

Jan WÓJCIKOWSKI, Janusz MADEJSKI,
Lech RAWLUK

PROBLEMY OPRACOWYWANIA ZAŁOŻEŃ
DO PROJEKTOWANIA GNIAZDA OBRABIAREK Z ROBOTEM PRZEMYSŁOWYM

Streszczenie. Przedstawiono problematykę projektowania gniazd obrabiarek z robotami przemysłowymi. Podano kryteria optymalizacji koncepcji gniazda wraz z przykładowym rozwiązaniem gniazda do obróbki przedmiotów typu "tarcza" i "tuleja".

1. WPROWADZENIE

Ogromny postęp naukowo-techniczny w zakresie sterowań numerycznych oraz technologii produkcji mało- i średnioseryjnej spowodował wielkie jakościowe zmiany organizacji pracy przez możliwość wprowadzania kompleksowej automatyzacji produkcji. Przy wprowadzaniu automatyzacji należy rozpatrywać jej dwa podstawowe aspekty:

- wzrost wydajności pracy,
- humanizację warunków pracy.

Automatyzacja procesów wytwórczych zmniejsza w istotny sposób udział prac ciężkich i nużących dla człowieka, uwalnia go od czynności monotonicznych lub wykonywanych w warunkach szkodliwych dla zdrowia [1]. Artykuł niniejszy traktuje o obecnych tendencjach, jakie zaznaczają się w dziedzinie automatyzacji transportu wewnętrznego w gniazdach obrabiarek do obróbki skrawaniem metali.

Obecnie najwyższy stopień automatyzacji osiągnięty został w produkcji masowej. Przy produkcji mało- i średnioseryjnej daje się natomiast zauważyć znaczna rozbieżność pomiędzy wysokim poziomem automatyzacji przygotowania i realizacji podstawowych operacji technologicznych obróbki a stosunkowo niskim - czynności pomocniczych. Od dłuższego czasu podejmowane są próby mające na celu automatyzację tych czynności przez ograniczenie udziału ludzi w obsłudze maszyn i urządzeń [1,3].

W tym miejscu konieczne staje się podkreślenie różnicy dwu pojęć - automatyzacji i robotyzacji, bowiem roboty przemysłowe różnych generacji są także czynnikiem umożliwiającym uwolnienie pracowników od bezpośredniego udziału w procesie produkcyjnym przez położenie głównego nacisku na zadaniach pracownika na funkcje nadzoru i kontroli pracy systemów produkcyjnych. Roboty i manipulatory przemysłowe znajdują coraz szersze zastosowanie w różnych dziedzinach przemysłu, a zwłaszcza tam, gdzie tradycyjna

automatyzacja (np. automatyczne linie produkcyjne itp.) nie może być wprowadzana ze względu na dużą różnorodność asortymentu i częste zmiany profilu produkcji.

Przez pojęcie gniazda obrabiarek z robotem przemysłowym należy rozumieć jednostkę organizacyjno-produkcyjną przeznaczoną do wytwarzania części podobnych pod względem cech geometrycznych i technologii. W gniazdach tych automatyzowana (OSN) jest nie tylko sama obróbka, ale również manipulacja przedmiotami, ich transport i kontrola. Wszystkie procesy główne i pomocnicze są tutaj sterowane przez minikomputer układu sterowania numerycznego robota i mogą być w przypadku zintegrowanych gniazd produkcyjnych sterowanych w technice DNC podporządkowane systemowi sterowania produkcją wyższego szczebla.

2. ROLA ROBOTA W GNIEZDZIE

W gniazdach OSN najczęściej znajdują zastosowanie roboty przemysłowe II generacji [1]. Zadaniem ich jest nie tylko realizacja transportu wewnętrznego w gnieździe ale i organizacja współpracy poszczególnych urządzeń w gnieździe zgodnie z zaprojektowanym reżimem pracy gniazda.

Podstawowym problemem pojawiającym się przy aplikacji robota przemysłowego jest konieczność umożliwienia mu kontaktu z otoczeniem produkcyjnym, w jakim będzie on miał pracować. Kontakt taki w postaci sygnałów we/wy dla komputera układu sterującego robotem pozwala mu organizować pracę urządzeń technologicznych, do obsługi których jest przewidziany.

Sygnały wejściowe do układu robota zawierają najczęściej informacje o:

- zakończeniu operacji obróbczych na obrabiarkach współpracujących z robotem,
- wynikach ewentualnej kontroli wymiarowej uprzednio wykonanych detali,
- poprawności uchwycenia przedmiotu przez chwytak (sensory).

Przykładami sygnałów wyjściowych robota mogą być:

- otwarcie i zamknięcie szosek uchwytów wybranych obrabiarek
- uruchomienie programów obróbczych,
- sterowanie dodatkowymi urządzeniami technologicznymi.

Dodatkowe urządzenia technologiczne spełniają rolę ogniwa pośredniego pomiędzy otoczeniem zewnętrznym a robotem oraz robotem a obrabiarkami przez niego obsługiwanymi. Ilość tych urządzeń, ich budowa i konkretne przeznaczenie są ściśle uzależnione od przeznaczenia gniazda i ogólnej koncepcji jego pracy. Przykładem wykorzystania układów we/wy robota SEA, zastosowanego do obsługi przykładowego gniazda, są tablice 1 i 2.

Tablica 1

Wykaz sygnałów WE robota

Nr	Nazwa	Komentarz
1	Koniec obrotu S1	Elementy programowe systemu BHP
2	Koniec obrotu S2	
3	Koniec obrotu S3	
4	Koniec programu B	Sygnał ten powoduje następujący ciąg czynności robota: 1) zdjęcie przedmiotu z B1 i położenie na S1 2) pobranie przedmiotu z MWe i założenie na B1 3) obrót B o podziałkę (WY.6) 4) zdjęcie przedmiotu z B2 i położenie na S2 5) pobranie przedmiotu z S1 i założenie na B2 6) start programu B (WY.7)
5	Koniec programu D1	1) zdjęcie przedmiotu z D1 i położenie na K1 2) pobranie przedmiotu z S2 i założenie na D1 3) start D1
6	Koniec programu D2	1) zdjęcie przedmiotu z D2 i położenie na K2 2) pobranie przedmiotu z S3 i założenie na D2 3) start D2
7	Wynik kontroli K1 wyrób dobry WD1	Pobranie przedmiotu ze stanowiska K1 i położenie na S3
8	Wyniki kontroli K2 - wyrób dobry WD2	Pobranie przedmiotu ze stanowiska K2 i położenie w MWy.
9	Wynik kontroli - wyrób zły (brak) WB	Pobranie przedmiotu ze stanowiska kontroli i położenie w magazynie braków
10	Wynik kontroli - wyrób do poprawy (WP)	Pobranie przedmiotu ze stanowiska kontroli, położenie w magazynie pośrednim
11	Sensor	Sprawdzenie chwytaka przedmiotu
12	Sensor	
13	-	Rezerwowe
14	-	

Znaczenie symboliki jak na rys. 2.

Tablica 2

Wykaz sygnałów WY robota

Nr	N a z w a	
1	Obrót magazynu	S1
2	Obrót magazynu	S2
3	Obrót magazynu	S3
4	Otwarcie szcęk	B
5	Zamknięcie szcęk	B
6	Obrót B o podziałkę	
7	Start programu	B
8	Otwarcie szcęk	D1
9	Zamknięcie szcęk	D1
10	Start programu	D1
11	Otwarcie szcęk	D2
12	Zamknięcie szcęk	D2
13	Start programu	D2
14	Start automatyczny	K1
15	Start automatyczny	K2
16	Rezerwowe	

Znaczenie symboli jak na rys. 2.

Już pobieżna analiza problemu prowadzi do wniosku, że podstawowym zagadnieniem przy aplikacji robota jest zdecydowanie się na jedną z dwu głównych możliwych wersji organizacji pracy gniazda:

- szeregowej lub
- równoległej.

Szeregowa organizacja pracy gniazda powoduje, że przy uruchamianiu produkcji w gnieździe część urządzeń technologicznych i obrabiarek przez pewien okres czasu - do "wypełnienia" gniazda - stoi bezczynnie, a praca robota różni się w sensie algorytmu obsługi od prostej obsługi urządzeń pracujących w układzie równoległym.

Wybór ostatecznej wersji organizacji pracy w gnieździe ma istotny wpływ na projekt systemów wchodzących w skład gniazda.

3. SYSTEMY FUNKCJONALNE ZABEZPIECZAJĄCE PRACĘ GNIAZDA

W skład gniazd obrabiarek obsługiwanych przez roboty przemysłowe wchodzi szereg systemów funkcjonalnych:

3.1 - obrabiarki

- 3.2. - system transportu zewnętrznego
- 3.3. - system transportu wewnętrznego
- 3.4. - system kontroli wymiarowej
- 3.5. - system narzędziowy
- 3.6. - system obsługi i sterowania gniazdem
- 3.7. - system BHP.

Oprócz wyżej wymienionych systemów wyodrębnionych na podstawie analizy literatury przedmiotu i doświadczeń własnych w fazie projektowania i uruchamiania gniazda należy uwzględnić:

- 3.8. - system przygotowania technologicznego produkcji oraz
- 3.9. - system symulacji pracy gniazda w różnych warunkach zewnętrznych dla dowolnie założonej konfiguracji i organizacji pracy.

O ile systemy 3.1, 3.5 oraz 3.8 konfigurować można z reguły z istniejących i dostępnych rozwiązań, o tyle pozostałe z zasady muszą być ściśle dostosowane do wymagań stawianych przez konkretną aplikację (oczywiście uwaga ta nie dotyczy systemu 3.9, który zgodnie ze swym założeniem jest systemem elastycznym charakteryzującym się szerokim polem możliwych zastosowań).

Ogólną tendencją, którą można zaobserwować w szeregu przeanalizowanych gniazd, jest dążenie do maksymalnej prostoty ich rozwiązań konstrukcyjnych. Wszelkie niepotrzebnie skomplikowane konstrukcje transporterów czy magazynów pośrednich oprócz znacznego podniesienia ceny gniazda powodują istotny spadek pewnego jego działania.

Przy omawianiu systemów warunkujących poprawną pracę gniazda nie sposób pominąć zadań powierzonych operatorowi. Najczęściej w zakres jego obowiązków wchodzi:

- obserwacja pracy gniazda,
- kontrola wymiarowa detali po kolejnych operacjach obróbkowych,
- wprowadzanie bieżących korekty narzędziowych,
- wymiana narzędzi awaryjna i planowa,
- współpraca z transportem zewnętrznym przy wymianie zasobników we/wy,
- doraźne usuwanie wiórów.

4. ZASADY PROJEKTOWANIA GNIAZD OBRABIAREK Z ROBOTEM PRZEMYSŁOWYM

Koncepcja konfiguracji gniazda wypływa z następujących przesłanek:

- z wybranego typu przedmiotów (tuleja, tarcza, wałek, korpus itp.), zakresu wymiarów, wymaganej dokładności obróbki, po uwzględnieniu możliwości manipulacyjnych dostępnych robotów przemysłowych,
- zakresu operacji wykonywanych na wybranych przedmiotach, związanego ze stopniem ich komplikacji technologicznej.

Swoboda projektanta może być już wstępnie ograniczona przez narzucenie systemu obrabiarkowego, na bazie którego ma powstać gniazdo. W przeciwnym przypadku dla określonego zbioru przedmiotów dobieramy odpowiednie obrabiarki i opracowujemy technologię obróbki, która w wyniku kolejnych etapów procesu projektowania może jeszcze ulec pewnym zmianom.

Decydującym krokiem jest wybór rodzaju pracy gniazda. Podstawowymi odmianami organizacji pracy są:

- równoległa,
- szeregowa.

Pierwszy wariant - równoległy - polega na niezależnej pracy poszczególnych obrabiarek. Wariant ten nie narzuca żadnych specjalnych warunków przy opracowaniu technologii obróbki, wymaga jednak stosowania skomplikowanego systemu transportu wewnętrznego oraz znacznych magazynów pośrednich.

Wariant drugi - szeregowy - polega na wykonywaniu poszczególnych operacji na kolejnych obrabiarkach. Aby zapewnić rytmiczność produkcji wymaga, aby czasy trwania poszczególnych operacji były możliwie równe. Powoduje to konieczność opracowania odpowiednich programów obróbki dla poszczególnych obrabiarek, uwzględniając przy tym również dobór parametrów skrawania związany z okresami trwałości poszczególnych narzędzi.

W dalszej części ograniczymy się do gniazd o organizacji szeregowej jako najszerszej rozpowszechnionej w praktyce przemysłowej. Ostateczne ustalenie organizacji pracy gniazda pozwala na ustalenie:

- ilości niezbędnych dodatkowych urządzeń technologicznych i podstawowych wytycznych do ich konstrukcji,
- kolejności pracy urządzeń,
- algorytmu sterowania gniazdem.

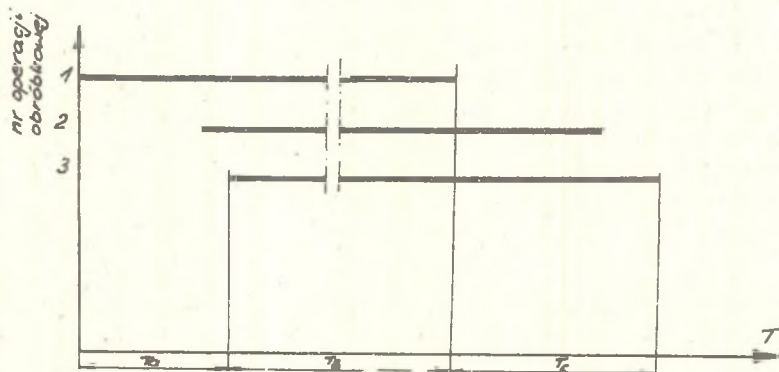
W skład typowych dodatkowych urządzeń technologicznych wchodzi najczęściej:

- magazyn surowek,
- magazyn wyrobów gotowych,
- manipulatory do reorientacji przestrzennej przedmiotów,
- urządzenia kontrolno-pomiarowe.

Rozwiązaniem koniecznym ze względu na płynność pracy gniazda jest wprowadzenie bufora z zapsem surowek, który umożliwi wymianę pustego zasobnika surowek na pełny bez ścisłego ograniczenia czasu wymiany.

4.1. "Pojemność gniazda" a ekonomiczne wielkości serii wyrobów

Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie proces wytwarzania serii przedmiotów w gnieździe.



Rys. 1

T_A - czas wypełniania gniazda, T_B - czas normalnej pracy gniazda, T_C - czas opróżniania gniazda

Jak wynika z rys. 1 optymalnym rozwiązaniem ze względu na stopień wykorzystania urządzeń wchodzących w skład gniazda jest sytuacja, gdy:

$$I \quad \begin{array}{l} T_B / (T_A + T_C) \longrightarrow \text{MAX} \\ T_A + T_B + T_C \longrightarrow \text{MIN} \end{array}$$

Serie ekonomiczne wyznaczane dotychczas stosowanymi metodami obliczeniowymi są zazwyczaj zbyt krótkie - czas "napełniania" i "opróżniania" gniazda jest nieporównywalnie duży w stosunku do normalnej ustalonej pracy gniazda.

4.2. Powierzchnia zajmowana przez gniazdo

Robotyzacja pozwala między innymi [1] na minimalizację powierzchni zajmowanej przez obrabiarki i współpracujące z nimi urządzenia

$$II \quad T_{\epsilon_{\max}} F \longrightarrow \text{MIN}$$

Korzystna skądinąd minimalizacja powierzchni roboczej wynika głównie z ograniczonych możliwości manipulacyjnych robota. Opracowano już wiele programów komputerowych [6, 1], pozwalających szybko opracować optymalną ze względu na kryterium II konfigurację urządzeń wchodzących w skład gniazda.

4.3. Synchronizacja czasów operacji obróbkowych

Korzystna jest sytuacja, gdy czasy operacji obróbkowych na poszczególnych obrabiarkach oraz czasy ewentualnych operacji kontroli technicznej są do siebie zbliżone.

$$\text{III} \quad T_{g_{\max}} - T_{g_{\min}} \longrightarrow \text{MIN}$$

Na czasy główne operacji możemy wpływać zmieniając odpowiednio parametry skrawania narzędzi, co jednakże uwzględniać winno fakt, iż narzędzia powinny pracować w takich warunkach, by osiągały optymalne zużycie po okresie zbliżonym do T_{ek} . Analizę czasu pracy narzędzi w przypadku OSN można przeprowadzić bądź to na podstawie dodatkowych wydruków informacyjnych komputerowych systemu opracowania technologii, bądź za pomocą programów komputerowych analizujących tekst gotowych programów óbróbozych.

4.4. Wymiana planowa narzędzi w gnieździe

Planowa wymiana narzędzi, która wymaga zatrzymania pracy robota i pozostałych urządzeń (ze względów BHP) powinna obejmować wszystkie narzędzia z wyjątkiem tych, których okres trwałości jest minimum n -krotnie dłuższy od okresu trwałości ogółu narzędzi

$$T_{n_1}, T_{n_2}, \dots, T_{n_i} = T = \text{idem}$$

IV pozostałe narzędzia

$$T_{n_j}, T_{n_k}, \dots, T_{n_n} = m \cdot T$$

gdzie:

$$m = 2, 3, 4, \dots$$

Strefa obróbki na obrabiarkach powinna podlegać stałej obserwacji za pomocą kamer telewizji przemysłowej, co pozwala na szybkie wykrycie awarii narzędzi. Kompensację stopniowego tracenia wymiaru przez ostrze narzędzia można realizować przez wprowadzanie odpowiednich poprawek poprzez nastawniki korekcyjne OSN, zdublowane na pulpicie operatorskim nie opodal stanowiska kontroli wymiarowej.

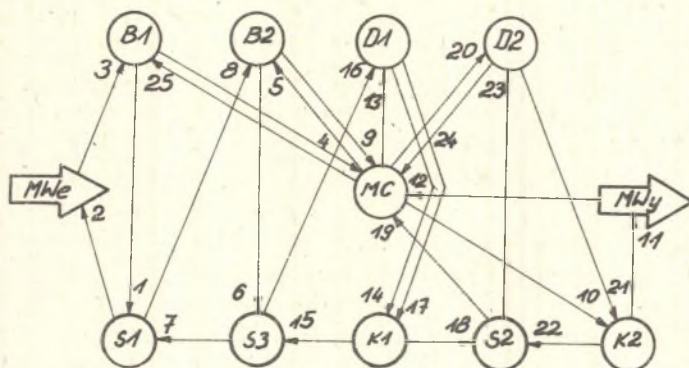
4.5. Wydażność gniazda

Końcowym etapem prac nad projektem gniazda jest ściśle określenie organizacji współpracy (rys. 2) poszczególnych urządzeń, przy czym ostatecznym celem jest tu maksymalne skrócenie taktu pracy gniazda.

$$\text{V} \quad T_{pr} \longrightarrow \text{MIN}$$

celem zapewnienia potrzebnej wydażności.

Ostatecznie ustalona organizacja pracy gniazda winna być uzupełniona wykazem operacji lub czynności, które bezpośrednio wpływają na czasową wartość taktu gniazda.



Rys. 2. Schemat obsługi gniazda przez robot IRb-60

MWe - magazyn wejściowy, MWy - magazyn wyjściowy, B1 - półautomat Bullard (stanowisko 1), B2 - półautomat Bullard (stanowisko 2), D1 - tokarka DF-315, D2 - tokarka DF-315, k1 - stanowisko kontroli 1, k2 - stanowisko kontroli 2, S1 - stanowisko reorientacji przedmiotu 1, S2 - stanowisko reorientacji przedmiotu 2, S3 - stanowisko reorientacji przedmiotu 3, MC - magazyn chwytaków

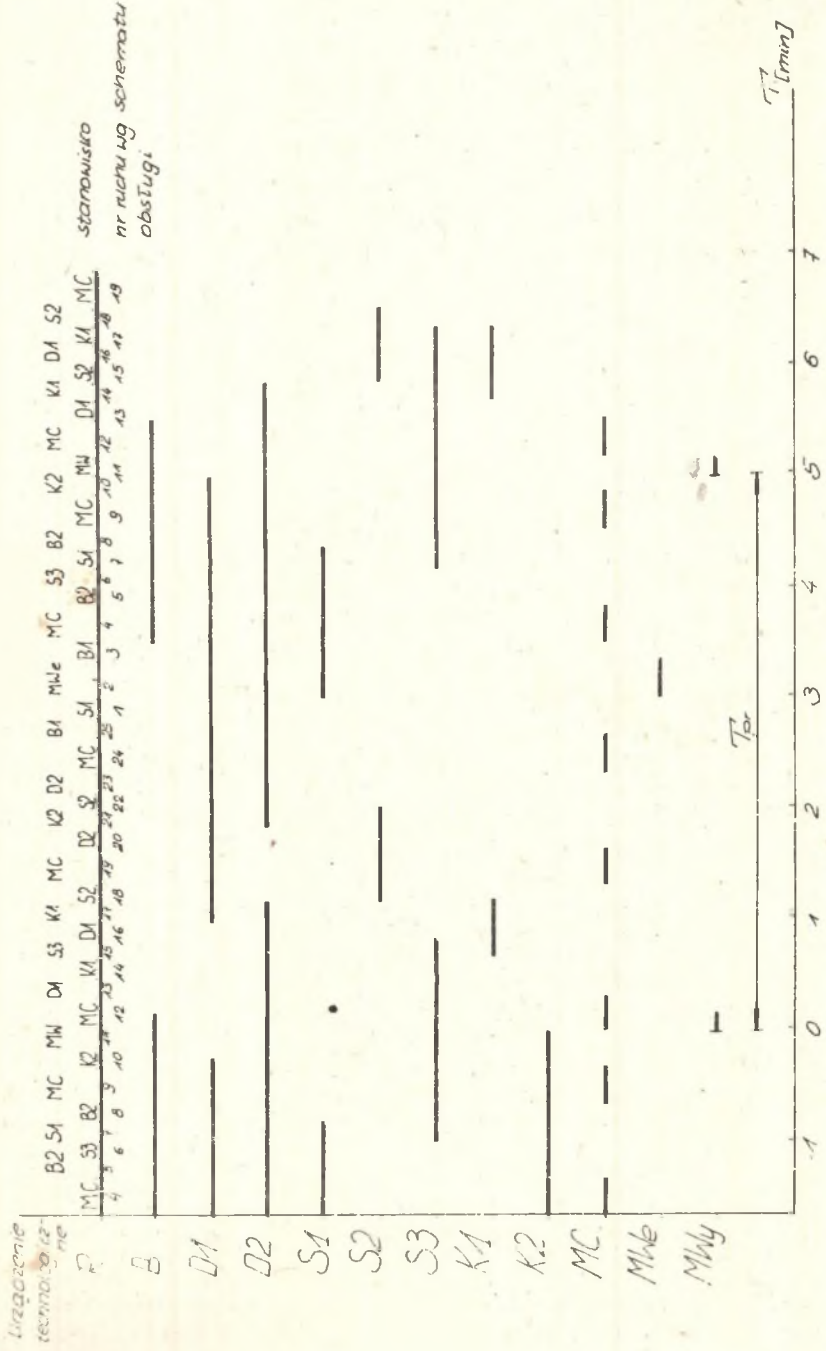
Istotne jest przy tym wyraźne stwierdzenie, czy czas ten zależy od operatora gniazda, czy też jest uzależniony od najdłuższego czasu głównego operacji obróbozej. Nie od rzeczy będzie tu wskazać na istotne ograniczenia, jakimi są możliwości manipulacyjne robota. Operacje transportu wewnętrznego nie mogą bowiem odbywać się jednocześnie w kilku punktach gniazda, jeśli decydujemy się (a tak najczęściej bywa) na obsługę gniazda przez jeden robot przemysłowy.

Niezwykle przydatne do szybkiego i bezbłędnego ustalenia algorytmu sterowania gniazdem są cyklogramy pracy poszczególnych urządzeń, jakie można uzyskać przez wykorzystanie programów symulujących pracę gniazda w rozpatrywanych konfiguracjach (rys. 3).

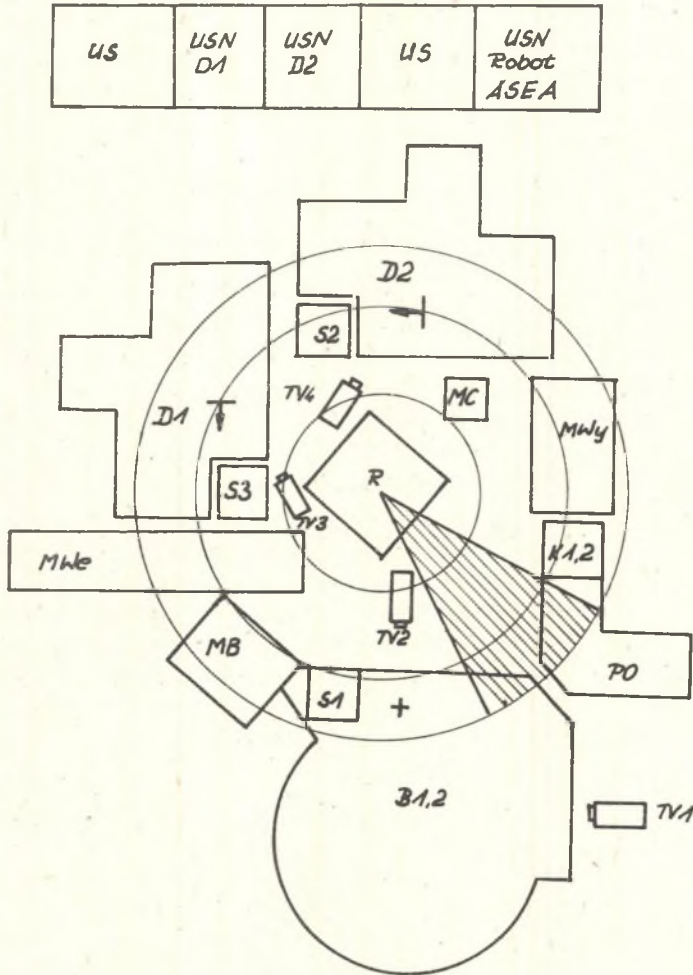
5. PODSUMOWANIE

Przykładem praktycznego zastosowania omówionych powyżej kryteriów może być projekt gniazda do obróbki przedmiotów typu tarcza i tuleja, składającego się z dwu tokarek sterowanych numerycznie, półautomatu tokarskiego typu Bullard i robota przemysłowego ASEA IRb-60 (rys. 4).

W przykładowym rozwiązaniu (rys. 2,3,4) podano harmonogram pracy poszczególnych urządzeń technologicznych w gnieździe, cyklogram pracy robo-



Rys. 3. Cyklogram pracy przykładowego gniazda obrabiarek z robotem przemysłowym



Rys. 4. Konfiguracja przykładowego gniazda obrabiarek z robotem przemysłowym

US - układ sterowania, USN D1, USN D2 - układ sterowania numerycznego obrabiarki DF-315, R - robot ASEA IRb-60, MB - magazyn wyrobów, TV_i - kamery telewizyjne, PO - pulpit operatora, B1,2 - półautomat BULLARD

ta dla wybranego przedstawiciela zbioru przedmiotów przeznaczonych do obróbki w gnieździe. Szkic prezentujący konfigurację gniazda pozwolił na opracowanie wytycznych do konstrukcji dodatkowych urządzeń technologicznych, niezbędnych do pracy gniazda zgodnie z założoną organizacją.

Wyżej przedstawione wytyczne do konstrukcji gniazd uwzględniają przypadek, gdy wdrożenie gniazda jest ekonomicznie uzasadnione.

LITERATURA

- [1] MADEJSKI J., RAWLUK L.: Roboty przemysłowe w gniazdach OSN. Gliwice 1978. Materiały narady SIMP na temat "Techniczno-ekonomiczne aspekty stosowania OSN".
- [2] SIKORA J.: Optymalizacja procesów obróbki skrawaniem z zastosowaniem maszyn cyfrowych. WNT, Warszawa 1978.
- [3] WÓJCIKOWSKI J., MADEJSKI J.: Stosowanie robotów przemysłowych w komputerowo sterowanych gniazdach. OSN. NOT, Dąbrowa Górnicza, wrzesień 1979. Konf. na temat "Konstr. i eksploat. wiertarko-frezarek sterow. numerycznie".
- [4] WÓJCIKOWSKI J., MADEJSKI J., RAWLUK L.: A group of NC machine tools and industrial robot for machining of rotational components. Warna 1978 Konf. na temat: "NC machine tools, transfer machines, production lines and means of automation thereof".
- [5] STARK R., NICHOLLS R.: Matematyczne podstawy projektowania inżynierskiego. PWN, Warszawa 1979.
- [6] SCHMIDT-STREIER U.: Planung des Industrieroboter- Einsatzes mit Hilfe der elektronischer Datenverarbeitung. Forderung und Heben 10/1977.

ВОПРОСЫ И РАЗРАБОТКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГНЕЗДА МЕТАЛОРЕЗУЩИХ СТАНКОВ С ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ

Р е з ю м е

Представляется проблематика проектирования гнезд металлорежущих станков с промышленными роботами. Приводятся критерии оптимизации идеи гнезда с примерным решением гнезда для обработки деталей типа "диск" и типа "штулка".

THE ELABORATION OF THE BRIEF FOR DESIGN OF THE PRODUCTION CENTRES WITH AN INDUSTRIAL ROBOT

S u m m a r y

The elaboration of the brief for design of the production centres with industrial robots is presented. The criterions for optimizing the centres are given as well as the example of the centre for shields and bushes production.