

Wojciech Kałużny
Teresa Tomaszewska

WARUNKI I ZAKRES ZASTOSOWAŃ W PRODUKCJI
OBRABIAREK STEROWANYCH NUMERYCZNIE

W s t ę p

Coraz bardziej powszechne zastosowanie OSN w warunkach produkcyjnych sprawia, że użytkownicy wymagają możliwie wyczerpujących informacji określających warunki i zakres eksploatacji tych obrabiarek. Specyfika OSN umożliwia, w wyniku ich zastosowania, uzyskanie szeregu korzyści wymiernych i niewymiernych, które winny być brane pod uwagę w trakcie typowania obrabiarki do obróbki określonych przedmiotów.

W literaturze technicznej dość często spotyka się publikacje dotyczące wskazanego zagadnienia. Traktują one jednak tematykę wymienioną w tytule w sposób wycinkowy, nie dający wyraźnych wskazań odnośnie wyboru stanowiska roboczego.

W niniejszym artykule podjęto próbę kompleksowego ujęcia zagadnienia, z uwzględnieniem stosowanych kryteriów oceny w warunkach przemysłu krajowego.

K r y t e r i a d o b o r u O S N

Zagadnienia związane z OSN są stosunkowo nową dziedziną wiedzy, wzbudzającą szerokie zainteresowanie potencjalnych użytkowników ze względu na możliwość zautomatyzowania obróbki w warunkach produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Opinie wynikające z doświadczenia różnych zakładów, od lat eksploatujących OSN, nie są ściśle zgodne przede wszystkim ze względu na rolę oczekiwaną, którą te obrabiarki miały spełniać w przedsiębiorstwach.

Zgodne są poglądy wyrażające możliwość skrócenia czasów przy-

gotowawczo-zakończeniowych obróbki, uproszczenia oprzyrządowania obrabiarki, zmniejszenia liczby powstających braków, czy też dotyczące wzrostu precyzji planowania i skrócenia czasów jednostkowych wykonania prac na OSN w porównaniu z obrabiarkami konwencjonalnymi.

Natomiast wątpliwości i zastrzeżenia wiążą się z reguły z ekonomicznością stosowania OSN, a to ze względu na bardzo wysokie nakłady pieniężne związane z ich zakupem, wysokie koszty programowania i zakupu urządzeń peryferyjnych, umożliwiających zapis programu na nośnikach informacji. Ponadto eksploatacja OSN, zdaniem użytkowników, wiąże się z koniecznością zatrudnienia operatorów, posiadających wysokie kwalifikacje zawodowe. Sprzeczności te występują przede wszystkim na etapie podejmowania decyzji dotyczącej zakupu OSN oraz w pierwszym okresie ich użytkowania. W okresie tym dość często pojawiają się usterki oraz trudności w zapewnieniu fachowej obsługi technicznej obrabiarki, co może być powodem długotrwałych przestoju. Czynniki powyższe winny być brane pod uwagę przed podjęciem decyzji o wprowadzeniu OSN do produkcji.

Z powyższych rozważań wynika, że przyszły użytkownik OSN w celu podjęcia decyzji zakupu oczekuje odpowiedzi dotyczących:

- rentowności stosowania OSN,
- zakresu i formy stosowania OSN,
- dodatkowych korzyści wynikających z wdrożenia OSN, szczególnie w przypadkach, w których czynnik ekonomiczny wykonania obróbki na OSN budzi wątpliwości.

Ostatnia kwestia wiąże się przede wszystkim z wydajności OSN, umożliwiającą ograniczenia naboru pracowników o wysokich kwalifikacjach zawodowych.

Zagadnienie to jest szczególnie istotne w zakładach zajmujących się produkcją o wysokim stopniu trudności, przy czym wyroby są wytwarzane jednostkowo lub w niewielkich seriach.

Nie trudno zauważyć, że pełną wypowiedź na temat opłacalności

stosowania OSN można uzyskać jedynie w wyniku kompleksowej analizy wszystkich kryteriów oceny, przy czym należałoby przyjąć odpowiednio, ich gradację w zależności od warunków produkcyjnych zakładu, sytuacji kadrowej oraz przyjętego programu produkcyjnego.

E k o n o m i c z n e p o d s t a w y w d r o ż e n i a O S N

Wysokie ceny zakupu OSN, zawarte w granicach od 1,5 do 20 mln złotych, wymagają ostrożności w typowaniu ich do produkcji. Zachodzi niemal zawsze wątpliwość, czy będzie ona bardziej opłacalna od obrabiarki konwencjonalnej, mogącej realizować te same przypadki obróbki. Przyjmuje się [6], że podjęcie decyzji można oprzeć w takich przypadkach na ocenie kosztu jednostkowego wykonania obróbki, określonego dla obróbki konkretnego przedmiotu na konkretnych obrabiarkach.

Istnieje szereg wzorów określających jednostkowy koszt wykonania, przy czym najpowszedniej jest stosowany wzór Kirchnera [4] :

$$(1) \quad K_j = K_E + \frac{K_V}{n L} + \frac{K_{A_W}}{L}$$

gdzie:

K_E - jednostkowe koszty związane z obróbką przedmiotu /odpisy amortyzacyjne obrabiarki; remonty, koszty energii, narzędzi, robocizny, kontroli; koszty ogólne/,

K_V - koszt przygotowania obróbki /koszt programowania i perforowania taśmy, koszt uchwytów mocujących oraz konstruowania narzędzi specjalnych/,

K_{A_W} - koszt wznowienia obróbki partii przedmiotów /koszt przygotowania obrabiarki do pracy, koszt zestawienia narzędzi poza obrabiarką, koszt uruchomienia zlecenia/,

L - ilość przedmiotów obrabianych w jednej partii,

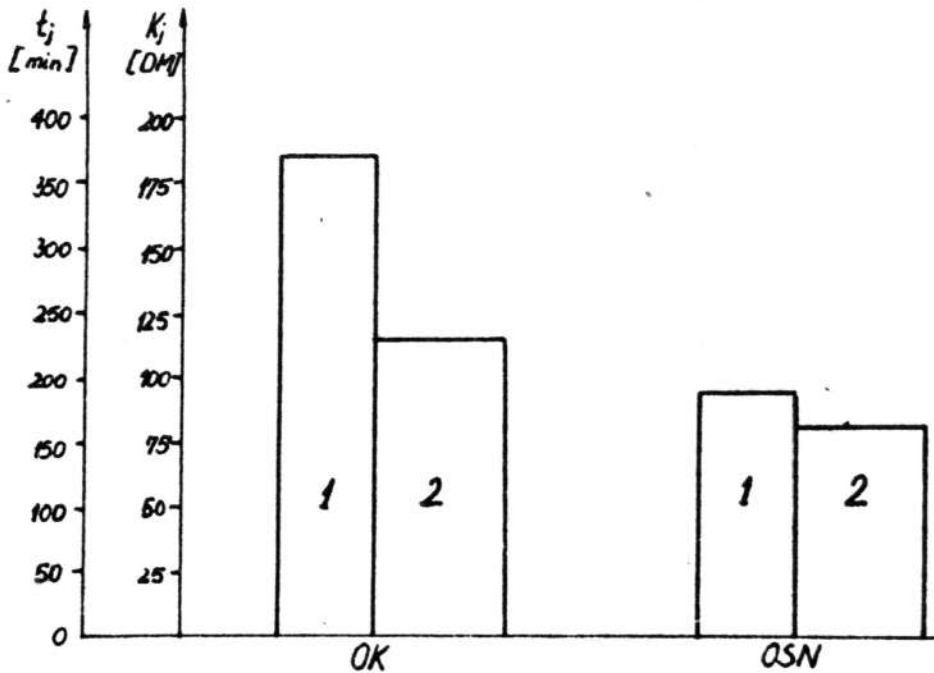
n - ilość uruchamianych partii.

Wzór ten jest stosowany w USA i krajach zachodnioeuropejskich.

Przyjmuje się, że koszt związany z obróbką przedmiotu K_E , zależy od czasu obróbki jednego przedmiotu t_j i kosztu jednej maszynogodziny M [6]

$$(2) \quad K_E = \frac{M t_j}{60}$$

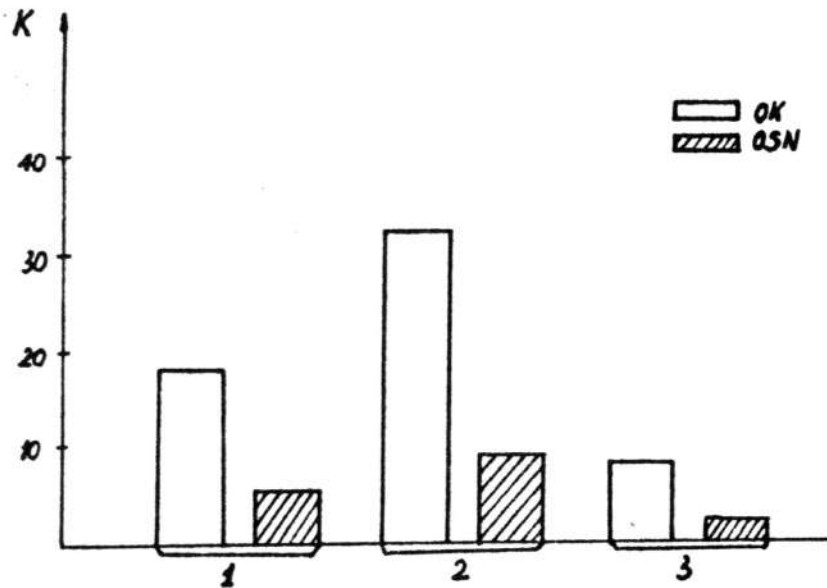
Wobec wysokiego kosztu maszynogodziny M w przypadku OSN widoczne jest zmniejszenie K_E poprzez obniżenie czasu jednostkowego wykonania t_j . Oznacza to, że do obróbki na OSN powinno się typować przedmioty o dużej złożoności zarysów obrabianych o wysokich lub co najmniej przeciętnych wymaganiach dotyczących dokładności wykonania. Obróbka takich przedmiotów na obrabiarkach konwencjonalnych wiąże się z dużą czasochłonnością ustawienia narzędzi względem przedmiotów obrabianych, a zatem z dużym udziałem czasów pomocniczych.



Rys. 1. Porównanie czasu jednostkowego /1/ i kosztu jednostkowego /2/ na obrabiarence konwencjonalnej /OK/ i sterowanej numerycznie /OSN/

Na rys. 1. przedstawiono porównanie czasu obróbki i kosztu jednostkowego wykonania przy zastosowaniu frezarko-wytaczarki NC z frezarko-wytaczarką konwencjonalną [4]. W rezultacie zastosowania OSN uzyskano skrócenie czasu wykonania o 48% oraz obniżenie kosztu wykonania o 28%.

Składniki kosztu jednostkowego wykonania przy obróbce części środkowej sprężarki, odlanej ze stopu Al przedstawia rys. 2. [4].



Rys. 2. Porównanie kosztów składowych zastosowania centrum obróbkowego wiertarsko-frezarskiego i odpowiadającej obrabiarki konwencjonalnej /1 - koszt oprzyrządowania, 2 - koszt ustalenia i zamocowania przedmiotu, 3 - koszt pracy obrabiarki w przeliczeniu na jeden przedmiot obrabiany/

Czas przygotowania obrabiarki do obróbki parii przedmiotów został w tym przypadku skrócony o 84%, natomiast czas obróbki jednego przedmiotu o 70%, co w efekcie dało obniżenie kosztu wykonania o 74%.

Odrębne zagadnienie stanowi koszt opracowania programu i jego utrwalenie na nośniku programu /głównie perforowanie danych na taśmie/.

Według danych USA i RFN [4], [6], koszt opracowania i zapisu programu jest około 3-krotnie wyższy od kosztu godziny pracy obrabiarki. Jest więc on istotny, lecz w ostatecznym rozliczeniu rozkłada się na większą ilość przedmiotów w wykonanej partii. Szczególnie opłacalny jest tu przypadek uruchomienia obróbki kilku partii przedmiotów $/n > 1/$, gdyż koszt wtórnego uruchomienia zlecenia jest stosunkowo niewielki, natomiast następuje dalsze rozłożenie kosztów związanych z przygotowaniem programu.

Dalszą możliwość w tym względzie daje zastosowanie programowania automatycznego, opartego o języki programowania /APO, EXAPT, APT itd./. Programowanie to realizowane przy wykorzystaniu środków ETO pozwala, szczególnie w przypadku długich programów lub programów dotyczących obróbki skomplikowanych zarysów, wielokrotnie zmniejszyć czas programowania i poważnie obniżyć jego koszt.

Wobec konieczności dużych nakładów finansowych, związanych z zakupem OSN, istotnym warunkiem korzystnego ich zastosowania jest odpowiednio wysoki stopień ich wykorzystania. Powszechnie przyjmuje się, że powinien on być zawarty w granicach 80-95%. Długotrwałe badania tego zagadnienia wykazały również, że istotny jest stopień wykorzystania obrabiarki, który w przypadku istnienia poprawnej organizacji pracy powinien wynosić około 70% [6]. Pozostałe składniki to: czas uzbrajania /około 12%/ , czas testowania /około 5,5%/ oraz czasy pozostałe /około 8%/. Przy takiej strukturze czasów stopień wykorzystania obrabiarki jest zbliżony do około 95%.

Jak już wspomniano, konieczność wykorzystania w wysokim stopniu OSN wynika z wysokiej ceny ich zakupu. Ważne zatem zagadnienie stanowi osiągnięcie zwrotu nakładów w możliwie krótkim czasie, a więc amortyzacja roczna obrabiarki. W Polsce brak jest dotąd odpowiednich danych, określających wielkość odpisów amortyzacyjnych. Stanowi to utrudnienia ekonomicznej oceny celowości stosowania OSN, gdyż odpis ten jest jednym z głównych składników kosztu jednostkowego K_E .

W USA i RFN przyjmuje się roczny odpis amortyzacyjny odpowiadający 12,5% całkowitego kosztu obrabiarki wraz z jej fundamentem [4]. Odpowiada to ośmioletniemu okresowi jednozmianowej pracy OSN, po którym to czasie powinna nastąpić całkowita amortyzacja. Dla porównania warto dodać, że dla obrabiarek konwencjonalnych okres pełnej amortyzacji dochodzi do 10 lat.

W oparciu o powyższe dane wydaje się, że przyjęcie pełnej amortyzacji w warunkach przemysłu krajowego w ciągu 10 lat nie będzie obciążać dużymi błędami szacunkowej oceny ekonomiczności zastosowania OSN w naszym przemyśle.

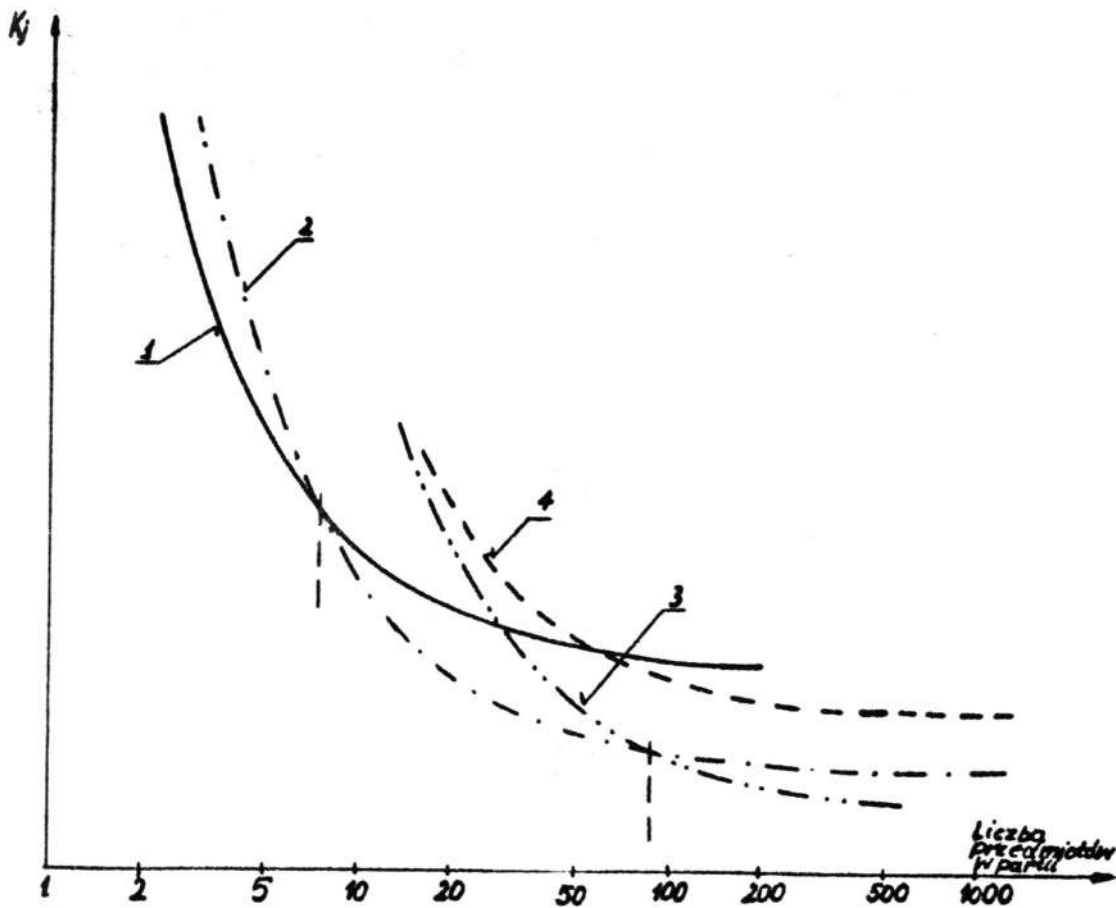
Przedstawiona analiza jest nie tylko konieczna przy podjęciu decyzji zakupu OSN, uwzględniającej program produkcyjny zakładu z wyprzedzeniem około 3-5 lat [6]. Jest ona również pomocna przy podejmowaniu decyzji dotyczących obróbki przedmiotów zwłaszcza w przypadkach alternatywnych, gdy brak jest wyraźnych przesłanek, przemawiających za przeprowadzeniem obróbki na OSN, czy też na obrabiarce konwencjonalnej.

Posługując się analizą jednostkowego kosztu wykonania przy różnych wielkościach serii obrabianych przedmiotów, można określić optymalną wielkość partii do różnych obrabiarek.

Na rys. 3. przedstawiono porównanie kosztu jednostkowego k_j produkcji na tokarce SN z innymi tokarkami, które na etapie analizy wstępnej są obrabiarkami konkurencyjnymi [6].

Z wykresu wynika, że tokarka SN jest opłacalna ekonomicznie w zakresie produkcji od 6 do 100 sztuk obrabianych przedmiotów. Powyżej 100 sztuk bardziej opłacalne jest stosowanie tokarek ze sterowaniem programowym sekwencyjnym.

Przedstawiona zależność kosztów dotyczy obróbki przedmiotów o średnim stopniu trudności wykonania. Przy wzroście stopnia trudności wykonania obróbki należy oczekiwać wzrostu zakresu ekonomicznych zastosowań OSN oraz zmniejszenia wielkości minimalnej partii obrabianych przedmiotów.

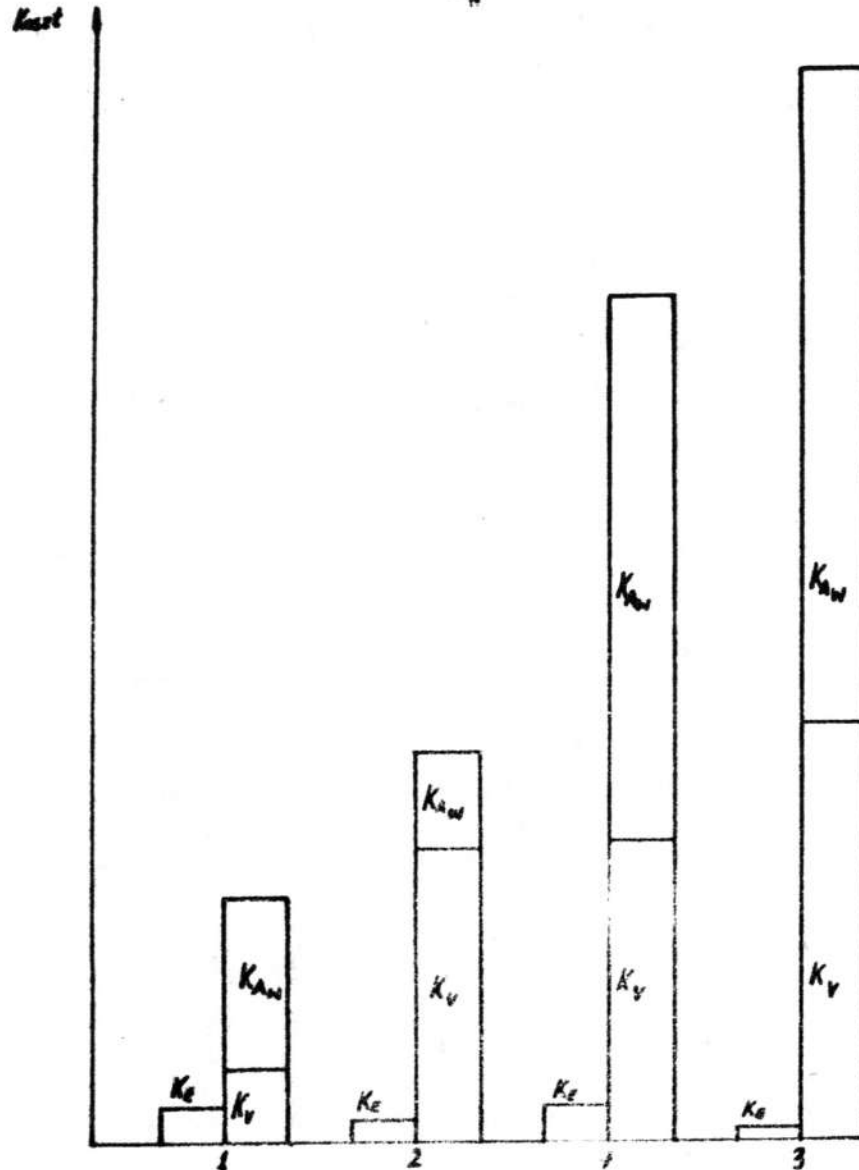


Rys. 3. Zakres opłacalności stosowania różnych obrabiarek w zależności od kosztu jednostkowego wykonania: 1 - tokarka kłowa, 2 - tokarka sterowana numerycznie, 3 - tokarka sterowana sekwencyjnie, 4 - tokarka rewolwerowa obsługiwana ręcznie

Interesujący jest udział kosztów składowych, określonych we wzorze Kirchnera, dla rozważanych obrabiarek. Wykres udziału kosztów K_E , K_V i K_{NW} przedstawia rys. 4.

Z wykresu wynika, że koszt jednostkowy K_E związany z obróbką przedmiotu jest korzystny dla OSN. Natomiast koszt przygotowania obróbki K dla OSN jest bardzo wysoki w porównaniu z tokarką kłową obsługiwaną ręcznie i niższy jedynie od tokarki ze sterowaniem

sekwencyjnym. Jest to spowodowane głównie wysokością nakładów
pieniężnych na programowanie, które są niższe od wydatków na uzbro-
jenie tokarki rewolwerowej oraz kosztu programowania i ustawienie
tokarki ze sterowaniem sekwencyjnym. Najniższy dla OSN jest koszt
wznowienia kolejnych zleceń K_{Aw} .



Rys. 4. Porównanie kosztów składowych kosztu k_i dla obrabiarek
uwzględnionych na rys. 3 4 : 1 - tokarka kłowa, 2 - to-
karka III, 3 - tokarka sterowana programowo, 4 - tokarka
rewolwerowa

Reasumując można stwierdzić, że obróbka przedmiotów o co najmniej średnim stopniu złożoności zarysów obrabianych w kilku powtarzających się partiach jest opłacalna w granicach od około 5 do nieco ponad 100 przedmiotów. Przy wysokim stopniu złożoności obrabianych zarysów zakres ten zwiększa się, szczególnie w kierunku zmniejszenia minimalnej ekonomicznej partii wykonywanych przedmiotów.

K r y t e r i a p r o d u k c y j n e s t o s o w a n i a O S N

Omówione kryteria ekonomiczne zastosowań OSN w produkcji stanowią zasadniczą podstawę podjęcia decyzji zakupu obrabiarek SN, będąc jednocześnie w zgodzie z podstawową tendencją przewidującą wzrost jakości wyrobów przy równoczesnym obniżeniu kosztów ich wytwarzania. W wielu jednak przypadkach kryterium ekonomiczne może stanowić jedynie kryterium pomocnicze. Dzieje się tak wówczas, gdy decyzja zakupu OSN będzie zdeterminowana brakiem wykwalifikowanej siły roboczej lub koniecznością wprowadzenia zmian organizacyjnych produkcji. Zmiany te mogą nastąpić w związku np. z istnieniem starych "garden", zakłócających rytmiczność produkcji i wydłużających cykl produkcyjny. Kryteria ekonomiczne mogą być wówczas stosowane w celu porównania kosztów wykonania w nowych warunkach produkcji. Decyzja przemawiająca na korzyść OSN może również zapasać w przypadku obniżonych kosztów jednostkowych obróbki na OSN i na innej porównanej obrabiarce. W takich przypadkach decydujące będą zalety OSN, do których zalicza się:

- skrócenie cyklu przygotowania produkcji,
- wzrost wydajności i związane z nim skrócenie długości cyklu produkcyjnego,
- względna niezależność od obsługi obrabiarki, a tym samym wzrost dyscypliny technologicznej,
- obniżenie kosztów kontroli oraz wyeliminowanie magazynów pośred-

nich i magazynów gotowych wyrobów,
- zmniejszenie powierzchni magazynów uchwytów i pomocy specjalnych,
- możliwość szybkiego przekazania produkcji do innego zakładu.
Wielu użytkowników uważa powyższe zalety jako decydujące o wprowadzeniu OSN do produkcji [4], [6].

Bardzo istotną cechą OSN jest duża dokładność obróbki, osiągnięta przy niedużym nakładzie kosztów oraz powtarzalności wymiarów, zwiększająca zamienność części. Z wymienionymi cechami wiąże się zmniejszenie liczby powstających braków produkcyjnych. Jest to szczególnie istotne przy jednostkowym lub małoseryjnym wytwarzaniu wyrobów, których koszt jest bardzo wysoki, wskutek czego jeden poważny błąd może obciążyć zakład poważnymi kosztami.

W takich przypadkach celowe jest równoległe rozważenie kryteriów ekonomicznych w opanowanej już produkcji, w której uzyskane doświadczenia w zakresie eksploatacji stosowanych OSN dają możliwość bardziej przybliżonej oceny uwzględnianych kryteriów.

Przedsięwzięcia organizacyjne związane z wdrożeniem OSN

Równoległe z zamówieniem obrabiarki zakład powinien podjąć szereg przedsięwzięć, zapewniających racjonalną eksploatację OSN. Przede wszystkim istotne jest przygotowanie technologów - programistów i operatorów obrabiarek.

Programiści powinni wykazać się praktyczną znajomością zagadnień związanych z obróbką oraz posiadać umiejętność ręcznego programowania obrabiarki i przygotowania taśmy [2]. Zakres posiadanych wiadomości powinien zapewnić opracowanie optymalnych programów [3], w których w pełni zostaną wykorzystane zalety i możliwości OSN. Wymagane jest również wyszkolenie w zakresie stosowania automatycznych języków programowania.

W przypadku posiadania większego parku OSN celowe jest powoła-

nie wyspecjalizowanego działu lub sekcji eksploatacji i programowania OSN. Dział taki lub sekcja zajmowałyby się całokształtem zagadnień związanych z eksploatacją posiadanych OSN, planowaniem przeglądów i remontów.

Operatorzy OSN mogą być robotnikami przyuczonymi w obsługiwanym konkretnym obrabiarkami. Wykwalifikowani operatorzy winni posiadać umiejętność ustawienia narzędzi skrawających i przeprowadzać bardziej złożone operacje obróbkowe, wymagające ręcznej korelacji prędkości ruchów posuwowych i nastawienia obrabiarki [6].

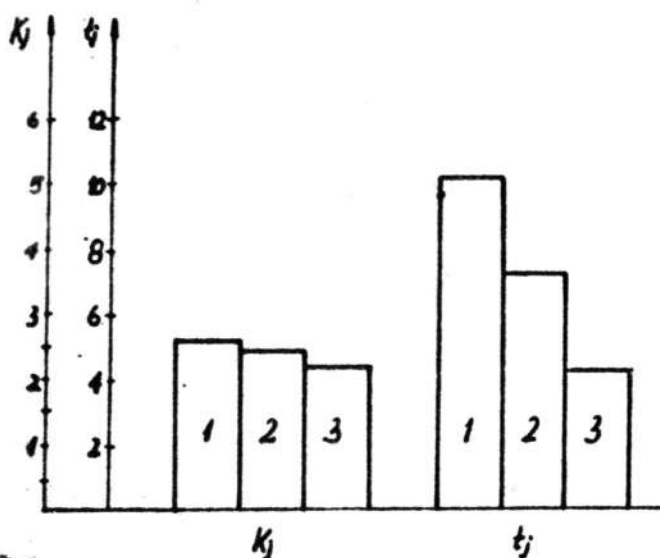
Eksploatacja kilku obrabiarek wymaga również rozważenia koncepcji organizacji pracy, dostosowanej do możliwie pełnego wykorzystania warunków produkcyjnych zakładu. Celowa jest w miarę możliwości obsługa dwóch lub więcej obrabiarek przez jednego operatora. Porównanie korzyści wynikających z takiego rozwiązania przedstawia rys. 5, na którym przedstawiono obniżenie kosztu i czasu wykonania obróbki dla konwencjonalnej tokarki rewolwerowej oraz tokarki SN z jednym operatorem [6].

Z porównania wynika, że tokarka SN, do której przydzielono operatora, daje skrócenie czasu o 29% w stosunku do tokarki konwencjonalnej i obniżenie kosztu wykonania o 1%.

Wprowadzenie obsługi dwustanowiskowej umożliwiłoby skrócenie czasu o 59% i obniżenie kosztu o 12%. W takim jednak przypadku wymagane jest odciążenie operatora OSN i powierzenie ustawiania narzędzi specjalnie do tego celu powołanej obsłudze, która równoległe może zajmować się regeneracją narzędzi [6].

W celu zapewnienia prawidłowej pracy OSN konieczny jest wybór odpowiedniego pomieszczenia, gwarantującego stabilną temperaturę pracy OSN, niewystąpienie nadmiernych drgań obcowzbudnych i zapylenia.

Ważne jest również zapewnienie własnego personelu remontowego, który powinien usuwać około 90% powstałych awarii [4]. Wyczekiwanie na służbę obsługową producenta OSN jest z reguły czasochłonne,



Rys. 5. Porównanie kosztów k_j i czasów t_j wykonania dla: 1 - konwencjonalnej tokarki rewolwerowej, 2 - tokarki SN z jednoosobową obsługą, 3 - dwóch tokarek SN z jednoosobową obsługą.

szczególnie w przypadku, gdy awarie są spowodowane przez niewielkie uszkodzenia obrabiarki lub układu sterowania. Dobrze wyszkolona służba remontowa jest w stanie szybko zidentyfikować i usunąć uszkodzenie.

W odpowiednim czasie należy zapewnić dostawę urządzeń perferyjnych, umożliwiających zapis programu. Urządzenie te winny przy możliwie małym nakładzie inwestycyjnym gwarantować programowanie wszystkich posiadanych OSN. Stąd równoległe nasuwa się uwaga, aby w zamówieniach OSN uwzględnić jednolite systemy programowania, umożliwiające spełnienie powyższego warunku.

Jeżeli przewiduje się opracowanie pracochłonnych programów, wymagających wielu przeliczeń współrzędnych, należy rozważyć przy licznym parku OSN celowość zakupu elektronicznej maszyny cyfrowej, która umożliwi automatyczne wykonanie programów. Gdy zachodzi obawa niepełnego wykorzystania e.m.c., wówczas należy zapewnić możli-

wość programowania automatycznego, w ramach usług placówek posiadających środki ETO.

W n i o s k i

1. Decyzję zakupu OSN należy oprzeć na wielokryterialnej ocenie celowości.
2. W wątpliwych przypadkach obróbkę przedmiotów na OSN należy planować przede wszystkim w oparciu o kryteria ekonomiczne, dodatkowo posługując się kryteriami produkcyjnymi.
3. Ze znacznym wyprzedzeniem należy ująć program produkcyjny zakładu, zakup środków programowania i szkolenie obsługi technicznej.
4. Wdrożenie OSN wymaga dokonania wyboru najkorzystniejszego wariantu organizacyjnego, zapewniającego pełne wykorzystanie posiadanych OSN.

L i t e r a t u r a

- [1] Talk S., Werkzeugmaschinen mit numerischen Steuerungen im Einstanz, Werkstatt u Betrieb, nr 10, 1968
- [2] Kałużny W., Wpływ przemieszczeń punktu charakterystycznego ostrza na dobór programowych przesunięć zespołów OSN, Mechanik, nr 10, 1973
- [3] Kałużny W., Tomaszewska T., Ekonomiczne zasady doboru programowych przesunięć zespołów OSN, Studia Techniczne WSP w Bydgoszczy, Zeszyt 2, 1975
- [4] Shah R., Sterowanie numeryczne obrabiarek, Poradnik, WNT Warszawa 1975
- [5] Stöckmann P., Kuster W., NC - Drehmaschinen in der Praxis, Werkstatt u Betrieb, nr 1, 1970
- [6] Automaty tokarskie numerycznie sterowane, Materiały Sympozjum Index - Werke K G, 1975