

Włodzimierz Adamski

OBR-SK-PZL-MIELEC

INTEGRACJA SYSTEMÓW KOMPUTEROWYCH W POLSKIM PRZEMYSŁE LOTNICZYM

INTEGRATION OF COMPUTER SYSTEMS IN POLISH AVIATION INDUSTRY

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ В ПОЛЬСКОЙ АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Streszczenie: Opisano standardowe pakiety wymiany danych między systemami CAD/CAM i korzyści wynikające z ich stosowania. Podano metodę definiowania kształtu samolotu wraz z jego komputerowym rozrysowaniem w pełnej skali. Opisano system specyfikacji konstrukcyjnej, jak i system programowania obrabiarek sterowanych numerycznie.

Summary: The modelling of curves and surfaces by PZL Mielec has introduced a new design tool into applications (system DAMS). Standard methods (PDES, IGES, STEP) are required for the exchange of data.

Резюме: Представлены стандартные пакеты обмена данными для систем CAD/CAM и выгоды вытекающие из их применения. Дан метод определения формы самолета вместе с его компьютерным чертежом в полном масштабе. Описывается система программирования станков с численным управлением.

Znaczny rozwój w ostatnich czasach mikrokomputerów zmienił sposób podejścia przy komputeryzacji przedsiębiorstw. W biurach instaluje się coraz więcej sieci lokalnych (NOVELL NETWARE) wypierających duże instalacje komputerowe. Przyjmuje się, że duży komputer jest wygodniejszy wówczas, gdy program sięga do bazy danych o wielkości co najmniej 40 MB. Większa liczba istniejących i powstających systemów CAD CAM sprawia, że zachodzi konieczność ich integracji w zakładach przemysłowych. W OBR SK MIELEC eksploatowane są następujące systemy (niektóre od 1977 roku): *numeryczne odwzorowanie geometrii NMG (Numerical Master Geometry)*, *DAMS (Design All Manufacturing Surface's)*, *AUTOCAD (projektowanie konstrukcji wytworu)*, *baza danych specyfikacji konstrukcyjnych DSS (Design Specification System)*, *automatyczne programowanie OSN do 2 $\frac{1}{2}$ osi SPO*, *automatyczne programowanie OSN do 5 osi APT IV*, *system obliczeń technicznych AFW (Aerodynamika, Flatter, Wytrzymałość)*.

Systemy mogą być integrowane na różne sposoby. Najprostszą metodą jest wprowadzenie translatorów. I tak: dla 4 systemów (Rys.1b), zachodzi konieczność zbudowania 12 różnych translatorów. Wprowadzenie 5 systemu wymaga dołożenia dodatkowo 8 translatorów. Tak więc w miarę rozbudowy systemu liczba translatorów rośnie w sposób geometryczny. Dlatego lepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie standardowego formatu wymiany danych, który umożliwia współpracę z wieloma innymi systemami. Do najbardziej znanych standardowych pakietów wymiany danych należą:

- IGES (Initial Graphics Exchange Specification) - W. Brytania,
- SET (Specifications du Standard D'Exchange et de Transfert) - Francja,
- VDA-FS - RFN.

Pakiet IGES przetwarza dane między dwoma różnymi systemami poprzez stworzenie neutralnego zbioru. Dla 4 systemów potrzeba 8 translatorów. Dołożenie 5 systemu wymaga tylko 2 translatorów, tj. służących do odczytania "preprocessor" i zapisywania "postprocessor" (Rys.1a). Sposób zintegrowania systemów istniejących i eksploatowanych w sieci OBR-MIELEC przedstawia rys.2. Przyszłościowym pakietem alternatywnym do IGES jest pakiet

PDES (Product Data Exchange Specification).

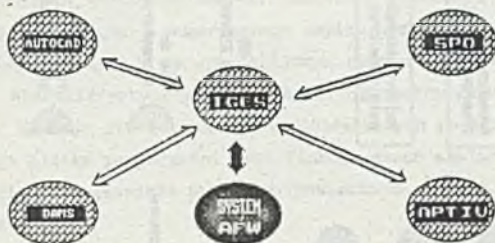
W systemie projektowania wspomaganego komputerem ważne jest jednoznaczne określenie zapisu konstrukcji. Dotyczy to opisu struktury zewnętrznej, t.j. geometrii zewnętrznej samolotu, kształtu nadwozia samochodu czy kształtu statku morskiego. Zagadnienie to rozwiązuje system definiowania powierzchni o podwójnej krzywiznie DAMS. Ze względu na optymalne wykorzystanie pamięci operacyjnej komputera, system ten posiada budowę modułową.

Proces konstruowania wymaga całościowego opisu, co jest równoznaczne z syntezą czynników operacyjnych. Na rys.3 przedstawiono wyobrażenie całego procesu konstruowania z uwzględnieniem wykorzystania techniki komputerowej. Z lewej strony operatorów przedstawiono stan obecny a z prawej przewidywany stan wykorzystania komputerów przez autora. Wynika to przede wszystkim z bardzo szybkiego rozwoju sprzętu komputerowego i szerokiego wprowadzania sieci komputerowych w przedsiębiorstwach. Głównym czynnikiem tworzenia konstrukcji jest dobieranie cech konstrukcyjnych. Właściwą teorią tego procesu jest teoria konstrukcji, którą opieramy na zasadach konstrukcji i racjach istnienia wytworu. Racje te służą do określenia skutecznych kryteriów stanowiących podstawę oceny konstrukcji. Racjonalny proces konstruowania wymaga weryfikacji. Ze względów ekonomicznych należy położyć nacisk na weryfikację analityczną, bowiem jej narzędziami są jedynie zasady logiki i matematyki. Często weryfikacja prowadzi do zmiany cech konstrukcyjnych. Weryfikacja konstrukcji może stać się podstawą do weryfikacji założeń konstrukcyjnych oraz koncepcji, a nawet twierdzeń nauk podstawowych.

Cały proces projektowo-wykonawczy wymaga następujących działań:

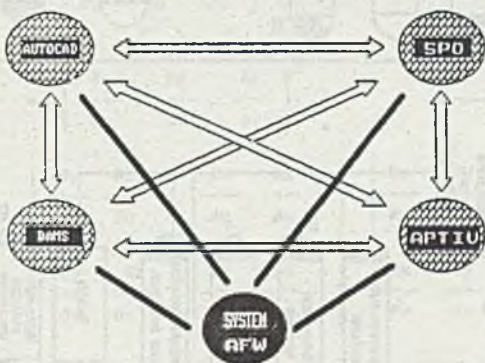
- sprawdzenie poprawności danych zawartych na rysunkach geometrii samolotu,
- obliczenie i wykreślenie kształtów opisanych krzywymi II stopnia, tzn. krzywe podane są za pomocą wyróżnika "f" moduł krzywych II stopnia,
- uplynnienie i sprawdzenie krzywych podanych w sposób dyskretny moduł spline'a - parametrycznego,
- 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. archiwowanie 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, M-25, niektórych zespołów (usterzenie, klapy, wysięgniki) IL-86, IL-96, M-18 Dromader, M-20 Seneca, łopatkę turbin, wózki golfowe, szybowce. Opis numeryczny kształtu służy następnie do wykonania na komputerze SH-4 Kongsberg z plotterem o wym. 1.6m x 6m w skali 1:1 pełnego rozrysowania płazowo-konstrukcyjnego na specjalnej stabilnej folii. Z folii informacja przenoszona jest przez fotokopiarke na blachę duralową o wym. 1m x 2m. Stanowi to tzw. "twardą kopie". Na podstawie tej kopii



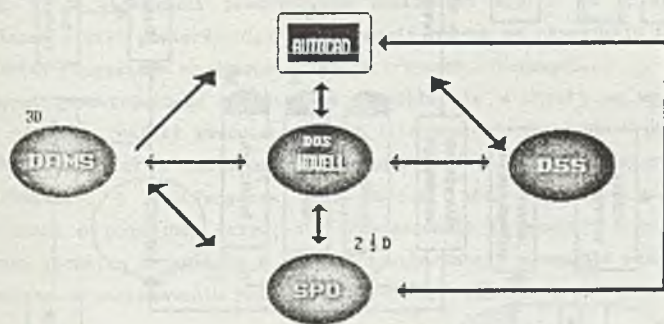
Rys.1a Integracja systemów CAD/CAM wg standardu IGES

Fig.1a Integration of system CAD/CAM with standard IGES



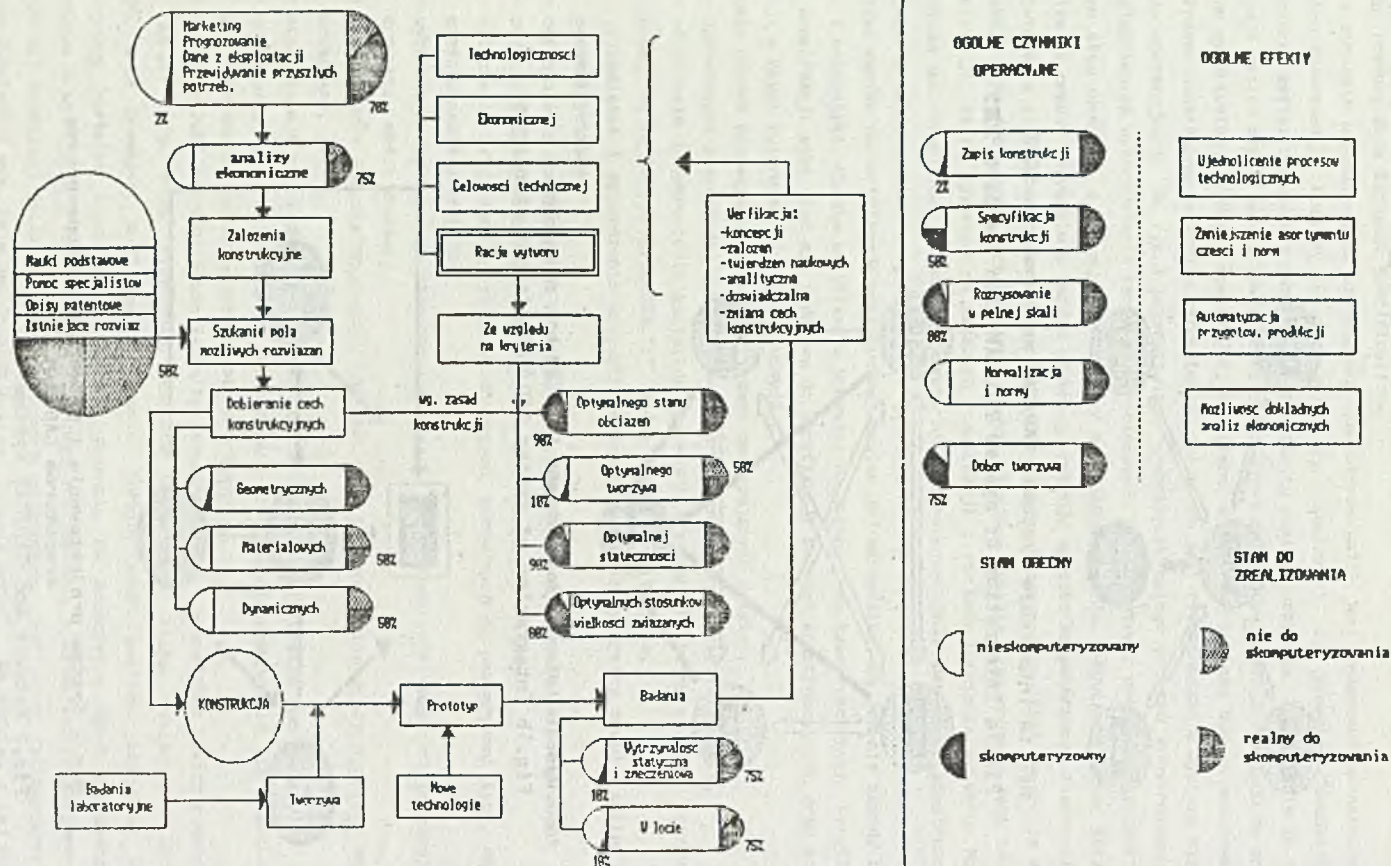
Rys.1b Integracja systemów CAD/CAM bez standardu

Fig.1b Integration of system CAD/CAM without standards



Rys.2 System projektowania i wytwarzania wspomaganego komputerem CAD/CAM

Fig.2 Network and CAD/CAM system



Rys. 3. Czynniki Operacyjne Procesu Konstruowania
 Fig. 3. Operational Factors of Design Process

wykonuje się płaskie i przestrzenne wzorniki i inne pomoce warsztatowe. Oczywiście modele do dmuchań aerodynamicznych, wzorniki płaskie i przestrzenne robi się także bezpośrednio korzystając z numerycznego zapisu kształtu na OSN.

Najbardziej ogólnym i najwygodniejszym opisem do zdefiniowania powierzchni jak i obliczania charakterystycznych własności geometrycznych jest parametryczny opis powierzchni. Stosuje się go także w wielopłatkowych powierzchniach bikubicznych. Wektor elementarnego płatka powierzchni jest funkcją dwóch skalarnych zmiennych u i v , którymi są krzywoliniowe Gaussowskie parametry powierzchni.

Równanie ma postać:

$$P = P(u, v) = x(u, v)i + y(u, v)j + z(u, v)k$$

$$P^u = \frac{\delta P}{\delta u} = \left(\frac{\delta x}{\delta u}, \frac{\delta y}{\delta u}, \frac{\delta z}{\delta u} \right)$$

$$P^v = \frac{\delta P}{\delta v} = \left(\frac{\delta x}{\delta v}, \frac{\delta y}{\delta v}, \frac{\delta z}{\delta v} \right) \quad (1)$$

$$P^{uv} = \frac{\delta^2 P}{\delta u \delta v} = \begin{vmatrix} \frac{\delta y}{\delta u} & \frac{\delta z}{\delta u} \\ \frac{\delta y}{\delta v} & \frac{\delta z}{\delta v} \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} \frac{\delta z}{\delta u} & \frac{\delta x}{\delta u} \\ \frac{\delta z}{\delta v} & \frac{\delta x}{\delta v} \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} \frac{\delta x}{\delta u} & \frac{\delta y}{\delta u} \\ \frac{\delta x}{\delta v} & \frac{\delta y}{\delta v} \end{vmatrix}$$

Linie o stałych parametrach u i v są krzywymi składanymi (spline). Dla różnych wartości parametru v odwzorowanie opisuje różne krzywe, przy czym zbiór tych krzywych tworzy powierzchnię. Kształt powierzchni określany jest przez definiowanie kształtu krzywych leżących na powierzchni, które tworzą zwykle na powierzchni siatkę (model drutowy). W większości praktycznych zastosowań siatka ta dzieli powierzchnię na czworokątne płatki powierzchni, a więc zadanie polega na określeniu czworokątnego płatka powierzchni rozpiętego na danych czterech krzywych brzegowych.

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 dla 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. W zastosowaniu praktycznym, równanie płatka ma postać:

$$P(u, v) = \begin{bmatrix} 1 & u & u^2 & u^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ v \\ v^2 \\ v^3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\text{gdzie: } u = (u - u_j) / (u_{i+1} - u_i) \\ v = (v - v_i) / (v_{j+1} - v_j)$$

Każdy z elementów tensora (c) jest obliczany na podstawie wartości wektorów P. $\frac{\delta P}{\delta u}$

$$\frac{\delta P}{\delta v} \frac{\delta^2 P}{\delta u \delta v} \quad \text{w każdym z rogów elementarnego płata wg równania:}$$

$$[c] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & u & 0 & 0 \\ -3 & -2\Delta u & 3 & -\Delta u \\ 2 & \Delta u & -2 & \Delta u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{1,J}^u & P_{1,J}^v & P_{1,J+1}^u & P_{1,J+1}^v \\ P_{1,J}^{uv} & P_{1,J}^{uv} & P_{1,J+1}^{uv} & P_{1,J+1}^{uv} \\ P_{1+1,J}^u & P_{1+1,J}^v & P_{1+1,J+1}^u & P_{1+1,J+1}^v \\ P_{1+1,J}^{uv} & P_{1+1,J}^{uv} & P_{1+1,J+1}^{uv} & P_{1+1,J+1}^{uv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -3 & 2 \\ 0 & \Delta v & -2\Delta v & \Delta v \\ 0 & 0 & 3 & -2 \\ 0 & 0 & -\Delta v & \Delta v \end{bmatrix}$$

$$\text{gdzie: } \Delta u = u_{i+1} - u_i$$

$$\Delta v = v_{j+1} - v_j$$

(3)

Obliczanie wektorów stycznych P^u i P^v nie przedstawia większych trudności.

Przy projektowaniu powierzchni o określonych, żądanych kształtach ważna jest znajomość pewnych reguł i zasad, zwłaszcza przy krzywych granicznych. Dotyczy to szczególnie krzywych będących częściami: okręgów, parabol, hiperbol czy elips. Określamy to przez podanie wartości wektorów w punktach węzłowych. Dla elementu okręgu mamy równanie segmentu spline'u [4]:

$$P = A^3 u + B^2 u + C u + D \quad (4)$$

gdzie:

$$A = 2(P_0 - P_1) + T_0 + T_1$$

$$B = 3(P_1 - P_0) - 2T_0 - T_1$$

$$C = T_0$$

$$D = P_0$$

$$\text{dla } u = \frac{1}{2}$$

$$P = \frac{A}{8} + \frac{B}{4} + \frac{C}{2} + D$$

Po podstawieniu i uporządkowaniu mamy:

$$P = P_0 + \frac{1}{2} (P_1 - P_0) + \frac{T_0 - T_1}{8} \quad (5)$$

Składowe poszczególnych wektorów wynoszą:

$$\begin{aligned} P_0 & (-R \sin Q, R \cos Q) \\ P_1 & (-R \sin Q, R \cos Q) \\ T_0 & (T \cos Q, T \sin Q) \\ T_1 & (T \cos Q, -T \sin Q) \end{aligned} \quad (6)$$

Podstawiając (6) do (5), tylko dla składowej y mamy:

$$R = R \cos Q + \frac{T \sin Q + T \sin Q}{8} \quad (7)$$

stąd:

$$T = \frac{4R(1 - \cos Q)}{\sin Q} = 4R \operatorname{tg} \frac{Q}{2} = 4R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{4}$$

$$T = 4R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{4} \quad (8)$$

Błąd odwzorowania możemy oszacować na podstawie następującej zależności empirycznej:

$$n^5 \geq \frac{R}{K e} \quad (9)$$

gdzie:

n - liczba punktów odwzorująca okrąg,

R - promień odwzorowanego okręgu,

K - stała empiryczna (dla okręgu K=400),

e - wielkość błędu.

W celu uniknięcia mnożenia małych i dużych wielkości (K i e) przyjęto wartość potęgi

5. Dla elipsy będzie to wynosić odpowiednio:

$$\begin{aligned} T_0 &= 4a \operatorname{tg} \left(22 \frac{1}{2} \right)^\circ \\ T_1 &= 4b \operatorname{tg} \left(22 \frac{1}{2} \right)^\circ \end{aligned} \quad (10)$$

Metoda Sabina stosowana w systemie NMG (Numerical Master Geometry) - BAC i w systemie

DAMS (Design All Manufacturing Surface) PZL Mielec polega na użyciu algorytmu wyznaczania krzywej składanej. Współrzędne wektora P_u traktujemy jako dane i stosując interpolację splinę w kierunku parametru v , wyznaczamy wektory P_{uv} jako wartości pochodnych wektorów stycznych P_u względem parametru v .

$$P_{uv} = \frac{\delta P_u}{\delta v}$$

Ten sam algorytm można zastosować zakładając, że danymi wejściowymi są wektory P_v , a interpolację wyznacza się dla zmiennej u . Wektory pochodnych

$$P_{vu} = \frac{\delta P_v}{\delta u}$$

mogą też być przyjmowane jako wektory skrętu ze względu na spełnienie warunku zgodności. W praktyce wektory te prawie nigdy nie są sobie równe. Dlatego też, tak przyjęta powierzchnia nie jest symetryczna względem parametrów u i v (inaczej mówiąc, nie można zamieniać między sobą kierunku u i v). Wady tej można uniknąć, zdaniem autora, obliczając wektory skrętu P_{uv} jako średnie arytmetyczne lub geometryczne pochodnych wektorów stycznych P_u względem parametru v i P_v względem parametru u . Wtedy własności powierzchni będą symetryczne w kierunku parametrów u i v .

System DAMS dostarcza wszystkich niezbędnych danych do wykonania:

- obliczeń technicznych;
- analizy konstrukcyjnej;
- wzorników płaskich (szablony) na OSN;
- wzorników przestrzennych (balwanki) na OSN;
- elementów przyrządu montazowego na OSN;
- detali integralnych samolotu na OSN;
- modeli do dmuchaw aerodynamicznych;
- narzędzi specjalnych.

Dzięki wprowadzeniu sieci mikrokomputerowej bardzo mocno rozwinął się system SPO *automatycznego programowania OSN* do 2 $\frac{1}{2}$ osi. Połączenie tego systemu z systemem AutoCad dało technologowi możliwości szybkiego i dobrego przygotowania programów obróbczych na OSN (Rysunki na monitorze w kilku warstwach, razem lub osobno, np. kontur teoretyczny detalu, droga narzędzia w obróbce zgrubnej, wykańczającej, ruchy jałowe, powiększenia itp.). Stosowany w OBR SK Mielec system CAD/CAM 3D/2D składa się z trzech głównych pakietów:

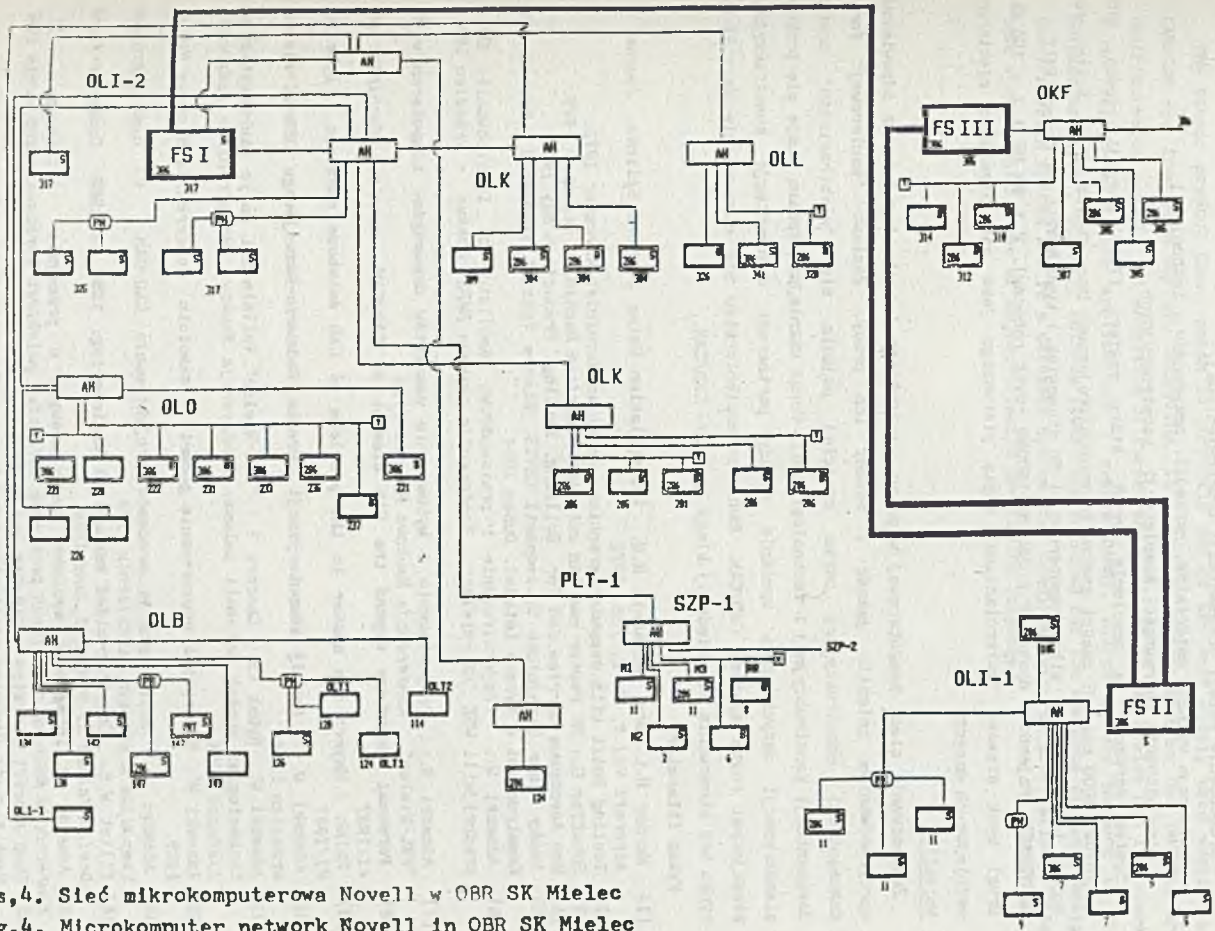
DAMS (Design All Manufacturing Surface's)

SPO (System Programing Operation)

DSS (Design Specification System)

System DSS stanowi uzupełnienie dwóch pierwszych pakietów i spełnia następujące funkcje:

- wprowadzanie i aktualizacje specyfikacji konstrukcyjnej,
- przeglądanie i edycja części, zespołów i podzespołów,
- obliczanie liczby części na zespół, wyrób, części zapasowe,
- prowadzenie prac związanych z rozdziałem robót w technicznym przygotowaniu produkcji,



Rys.4. Sieć mikrokomputerowa Novell w OBR SK Mielec
 Fig.4. Microcomputer network Novell in OBR SK Mielec

- prowadzenie prac związanych ze specyfikacjami materiałowymi,
- obliczanie ciężarów zespołów, wycena wyrobu,
- prowadzenie emisji dokumentacji uruchomieniowej,
- ewidencja wykazów materiałów, narzędzi, przyrządów i technologii,
- diagnozowanie poprawności kompletacji konstrukcyjnych.

System wdrożono na samolocie An-28, który zawiera 17500 pozycji części, 5100 zespołów, 4000 pozycji części znormalizowanych. Pojemność bazy danych 18 MB. System pracuje w lokalnej sieci mikrokomputerowej (60 stanowisk) typu NOVELL na trzech FILE SERVERACH. Pojemność dysków 2 x 320 MB (600MB -dysk roboczy), 2 x 80 MB i 1 x 150 MB. Drugi dysk stanowi "zwierciadlaną" kopię pierwszego jako zabezpieczenie niektórych ważniejszych danych.

Wnioski

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.

Wykaz literatury

- [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] Cesky Vybor Strojnicke Spolecnosti CSVTS. Stav a Vyuziti Vypocenti Techniky Pri Konstruovani a Vyrobe Letadel. Duben 1984
- [6] Adamski W.: Projektowanie i praiswodstwo samolotow s ispolzowaniem EWM w predprijatii WSK "PZL-Mielec". *Konferencja naukowa RWPG Moskwa - wrzesien 1986*
- [7] Adamski W.: Projektowanie i wytwarzanie samolotow wspomagane komputerem w WSK "PZL-Mielec". *Konferencja Naukowa Rydzyna 1988*
- [8] Personal computers expand the CAM element of CAD/CAM. *American Machinist* no. VI/1987
- [9] Ralph J.Mayer: One answer to the problems of CAD database exchange. *Byte* no. VI/1987
- [10] Adamski W.: Rozwój komputeryzacji Ośrodka Badawczo-Rozwojowego OBR-SK Mielec, wrzesien 1987
- [11] Adamski W., Rybak Cz., Gancarz T.: "PZL-Mielec" Vallalatnal folyo szerkesztesi es technologiai mumkak automati zalasa. *Konferencja Naukowa Mechatroninfo Budapest, listopad 1988.*
- [12] Adamski W.: Numeryczne odwzorowanie geometrii samolotu *Konferencja Naukowa Mielec 1989.*
- [13] Adamski W.: Automatyizacja procesow projektowania CAD/CAM. *VI Międzynarodowe Sympozjum Krasieczyn, październik 1989.*
- [14] Elliot W.S. :Computer-aided mechanical engineering: 1958 to 1988 *Computer-Aided Design* Volume 21 Number 5, June 1989.
- [15] Adamski W.:Integracja systemow komputerowych w przemyśle lotniczym . III *Konferencja Naukowa aktualnych problemow lotnictwa polskiego Warszawa, październik 1990*
- [16] Saab Aircraft Division : CAD/CAM and Geometry *Saab Aircraft Division application of advanced technology II 1991.*
- [17] Adamski W. Projektowanie i wytwarzanie samolotow wspomagane komputerem *Aerotechnika Lotnicza* nr 11/91

Recenzent: Prof.dr inż. Henryk Kowalowski;

Wplynęło do Redakcji do 30.04.1992 r.

Abstract

The tensor product Coons patch is currently one of the most widely used models in CAD/CAM for free-form surface modelling. In piecewise representation the patches are distributed on a mesh. The modelling of curves and surfaces by PZL Mielec has introduced a new design tool into applications (system DAMS). Mikrokomputers network is the cheapest solution. Standard methods (IGES) are required for the exchange of data. Design Specification System DSS is a database system that combines features of relational database systems with those of object-oriented programming languages.