

KOMPUTEROWO WSPOMAGANY DOBÓR OBRABIAREK W ESP CZĘŚCI KLASY KORPUS Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU <<OPTSELECT>>

Arkadiusz GOLA, Antoni ŚWIC

Streszczenie: W artykule zaprezentowano metodykę komputerowo wspomaganego doboru obrabiarek w elastycznym systemie produkcyjnym części klasy korpus z wykorzystaniem programu komputerowego <<OPTSELECT>>. Program umożliwia kompleksowy (w sensie jakościowym i ilościowym) dobór obrabiarek dedykowanych do obróbki określonej rodziny części klasy korpus, minimalizując koszt zakupu i serwisu obrabiarek oraz czas obróbki części w projektowanym ESP.

Słowa kluczowe: dobór obrabiarek, elastyczny system produkcyjny, system wspomaganie decyzji

1. Wprowadzenie

Obecne uwarunkowania gospodarki rynkowej, przejawiające się m.in. w skracających się cyklach życia wyrobów oraz zindywidualizowaniu potrzeb klientów, zmuszają do produkowania szerokiego asortymentu wyrobów w krótkich partiach, dostosowanych do indywidualnych upodobań klienta. Tym samym przed współcześnie projektowanymi systemami produkcyjnymi stawiane są cele w postaci wysokiej ich elastyczności, niezawodności, i efektywności [1]. Odpowiedzią na takie oczekiwania jest powstanie i rozwój elastycznych systemów produkcyjnych (ESP), które z jednej strony charakteryzują się dużą wydajnością, z drugiej zaś wysokim poziomem adaptacji do zmiennych zadań produkcyjnych [2,3].

Jednym z kluczowych problemów w zakresie projektowania elastycznych systemów produkcyjnych pozostaje zagadnienie projektowania podsystemu wytwarzania, a w szczególności dobór obrabiarek projektowanego ESP. Jest to pierwszy etap projektowania systemu, który w dużej mierze decyduje o jego efektywności. Właściwy (optymalny) dobór podsystemu obrabiarek może zarówno w znaczący sposób obniżyć nakłady inwestycyjne na budowę, jak też prowadzić do minimalizacji kosztów eksploatacji systemu, czy maksymalizacji stopnia wykorzystania maszyn. Zakupiony park maszynowy w sposób bezpośredni wpływa też na wydajność, automatyzację i poziom elastyczności całego ESP, a przy tym stanowi wyjście do projektowania pozostałych podsystemów elastycznego systemu produkcyjnego [4].

Mimo pozornej prostoty zagadnienia, wybór odpowiednich obrabiarek do projektowanego ESP jest zagadnieniem trudnym, gdyż na decyzje doboru wpływ ma duża różnorodność i liczba parametrów, a także złożoność założeń projektowych. Można przyjąć, iż głównym celem jest dobranie takich obrabiarek, które będą dawać pewność, że są w stanie obrabiać rodzinę przedmiotów o wymaganej w dokumentacji technicznej jakości, z wymaganą wydajnością i przy odpowiedniej opłacalności [5]. W konsekwencji

problematyka doboru podsystemu obrabiarek sprowadza się do znalezienia takiego rozwiązania (tj. określenia rodzaju i ilości obrabiarek stosowanych w ESP), które stanowić będzie optimum dla przyjętych założeń projektowanego systemu.

Problematyka komputerowo wspomaganego doboru obrabiarek, począwszy od końca lat 80-tych XX wieku, stała się jednym z ważniejszych obszarów badawczych w zakresie projektowania i zwiększenia efektywności systemów produkcyjnych. Wynikiem prowadzonych prac było powstanie wielu rozwiązań bazujących m.in. na metodach programowania całkowitoliczbowego [6,7], metodach macierzowych i teorii grafów [8], algorytmach heurystycznych [9], systemach ekspertowych [10], metodach należących do teorii zbiorów rozmytych [5,11], sztucznych systemach odpornościowych [12], algorytmach genetycznych [7], algorytmach mrówkowych [13], metodach należących do tzw. amerykańskiej szkoły wielokryterialnego podejmowania decyzji (*Multi-criteria decision analysis – MCDA*) takich jak: programowanie celowe (*Goal programming*) [12,14], sieciowa analiza procesów (ANP) [15], analiza hierarchiczna procesów [15,16,17] PROMETHEE [17], ELECTRE [18], a także metodach przeszukiwania losowego [19].

W niniejszej pracy zaprezentowano koncepcję komputerowo wspomaganego doboru obrabiarek w ESP części klasy korpus z wykorzystaniem autorskiego programu <<OPTSELECT>> opartego na metodyce realizującej proces doboru z wykorzystaniem ewolucyjnego systemu analizy wielokryterialnej <ESAW>.

2. Ogólny algorytm metodyki doboru obrabiarek w ESP części klasy korpus

Program komputerowego wspomaganego doboru obrabiarek w ESP części klasy korpus <<OPTSELECT>> został opracowany na bazie metodyki doboru zaprezentowanej w pracach [20,21]. Dobór realizowany jest poprzez realizację algorytmu składającego się z czterech etapów przedstawionych na rys. 1.

W etapie pierwszym następuje zapis danych o obrabiarkach spośród których realizowany będzie proces doboru $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\} = \{o_i\}$, częściach, których obróbka będzie realizowana w projektowanym ESP $W = \{w_1, w_2, \dots, w_t\} = \{w_a\}$ oraz opracowanie i zapis procesu technologicznego wyrobu syntetycznego (WS).

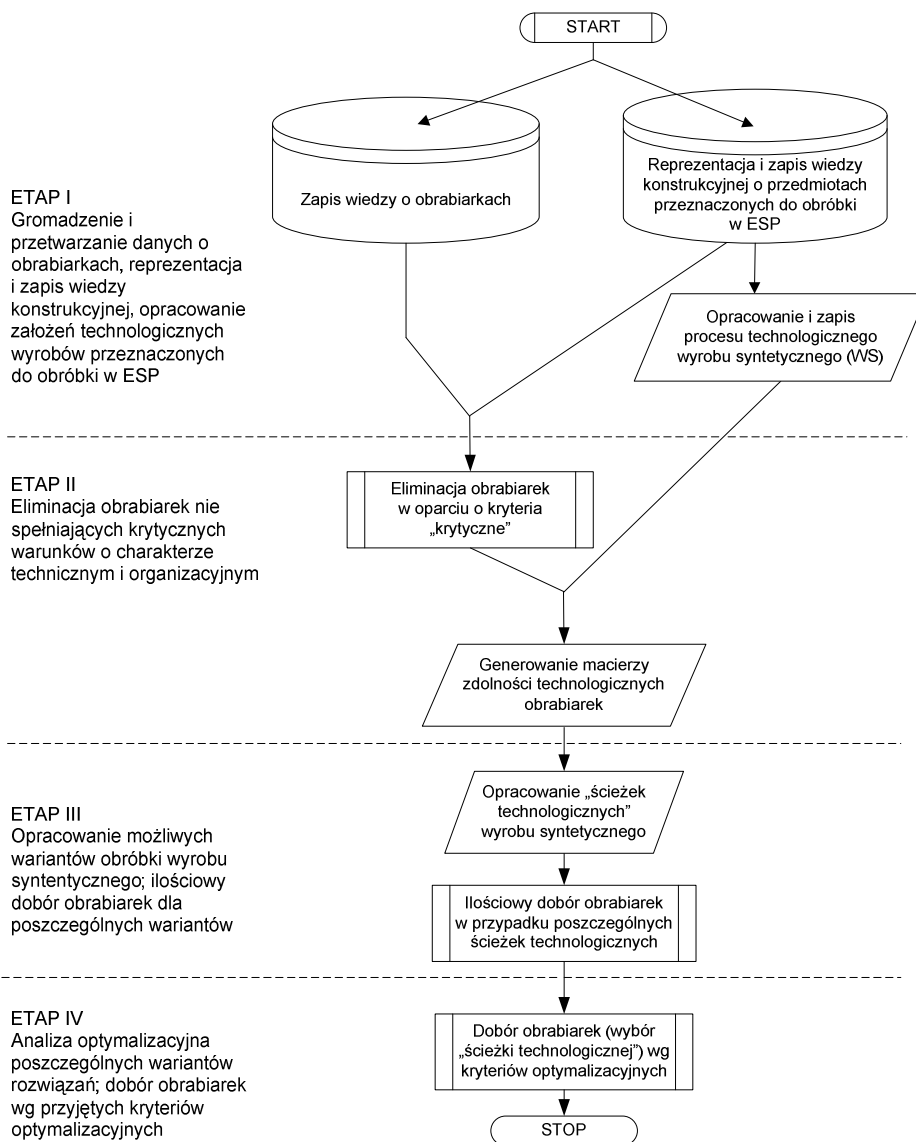
W etapie drugim następuje eliminacja ze zbioru O tych obrabiarek, które nie spełniają warunków krytycznych w procesie doboru. W szczególności eliminowane są te maszyny technologiczne których:

1. Parametry techniczne uniemożliwiają obróbkę wyrobów ze zbioru W ,
2. Nie spełniają wymagań (ograniczeń) narzuconych przez projektanta systemu,
3. Nie posiadają zdolności technologicznej realizacji żadnego z zabiegów w procesie technologicznym wyrobu syntetycznego.

Obrabiarki spełniające założenia krytyczne zapisywane są w zbiorze maszyn technologicznych $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\} = \{x_k\}$. W oparciu o zbiór X oraz przebieg procesu technologicznego wyrobu syntetycznego generowana jest [0-1] macierz zdolności technologicznych obrabiarek A_{kj} , określająca, które z obrabiarek posiadają zdolność realizacji określonych zabiegów występujących w procesie technologicznym WS.

W etapie trzecim następuje generowanie ścieżek technologicznych oraz ilościowy dobór obrabiarek w przypadku z każdej z otrzymanych ścieżek. Ścieżki technologiczne określają możliwe drogi przejścia wyrobu syntetycznego przez system, tj. kolejne obrabiarki, na których odbywać się może obróbka WS. Ścieżki technologiczne, wraz z wynikiem ilościowego doboru obrabiarek, realizowanego z wykorzystaniem metody bilansowania

obciążenia poszczególnych maszyn produkcyjnych zadaniami produkcyjnymi stanowią rozwiązania poddawane ocenie w etapie czwartym metodyki.



Rys. 1. Ogólny algorytm metodyki doboru obrabiarek w ESP części klasy korpus [20,21]

Ostatnim z kroków w procesie doboru pozostaje wybór najlepszego, z punktu widzenia przyjętych kryteriów oceny rozwiązań. Jako kryteria optymalizacji rozwiązań (funkcje celu) przyjęto:

- 1) Minimalizację łącznego kosztu zakupu i serwisu obrabiarek (w ujęciu rocznym) określanego formułą (1):

$$F_2(M_\mu) = \sum_{k=1}^m \{L_k [(C_k * a_{ok}) + k_{sk}]\} \rightarrow \min \quad (1)$$

gdzie: L_k – liczba obrabiarek k (będąca wynikiem ilościowego doboru obrabiarek,
 C_k – całkowita cena zakupu obrabiarki k , a_{ok} – roczna stopa amortyzacji obrabiarki
 k , k_{sk} – średni roczny koszt serwisu obrabiarki k .

2) Minimalizację długości cyklu produkcyjnego wyrobu syntetycznego (z wyłączeniem czasu transportu i magazynowania międzyoperacyjnego) określanego zależnością:

$$F_1(M_\mu) = \{[\max(t_{wnk}; t_{wpk}) + t_{1k}] + \sum_{j=2}^z \{\lambda * \max(t_{wnk}; t_{wpk}) + [(1 - \lambda) * t_{wnk}] + t_{jk}\}\} \rightarrow \min \quad (2)$$

gdzie: wartość λ przyjmuje wartości:

$$\lambda = \begin{cases} 0, & \text{gdy zabieg } \delta_j \text{ jest realizowany na tej samej obrabiarce co zabieg } \delta_{j-1} \\ 1, & \text{gdy zabieg } \delta_j \text{ jest realizowany na innej obrabiarce niż zabieg } \delta_{j-1} \end{cases}$$

t_{wnk} – czas zmiany narzędzia „od wióra do wióra” na obrabiarce k , t_{wpk} – czas zmiany palety technologicznej na obrabiarce k , t_{1k} – czas jednostkowy realizacji pierwszego zabiegu w procesie technologicznym wyrobu syntetycznego na obrabiarce k , t_{jk} – czas jednostkowy realizacji zabiegu j na obrabiarce k .

Do rozwiązania zadania optymalizacji zastosowano Ewolucyjny System Analizy Wielokryterialnej <ESAW> wykorzystujący wiele różnych metod współdziałających ze sobą, który umożliwia generowanie jednego rozwiązania lub podzbioru o niewielkiej liczności rozwiązań optymalnych w sensie Pareto, mało wrażliwych na zmianę preferencji kryteriów przyjętych przez ekspertów.

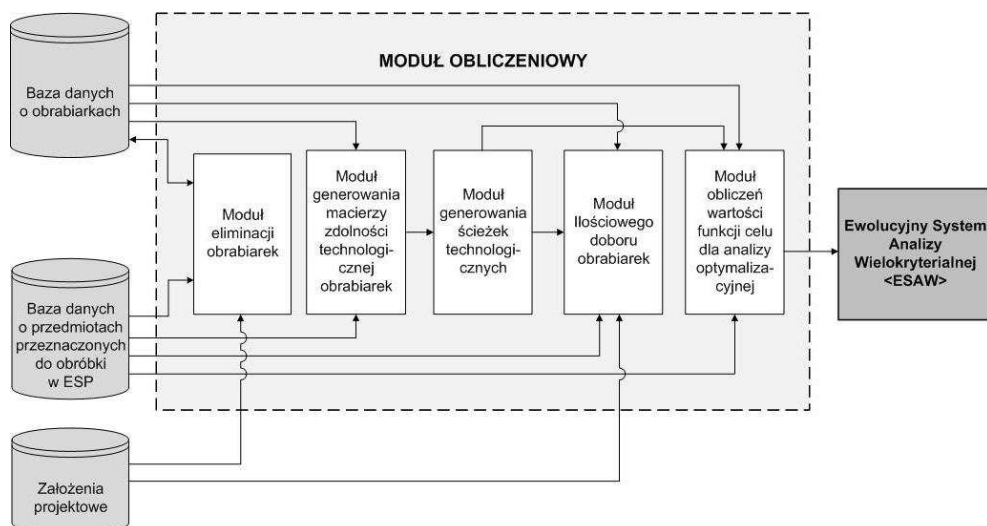
Wynikiem otrzymywanym w konsekwencji realizacji procedury doboru jest rozwiązanie w postaci jednej lub większej ilości ścieżek technologicznych wraz z odpowiadającą jej (im) wektorem (wektorami) ilościowego doboru obrabiarek. Tym samym rozwiązanie wskazuje jednocześnie rodzaj (typ) i ilość obrabiarek, które są w stanie obrócić wszystkie z wyrobów klasy korpus przeznaczonych do obróbki w systemie w przewidzianych ilościach, spełniają wymagania narzucone przez projektanta systemu oraz stanowią optimum z punktu widzenia kryterium kosztu zakupu i serwisu maszyn oraz długości cyklu obróbki wyrobu w projektowanym elastycznym systemie produkcyjnym.

3. Struktura i funkcje programu komputerowego wspomagającego dobór obrabiarek w ESP części klasy korpus

Opracowany na bazie koncepcji metodyki doboru obrabiarek w ESP części klasy korpus, zaprezentowanej w pkt. 2, program komputerowy <<OPTSELECT>> posiada zdolność kompleksowego gromadzenia i przetwarzania danych, w sposób umożliwiający optymalny (przy przyjętych założeniach) dobór obrabiarek w projektowanym ESP. Struktura programu, wraz z oznaczeniem strumieni przepływu danych, została przedstawiona na rys. 2.

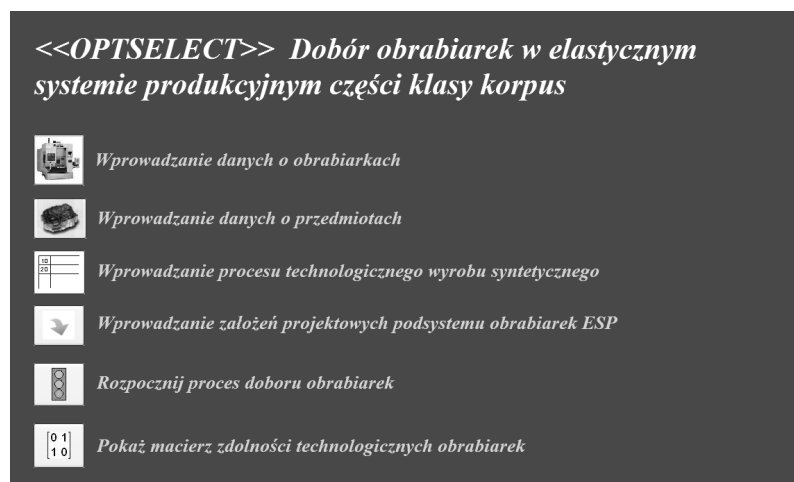
Całość programu została opracowana z wykorzystaniem systemu zarządzania bazami danych MS ACCESS (moduł bazodanowy, moduł eliminacji obrabiarek, moduł generowania macierzy zdolności technologicznych obrabiarek) oraz programu do obliczeń inżynierskich MATLAB (moduł generowania ścieżek technologicznych, moduł ilościowego

doboru obrabiarek, moduł obliczeń wartości funkcji celu do analizy optymalizacyjnej). Ewolucyjny System Analizy Wielokryterialnej <ESAW>, oprogramowany w języku FORTRAN, stanowi niezależny moduł umożliwiający znalezienie rozwiązania (lub rozwiązań) najlepszych przy przyjętych założeniach kryteriów optymalizacyjnych. Wymiana informacji pomiędzy poszczególnymi modułami jest realizowana poprzez bezpośredni import danych.



Rys. 2. Struktura programu wspomagającego dobór podsystemu obrabiarek w elastycznym systemie produkcyjnym części klasy korpus <<OPTSELECT>>

Obsługa programu rozpoczyna się z wykorzystaniem panelu głównego użytkownika systemu, z którego przechodzi się bezpośrednio do poszczególnych modułów programu <<OPTSELECT>>. Interfejs panelu głównego programu został pokazany na rys. 3.



Rys. 3. Widok panelu głównego programu <<OPTSELECT>>

3.1. Baza danych o obrabiarkach

Informacje o obrabiarkach biorących udział w procesie doboru są gromadzone w bazie danych opracowanej w systemie MS Access. Uruchomienie bazy danych jest realizowane z poziomu panelu głównego programu <<OPTSELECT>> z wykorzystaniem przycisku „Wprowadzanie danych o obrabiarkach” (rys.3). Przycisk uruchamia formularz umożliwiający wprowadzanie danych o obrabiarkach (rys. 4). Formularz zapisu danych o obrabiarkach poprzez wykorzystanie procedur zdarzeń (programy w języku *Visual Basic for Application*) ma charakter formularza dynamicznego, tzn. że pola odpowiadające danym o charakterze opcjonalnym są aktywne tylko w przypadku zaznaczenia odpowiedniej opcji dla powiązanego argumentu.

Baza danych: OBRABIARKI

Nazwa obrabiarki: Centrum obróbkowe
Typ obrabiarki: VF-3APC
Nazwa producenta: Haas
Identyfikator obrabiarki: 2 (nadawany automatycznie)

Sterowana numerycznie?: TAK NIE

Systemy sterowania obrabiarki:
System sterowania: Haas
Osie SN: X, Y, Z

Położenie osi wrzeciona: pionowe
Zakres prędkości obrotowych wrzeciona: od: 0 do: 7500 obr/min
Maksymalny moment obrotowy wrzeciona: 102 Nm
Moc wrzeciona obrabiarki: 15 kW
Zakres posuwu wrzeciona/stofu:
W osi X: od: 0 do: 1016 mm
W osi Y: od: 0 do: 508 mm
W osi Z: od: 0 do: 635 mm

Wyjdź

Rys. 4. Formularz wprowadzania danych o obrabiarkach (fragment)

Wprowadzone dane zapisywane są w jednej tabeli podstawowej (tabela: *Obrabiarki*), siedmiu tabelach dodatkowych, gdzie tworzone są listy odpowiednich, powtarzalnych elementów (np. systemy sterowania, osie sterowane numerycznie, itd.) oraz pięciu tabelach łącznikowych, w których są przechowywane wartości kluczy podstawowych tabel połączonych relacjami wiele do wielu.

3.2. Baza danych o przedmiotach przeznaczonych do obróbki i założeniach projektowych podsystemu obrabiarek ESP

Baza danych o przedmiotach przeznaczonych do obróbki w ESP, podobnie jak baza danych o obrabiarkach została opracowana w systemie MS Access. Jej uruchomienie, umożliwiające wprowadzanie danych o charakterze konstrukcyjnym, jest realizowane z poziomu formularza głównego programu poprzez naciśnięcie przycisku „Wprowadzanie danych o przedmiotach” (rys. 3).

Baza danych w której realizowany jest zapis wiedzy konstrukcyjnej o przedmiotach

przeznaczonych do obróbki w ESP ma strukturę trójpoziomową. Uruchomienie bazy danych powoduje otwarcie głównego formularza bazy danych, przy pomocy którego istnieje możliwość wprowadzenia danych o charakterze informacyjnym definiujących przedmiot przeznaczony do obróbki – rys. 5.

Katalog wyrobów przeznaczonych do obróbki w ESP

Numer identyfikacyjny w bazie: (nadawany automatycznie)

Numer katalogowy części:

Nazwa części:

Wymiary gabarytowe półfabrykatu:

Długość (L):	<input type="text" value="790"/>	mm
Szerokość (B):	<input type="text" value="700"/>	mm
Wysokość (H):	<input type="text" value="800"/>	mm

Dystans konieczny dla zamocowania przedmiotu:

W osi długości wyrobu:	<input type="text" value="0"/>	mm
W osi szerokości wyrobu:	<input type="text" value="110"/>	mm
W osi wysokości wyrobu:	<input type="text" value="150"/>	mm

Masa półfabrykatu: kg

Roczny program produkcyjny: szt.

Rys. 5. Formularz główny wprowadzania danych o przedmiotach przeznaczonych do obróbki w ESP (fragment)

Korzystając z ww. formularza użytkownik ma również możliwość zdefiniowania wszystkich niezbędnych bazowych stron obróbki w przypadku kolejnych części wprowadzanych do systemu. Definiowanie poszczególnych obiektów przeznaczonych do obróbki w wyrobie jest możliwe po przejściu do formularza strony obróbki i wciśnięciu przycisku „Wprowadź nowy obiekt obróbki”.

Obok możliwości zapisu wiedzy konstrukcyjnej o wyrobach przeznaczonych do obróbki w ESP baza danych o przedmiotach daje możliwość zapisu opracowanego procesu technologicznego dla wyrobu syntetycznego. Wprowadzanie danych do systemu odbywa się z poziomu formularza otwieranego za pomocą przycisku „Wprowadzanie procesu technologicznego wyrobu syntetycznego”, znajdującego się na panelu głównym programu <<OPTSELECT>> (rys. 3). Dane o procesie technologicznym są zapisywane w tabeli *Technologia*, powiązanej relacjami z tabelami, w których zapisywane są dane o obiektach obrabianych w systemie. Dzięki temu wprowadzanie danych podstawowych dotyczących poszczególnych zabiegów nie wymaga ręcznego wpisywania danych, lecz wyboru odpowiednich opcji z list rozwijanych (rys. 6).

Przed rozpoczęciem procesu doboru obrabiarek, użytkownik korzystający z programu <<OPTSELECT>> powinien również wprowadzić informacje o założeniach projektowych związanych z doбором obrabiarek. Wprowadzanie założeń projektowych odbywa się za pomocą formularza uruchamianego przyciskiem *Wprowadzanie założeń projektowych podsystemu obrabiarek ESP*, znajdującego się na panelu głównym programu <<OPTSELECT>> - rys. 3. Założenia projektowe są zapisywane w jednowierszowej (jedno-rekordowej) tabeli *założenia_projektowe*, powiązanej relacjami (przy pomocy czterech tabel łącznikowych) z odpowiednimi tabelami baz danych o obrabiarkach i przedmiotach obrabianych.

Proces technologiczny wyrobu syntetycznego

1	Frezować	zgrubnie	plaszczynę	P6	Pokaż zabieg
2	Docierać Dokładzać	na gotowo	plaszczynę	P5	Pokaż zabieg
3	Frezować Gładzić	na gotowo	plaszczynę	P2	Pokaż zabieg
4	Gwintować Polerować	na gotowo	plaszczynę	P3	Pokaż zabieg
5	Przeciągać Rozwiercać	na gotowo	plaszczynę	P4	Pokaż zabieg
6	Strugać Szlifować	zgrubnie	otwór	O17	Pokaż zabieg
7	Toczyć Wiercić	na gotowo	plaszczynę	P6	Pokaż zabieg
8	Wytaczać	na gotowo	plaszczynę	P1	Pokaż zabieg
9	Wiercić	zgrubnie	otwór	O1	Pokaż zabieg
10	Wiercić	na gotowo	otwór	O2	Pokaż zabieg
11	Gwintować	na gotowo	otwór	O1	Pokaż zabieg
12	Mutaref	zgrubnie	otwór	P6	Pokaż zabieg

Podgląd obiektów typu Plaszczyna Podgląd obiektów typu Otwór Podgląd obiektów typu Kanałek

Rys. 6. Formularz zapisu procesu technologicznego wyrobu syntetycznego

3.3. Moduł eliminacji obrabiarek i generowania macierzy zdolności technologicznej

Pierwszy z etapów procesu doboru obrabiarek w ESP części klasy korpus, w programie <<OPTSELECT>> jest realizowany w module eliminacji obrabiarek opracowanym w środowisku programu zarządzania bazami danych MS Access. Proces eliminacji obrabiarek i generowania macierzy zdolności technologicznych obrabiarek jest realizowany poprzez uruchomienie grupy połączonych ze sobą tabelami dwudziestu dwu kwerend pobierających dane, tworzących tabele, aktualizujących i dołączających dane oraz usuwających istniejące dane, których zadaniem jest „odfiltrowanie” odpowiednich rekordów z tabeli *Obrabiarki* i usunięcie pozycji nie spełniających kryteriów doboru oraz utworzenie pełniącej funkcję macierzy zdolności technologicznej obrabiarek A_{kj} . Po zakończeniu procesu eliminacji istnieje możliwość zarówno przejrzania wykazu obrabiarek pozostałych w bazie po etapie eliminacji, jak też obejrzenia macierzy zdolności technologicznej obrabiarek, zapisanej w programie <<OPTSELECT>> w postaci tabeli zero jeden, której ogólny widok został przedstawiony na rys. 7.

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23
1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1
1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1
1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0

Rys. 7. Wygenerowana macierz zdolności technologicznych obrabiarek w programie <<OPTSELECT>> (przykład)

3.4. Moduł generowania ścieżek technologicznych

Celem nadrzędnym modułu generowania ścieżek technologicznych jest opracowanie ścieżek technologicznych w oparciu o wygenerowaną w programie MS Access macierz zdolności technologicznej obrabiarek. Moduł ten został oprogramowany w środowisku MATLAB i składa się z programu nadrzędnego i dwóch funkcji podrzędnych. Moduł uruchamiany jest plikiem OPTSELECT_2.m realizującym kolejno moduły generowania ścieżek technologicznych, ilościowego doboru obrabiarek i obliczenia wartości funkcji celu dla poszczególnych ścieżek technologicznych. Przykład działania modułu generowania ścieżek technologicznych został pokazany na rys. 8.

```
macierz =  
1 0 1 1  
1 1 0 1  
1 0 1 1  
0 1 1 0  
0 1 0 0  
1 0 0 1  
1 1 0 1  
1 0 1 1  
  
sciezki =  
1 1 1 2 2 1 1 1  
1 1 1 2 2 4 4 4  
4 4 4 2 2 1 1 1  
4 4 4 2 2 4 4 4
```

Rys. 8. Wynik działania algorytmu generowania ścieżek technologicznych (przykład)

3.5. Moduł ilościowego doboru obrabiarek

Ilościowy dobór obrabiarek dla ścieżek technologicznych wygenerowanych przez moduł opisany w pkt.3.4 jest realizowany przez moduł ilościowego doboru obrabiarek opracowany w systemie MATLAB. Celem modułu jest dokonanie (w przypadku każdej z wygenerowanych ścieżek technologicznych) bilansu obciążenia poszczególnych maszyn technologicznych w oparciu o ich parametry techniczno-organizacyjne oraz dane dotyczące parametrów obróbki poszczególnych obiektów. Dane zapisane w bazie danych, niezbędne do realizacji zadania ilościowego doboru obrabiarek są importowane bezpośrednio z programu MS Access po uruchomieniu procedury ilościowego doboru obrabiarek. Wynikiem działania funkcji doboru ilościowego jest macierz określająca ilość obrabiarek niezbędnych do zrealizowania zakładanego planu produkcji w przypadku wyboru każdej ze ścieżek technologicznych - rys. 9.

```
dobor_ilosciowy =  
2 1 0 0  
1 1 0 1  
1 1 0 1  
0 1 0 3
```

Rys. 9. Wynik realizacji funkcji ilościowego doboru obrabiarek (przykład)

3.6. Moduł obliczania wartości funkcji celu

Ostatnim z modułów wchodzących w skład modułu obliczeniowego jest moduł obliczania wartości funkcji celu. Jego zadaniem jest kalkulacja wartości funkcji celu $F_1(M_{\mu})$ i $F_2(M_{\mu})$, zgodnie z formułami (1) i (2) zaprezentowanymi w pkt. 2. Moduł ten, opracowany w środowisku MATLAB, podobnie jak moduły zaprezentowane powyżej jest zintegrowany z bazami danych systemu <<OPTSELECT>> oraz pozostałymi modułami wchodzącymi w skład modułu obliczeniowego. Struktura modułu obliczania wartości kryteriów optymalizacji celu została oparta na dwóch funkcjach zapisanych w plikach ag_F1.m i ag_F2.m. Wyniki obliczeń prezentowanego w niniejszym punkcie modułu są generowane w postaci przedstawionej na rys. 10.

F1 (M) =	F2 (M) =
5105.81	91167.6
4981.33	96347.9
4710.81	118458.8
5032.41	107349.0

Rys. 10. Wynik realizacji funkcji obliczeń kryterium optymalizacji: a) w przypadku kryterium $F_1(M_{\mu})$, b) w przypadku kryterium $F_2(M_{\mu})$

3.7. Ewolucyjny system analizy wielokryterialnej <ESAW>

Ewolucyjny system analizy wielokryterialnej jest programem komputerowym umożliwiającym realizację procesu wartościowania rozwiązań według zdefiniowanych uprzednio kryteriów optymalizacji. Komputerowy system <ESAW> został opracowany i oprogramowany w Katedrze Podstaw Techniki Politechniki Lubelskiej i stanowi niezależny moduł programu <<OPTSELECT>>. Niezależność systemu <ESAW> oznacza, iż nie jest on składową częścią programu wspomagającego dobór obrabiarek, lecz stanowi oddzielny program realizujący zadanie optymalizacji wielokryterialnej.

Komunikacja z systemem odbywa się za pomocą klawiatury komputera, z której są wprowadzane dane i odpowiednie komendy. Realizacja procesu analizy wielokryterialnej rozpoczyna się od wprowadzenia danych w postaci wartości kryteriów wartościujących (funkcji celu), w przypadku każdego z uzyskanych rozwiązań, poprzez kolejne kroki analizy zgodnie z algorytmem przedstawionym w pozycji [23]. Jako ostateczny wynik użytkownik uzyskuje numery rozwiązań kompromisowych przy zadanych wartościach wag kryteriów co pozwala na wyłonienie rozwiązania preferowanego (najlepszego). Przebieg procedury analizy doboru widoczny jest na ekranie komputera, jak również możliwy jest wydruk historii prowadzonej analizy.

4. Podsumowanie

Problematyka doboru obrabiarek w wielomaszynowych systemach wytwarzania jest jednym z bardziej aktualnych zagadnień badawczych. Biorąc pod uwagę, że przy podejmowaniu decyzji o zakupie obrabiarek stosunek kryteriów obiektywnych do subiektywnych wynosi 20/80 [5], rodzi się potrzeba poszukiwania rozwiązań

wspomagających projektanta w podejmowaniu decyzji o wyborze odpowiednich maszyn technologicznych minimalizujących subiektywizm podejmowanej decyzji.

W niniejszym opracowaniu zaprezentowano koncepcję doboru obrabiarek w elastycznym systemie produkcyjnym części klasy korpus z wykorzystaniem autorskiego programu <<OPTSELECT>>, opartą na metodyce realizującej w sposób kompleksowy dobór obrabiarek przy założeniu minimalizacji kosztu zakupu i serwisu obrabiarek oraz czasu obróbki wyrobów w projektowanym ESP. Przy opracowaniu programu celem nadrzędnym było, aby był on programem dającym możliwość praktycznego wykorzystania w przedsiębiorstwach przemysłowych. Tym samym starano się aby był on przyjazny dla użytkowników nawet o niewielkim doświadczeniu w obsłudze programów bazodanowych i programów do obliczeń inżynierskich. W konsekwencji oprócz opracowania struktury i programów realizujących proces doboru, duży nacisk został położony na graficzną stronę oprogramowania dzięki czemu użytkownik z niego korzystający ma możliwość realizacji procesu doboru bez konieczności zapoznawania się z zasadami funkcjonowania oprogramowania wykorzystanego do opracowania systemu <<OPTSELECT>>. Oprócz tego do głównych zalet zastosowanego programu należą:

- Możliwość kompleksowej realizacji procesu doboru obrabiarek (tj. od wprowadzenia danych do otrzymania rozwiązania finalnego),
- Możliwość otrzymania optymalnego lub zbliżonego do optymalnego rozwiązania w postaci jakościowego i ilościowego zbioru obrabiarek przeznaczonych do obróbki określonej rodziny części klasy korpus w projektowanym elastycznym systemie produkcyjnym,
- Możliwość wprowadzenia indywidualnych ograniczeń i preferencji użytkownika w procesie doboru,
- Krótki czas realizacji procesu doboru,
- Prostota interpretacji otrzymanych wyników,
- Możliwość analizy kolejnych kroków procesu doboru,
- Uniwersalność opracowanego oprogramowania – rozumiana jako możliwość zastosowania w przypadku projektowania podsystemów wytwarzania elastycznych systemów produkcyjnych dedykowanych do obróbki dowolnej rodziny części klasy korpus.

Literatura

1. Borkowski S., Ulewicz R.: Zarządzanie produkcją. Systemy produkcyjne, Oficyna Wydawnicza „Humanitas”, Sosnowiec, 2009.
2. Krzyżanowski J.: Wprowadzenie do elastycznych systemów wytwórczych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2005.
3. Zawadzka L.: Współczesne problemy i kierunki rozwoju elastycznych systemów produkcyjnych, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2007.
4. Borenstein D., Becker J.L., Santos E.R.: A Systemic and Integrated Approach to Flexible Manufacturing System Design, Integrated Manufacturing Systems, Vol. 10, No. 1, 1999, pp. 6-14.
5. Honczarenko J., Słaby I.: Metodyka doboru obrabiarek skrawających, Mechanik, Nr 3/2009, s. 166-173.

6. Atmani A., Lashkari R.S.: A Model of Machine-Tool Selection and Operations Allocation in Flexible Manufacturing System, *International Journal of Production Research*, Vol. 36, No. 5, 1998, pp. 1339-1349.
7. Moon C., Lee M., Seo Y., Lee Y.H.: Integrated Machine Tool Selection and Operation Sequencing with Capacity and Precedence Constraints Using Genetic Algorithm, *Computer Industrial Engineering*, Vol. 43, Issue 3, 2002, pp. 605-621.
8. Rao R.V.: Machine Group Selection in a Flexible Manufacturing Cell Using Diagraph and Matrix Methods, *International Journal of Industrial Systems Engineering*, Vol. 1, No. 4, 2006, pp. 502-518.
9. Chen M.: A Heuristic for Solving Manufacturing Process and Equipment Selection Problems, *International Journal of Production Research*, Vol. 37, Issue 2, 1999, pp. 359-374.
10. Tabucanon M.T., Batanov D.N., Verma D.K.: Decision Support System for Multicriteria Machine Selection for Flexible Manufacturing Systems, *Computers in Industry*, Vol. 25, 1994, pp. 523-538.
11. Önüt S., Kara S.S., Efeendigil T.: A Hybrid Fuzzy MCDM Approach to Machine Tool Selection, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 19, No. 4, 2008, pp. 443-453.
12. Chan F.T.S., Swarnkar R., Tiwari M.K.: Fuzzy Goal-Programming Model with an Artificial Immune System (AIS) Approach for Machine Tool Selection and Operation Allocation Problem in Flexible Manufacturing System, *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 19, 2005, pp. 4147-4163.
13. Chan F.T.S., Swarnkar R.: Ant Colony Optimization Approach to a Fuzzy Goal Programming Model for a Machine Tool Selection and Operation Allocation Problem in FMS, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 22, No. 4, pp. 353-362.
14. Rai R., Kameshwaran S., Tiwari M.K.: Machine-Tool Selection and Operation Allocation in FMS: Solving a Fuzzy Goal-Programming Model Using a Genetic Algorithm, *International Journal of Production Research*, Vol. 40, No. 3, 2002, pp. 641-665.
15. Yurdakul M.: AHP as a Strategic Decision-Making Tool to Justify Machine Tool Selection, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 146, 2004, pp. 365-376.
16. Ayağ Z., Özdemir R.G.: A Fuzzy AHP Approach to Evaluating Machine Tool Alternatives, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 17, No. 2, 2006, pp. 179-190.
17. Dagdeviren M.: Decision Making in Equipment Selection: An Integrated Approach with AHP and PROMETHEE, *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol. 19, No. 4, 2008, pp. 397-406.
18. Balaji C.M., Gurumurthy A., Kodali R.: Selection of Machine Tool for FMS Using ELECTRE III, *Automation Science and Engineering*, 2009, <http://ieeexplore.ieee.org>.
19. Mishra S., Prakash, Tiwari M.K., Lashkari R.S.: A Fuzzy Goal-Programming Model of Machine-Tool Selection and Operation Allocation Problem in FMS: A Quick Converging Simulated Annealing-Based Approach, *International Journal of Production Research*, Vol. 44, No. 1, 2006, pp. 43-76.
20. Gola A., Świć A.: Brief Preliminary Design for a Method of FMS Machine Tools Subsystem Selection, *PAMM*, Vol. 9, Issue 1, 2010, pp. 663-664.
21. Świć A. Gola A.: Elements of Design of Production Systems – Methodology of Machine Tool Selection in Casing-Class FMS, *Management and Production Engineering Review*, Vol. 1, No. 2, 2010, pp. 73-81.

22. Gola A., Świć A.: Metoda komputerowego zapisu wiedzy technicznej o wyrobach klasy korpus w kontekście doboru obrabiarek w ESP, [w:] Knosala R. (red.), Komputerowo zintegrowane zarządzanie. Tom 1, Oficyna Wyd. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2010, s. 473-481.
23. Montusiewicz J.: Ewolucyjna analiza wielokryterialna w zagadnieniach technicznych, Prace IPPT Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, 2004.

Mgr inż. Arkadiusz GOLA^{*)}

Dr hab. inż. Antoni ŚWIC, prof. PL^{**)}

Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa, Wydział Zarządzania^{*)}

Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych, Wydział Mechaniczny^{**)}

Politechnika Lubelska

20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36

tel.: (0-81) 538 44 83^{*)}, (0-81) 538 45 86^{**)}

e-mail: a.gola@pollub.pl

a.swic@pollub.pl