwarzania, szczególnie zaś obrabiarki sterowane numerycznie OSN, które wymagają, aby kształt obrabianych części był podany w sposób numeryczny. Nie jest to możliwe przy stosowaniu giętki traserskiej ze względu na małą dokładność odczytywanych współrzędnych punktów krzywej wykreślonej z planu warstwiczowego. Tak więc stosowanie OSN wymusiło tworzenie numerycznego opisu kształtu również dla obiektów, które konstruowano metodami tradycyjnymi.

Obecnie jednym z najważniejszych problemów, z jakim spotykają się konstruktorzy na całym świecie przy elektronicznym zapisie konstrukcji, jest graficzna wymiana informacji między kooperującymi zakładami, jak i też integracja między różnymi systemami komputerowymi. Zagadnienia te zostały opisane dokładnie w [16].

Zastosowanie sieci komputerowej w pracy konstruktora i technologa wraz z odpowiednim oprogramowaniem zmieniło jakość i metody ich pracy. Zamiast "papierowej" formy dokumentacji konstrukcyjnej coraz częściej pojawia się "elektroniczna" postać dokumentacji konstrukcyjnej i technologicznej. Coraz ważniejszą sprawą staje się problem standaryzacji danych przy wymianie między partnerami dokumentacji konstrukcyjnej stosującymi różne systemy CAD/CAM. Żadne przedsiębiorstwo nie utrzyma się dzisiaj na rynku bez stosowania odpowiedniej klasy systemów CAD/CAM.

Automatyzacja prac konstrukcyjnych i procesu wytwarzania samolotu zmierza głównie do znacznego skrócenia cyklu produkcyjnego, obniżenia pracochłonności opracowania konstrukcyjnego i technologicznego oraz zapewnienia najwyższej jakości wykonania. Realizacja tych celów bezwzględnie wymaga zastosowania techniki komputerowej,



Rys.9. Geometryczna konstrukcja aproksymacji krzywą kubiczną krzywej stożkowej zadanej współczynnikami "f"

Fig.9. Geometrical construction of cube curve approximation of a cone curve given by coefficients "f"

opartej na rozwiązaniach sieciowych i obrabiarek sterowanych numerycznie. Obecnie proces definiowania powierzchni zajmuje projektantom dużo czasu. Jednym ze sposobów jego skrócenia jest użycie odpowiednich technik optymalizacyjnych. Konstruktorzy samolotów i samochodów oraz ci, którzy pracują nad złożonymi powierzchniami podczas ich komputerowego definiowania wiedzą o tym, że muszą często spędzić wiele czasu nim osiągną zamierzony efekt. Różne firmy stosują różne metody. SAAB-SCANIA stosuje metodę zwaną FANGA (Formela ANGLE Analysis). Jest to metoda zbliżona do metody opracowanej przez autora w Polskich Zakładach Lotniczych. Obie metody bazują na wstępnym modelowaniu powierzchni za pomocą krzywych stożkowych. Wstępnie powierzchnię definiuje się jako zbiór płaskich i rozsuniętych krzywych II stopnia. Zaletą tej metody jest:

- mała liczba danych wejściowych,
- w jednym kierunku kształt powierzchni jest automatycznie zadowalający.

Zapewniają to krzywe stożkowe, które nie posiadają punktów przegięcia.

- sposób definiowania jest zbliżony do "naturalnego" sposobu modelowania powierzchni.

Przypomnijmy sobie równanie segmentu kubicznego z funkcjami bazowymi Hermite'a [9]:

$$P(t) = P_{i-1}h_{00}(t) + P_i(t) + P'_{i-1}h_{10}(t) + P'_i h_{11}(t) \quad (1)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} h_{00}(t) &= 1 - 3t^2 + 2t^3 & h_{01}(t) &= 3t^2 - 2t^3 \\ h_{10}(t) &= t - 2t^2 + t^3 & h_{11}(t) &= -t^2 + t^3 \end{aligned} \quad (2)$$

Dla $t = 0.5$ wartości współczynników h_{ij} będą równe:

$$h_{00} = 0.5, \quad h_{01} = 0.5, \quad h_{10} = 0.125, \quad h_{11} = -0.125$$

a dla $i = 1$ mamy odpowiednio

$$P(0.5) = 0.5P_0 + 0.5P_1 + 0.125P'_0 - 0.125P'_1 \quad (3)$$

$$P(0.5) = 0.5(P_0 - P_1) + 0.125(P'_0 - P'_1) \quad (4)$$

Rozpatrzmy krzywą drugiego stopnia opisaną tak, jak przedstawiono na (rys. 9). Końce krzywej znajdują się w punktach A i C. Odcinki AD i BD odpowiadają stycznym w tych punktach. Punkt C znajduje się na odcinku DE w odległości ΦDE od punktu E. Odcinki EG i GC są równoległe do AD i BD. Trójkąt BEF jest podobny do trójkąta BAD, stąd $BE = AB/2$. Tak więc $EF = AD/2$ i $BF = BD/2$. Trójkąt CEG jest podobny do trójkąta DEF, stąd $CE = \Phi DE$. Tak więc $CG = \Phi DF/2$ i $EG = \Phi EF/2$.

Ponieważ $\Phi DF = \Phi (BD - BF) = \Phi BD/2$, możemy napisać, że:

$$0.125 |P'_0| = 0.5 \Phi AD \quad (5)$$

Z konstrukcji przedstawionej na rys. 10:

$$AD = |P_2 - P_0| \quad (6)$$

Dlatego:

$$|P'_0| = 4 \Phi |P_2 - P_0| \quad (7)$$

podobnie:

$$0.125 |P'_1| = 0.5 \Phi BD \quad (8)$$

gdzie:

$$BD = |P_1 - P_2| \quad (9)$$

i

$$|P'_1| = 4 \Phi |P_1 - P_2| \quad (10)$$

Ponieważ P'_0 pokrywa się ze zwrotem $P_2 - P_0$ i P'_1 - ze zwrotem $P_1 - P_0$, to:

$$P'_0 = 4 \Phi (P_2 - P_0), \quad P'_1 = 4 \Phi (P_1 - P_0) \quad (11)$$

Na podstawie zależności (11) zaprojektowano geometrię numeryczną samolotu AN-28, I-22 IRYDA. Pozwoliło to na prawie 10-krotne zmniejszenie obszaru zajętości dysku, skrócenie czasu obliczeń bez pogorszenia dokładności obliczeń i rozrysowań komputerowych w pełnej skali.

LITERATURA

- [1] Harder R.L. and Desmarais R.N.: Interpolation Using Surface Splines. Journal of Aircraft Vol.9, No 2, Feb. 1972
- [2] Tooling Built with computer graphics. American Machinist November 1972.
- [3] Schaffer G.: NC router and CAM cut cost. American Machinist, December 1979.
- [4] How Aerospace Marries CAM for Drilling, Routing. Production May 1982
- [5] Personal computers expand the CAM element of CAD/CAM. American Machinist no. VI/1987
- [6] Ralph J.Mayer: One answer to the problems of CAD database exchange. Byte no. VI/1987
- [7] Adamski W., Rybak Cz., Gancarz T.: "PZL-Mielec" Vallalatnal folyo szerkesztesi es technologiai munkak automati zalasa. Konferencja Naukowa Mechatroninfo Budapest, listopad 1988.
- [8] Adamski W.: Automatyzacja procesów projektowania CAD/CAM. VI Międzynarodowe Sympozjum, Krasiczyn październik 1989.
- [9] Adamski W. Projektowanie i wytwarzanie samolotów wspomagane komputerem. Aerotechnika Lotnicza nr 11, 1991
- [10] Elliot W.S. : Computer-aided mechanical engineering: 1958 to 1988 Computer-Aided Design, Vol. 21, No 5, June 1989.
- [11] Adamski W.: Zasady numerycznego modelowania zewnetrznych kształtów obiektów. Przegląd Mechaniczny nr 3, 1992
- [12] Cesky Vybor Strojnicke Spolecnosti CSVTS. Stav a Vuziti Vypocenti Techniky Pri Konstruovani a Vyrobe Letadel. Duben 1984
- [13] Adamski W.: Projektowanie i wytwarzanie samolotów wspomagane komputerem w WSK "PZL-Mielec". Konferencja Naukowa, Rydzyna 1988
- [14] Adamski W.: Integracja systemów komputerowych w przemyśle lotniczym. III Konferencja Naukowa "Aktualne Problemy Lotnictwa Polskiego", Warszawa, październik 1990.
- [15] Saab Aircraft Division: CAD/CAM and Geometry Saab Aircraft Division Application of Advanced Technology II 1991.

- [16] Adamski W.: Integracja systemów komputerowych w polskim przemyśle lotniczym. VII Krajowa Konferencja Automatyzacji Procesów Przemysłowych. Kozubnik, wrzesień 1992.
- [17] Adamski W.: Stosowane systemy CAD/CAM w polskim przemyśle lotniczym. XV Międzynarodowe Sympozjum Naukowe. Zielona Góra IV 1993.
- [18] Liden G. Westberg S.: Fairing of surfaces with optimization techniques using FANGA curves as the quality criterion. Computer-Aided Design, Vol. 25, No 7, July 1993.
- [19] Piegł L., Tiller W.: Software-engineering approach to degree elevation of B-spline curves. Computer-Aided Design Vol. 26 No 1, January 1994.

Recenzent: Dr inż. Witold Sileikis

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1994r.

Abstract

Today, a surface-definition process is very time-consuming. One of realistic ways of shortening the time is to use optimization techniques. Research in this area has been conducted for many years, and the author's main task is to find a mathematical function for measuring of surface quality. The paper presents a new method FOCUS (defined by second degree curve) for an optimization of surfaces. This method has been implemented in surface definition systems NMG (Numerical Master Geometry) and DAMS (Design All Manufacturing Surfaces) and now is used in surface definition process. In the method, a set of planar curves is generated so that, high-quality surfaces, are smooth. The idea of the planar curves is based on the conic-lofting modeller, which is preferred and the most widely used surface modeller in the aircraft industry. A lofting modeller is a procedural type surface modeller. A procedure, i.e. an algorithm, uses a number of longitudinal curves and scalar functions to define sweeping cross section curves. The author concludes that using CAD/CAM systems in industry must be 'intelligent'. It means that design engineers must be able to use knowledge dynamically to achieve the user's goals. Some examples of using CAD/CAM systems in polish aviation industry are presented.