

Antoni Świć¹

KWALIFIKACJA CZĘŚCI DO OBRÓBKII W OPARCIU O ICH ZŁOŻONOŚĆ TECHNOLOGICZNĄ

Streszczenie. Opracowano nową metodę określania złożoności części stosowaną do ich kwalifikacji do obróbki w elastycznym systemie obróbkowych (ESP) bez konieczności opracowywania procesów technologicznych. Na podstawie złożoności części i złożoności granicznej systemu można określić w jakim systemie elastycznym czy konwencjonalnym części powinny być wytwarzane. Opracowaną metodę zweryfikowano na przykładzie kół zębatych wytwarzanych w Kombinacie Przemysłowym Huta Stalowa Wola.

Słowa kluczowe: złożoność części, złożoność graniczna systemu produkcyjnego, kwalifikacja części, opłacalność wytwarzania

WSTĘP

Opracowano nową metodę określania złożoności części stosowaną do ich kwalifikacji do obróbki w elastycznym systemie obróbkowym (ESP) bez konieczności opracowywania procesów technologicznych.

Znane są metody określania złożoności części, stosowane przy określaniu opłacalności ich obróbki na obrabiarkach sterowanych numerycznie, natomiast brak takich opracowań w odniesieniu do ESP. Przeprowadzona analiza wykazała, że metody te nie są w pełni miarodajne i mogą prowadzić do podejmowania błędnych decyzji, ponieważ każda z metod uwzględnia tylko określone cechy części obrabianej - brak jest metody kompleksowej; natomiast w przypadku metod uwzględniających ilość przejść narzędzia skrawającego wymagana jest znajomość technologii obróbki części.

Opracowana metoda określania technologicznej złożoności części, w celu ich kwalifikacji do obróbki w ESP, nie posiada wad metod dotychczas stosowanych w odniesieniu do obrabiarek NC.

OKREŚLENIE ZŁOŻONOŚCI TECHNOLOGICZNEJ CZĘŚCI

Złożoność technologiczna części to stopień skomplikowania przy uzyskaniu wymaganego kształtu, wymiarów, chropowatości oraz wzajemnego położeniu powierzchni części zgodnie z przyjętymi warunkami technicznymi jej obróbki na posiadanych (bazowych) urządzeniach technologicznych.

¹ Instytut Technologicznych Systemów Informatycznych, Politechnika Lubelska.

Jako parametr określający złożoność technologiczną części przyjęto jednostkowy czas ich wykonania. Uwzględniono w ten sposób: kształt powierzchni obrabianych, wymiary, ilość, chropowatość i dokładność ich wzajemnego położenia oraz rodzaj materiału obrabianego. Kształt części jest określony przez odpowiednio ukształtowane i usytuowane względem siebie powierzchnie. Wytwarzanie części poprzez skrawanie to obróbka jej poszczególnych powierzchni, w celu nadania im odpowiednich kształtów, wymiarów i wymaganej chropowatości [2, 6, 7]. Czas wykonania części jest sumą czasów wykonania powierzchni składowych.

Każda część, niezależnie od klasy, do której należy, wymiarów oraz kształtów składa się z powierzchni elementarnych. Powierzchnie te mogą być identyczne u różnych części należących do innych klas. Mogą być one jednak uzyskiwane za pomocą innej technologii. W takim przypadku, pomimo że ich kształty, wymiary oraz dokładność są identyczne, to czas wykonania, będący miarą ich złożoności technologicznej, będzie różny.

Opracowana metoda określania złożoności technologicznej części obrabianych jest metodą uniwersalną. Tok postępowania jest identyczny niezależnie od rodzaju części. Różnorodność części wymaga jednak opracowania baz danych z technologiczną złożonością elementarnych powierzchni części różnych klas.

Przeprowadzono analizę określania złożoności technologicznej w przypadku 20 kół zębatych walcowych wytwarzanych w przedsiębiorstwie przemysłowym (Kombinat Przemysłowy Huta Stalowa Wola) [3, 4].

Z typowymi powierzchniami obróbkowymi ściśle są związane zestawy typowych zabiegów technologicznych, niezbędnych do obróbki powierzchni o danym kształcie i wymaganej chropowatości.

Obliczony czas wykonania powierzchni jest sumą czasów głównych i pomocniczych wszystkich operacji i zabiegów technologicznych koniecznych do uzyskania powierzchni z półfabrykatu (obróbka zgrubna, kształtująca, wykańczająca). Obliczenia przeprowadzono w przypadku różnych wartości chropowatości powierzchni obrabianej ($R_a = 20 - 0,63 \mu\text{m}$). Jako półfabrykat przyjęto odkuwkę matrycową [2].

Czas wykonania elementarnych powierzchni części jest miarą ich złożoności technologicznej:

$$Z_i = t_{wi}, \quad (1)$$

gdzie: Z_i – złożoność technologiczna i-tej elementarnej powierzchni części,

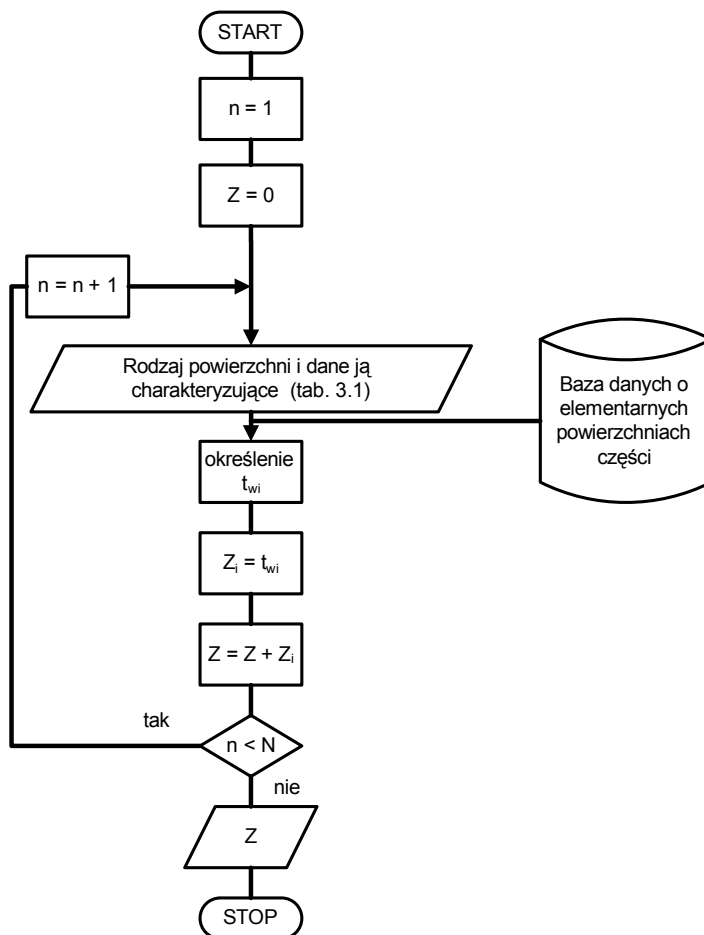
t_{wi} – czas wykonania i-tej powierzchni części.

Złożoność technologiczna całej części jest sumą złożoności technologicznych elementarnych powierzchni:

$$Z = \sum_{i=1}^n Z_i, \quad (2)$$

gdzie: Z – złożoność technologiczna części,
 Z_i – złożoność technologiczna i -tej elementarnej powierzchni części,
 i – numer powierzchni,
 n – ilość powierzchni.

Przy zastosowaniu programu, opracowanego w oparciu o algorytm przedstawiony na rys. 1, i o dane o czasach wykonania powierzchni elementarnych z bazy danych o czasach wykonania powierzchni elementarnych, określano złożoność technologiczną elementarnych powierzchni części.



Rys. 1. Schemat blokowy algorytmu określania złożoności technologicznej części: n - numer analizowanej elementarnej powierzchni części, N - ilość elementarnych powierzchni części

Fig. 1. The block pattern of the algorithm of defining the technological complexity of machine piece: n - number of analysed elementary surface of machine part, N - quantity of elementary surfaces of part

Do programu wprowadzane są dane o rodzaju powierzchni, jej wymiarach oraz chropowatości. Na podstawie tych danych program, korzystając z bazy danych, określa złożoność technologiczną elementarnej powierzchni części oraz sumuje złożoności technologiczne elementarnych powierzchni, określając w ten sposób złożoność technologiczną całej części.

OKREŚLENIE RACJONALNEGO ZAKRESU ZASTOSOWANIA SYSTEMU PRODUKCYJNEGO

Decyzja o kwalifikacji części do obróbki w systemie produkcyjnym najczęściej jest podejmowana w oparciu o czas wykonania i koszt wykonania.

Czas wykonania liczony jest od rozpoczęcia prac nad technologicznym przygotowaniem produkcji aż do dostarczenia ostatniej części do montażu (zbytu), a koszt wykonania jest sumą kosztów powstałych podczas przygotowania produkcji oraz kosztów realizacji procesu obróbki części.

Najczęściej stosowanym kryterium wyboru wariantu wykonania części jest koszt jej obróbki, zwłaszcza w odniesieniu do jednej części (jednostkowy koszt wykonania części) [1, 3, 8]. Ograniczenie do jednego kryterium (kryterium kosztu) związane jest z tym, że w praktyce w większości zakładów przemysłowych wszystkie koszty określane są w funkcji czasu wykonania części. W związku z tym, jako kryterium kwalifikacji części do obróbki w ESP przyjęto jednostkowy koszt wykonania części (K).

Proces obróbki powinien być realizowany w systemie, w którym jednostkowy koszt wykonania części będzie mniejszy.

Koszt wykonania części jest funkcją zmiennych wejściowych:

$$K = K(S, Z, P, L, O) \quad (3)$$

gdzie: K – koszt wykonania części, S – system produkcyjny, Z – złożoność technologiczna obrabianych części, P – program produkcyjny, L – liczebność partii produkcyjnej, O – warunki organizacyjne, ekonomiczne i techniczne.

W przypadku konkretnego przedsiębiorstwa o znanych warunkach organizacyjnych (O) i rozpatrywania wytwarzania części w konkretnym systemie (S) koszt wykonania części (K) zależy od jej technologicznej złożoności (Z) oraz od wielkości programu produkcyjnego (P) i liczebności partii produkcyjnej (L), a więc zależność (3) sprowadza się do:

$$K = K(Z, P, L) \quad (4)$$

Parametry (Z, P, L) (spełniające ww. zależność) określają zakres racjonalnego wytwarzania części w systemie produkcyjnym (S), w warunkach organizacyjnych, ekonomicznych i technicznych (O) rozpatrywanego przedsiębiorstwa.

Celowość obróbki części w danym systemie może być określona na podstawie złożoności technologicznej części obrabianych (Z), przy uwzględnieniu zależności pomiędzy kosztem wykonania części, a ich złożonością technologiczną, programem produkcyjnym i wielkością serii produkcyjnej.

Części, których złożoność technologiczna jest większa od złożoności technologicznej granicznej określonej w przypadku analizowanego elastycznego systemu produkcyjnego kwalifikują się, ze względów ekonomicznych, do obróbki w ESP (rys. 2). W przeciwnym razie należy je obrabiać w systemie opartym na obrabiarkach konwencjonalnych.

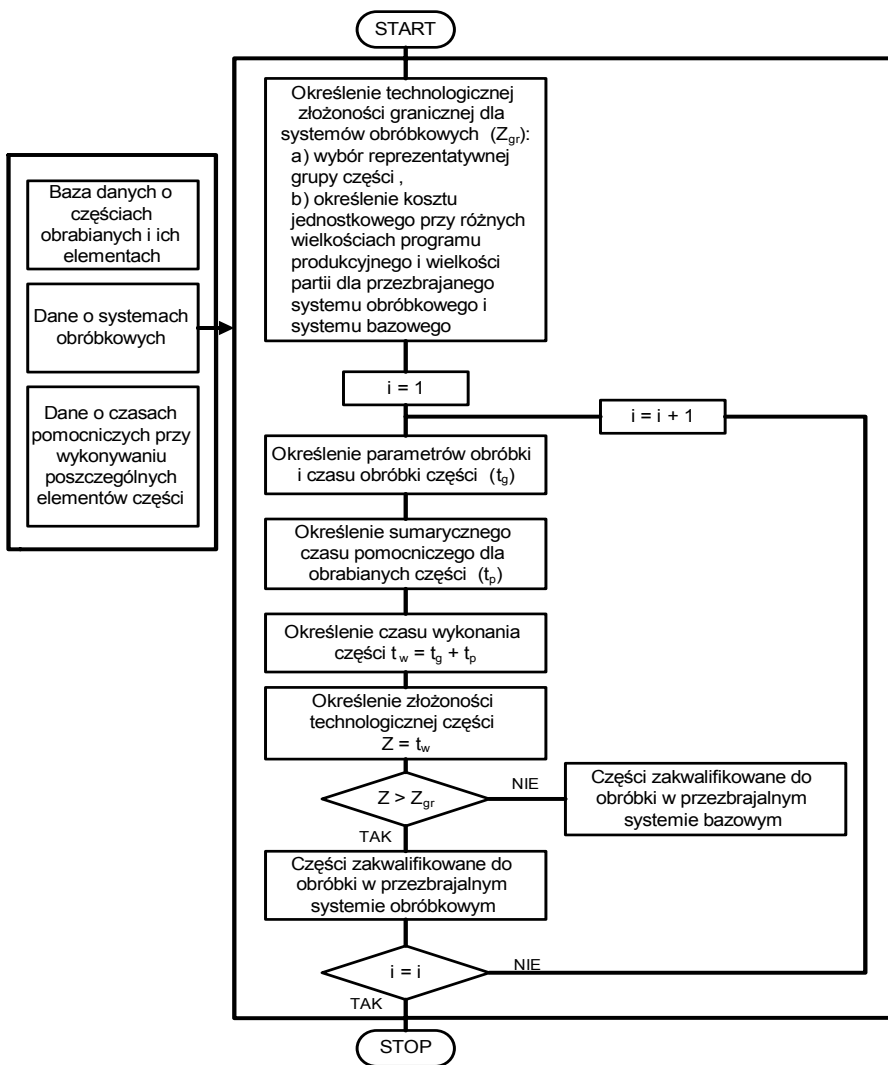
Technologiczna złożoność graniczna elastycznego systemu produkcyjnego określana jest technologiczną złożonością części obrabianych, w przypadku których przy danej wielkości programu produkcyjnego i wielkości partii produkcyjny koszt wykonania części w ESP jest równy kosztowi ich wykonania w systemie bazowym.

Aby określić technologiczną złożoność graniczną systemu produkcyjnego należy:

- wybrać kilka reprezentatywnych rodzajów części spośród przewidywanych do obróbki w systemie (wyboru dokonuje technolog - ekspert zakładowy),
- określić koszty jednostkowe w przypadku rozpatrywanych rodzajów złożoności technologicznej części przy różnych wielkościach programu produkcyjnego i wielkości partii dla przeobrażanego systemu obróbkowego oraz systemu bazowego,
- na podstawie uzyskanych danych określić zależność funkcjonalną opisującą technologiczną złożoność graniczną systemu.

W oparciu o algorytm kwalifikacji części do obróbki w ESP (rys. 2) opracowano program komputerowy do określania technologicznej złożoności obrabianych części; po jej porównaniu z technologiczną złożonością graniczną systemu produkcyjnego podejmowana jest decyzja o zakwalifikowaniu przedmiotu do obróbki w ESP.

Określenie racjonalnego zakresu zastosowania ESP znacznie ułatwia procesy decyzyjne, związane z kwalifikacją części do wytwarzania w ESP. Znajomość tego zakresu w przypadku konkretnego systemu produkcyjnego umożliwia podjęcie szybkiej, a przede wszystkim właściwej decyzji o kwalifikacji części do obróbki w ESP.



i – numer rodzaju części
 j – ilość rodzajów części

Rys. 2. Algorytm kwalifikacji części do obróbki w ESP
Fig. 2. Algorithm of qualification the piece for machining in RMS

KWALIFIKACJI CZĘŚCI DO OBRÓBK W ELASTYCZNYM SYSTEMIE PRODUKCYJNYM

Kwalifikacja części do obróbki w istniejącym systemie

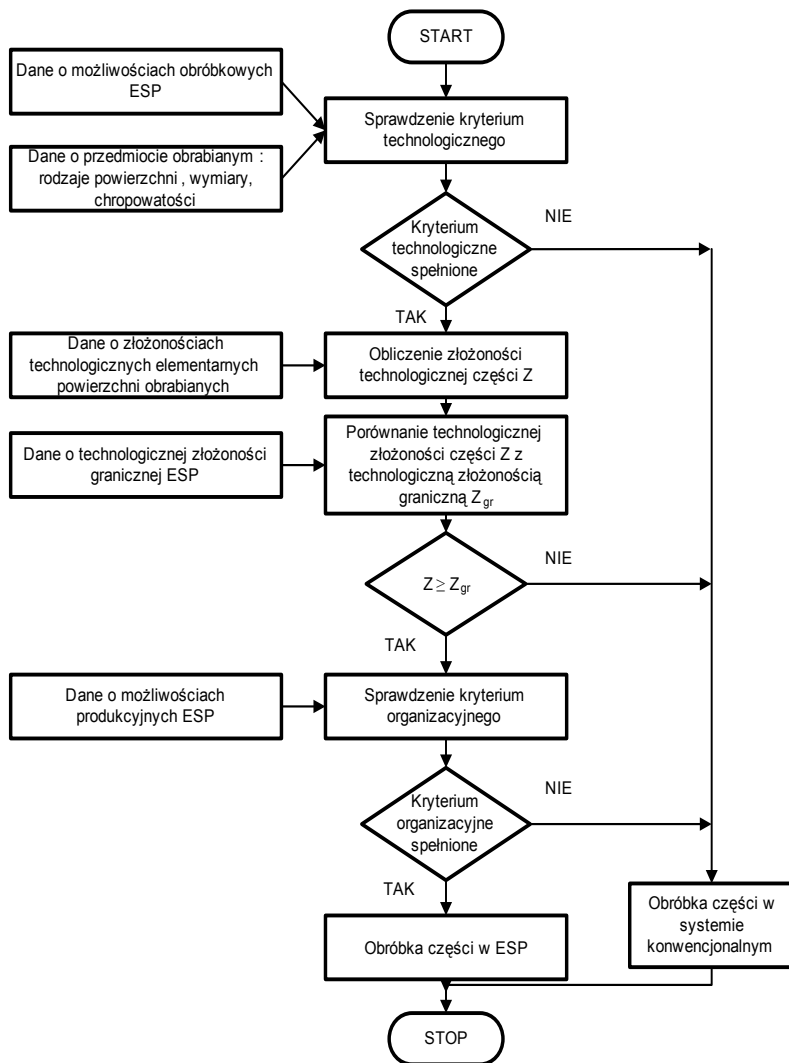
W przypadku, gdy przedsiębiorstwo dysponuje zarówno systemem (obrabiarkami) konwencjonalnym, jak i elastycznym systemem produkcyjnym, wybór systemu, w którym będą obrabiane części nowo wdrażane do produkcji lub przenoszone z jednego systemu do drugiego opiera się na analizie trzech kryteriów: technologicznego, ekonomicznego i organizacyjnego.

Kryterium ekonomiczne zastąpiono analizą złożoności technologicznej klasyfikowanych części oraz jej umiejscowieniem w stosunku do technologicznej złożoności granicznej systemów produkcyjnych. Metodykę określania opłacalności obróbki części w istniejącym ESP przedstawia rys. 3.

W pierwszej kolejności następuje sprawdzenie kryterium technologicznego, mające na celu określenie możliwości technologicznych maszyn i urządzeń wchodzących w skład systemu produkcyjnego. Analizując kryterium technologiczne należy sprawdzić, czy w ESP możliwe jest wykonanie części o określonej ilości powierzchni obrabianych, o określonych kształtach i położeniu, wymiarach, żądanej dokładności i chropowatościach powierzchni obrobionych oraz ustalenie i pewne zamocowanie części. Jeżeli na obrabiarkach wchodzących w skład ESP można obrobić daną część, to następuje określenie jej technologicznej złożoności i porównanie jej z technologiczną złożonością graniczną systemu produkcyjnego. W przypadku, gdy złożoność technologiczna część nie jest mniejsza od technologicznej złożoności granicznej następuje sprawdzenie kryterium organizacyjnego. Określa ono realne możliwości produkcyjne systemu z uwzględnieniem priorytetów obrabianych części. Następuje tutaj podział części obrabianych na grupy i wyodrębnienie tych, które będą obrabiane w pierwszej kolejności (np. ze względu na terminy realizacji zamówień) oraz tych, które mogą być obrabiane później lub w ogóle nie mogą być obrabiane w systemie ze względu na zbyt małe możliwości produkcyjne systemu.

Część spełniająca wszystkie ww. kryteria kierowana jest do obróbki w ESP.

Jeżeli część nie spełnia któregokolwiek kryterium, to powinna być obrabiana w systemie konwencjonalnym.



Rys. 3. Metodyka określania opłacalności obróbki części w ESP

Fig. 3. Methodology of defining cost-effectiveness of machining the part in RMS

W pierwszej kolejności następuje sprawdzenie kryterium technologicznego, mające na celu określenie możliwości technologicznych maszyn i urządzeń wchodzących w skład systemu produkcyjnego. Analizując kryterium technologiczne należy sprawdzić, czy w ESP możliwe jest wykonanie części o określonej ilości powierzchni obrabianych, o określonych kształtach i położeniu, wymiarach, żądanej dokładności i chropowatościach powierzchni obrabianych oraz ustalenie i pewne zamocowanie części. Jeżeli na obrabiarkach

wchodzących w skład ESP można obrócić daną część, to następuje określenie jej technologicznej złożoności i porównanie jej z technologiczną złożonością graniczną systemu produkcyjnego. W przypadku, gdy złożoność technologiczna część nie jest mniejsza od technologicznej złożoności granicznej następuje sprawdzenie kryterium organizacyjnego. Określa ono realne możliwości produkcyjne systemu z uwzględnieniem priorytetów obrabianych części. Następuje tutaj podział części obrabianych na grupy i wyodrębnienie tych, które będą obrabiane w pierwszej kolejności (np. ze względu na terminy realizacji zamówień) oraz tych, które mogą być obrabiane później lub w ogóle nie mogą być obrabiane w systemie ze względu na zbyt małe możliwości produkcyjne systemu.

Część spełniająca wszystkie ww. kryteria kierowana jest do obróbki w ESP.

Jeżeli część nie spełnia któregokolwiek kryterium, to powinna być obrabiana w systemie konwencjonalnym.

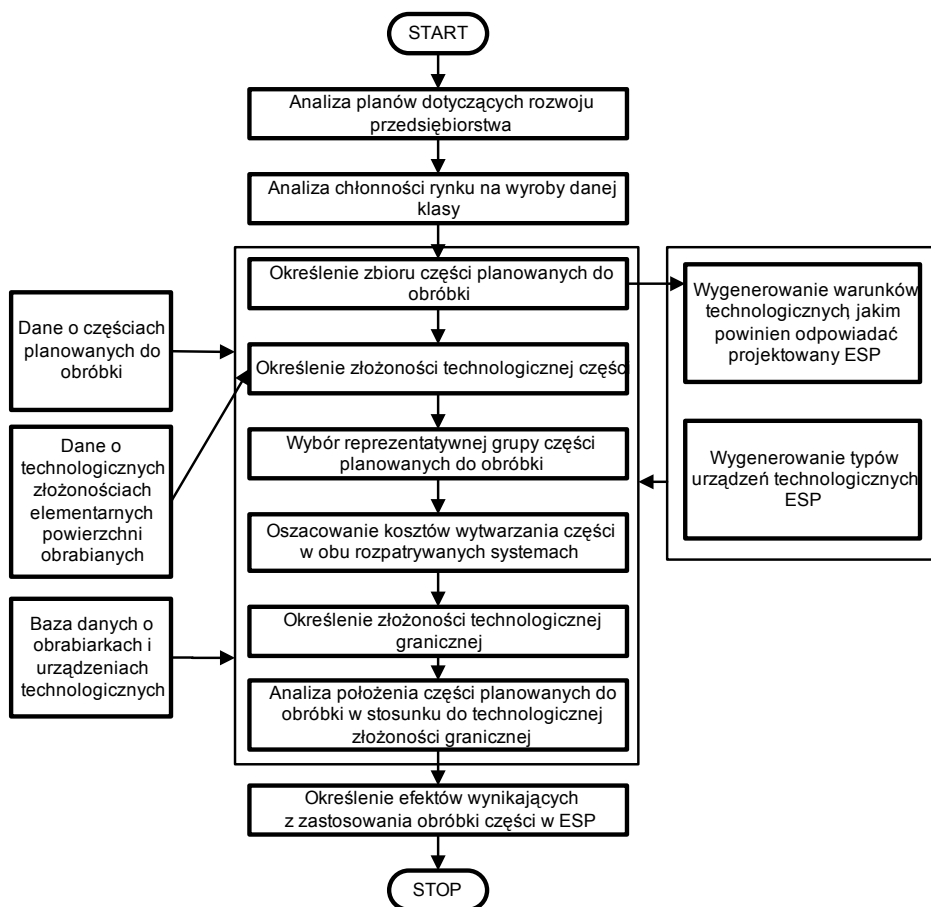
Kwalifikacja części do projektowanego systemu

Klasyfikacja części do projektowanego ESP jest czynnością znacznie bardziej odpowiedzialną, niż klasyfikacja do obróbki w systemie już istniejącym. Wiąże się ona z ogromnymi kosztami i konsekwencjami. Wymaga, bowiem wykonania całego szeregu prac związanych z projektowaniem systemu, jego zakupem i uruchomieniem.

Podjęcie decyzji o budowie nowego ESP musi być poprzedzone bardzo staranną analizą planów rozwoju przedsiębiorstwa oraz analizą rynku zbytu na produkowane wyroby (rys. 4).

Następnie należy określić zbiór części planowanych do obróbki i ich złożoność technologiczną. Na podstawie technologicznej złożoności części należy dokonać wyboru reprezentatywnej grupy części planowanych do obróbki. Dla tej grupy części należy możliwie jak najdokładniej oszacować koszty ich wytworzenia w obu rozpatrywanych systemach produkcyjnych.

Umożliwia to określenie technologicznej złożoności granicznej rozpatrywanych systemów produkcyjnych. Z kolei należy określić położenie części (o określonej wcześniej technologicznej złożoności) na wykresie technologicznej złożoności granicznej oraz określić efekty wynikające z zastosowania obróbki określonego zbioru części w ESP.



Rys. 4. Metodyka doboru części do projektowanego ESP
Fig. 4. Methodology of selecting of the piece to designed RMS

Określenie technologicznej złożoności granicznej systemu produkcyjnego

Technologiczna złożoność graniczna systemu produkcyjnego jest równa złożoności technologicznej części obrabianych w systemie, w przypadku których przy danej wielkości programu produkcyjnego i wielkości partii produkcyjnej ich wytwarzanie w systemie staje się opłacalne. Oznacza to, że przy złożoności technologicznej części równych technologicznej złożoności granicznej koszt wykonania części w ESP (K_{ESP}) jest równy kosztowi jego wykonania na obrabiarkach konwencjonalnych (K_{OK}) [3, 8]:

$$K_{ESP} = K_{OK} , \quad (5)$$

Wielkości partii produkcyjnych określających technologiczną złożoność graniczną systemu określono w wyniku rozwiązania układu równań (6):

$$\left\{ \begin{array}{l} K_j^{ESP} = k_{hw}^{ESP} \cdot \left(t_w^{ESP} + \frac{t_{pz}^{ESP}}{L} \right) \\ K_j^{OK} = k_{hw}^{OK} \cdot \left(t_w^{OK} + \frac{t_{pz}^{OK}}{L} \right) \\ K_j^{ESP} = K_j^{OK} \end{array} \right. , \quad (6)$$

gdzie: K_j – jednostkowy koszt wykonania części, k_{hw} – koszt 1 godziny technologicznej, t_w – czas wykonania jednej części, t_{pz} – czas przygotowawczo-zakończeniowy, L – liczebność partii produkcyjnej.

Wielkości z indeksem ESP odnoszą się do systemu elastycznego, a z indeksem OK – do obrabiarek konwencjonalnych.

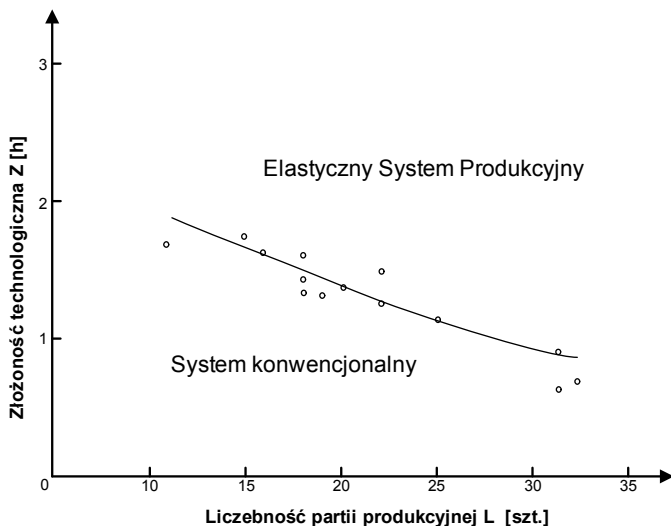
W wyniku rozwiązania powyższego układu równań otrzymano dla poszczególnych części (o różnych złożonościach technologicznych) – wielkość partii produkcyjnej, przy której koszty wykonania części na obrabiarkach konwencjonalnych są równe kosztom ich wykonania w systemie. Układ równań umożliwia także określenie wielkości tych kosztów.

Technologiczna złożoność graniczna określona w przypadku systemu elastycznego jest funkcją liczebności partii produkcyjnej. Ze wzrostem liczebności partii produkcyjnej wartość technologicznej złożoności granicznej dla systemu maleje – rys. 5. Aproksymacja wyników badań doświadczalnych umożliwiła otrzymanie równania funkcji opisującej krzywą technologicznej złożoności granicznej dla każdego z rozpatrywanych rodzajów kół zębatych:

$$Z_{gr} = 2,935 \cdot e^{-0,038 \cdot L} , \quad (7)$$

gdzie: L – liczebność partii produkcyjnej.

Potwierdza to, że istnieje zależność pomiędzy efektywnością obróbki części w danym systemie produkcyjnym, a technologiczną złożonością obrabianych części oraz liczebnością partii produkcyjnych.



Rys. 5. Graficzna interpretacja złożoności granicznej systemu
Fig. 5. Graphic interpretation of boundary complexity of the manufacturing system

Jak wynika z rys. 5 obróbka części w analizowanym systemie elastycznym staje się opłacalna już przy produkcji rzędu kilkunastu - kilkudziesięciu sztuk.

Określenie technologicznej złożoności granicznej projektowanego systemu produkcyjnego

Technologiczna złożoność graniczną projektowanego systemu produkcyjnego określono w wyniku rozwiązania układu równań:

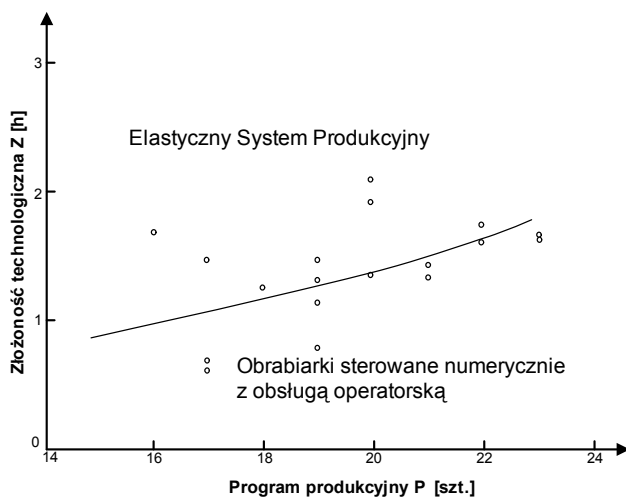
$$\begin{cases} K_j^{ESP} = k_{hw}^{ESP} \cdot t_w^{ESP} + \frac{k_{hpz}^{ESP} \cdot t_{pz}^{ESP}}{L} + \frac{k_{ht}^{ESP} \cdot t_t^{ESP} \cdot i^{ESP}}{P} \\ K_j^{NC} = k_{hw}^{NC} \cdot t_w^{NC} + \frac{k_{hpz}^{NC} \cdot t_{pz}^{NC}}{L} + \frac{k_{ht}^{NC} \cdot t_t^{NC} \cdot i^{NC}}{P} \\ K_j^{ESP} = K_j^{NC} \\ P = L \cdot A \end{cases}$$

gdzie: K_j – jednostkowy koszt wykonania części, k_{hw} – koszt 1 godziny obróbki części, t_w – czas wykonania jednego części, k_{hpz} – godzinowy koszt przezbrajania, t_{pz} – czas przygotowawczo–zakończeniowy, L – liczebność partii produkcyjnej, k_{ht} – godzinowy koszt opracowania technologii, t_t – czas opracowywania technologii dla jednej operacji, i – ilość operacji, P – wielkość programu produkcyjnego, A – ilość partii produkcyjnych.

Wielkości ze wskaźnikiem *ESP* odnoszą się do projektowanego ESP, a ze wskaźnikiem *NC* – do obrabiarek z obsługą operatorską.

Rozwiązanie powyższego układu równań umożliwia określenie wielkości programu produkcyjnego i liczebności partii produkcyjnych, przy których koszty obróbki części w obu analizowanych systemach produkcyjnych będą sobie równe oraz wielkość tych kosztów.

W przypadku obróbki części w systemie obrabiarek z obsługą operatorską, pracujących na jedną lub dwie zmiany, koszt obróbki części w tym systemie jest znacznie wyższy niż w systemie elastycznym. Wariant obróbki w systemie elastycznym jest wariantem tańszym niezależnie od wielkości programu produkcyjnego, liczebności partii produkcyjnej ani też od technologicznej złożoności obrabianych w systemie części. Związane jest to ze znacznie wyższymi kosztami budowy systemów produkcyjnych opartych na obrabiarkach z obsługą operatorską niż ESP. Koszty odpisów amortyzacyjnych systemów produkcyjnych decydują w tym przypadku o opłacalności obróbki. System produkcyjny zbudowany jako elastyczny charakteryzuje się znacznie lepiej wykorzystanym funduszem czasu pracy, a więc trzeba mniejszej ilości obrabiarek potrzebnych do realizacji programu produkcyjnego, a w związku z tym są mniejsze koszty odpisu amortyzacyjnego oraz mniejsze koszty godzinowe obróbki w systemie.



Rys. 6. Krzywa złożoności granicznej obróbki części w ESP i w systemie obrabiarek sterowanych numerycznie z obsługą operatorską pracujących na trzy zmiany
Fig. 6. The curve of boundary complexity of the manufacturing machine part in RMS and in the system of numerically controlled machines with servicing staff working in three-shift system

W przypadku obróbki części w systemie obrabiarek sterowanych numerycznie z obsługą operatorską pracującym na trzy zmiany, rozwiązanie układu równań (8) pozwala na określenie złożoności granicznej. Krzywą złożoności granicznej określającą granicę pomiędzy opłacalnością obróbki części w ESP, a opłacalnością ich obróbki w systemie obrabiarek z obsługą operatorską pracującym na trzy zmiany przedstawia rys. 6.

Technologiczna złożoność graniczna określona dla projektowanych systemów produkcyjnych zbudowanych z obrabiarek sterowanych numerycznie i pracujących z obsługą operatorską (na trzy zmiany) lub jako system elastyczny jest funkcją wielkości programu produkcyjnego. Ze wzrostem wielkości programu produkcyjnego wzrasta wartość technologicznej złożoności granicznej. Aproksymacja wyników badań pozwoliła na otrzymanie funkcji opisującej krzywą technologicznej złożoności granicznej:

$$Z_{gr} = 0,268 \cdot e^{-0,082 \cdot P} \quad (9)$$

gdzie: P – wielkość programu produkcyjnego.

W przypadku obróbki części w systemie z obsługą operatorską pracującym na trzy zmiany w pewnych warunkach staje się on bardziej opłacalny niż ESP. Ma to miejsce przy produkcji jednostkowej, przy programie produkcyjnym rzędu 15-23 sztuk, realizowanym w partiach produkcyjnych wynoszących jedną sztukę. O opłacalności obróbki w systemie z obsługą operatorską decydują koszty związane z przebrojeniem systemu. Wynoszą one przy produkcji pojedynczych sztuk ponad 90% kosztu wykonania części. Czas przebrojenia ESP jest o około 50% dłuższy od czasu przezbierania systemu obrabiarek pracujących niezależnie. Przy produkcji jednostkowej system obrabiarek pracujących z obsługą operatorską dzięki niższym kosztom jego przebrojenia, pomimo wysokich kosztów obróbki staje się systemem ekonomicznie bardziej opłacalnym.

PODSUMOWANIE

W związku z wymaganiami rynku przejawiającymi się w tendencji do zmniejszania się serii produkcyjnych oraz skracania cykli produkcyjnych wyrobów w produkcji coraz szerzej będą stosowane elastyczne systemy produkcyjne i systemy rekonfigurowalne. Zastosowanie ich powinno być uzasadnione ekonomicznie. Powinny być one stosowane w zasadzie do ekonomicznego wytwarzania elementów maszyn. Opracowany sposób określenia opłacalności ekonomicznej ich wytwarzania w takich systemach bez konieczności projektowania procesu technologicznego umożliwi bardziej racjonalne, efektywnie ekonomicznie ich zastosowanie. Opracowaną metodykę sprawdzono na przykładzie kół zębatach wytwarzanych w Kombinacie Przemysłowym Huta

Stalowa Wola, określając kiedy obróbka tych części jest opłacalna w elastycznym systemie produkcyjnym a kiedy na w systemie (obrabiarkach konwencjonalnym).

BIBLIOGRAFIA

1. Brzeziński M.: Organizacja i sterowanie produkcją. Projektowanie systemów produkcyjnych i procesów sterowania produkcją. Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa 2002.
2. Feld M.: Podstawy projektowania procesów technologicznych typowych części maszyn. WNT, Warszawa 2003.
3. Świć A.: Elastyczne systemy produkcyjne. Technologiczno – organizacyjne aspekty projektowania i eksploatacji. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 1998.
4. Świć A, Majdalawi S. Dobór przedmiotów do wytwarzania w ESP. W monografii „Informacyjne aspekty zarządzania i sterowania produkcją”. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 2005, 7-12.
5. Świć A., Majdalawi S.: Analiz ekonomicznej cielesoobrazności obrabotki die taliej w gibkom awtomatizirowannom proizwodstwie(GAP) Problemy Nauki i Techniki. Nauczno-wirobocznyj żurnal. Nr 2, 2004, 56-60.
6. Świć A., Taranenko W.: Projektowanie technologiczne elastycznych systemów produkcyjnych. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2003.
7. Wąs A., Izdebski R., Kopczyński L.: Automatyzacja projektowania procesów technologicznych w przemyśle maszynowym. WNT, Warszawa 1978.
8. Więckowski J.: Metody analizy ekonomicznej w przemyśle. PWE, Warszawa 1970.

QUALIFICATION OF PARTS FOR MACHINING BASING ON THEIR TECHNOLOGICAL COMPLEXITY

Summary

The new method for defining the complexity of machine parts which can be applied for their qualification for machining in Reconfigurable Manufacturing System (RMS) without necessity of designing the technological processes. Basing on the complexity of part and boundary complexity of the manufacturing system it can help defining which system (reconfigurable or conventional) should be used for manufacturing. The developed method was verified using toothed wheels manufacturing in “Huta Stalowa Wola” Steel Mill.

Keywords: machine part complexity, the boundary complexity of manufacturing system, the qualification of machine part, production cost-effectiveness.