

Arkadiusz Gola ¹⁾, Jerzy Montusiewicz ²⁾

ZASTOSOWANIE EWOLUCYJNEGO SYSTEMU ANALIZY WIELOKRYTERIALNEJ DO WARIANTOWANIA ROZWIĄZAŃ W PROCESIE DOBORU OBRABIAREK W ESP CZĘŚCI KLASY KORPUS

Streszczenie: Jednym z kluczowych problemów w zakresie projektowania elastycznych systemów produkcyjnych (ESP) pozostaje zagadnienie projektowania podsystemu wytwarzania, a w szczególności dobór obrabiarek projektowanego ESP. 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. W niniejszym opracowaniu zaprezentowano możliwość zastosowania ewolucyjnego systemu analizy wielokryterialnej <ESAW> do wariantowania rozwiązań w procesie doboru obrabiarek ESP części klasy korpus. W szczególności przedstawiono istotę procesu doboru obrabiarek, założenia ewolucyjnego systemu analizy wielokryterialnej oraz wyniki procesu wariantowania rozwiązań dla wybranego problemu decyzyjnego.

Słowa kluczowe: dobór obrabiarek, ESP, Ewolucyjny System Analizy Wielokryterialnej, ESAW.

WSTĘP

Jednym z kluczowych problemów w zakresie projektowania elastycznych systemów produkcyjnych (ESP) 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. 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 [7].

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. Tym samym rodzi się konieczność sięgnięcia po sformalizowane metody optymalizacyjne wspomagające proces doboru obrabiarek w ESP. Biorąc pod uwagę, że dobór maszyn technologicznych najczęściej jest realizowany w oparciu

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Zarządzania, Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa.

² Politechnika Lubelska, Wydział Podstaw Techniki, Katedra Podstaw Techniki.

o więcej aniżeli jedno kryterium oceny rozwiązań – zastosowanie znajdują tu metody analizy wielokryterialnej [1, 5, 8].

W niniejszym opracowaniu zaprezentowano możliwość zastosowania ewolucyjnego systemu analizy wielokryterialnej <ESAW> do wariantowania rozwiązań w procesie doboru obrabiarek ESP części klasy korpus. W szczególności przedstawiono istotę procesu doboru obrabiarek, założenia ewolucyjnego systemu analizy wielokryterialnej oraz wyniki procesu wariantowania rozwiązań dla wybranego problemu decyzyjnego.

PRZEBIEG PROCESU DOBORU OBRABIAREK W ESP CZĘŚCI KLASY KORPUS

Proces doboru obrabiarek w ESP części klasy korpus realizowany jest w oparciu o założenia metodyki doboru zaprezentowanej w pracach [1, 6]. Dobór realizowany jest poprzez realizację algorytmu składającego się z czterech etapów przedstawionych na rys. 1

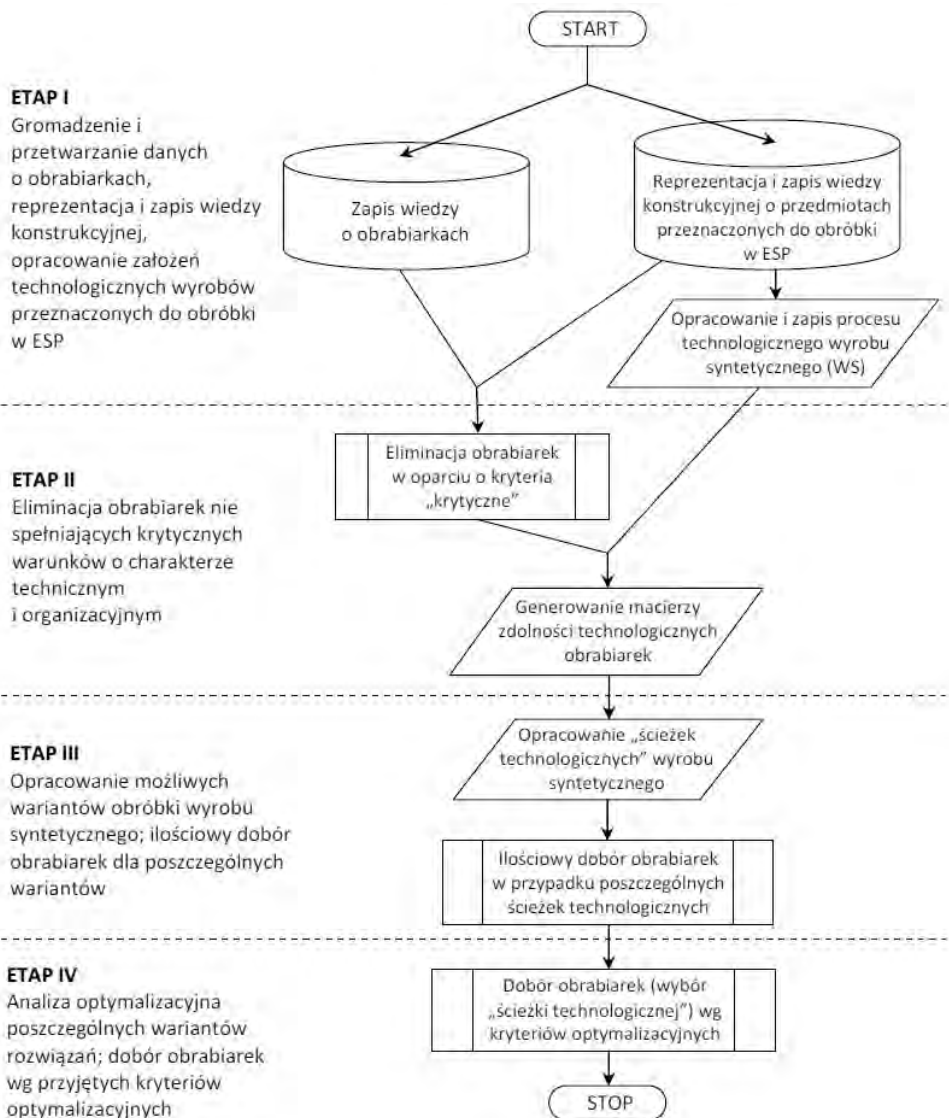
W etapie pierwszym następuje zapis danych o obrabiarkach, spośród których realizowany będzie proces doboru $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\} = \{o_i\}$, częściach, których obróbka będzie realizowana w projektowanym ESP $W = \{w_1, w_2, \dots, w_t\} = \{w_a\}$ oraz opracowanie i zapis procesu technologicznego 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. Algorytm metodyki doboru obrabiarek w ESP części klasy korpus [1, 6]
Fig. 1. Algorithm of the methodology of machine tool selection in casing-class FMS [1, 6]

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:

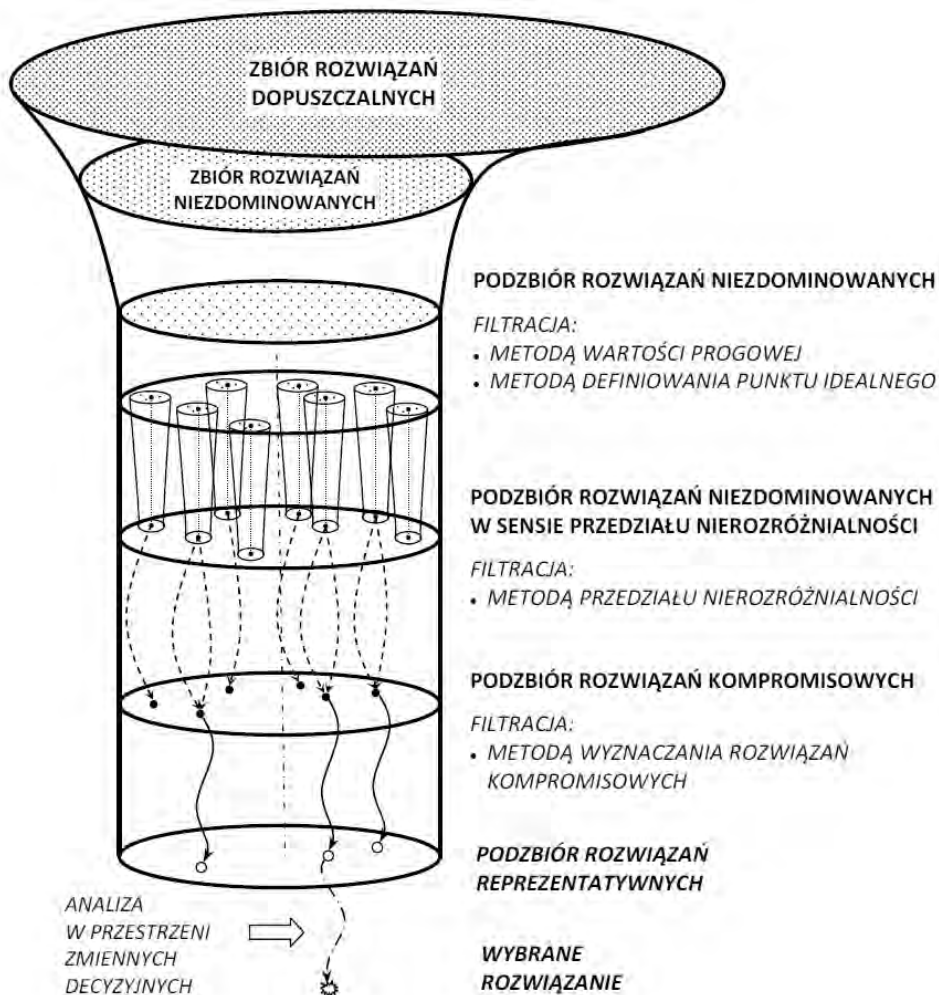
$$\lambda = \begin{cases} 0, & \text{gdy zabieg } \delta_j \text{ jest realizowany na tej samej obrabiarce co zabieg } \delta_{j-1} \\ 1, & \text{gdy zabieg } \delta_j \text{ jest realizowany na innej obrabiarce niż zabieg } \delta_{j-1} \end{cases}$$

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 .

CHARAKTERYSTYKA EWOLUCYJNEGO SYSTEMU ANALIZY WIELOKRYTERIALNEJ <ESAW>

Do rozwiązania zadania optymalizacji zdefiniowanego w punkcie 1 (etap IV) zastosowano Ewolucyjny System Analizy Wielokryterialnej <ESAW> opracowany w Katedrze Podstaw Techniki Politechniki Lubelskiej.

Ewolucyjny System Analizy Wielokryterialnej <ESAW> jest systemem, który umożliwia wyznaczanie kilkuelementowego podzbioru rozwiązań reprezentatywnych z bardzo licznego zbioru rozwiązań optymalnych w sensie Pareto (kilkadziesiąt lub nawet kilkaset elementów), a na koniec – po uwzględnieniu analizy w przestrzeni zmiennych decyzyjnych – wskazanie jednego rozwiązania preferowanego [4]. Dochodzenie do podzbioru rozwiązań reprezentatywnych nie następuje w pojedynczym akcie obliczeniowym, lecz odbywa się w sposób ewolucyjny, poprzez włączanie nowych jakościowo narzędzi do filtracji kolejno otrzymywanych podzbiorów rozwiązań niezdominowanych. Należy podkreślić, że proces filtracji jest sekwencyjny. Wynikowy podzbiór rozwiązań otrzymywany w procesie filtracji przy użyciu jednej metody jest podzbiorem wejściowym do analizy kolejną metodą (rys. 2).



Rys. 2. Graficzna ilustracja Ewolucyjnego Systemu Analizy Wielokryterialnej <ESAW> [4]
Fig. 2. Graphic illustration of Evolutionary System of Multi-Criteria Analysis <ESAW> [4]

Procedura dochodzenia do rozwiązania najlepszego w systemie <ESAW> obejmuje następujące działania:

- 1° Wyznaczanie zbioru rozwiązań optymalnych w sensie Pareto – odrzucenie rozwiązań zdominowanych.
- 2° Wyznaczenie podzbioru rozwiązań niezdominowanych poprzez zastosowanie *Metody Wartości Progowej* (MWP) lub użycie *Metody Definiowania Punktu Idealnego* (MDPI) – odrzucenie rozwiązań tworzących punkty narożne i rozwiązań leżących w ich sąsiedztwie.

- 3° Wyznaczanie podzbioru rozwiązań niezdominowanych w sensie przedziału nierozróżnialności poprzez filtrację *Metodą Przedziałów Nierozróżnialności* (MPN) – ortogonalne stożki odrzucają wybrane rozwiązania znajdujące się na całej hiperpowierzchni rozwiązań niezdominowanych (efekt działania tej metody podobny jest do działania sita).
- 4° Wyznaczanie podzbioru rozwiązań kompromisowych poprzez zastosowanie *Metody Wyznaczania Rozwiązań Kompromisowych* (MWRK) – wybór nielicznego podzbioru z podzbioru rozwiązań niezdominowanych.
- 5° Wyznaczanie zbioru rozwiązań reprezentatywnych – wybór rozwiązań następuje poprzez analizę wygenerowanych wcześniej podzbiorów rozwiązań kompromisowych, które powstały przy wprowadzaniu różnych preferencji w przypadku analizowanych kryteriów.
- 6° Analiza w przestrzeni zmiennych decyzyjnych, dla których analizowane rozwiązania należą do podzbioru rozwiązań reprezentatywnych.
- 7° Wyznaczenie rozwiązania preferowanego z podzbioru rozwiązań reprezentatywnych.

Korzystając z *Ewolucyjnego Systemu Analizy Wielokryterialnej* można stosować wszystkie tworzące go metody lub tylko metody wybrane, odpowiednio do realizacji aktualnie analizowanego zadania.

PRZEBIEG PROCESU WARIANTOWANIA ROZWIĄZAŃ W PROCESIE DOBORU OBRABIAREK

Wykorzystując metodykę zgodną z algorytmem zaprezentowanym na rys. 1, zrealizowano proces doboru obrabiarek dla zadania sformułowanego w pozycji [2]. W wyniku realizacji etapów I-III otrzymano rozwiązanie w postaci 36 różnych ścieżek technologicznych $M = \{M_1, M_2, \dots, M_{36}\}$ wraz z odpowiadającymi im wartościami funkcji celu $F_1(M_\mu)$, $F_2(M_\mu)$, co zostało przedstawione w tabeli 1.

Rozkład otrzymanych rozwiązań według obliczonych wartości funkcji celu, został przedstawiony na rys. 3.

Analizę wielokryterialną przeprowadzono z wykorzystaniem systemu <ESAW> zgodnie z procedurą przedstawioną w punkcie „Charakterystyka Ewolucyjnego Systemu Analizy Wielokryterialnej <ESAW>”.

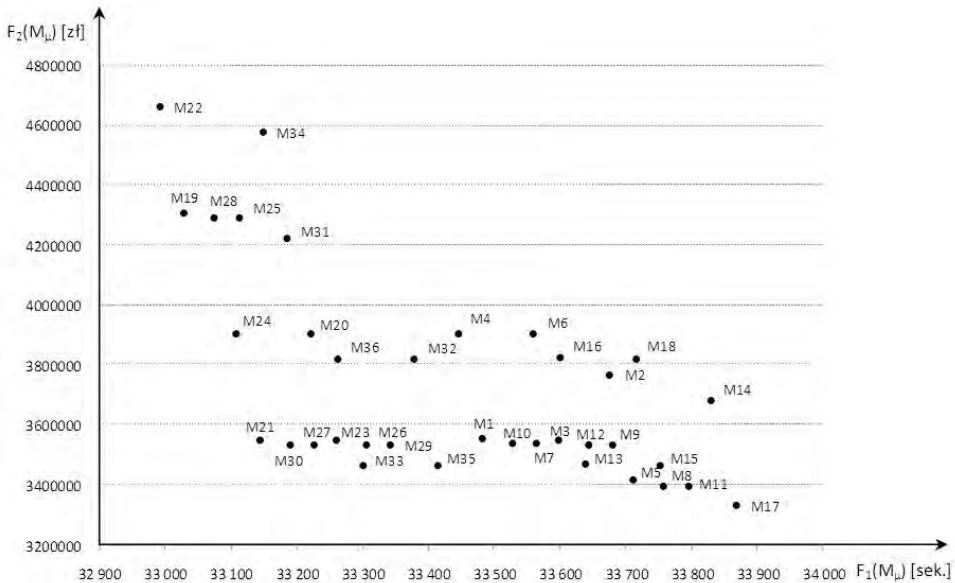
W kroku pierwszym wyznaczono rozwiązania optymalne w sensie Pareto. Zbiór ten zawierał 10 elementów. W jego skład wchodziły następujące rozwiązania: $M_5, M_8, M_{17}, M_{19}, M_{21}, M_{22}, M_{24}, M_{28}, M_{30}, M_{33}$.

W kroku drugim zastosowano selekcję *Metodą Przedziału Nierozróżnialności* wprowadzając wartość $PN = 0\%$ w przypadku kryterium $F_1(M_\mu)$ oraz $PN = 1,0\%$ w przypadku kryterium $F_2(M_\mu)$. Niezerowa wartość przedziału nierozróżnialności w przypadku kryterium $F_2(M_\mu)$ została przyjęta w związku z możliwymi niedokładnościami obliczonych wartości funkcji celu, wynikającymi z zaokrągleń i różnic kursowych występujących przy kalkulacji cen zakupu obrabiarek. W wyniku przeprowadzonej analizy metodą MPN otrzymany podzbiór został ograni-

czony do 7 elementów. Były to rozwiązania o numerach $M_5, M_{17}, M_{19}, M_{21}, M_{22}, M_{24}, M_{33}$.

Tabela 1. Wartości funkcji celu w przeprowadzonym eksperymencie doboru

Symbol (numer) rozwiązania	Wartość funkcji celu		Symbol (numer) rozwiązania	Wartość funkcji celu	
	$F_1(M_p)$ [sek.]	$F_2(M_p)$ [zł]		$F_1(M_p)$ [sek.]	$F_2(M_p)$ [zł]
M_1	33 482	3 553 054,74	M_{19}	33 029	4 306 080,63
M_2	33 675	3 765 964,99	M_{20}	33 222	3 901 027,01
M_3	33 597	3 548 251,65	M_{21}	33 144	3 548 251,65
M_4	33 445	3 905 830,10	M_{22}	32 992	4 658 855,99
M_5	33 712	3 413 189,64	M_{23}	33 259	3 548 251,65
M_6	33 560	3 901 027,01	M_{24}	33 107	3 901 027,01
M_7	33 565	3 535 561,80	M_{25}	33 112	4 288 587,69
M_8	33 758	3 395 696,70	M_{26}	33 305	3 530 758,72
M_9	33 680	3 530 758,72	M_{27}	33 227	3 530 758,72
M_{10}	33 528	3 535 561,80	M_{28}	33 075	4 288 587,69
M_{11}	33 795	3 395 696,70	M_{29}	33 342	3 530 758,72
M_{12}	33 643	3 530 758,72	M_{30}	33 190	3 530 758,72
M_{13}	33 638	3 468 319,36	M_{31}	33 185	4 221 345,26
M_{14}	33 831	3 681 229,62	M_{32}	33 378	3 816 291,64
M_{15}	33 753	3 463 516,28	M_{33}	33 300	3 463 516,28
M_{16}	33 601	3 821 094,72	M_{34}	33 148	4 574 120,62
M_{17}	33 868	3 328 454,26	M_{35}	33 415	3 463 516,28
M_{18}	33 716	3 816 291,64	M_{36}	33 263	3 816 291,64



Rys. 3. Rozkład rozwiązań wg obliczonej wartości funkcji celu
 Fig. 3. Distribution of solutions according to calculated value of target function

W kroku trzecim przeprowadzono filtrację przy użyciu *Metody Wyznaczania Rozwiązań Kompromisowych*. Zastosowano metrykę min-max oraz min-max z wagami przy różnych preferencjach analizowanych kryteriów. Wyniki analiz przedstawiono w tabeli 2. Należy zwrócić uwagę, iż w celu określenia stopnia wrażliwości poszczególnych rozwiązań, przyjęto wagi z zakresu od 0,2 do 0,8 w przypadku każdego z kryteriów.

Tabela 2. Wyniki filtracji Metodą Wyznaczania Rozwiązań Kompromisowych

Lp.	Wagi preferencji $\sum \omega_i = 1$	Pierwsze rozwiązanie kompromisowe	Podzbiór rozwiązań kompromisowych
1.	$\omega_1 = \omega_2 = 0,5$	M ₅	M ₅ , M ₃₃ , M ₂₁ ,
2.	$\omega_1 = 0,6; \omega_2 = 0,4$	M ₅	M ₅ , M ₃₃ , M ₂₁ ,
3.	$\omega_1 = 0,7; \omega_2 = 0,3$	M ₃₃	M ₃₃ , M ₅ , M ₂₁
4.	$\omega_1 = 0,8; \omega_2 = 0,2$	M ₃₃	M ₃₃ , M ₅ , M ₂₄
5.	$\omega_1 = 0,4; \omega_2 = 0,6$	M ₁₇	M ₁₇ , M ₅ , M ₃₃
6.	$\omega_1 = 0,3; \omega_2 = 0,7$	M ₁₇	M ₁₇ , M ₅ , M ₃₃
7.	$\omega_1 = 0,2; \omega_2 = 0,8$	M ₁₇	M ₁₇ , M ₅ , M ₃₃

* - rozwiązanie preferowane – występujące w każdym podzbiórze rozwiązań kompromisowych

W kroku czwartym poszukiwano podzbióru rozwiązań reprezentatywnych. Analiza wyników zamieszczonych w tabeli 2 pokazała, że rozwiązania M₅ i M₃₃ występują we wszystkich wyznaczonych podzbiórach rozwiązań, rozwiązania M₁₇ i M₂₁ wystąpiły po 3 razy, natomiast rozwiązanie M₂₄ wystąpiło jeden raz. Tym samym analiza przeprowadzona w przestrzeni zmiennych decyzyjnych pokazała, że otrzymane rozwiązania M₅ i M₃₃ charakteryzują się najmniejszą wrażliwością na zmiany wag poszczególnych kryteriów i w świetle założeń Ewolucyjnego Systemu Analizy Wielokryterialnej, są rozwiązaniami preferowanymi o takim samym stopniu ważności. O ostatecznym wyborze rozwiązania decyduje projektant w oparciu o szczegółową analizę i kryterium indywidualnych preferencji w odniesieniu do otrzymanych wartości funkcji celu.

PODSUMOWANIE

Metody komputerowego wspomaganie decyzji mają na celu umożliwienie projektantowi dokonania wśród wielu możliwości optymalnego wyboru. Jest to niesłychanie istotne, gdy jakość analizowanych wariantów rozwiązań opisana jest wieloma kryteriami, a problem decyzyjny obciążony jest dużym ryzykiem subiektywizmu przy podjęciu decyzji.

Jednym z bardziej istotnych problemów w zakresie projektowania nowoczesnych systemów produkcyjnych pozostaje kwestia odpowiedniego doboru obrabiarek (maszyn technologicznych). Biorąc pod uwagę, że przy podejmowaniu decyzji o zakupie obrabiarek stosunek kryteriów obiektywnych do subiektywnych wynosi 20/80 [3], a wybór musi nastąpić w wyniku kilku czasami przeciwstawnych kryteriów, rodzi się potrzeba poszukiwania rozwiązań wspomagających

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

W niniejszym opracowaniu zaprezentowano możliwość wykorzystania Ewolucyjnego Systemu Analizy Wielokryterialnej <ESAW> do wariantowania rozwiązań w procesie doboru obrabiarek ESP części klasy korpus. Jak pokazują wyniki przeprowadzonej analizy system <ESAW> umożliwia wybór spośród dużej liczby analizowanych rozwiązań bardzo niewielkiej liczby (a czasami tylko jednego) rozwiązań preferowanych z punktu widzenia przyjętych kryteriów oceny. Dzięki temu, że wybór oparty jest na analizie wewnętrznych właściwości zbioru rozwiązań, rozwiązania preferowane charakteryzują się „odpornością” na subiektywne kryteria oceny decydenta.

PIŚMIENNICTWO

1. Gola A., Świć A., Brief Preliminary Design for a Method of FMS Machine Tools Subsystem Selection, PAMM (2010) Vol. 9, Issue 1, pp. 663-664.
2. Gola A., Świć A., Computer Aided FMS Machine Tools Subsystem Selection – Conception of Methodology, [w:] Z.Banaszak, J.Matuszek, Applied Computer Science. Supporting Enterprise Management Processes (2009), Vol. 5, No 1, Wyd. ATH, Bielsko-Biała, s. 27-39.
3. Honczarenko J., Słaby I.: Metodyka doboru obrabiarek skrawających, Mechanik, Nr 3/2009, s. 166-173.
4. Montusiewicz J., Ewolucyjna analiza wielokryterialna w zagadnieniach technicznych, Prace IPPT Polskiej Akademii Nauk, Warszawa 2004.
5. Primose P.L., Leonard R., Selecting Technology for Investment in Flexible Manufacturing, International Journal of Flexible Manufacturing Systems (1991), Vol. 4, pp. 51-77.
6. Świć A. Gola A., Elements of Design of Production Systems – Methodology of Machine Tool Selection in Casing-Class FMS, Management and Production Engineering Review (2010), Vol. 1, No. 2, pp. 73-81.
7. Tolio T. (red.): Design of Flexible Production Systems. Methodologies and Tools, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2009.
8. Zawadzka L., Modele optymalizacji wielokryterialnej. Przykłady aplikacji, [w:] L. Zawadzka, Inżynieria systemów zarządzania, Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2002.

UTILIZATION OF THE EVOLUTIONARY SYSTEM OF MULTICRITERIAL ANALYSIS FOR DEFINING THE IMPORTANCE OF SOLUTIONS IN THE PROCESS OF BODY-CLASS PARTS FMS MACHINE TOOLS SELECTION

Summary

One of the key problems in the area of flexible manufacturing systems (FMS) design is a problem of design of manufacturing subsystem and especially the machine tools selection

in designed FMS. Although the problem seems to be simple, in fact it is difficult to solve it because of the fact of large variety and number of parameters and also brief foredesign which have influent on decision of selection. In this paper the possibility of implementation of Evolutionary System of Multicriteria Analysis (ESAW) for defining the importance of solutions in the process of casing-class FMS machine tools selection. In particular the issue of the process of machine tools selection, the essence of Evolutionary System of Multicriteria Analysis and solutions of the process of defining the importance of solutions for selected decision problem were presented.

Keywords: machine tools selection, Evolutionary System of Multi-Criteria Analysis, ESAW.