

# KONCEPCJA TECHNOLOGICZNEGO WYBORU URZĄDZEŃ DLA ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH (ESP) Z WYKORZYSTANIEM ZALECEŃ STANDARDU ISO 10303 STEP

## *The concept of the technological choice of equipment for flexible manufacturing systems (FMS) using the recommendations of the standard ISO 10303 STEP*

Jerzy STAMIROWSKI

---

**S t r e s z c z e n i e:** Ważnym etapem projektowania ESP jest wybór obrabiarek i urządzeń technologicznych. W procedurach wyboru stosuje się: punktację wagową, wnioskowanie rozmyte, systemy ekspertowe oraz eliminację opartą o kryteria krytyczne i zdolności technologiczne. Zastosowanie w procedurach zaleceń standardu ISO 10303 STEP i koncepcji elementarnych obiektów obróbkowych pokazuje możliwości włączenia procedury wyboru obrabiarek do jednolitej przestrzeni informacyjnej cyklu życia wyrobu.

**S ł o w a   k l u c z o w e:** elastyczne systemy produkcyjne (ESP), komputerowe projektowanie, wybór, obrabiarki, urządzenia technologiczne, standard ISO 10303 STEP

**A b s t r a c t:** An important step in designing FMS is the choice of machine tools and technological devices. The selection procedures are used: scoring weight, fuzzy inference, expert systems and elimination based on criteria critical and technological capabilities. Application procedures recommendations of the standard ISO 10303 STEP and the concept of elementary objects of machining shows the possibility of including the selection procedure of machine tools to a uniform information space of the product life cycle.

**K e y w o r d s:** flexible manufacturing systems (FMS), computer design, choice, machine tools, technological devices, standard ISO 10303 STEP

---

### Wprowadzenie do procesu projektowania ESP

W większości przypadków praca twórcza nie sprowadza się do całkowicie nowych pomysłów. Osoba kreatywna często tworzy coś nowego w wyniku kombinacji i syntezy istniejących procesów, obiektów materialnych i pomysłów. Taką syntezą (w całości opartą o różne kombinacje istniejących elementów) jest proces projektowania ESP. Wynikiem syntezy jest nowy lub ulepszony system, zestaw elementów struktury systemu, właściwości i związki elementów systemu.

Elastyczny system produkcyjny jest dla projektantów systemem o strukturze będącej wynikiem syntezy trzech podstawowych podsystemów [8]:

1. Technologicznego (urządzenia technologiczne),
2. Transportowo-magazynowego (urządzenia transportu międzyoperacyjnego, manipulowania i magazynowania),
3. Sterująco-diagnostycznego (system sterowania, urządzenia pomiarowe, urządzenia blokujące itp.).

Zadanie projektowania ESP można najprościej opisać następująco:

- w ESP jest wytwarzana rodzina detali,
- stanowiska robocze powinny zapewniać pełny cykl produkcyjny,
- dostępne są dane o rodzinie detali, programie produkcyjnym, czasie wytwarzania, a także dane

o urządzeniach technologicznych, narzędziach i powierzchni zajmowanej przez ESP. W procesie projektowania należy określić [8]:

1. zestaw maszyn technologicznych,
2. przyporządkowanie operacji do stanowisk roboczych,
3. kolejność i sposoby wykonania operacji,
4. optymalne koszty wytwarzania.

Wykonany zgodnie z projektem system powinien zagwarantować funkcjonowanie zgodne z przyjętym zadaniem projektowym. ESP można scharakteryzować najprościej trójką zbiorów

$$ESP = \langle W, O, Z \rangle$$

gdzie:

W – system wytwarzania,

O – zbiór operacji technologicznych,

Z – zbiór powiązań. Na zbiór W składają się: maszyny i urządzenia technologiczne M oraz urządzenia sterowania S.

$$W = \langle M, S \rangle$$

Proces projektowania ESP należy zaliczyć do zadań złożonych. Najbardziej złożonym z punktu widzenia formalizacji jest zagadnienie syntezy strukturalnej. Jest

to często problem NP-trudny. Złożoność tego zagadnienia stała się przyczyną podejścia hierarchicznego, zakładającego syntezę podsystemów ESP. Trudne jest również zadanie poszukiwania wśród wielu wariantów takiego, który najlepiej spełni wymagania zadania projektowego.

Skrócenie czasu projektowania, poprawa jakości projektów, poprawa komfortu pracy projektantów, wymusza w coraz większym zakresie stosowanie komputerowego wspomaganie procesu projektowania ESP, a w dalszej perspektywie budowę systemu CAD ESP.

Przy opracowaniu technologii komputerowego wspomaganie procesu projektowania ESP, stosowane są następujące zasady [8].

1. Wyodrębnienie związków funkcjonalnych i strukturalnych w oparciu o analizę systemową, prowadzące do opracowania optymalnej struktury ESP.
2. Hierarchiczny opis funkcji i modułów systemu maszyn wchodzących w strukturę ESP.
3. Modelowanie elementów systemu maszyn na różnych poziomach hierarchii przy uwzględnieniu sekwencji: część – powierzchnia – mechanizm – maszyna – system maszyn.
4. Opracowanie technologii projektowania, uwzględniającej następstwo etapów syntezy ESP, z możliwością wprowadzania zmian i oceny podejmowanych decyzji.

Rozwój systemów CAD ESP powinien uwzględniać w dużym zakresie stosowanie funkcji inteligentnych, metod heurystycznych i systemów ekspertowych.

Podstawowym celem procesu projektowania ESP jest poszukiwanie efektywnych wariantów procesu technologicznego i operacji technologicznych dla rodziny detali, przewidzianej do obróbki w ESP oraz synteza optymalnej struktury ESP.

#### **Istniejące podejścia do wyboru urządzeń technologicznych dla elastycznych systemów produkcyjnych (ESP)**

Ważnym etapem projektowania ESP jest wybór obrabiarek i urządzeń technologicznych. Metodologii projektowania zautomatyzowanych systemów produkcyjnych poświęcono wiele prac, w wyniku których powstały algorytmy i zalecenia wspomagające proces projektowania ESP [3, 8]. Duża ich część poświęcona jest metodologii wyboru obrabiarek i urządzeń dla podsystemu technologicznego [3, 8].

Przy tradycyjnym podejściu do procesu projektowania, dane niezbędne do projektowania ESP pochodzą z baz danych, katalogów, materiałów normalizacyjnych, opracowań projektowych itp. Dane te opisują dostępne zbiory obrabiarek i urządzeń technologicznych, zbiory technologii, zbiory rodzin detali, scenariusze produkcji i używane są zgodnie z wymaganiami bieżącego zadania projektowego.

Przy wyborze obrabiarek i urządzeń technologicznych brana jest pod uwagę duża liczba kryteriów, które można podzielić na trzy grupy [4]:

1. Cechy ogólne (gabaryty detali, masa detali, możliwość wyboru sterowania, poziom automatyzacji, interfejsy itp.),
2. Cechy technologiczne (możliwości technologiczne, elastyczność, wyposażenie, wymiana narzędzi, prędkości obrotowe, posuwy itp.),
3. Cechy użytkowe (kompletność, jakość, montaż, konserwacja, trwałość, efektywność ekonomiczna itp.).

Spośród wielu metod oceny i doboru cech obiektów, stosowanych w różnych dziedzinach techniki, dla oceny doboru obrabiarek i urządzeń technologicznych mogą być przydatne następujące metody: punktacja wagowa, wnioskowanie rozmyte i systemy ekspertowe [4]. Godne uwagi są również metody, których podstawą są algorytmy eliminacji urządzeń w oparciu o kryteria krytyczne i algorytmy oceny zdolności technologicznej urządzeń – wybór technologiczny [3].

Algorytm eliminacji obrabiarek i urządzeń w oparciu o kryteria „krytyczne” uwzględnia kryteria związane z wymiarami i masą obrabianych detali takie jak:

- ogólne możliwości realizacji obróbki wymaganego rodzaju detali,
- położenie osi narzędzia i charakterystyka stołu do mocowania,
- zakres przesuwu narzędzia, umożliwiający obróbkę obiektu będącego przedmiotem zabiegu.

Algorytm wyboru technologicznego ocenia możliwość wykonania określonego zabiegu przy uwzględnieniu takich kryteriów jak:

1. ocena zdolności do wykonania wymaganych zabiegów technologicznych,
2. możliwość obróbki obiektów związanych z określoną stroną obróbki,
3. możliwość przemieszczenia narzędzia do miejsca położenia obrabianego obiektu,
4. dokładności pozycjonowania narzędzia i palety obróbkowej, umożliwiających zachowanie dokładności położenia obiektu będącego przedmiotem obróbki.

O zdolności urządzenia do realizacji zabiegu decyduje jednoczesne spełnienie wszystkich powyższych warunków. Przy wyborze obrabiarek i urządzeń technologicznych najistotniejszym kryterium wyboru wydaje się być ocena zdolności do wykonania wymaganych zabiegów technologicznych. Jedną z metod realizacji tej oceny jest analiza zdolności technologicznych obrabiarek i urządzeń przy pomocy macierzy zdolności technologicznych [3].

Macierz zdolności technologicznych jest macierzą dwuwymiarową, która budowana jest w oparciu o technologię opracowaną dla wyrobu syntetycznego [2, 3, 8]. W wierszach umieszczone są kolejne zabiegi procesu technologicznego wyrobu syntetycznego, a w kolumnach możliwości wykonania zabiegów przez obrabiarki i urządzenia z wyznaczonego zbioru. Algorytm konfrontuje wymagania technologiczne z możliwościami obrabiarek i urządzeń. Wynikiem jest zbiór obrabiarek i urządzeń pozwalających zrealizować wymagane zabiegi technologiczne. Może on ulec zmianie w procesie generowania

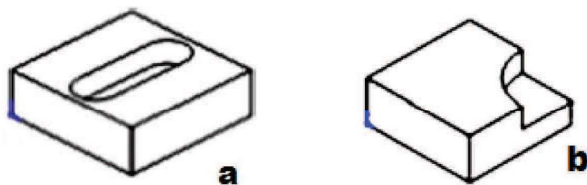
i redukcji ścieżek przepływu wyrobów przez system oraz w wyniku optymalizacji [3]. Algorytm redukcji wariantów wprowadza się dlatego, że przy dużej liczbie zabiegów oraz obrabiarek i urządzeń, wygenerowanie wszystkich możliwych ścieżek technologicznych może być zagadnieniem NP-trudnym.

### Technologiczny wybór urządzeń dla elastycznych systemów produkcyjnych (ESP) z wykorzystaniem zaleceń standardu ISO 10303 STEP

Tradycyjny sposób postępowania, uwzględniający ograniczony opis detali w istniejących systemach CAD, może być przeszkodą w tworzeniu zintegrowanych systemów konstrukcyjno-technologicznych. Modele wyrobów traktowane są jak modele geometryczne, podczas gdy do grupowania i automatyzacji projektowania procesów technologicznych w warunkach produkcji elastycznej lepsze, a nawet czasami konieczne, są modele bazujące na pojęciu elementarnych obiektów konstrukcyjno-technologicznych. Taki obiekt częściowo realizuje funkcję konstrukcyjną, np. bazowanie części w mechanizmie, a złożoność detali określona jest przez takie parametry jak: rodzaj i liczba elementów konstrukcyjnych, rodzaj i liczba powierzchni, chropowatość, dokładność itp. Przykłady elementarnych obiektów konstrukcyjnych przedstawia rys. 1.

W oparciu o zalecenia normy ISO 10303 STEP, tworzone są hierarchie elementarnych obiektów konstrukcyjnych, przy pomocy których złożone powierzchnie detali można przedstawić jako zbiory elementarnych obiektów i powierzchni konstrukcyjnych [1, 6, 7, 10].

Wyniki przetwarzania zbiorów elementarnych obiektów i powierzchni konstrukcyjnych można użyć w procesie technologicznego wyboru obrabiarek i urządzeń technologicznych dla projektowanego ESP. Elementarne obiekty i powierzchnie konstrukcyjne rozpoznawane są przez przetworzenie plików wchodzących w potok informacyjny zintegrowanego modelu danych, opartego o zalecenia standardu STEP.



Rys. 1. Przykłady elementarnych obiektów konstrukcyjnych a) kieszeń owalna, b) narożnik o promieniu  $r$   
Fig. 1. Examples of elementary structural objects a) oval pocket, b) corner with a radius  $r$

Zintegrowane środowisko i model danych tworzone są dla informacyjnej integracji wszystkich etapów cyklu życia wyrobu. Budowa zintegrowanego środowiska informacyjnego jest procesem rozwojowym i ciągłym.

Docelowo dąży się do zbudowania jednolitej przestrzeni informacyjnej, sprzyjającej automatyzacji procesów tworzących wszystkie etapy cyklu życia wyrobu.

Pokazanie możliwości włączenia do jednolitej przestrzeni informacyjnej procedury wyboru obrabiarek i urządzeń technologicznych zwiększa zakres integracji w obszarze jednolitej przestrzeni informacyjnej (JPI) cyklu życia wyrobu. Charakterystyczne cechy JPI to: otwarta architektura, wspólne przechowywanie danych (repozytoria) i oprogramowanie, akceptowane przez wszystkich uczestników cyklu życia wyrobu.

### Baza standardów technologii informacyjnego wsparcia cyklu życia wyrobu

Można wyróżnić pięć grup standardów informacyjnego wsparcia cyklu życia wyrobu [5, 9]. Największe znaczenie z punktu widzenia procesów projektowania i technicznego przygotowania produkcji mają standardy ISO 10303 (Product data representation and exchange – przedstawienie danych o wyrobie i ich wymiana), nazywane również STEP (standard for the exchange of product data – standard dla wymiany danych o wyrobie). Pięć podstawowych komponentów STEP to: metody opisu, metody realizacji, zintegrowane zasoby, metody testowania zgodności oraz protokoły zastosowań.

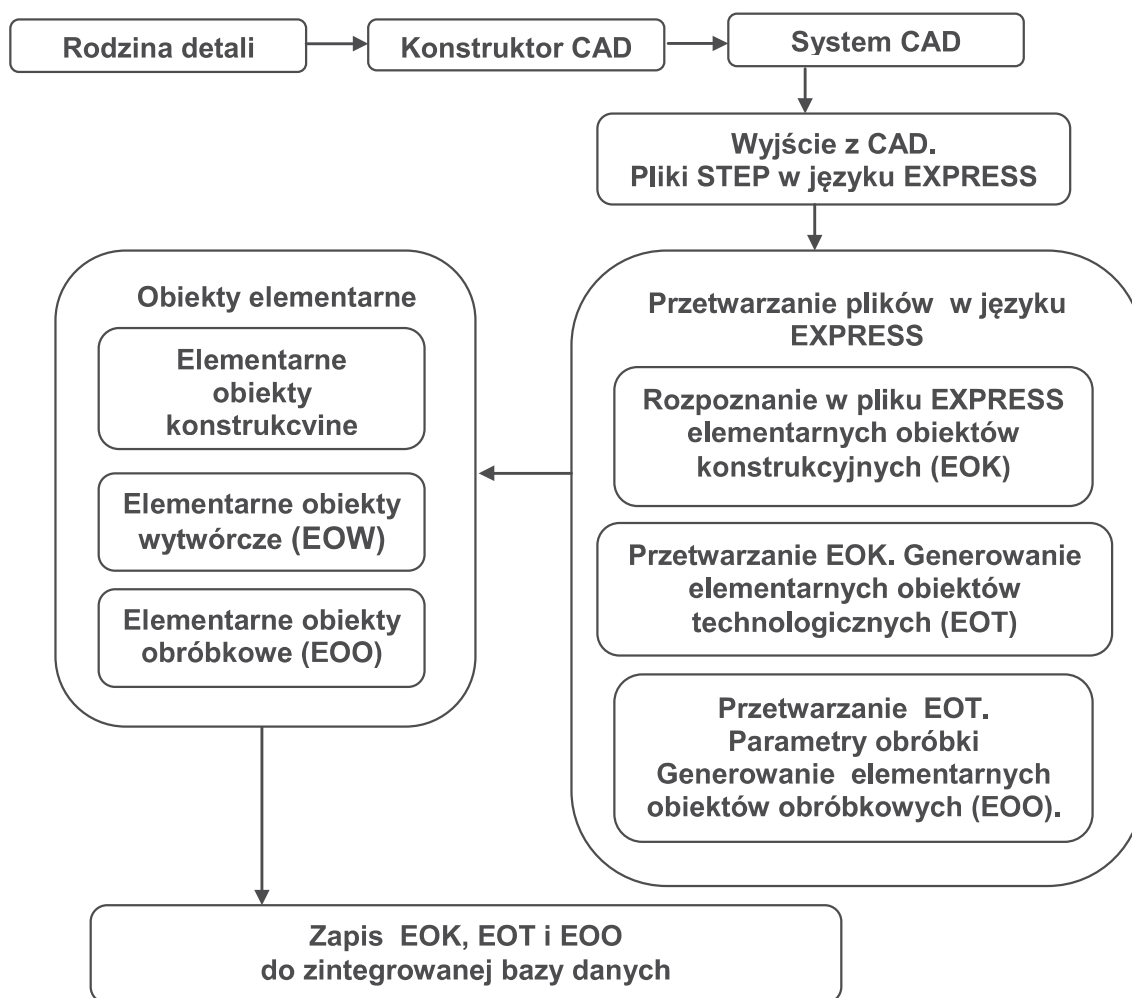
#### Metody opisu

Podstawowym narzędziem opisu danych w standardzie STEP jest język EXPRESS (ISO 10303-11) [5], nazywany często językiem modelowania informacji. Nie jest to język programowania. Pliki wymiany danych standardu STEP w języku EXPRESS generowane są na wyjściu współczesnych systemów CAD/CAM, tj. CATIA, Solid Works. Należą one do podstawowego strumienia danych, biorącego udział w procesie integracji informacyjnej procesów cyklu życia wyrobu. Pliki te są plikami tekstowymi i zawierają wszystkie informacje służące do identyfikacji wyrobu, opisu struktury i geometrii wyrobu [5, 9]. Mogą być przetwarzane i przesyłane przez inne różne procedury użytkowe, zgodnie z potrzebami i wymaganiami użytkownika, tj.: procedury automatyzacji projektowania procesów technologicznych czy procedury wyboru obrabiarek i urządzeń. Z założenia język EXPRESS operuje niezależnymi obiektami.

#### Dane o procesach technologicznych

Można wyróżnić dwie podstawowe metody projektowania procesów technologicznych dla rodziny detali – projektowanie wariantowe i generacyjne. Dla potrzeb wyboru obrabiarek i urządzeń dla ESP mogą być wykorzystywane obie metody [2, 4].

Projektowanie generacyjne wyróżnia się tym, że jest oparte na koncepcji obiektów elementarnych w wariacie konstrukcyjnym i obróbkowym.



Rys. 2. Generowanie elementarnych obiektów z plików w języku EXPRESS  
 Fig. 2. Generating elementary objects from files in EXPRESS

Przetworzenie plików w języku EXPRESS przez odpowiedni program użytkownika pozwala wygenerować z plików danych, opisujących detale w języku EXPRESS, elementarne obiekty obróbkowe [1, 6, 10]. Pliki EXPRESS z opisem detali i pliki opisu elementarnych obiektów obróbkowych zapisywane są w zintegrowanej bazie danych. Schemat przetwarzania i przepływu danych w procesie generowania elementarnych obiektów przedstawiono na rys. 2.

Wygenerowane i przechowywane w bazie danych obiekty są w następnym kroku grupowane w sposób pozwalający zestawić operacje i zabiegi obróbki dla wszystkich detali rodziny przewidzianej do obróbki w ESP. Należy podkreślić, że przy projektowaniu procesu technologicznego, opracowanego na podstawie obiektów elementarnych, uwzględniane są wszystkie detale rodziny przewidzianej do obróbki w ESP. Obiekty elementarne generowane są dla wszystkich detali rodziny.

Przyporządkowanie wygenerowanym operacjom i zabiegom parametrów maszyn i urządzeń zapisanych

w bazie danych, pozwala wybrać maszyny i urządzenia spełniające wymagania technologiczne projektowanego ESP. W kolejnym kroku uzyskane wyniki poddawane są redukcji i optymalizacji.

Użycie wyników projektowania generacyjnego, oparte o koncepcję elementarnych obiektów generowanych z plików EXPRESS do procedury wyboru urządzeń technologicznych, zwiększa zasięg integracji środowiska automatyzacji cyklu życia wyrobu – jednolitej przestrzeni informacyjnej (JPI).

Pokazanie możliwości opracowania procedury wyboru obrabiarek i urządzeń technologicznych dla projektowanego ESP, której wejściem są opisy detali w języku EXPRESS, wygenerowane z systemu CAD, a wyjściem lista obrabiarek i urządzeń technologicznych, wpisuje się w procesy automatyzacji i integracji cyklu życia wyrobu.

Proces wyboru jest sekwencją następujących kroków: uzyskanie danych o detalach w postaci plików w języku EXPRESS (CAD) – przetwarzanie plików w języku EXPRESS – uzyskanie listy elementarnych obiektów

obróbkowych – zapis do bazy danych – przetwarzanie listy elementarnych obiektów obróbkowych – uzyskanie listy operacji, zabiegów, parametrów obróbki – przetwarzanie operacji i zabiegów (grupowanie) – konfrontacja grup z możliwościami obrabiarek i urządzeń – uzyskanie listy obrabiarek i urządzeń technologicznych – optymalizacja – uzyskanie końcowej listy wybranych obrabiarek i urządzeń.

Standard STEP zawiera również obiekty służące do opisu struktury wyrobu. Zalecenia te można wykorzystać do projektowania procesów montażowych i wyboru urządzeń technologicznych dla procesów montażu.

## LITERATURA

- [1] Ashok G., S.S. Hebbal, R. Scachhidanand. 2015. "Recognition of Hole Feature and Stock Details of a Prismatic Part from Its STEP AP224 Neutral File". *International Journal on Emerging Technologies* 6 (1): 118–124.
- [2] Feld M. 2009. „Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [3] Gola A. 2010. „Metodyka doboru podsystemu obrabiarek w elastycznym systemie produkcyjnym klasy korpus”. Politechnika Lubelska, rozprawa doktorska.
- [4] Honczarenko J. 2008. „Obrabiarki sterowane numerycznie”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [5] Kołczin A.F. et. al. 2002. “Upravljenije žizniennym cikłom produkcji”. M: Ancharsis p. 304.
- [6] Malleswaria V.N. et. al. 2013. “Automatic Recognition of Machining Features using STEP Files”. *International Journal of Engineering Research&Technology*, vol. 2, Issue 3.
- [7] Nawara G. et. al. 2010. “Parts Classification Based on Solid Model and Neutral Networks”. *Contemporary Engineering Sciences*, vol. 3 (8): 395–417.
- [8] Palczewskij B. i in. 2015. Komputerowo zintegrowane projektowanie elastycznych systemów produkcyjnych”. Politechnika Lubelska.
- [9] PN-ISO 10303-11. Systemy integracji i automatyzacji przemysłowej. Reprezentacja i wymiana danych o produktach. Metody opisu. Język EXPRESS.
- [10] Sreeramulu D., C.S.P. Rao. 2011. “A new methodology for recognizing features in rotational parts using STEP data exchange standard”. *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 3 (6).

---

Dr hab. inż. prof. Jerzy Stamirowski – Katedra Automatyki i Robotyki Wydziału Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, e-mail: j.stamirowski@tu.kielce.pl