

# KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA STRUKTUR PRODUKCYJNYCH

Jerzy MAZURCZAK, Izabela KUDELSKA

**Streszczenie:** W wieloetapowym procesie projektowania przedsiębiorstw przemysłowych istotną pozycję zajmuje projektowanie struktury produkcyjnej. Obszarem projektowania w tym zakresie objęte są zazwyczaj duże, różnorodne zbiory części, co powoduje, że projektant zmuszony jest do wykonywania pracochłonnych i żmudnych, a jednocześnie prostych obliczeń. Dla usprawnienia tych obliczeń, a przede wszystkim osiągnięcia optymalnych rozwiązań korzystne jest komputerowe wspomaganie tych prac. Prezentowany program dotyczy wspomagania wydzielenia jednostek produkcyjnych I. stopnia złożoności. Otrzymane w wyniku realizacji programu tabulogramy wynikowe stanowią, ze względu na uporządkowaną formę danych, podstawowy materiał roboczy dla procesu wydzielenia jednostek produkcyjnych.

**Słowa kluczowe:** struktura produkcyjna zakładu przemysłowego, projektowanie struktur systemów produkcyjnych, wydzielenie jednostek produkcyjnych, komputerowe wspomaganie projektowania struktur produkcyjnych.

## 1. Wprowadzenie

Projektowanie przedsiębiorstw przemysłowych, w tym zakładów budowy maszyn jest jedną z najbardziej złożonych dziedzin projektowania technicznego. Jest to wieloetapowy proces obliczeniowo-decyzyjny, w którym istotną pozycję zajmuje projektowanie struktury produkcyjnej.

Pod pojęciem struktury produkcyjnej (struktury systemu produkcyjnego) należy rozumieć sposób podziału procesu produkcyjnego pomiędzy jednostki produkcyjne jako podmioty procesu produkcji razem ze związkami wewnętrznymi i zewnętrznymi wynikającymi ze współpracy stanowisk roboczych i jednostek produkcyjnych wyższego rzędu [1]. Inaczej jest to układ komórek produkcyjnych i formy ich wewnętrznych powiązań kooperacyjnych w procesie produkcji [2].

Jak wynika z powyższych definicji, elementami składowymi struktury produkcyjnej są jednostki produkcyjne (JP) o różnych stopniach złożoności: 0 – stanowisko robocze, I – gniazdo, linia, warsztat, brygada, II – oddział, III – wydział [3]. Przez pojęcie jednostki produkcyjnej I stopnia złożoności,  $JP_1$ , należy rozumieć jednostki specjalizowane przedmiotowo (zagadnienie specjalizacji JP omówiono w dalszej części).

Można, więc przyjąć [4, 5, 6], że projektowanie struktury produkcyjnej jest równoznaczne (równorzędne) z projektowaniem i organizacją struktur systemów produkcyjnych.

W projektowaniu struktury produkcyjnej można wyróżnić następujące główne etapy [7]:

- czynności przygotowawcze obejmujące analizę warunków produkcyjnych i organizacyjnych oraz istniejącej struktury, weryfikację podziału stanowisk na

- grupy zastępowalne, weryfikację procesów technologicznych, badanie możliwości pogłębienia specjalizacji przedmiotowej, określenie danych wejściowych,
- wydzielanie jednostek produkcyjnych I stopnia złożoności rozumianych jako elementarne zgrupowanie stanowisk roboczych,
- projekty techniczne wydzielonych jednostek produkcyjnych (JP), w tym obliczenie parametrów charakteryzujących jednostkę, określenie formy organizacji produkcji, obliczenia szczegółowe jednostek produkcyjnych, opracowanie harmonogramów wzorcowych, rozstawienie stanowisk roboczych,
- wnioski i zalecenia wdrożeniowe.

Zakresem projektowania objęte są zazwyczaj duże, różnorodne zbiory pozycji asortymentowych opisane technologią. Analiza takich zbiorów jest niezbędna zarówno w przypadku modernizacji struktury istniejących zakładów jak i przy tworzeniu struktury zakładów nowo powstających. Powoduje to, że w niektórych etapach projektowania projektant zmuszony jest do wykonywania pracochłonnych i żmudnych a jednocześnie stosunkowo prostych obliczeń. Dotyczy to przede wszystkim etapów:

- wydzielania grup asortymentowych przypisanych do jednostek produkcyjnych,
- projektowania technicznego najbardziej odpowiednich form organizacji dla danej jednostki produkcyjnej,
- rozmieszczenia stanowisk roboczych.

Dla usprawnienia obliczeń, a przede wszystkim osiągnięcia rozwiązań optymalnych (lub suboptymalnych) korzystne jest komputerowe wspomaganie w tych obszarach.

Przedstawiany program dotyczy komputerowego wspomaganie etapu wydzielania jednostek produkcyjnych i jest oparty na założeniach metodycznych zawartych we wcześniejszych pracach autora [7, 8] oraz [1].

## 2. Wydzielanie jednostek produkcyjnych

Wydzielanie jednostek produkcyjnych I. stopnia złożoności ( $JP_1$ ), rozumianych jako elementarne zgrupowanie stanowisk roboczych (przy czym zgrupowanie to następuje ze względu na związek tych stanowisk w wytwarzaniu określonych przedmiotów) zajmuje w procesie projektowania struktury produkcyjnej pierwszoplanową pozycję. Od rezultatów tego etapu zależą bowiem wyniki kolejnych podetapów projektowych, takich jak między innymi: przyjęta forma organizacji produkcji, budowa harmonogramów wzorcowych dla form potokowych, rozmieszczanie stanowisk roboczych i jednostek produkcyjnych w przestrzeni, a także pozostałe etapy w projektowaniu organizacji przedsiębiorstw (system sterowania produkcją, organizacja pomocniczych procesów produkcji, projektowanie systemów zarządzania).

Kształtowanie struktury produkcyjnej można traktować jako kombinatoryczne łączenie stanowisk roboczych powiązanych procesem technologicznym razem z optymalizacją tych powiązań, lub też jako grupowanie przedmiotów (części) przewidzianych do wykonania w jednej jednostce produkcyjnej. W związku z powyższym proces projektowania (kształtowania) struktur będzie polegał na tworzeniu lub dzieleniu istniejących jednostek produkcyjnych (w szerszym znaczeniu jednostek organizacyjnych JO). Zgodnie z prawem podziału i tworzenia jednostek organizacyjnych [1] o wydzieleniu lub utworzeniu jednostki produkcyjnej decydują dwa działające równolegle czynniki produkcyjnej:

- wyrażnie wydzielająca się specjalizacja robót,
- ilość robót w danej specjalności.

Pierwszy czynnik dotyczy podobieństwa technologicznego robót i produkowanych przedmiotów. Celem jest zawężenie ich różnorodności. Konieczność ograniczania wielkości JO (w tym oczywiście produkcyjnych) i potrzeba sprawnego, kompetentnego kierowania nimi powoduje, że specjalizacja tych jednostek przybiera dwojaki charakter: przedmiotowy i technologiczny.

Specjalizacja przedmiotowa. Wyraża dążenie do zamknięcia w jednostce całości procesu produkcyjnego wyrobu (złożonego i prostego). Kryterium łączenia stanowisk w jednostkach specjalizowanych przedmiotowo jest ich współpraca przy wykonywaniu określonego wyrobu (wyrobów). Powstają w ten sposób takie jednostki, jak np. gniazdo wałków, linia tulejek, gniazdo kół zębatych itp.

Specjalizacja technologiczna. Kryterium łączenia stanowisk w jednostkach specjalizowanych technologicznie stanowi podobieństwo technologii stosowanej na danych stanowiskach [3]. Powstają w ten sposób takie jednostki, jak np. gniazdo tokarek, gniazdo szlifierek, gniazdo frezarek.

W przemyśle maszynowym, ze względu na efekty techniczno-ekonomiczne jednostki produkcyjne należy kształtować według specjalizacji przedmiotowej z możliwością elastycznego wytwarzania [9]. Duże jednostki produkcyjne o znacznym asortymencie przedmiotów należy poddać badaniu i optymalnemu pogłębieniu specjalizacji przedmiotowej dostosowanej do warunków poszczególnych wyselekcjonowanych podzbiorów ich asortymentu [1].

Drugi czynnik to ilość robót mierzony zazwyczaj ich pracochłonnością i powtarzalnością. Ilość pracy musi być na tyle duża, aby na poszczególnych stanowiskach roboczych i w jednostkach produkcyjnych występowało pełne zatrudnienie (odpowiednie obciążenie robotami). Często z powodu braku pełnego zatrudnienia musimy godzić się na większą różnorodność, kojarząc w jednostce organizacyjnej wykonanie operacji i przedmiotów o mniejszym podobieństwie.

W praktyce, dla wydzielenia jednostek produkcyjnych należy przygotować odpowiednie dane dotyczące przede wszystkim procesów technologicznych i programów produkcji. Informacje w zakresie marszrut technologicznych można zamieścić w tablicach (macierzach) o współrzędnych asortyment-jednorodne grupy stanowisk roboczych, lub też w układzie macierzowym.

Jednorodna grupa stanowisk (JGS) to inaczej grupa stanowisk wzajemnie zastępowalnych. W skład takiej grupy wchodzi stanowiska robocze na których można realizować te same operacje technologiczne, pozwalające na wzajemne zastępowanie się w ramach realizacji procesu produkcyjnego określonego zbioru części [8]. Przykładem jednorodnej grupy stanowisk jest gniazdo frezarek, szlifierek.

Elementami tych tablic (macierzy) mogą być, w zależności od etapu obliczeń: numery lub liczby operacji technologicznych wykonywanych na danej części na jednorodnej grupie stanowisk, pracochłonność jednostkowa  $t_j$  wykonania operacji lub zdolność obciążeniowa poszczególnych operacji  $r_{op}$  obliczone według wzoru [10]:

$$r_{op} = \frac{t_j \cdot P}{F} \quad (1)$$

gdzie:

- $r_{op}$  – zdolność obciążeniowa operacji,
- $t_j$  – czas jednostkowy wykonania operacji,
- $P$  – roczny program produkcji,
- $F$  - fundusz czasu pracy stanowiska roboczego.

Przykład takiej tablicy dla 6 części i 7 grup stanowisk JGS (w tabeli z programu komputerowego JGS są przedstawione jako GR1, GR2, GR3, ..., GR7) zawierającej czasy jednostkowe  $t_j$  przedstawiono na rys. 1.

Część/JGS		GR1	GR2	GR3	GR4	GR5	GR6	GR7
1	Det 1	0.36	0.28	0.24	0.12	-	-	-
2	Det 2	0.28	0.16	0.20	-	-	-	-
3	Det 3	0.08	-	-	-	0.32	0.32	0.28
4	Det 4	-	-	-	-	0.32	0.20	0.24
5	Det 5	-	0.08	0.04	0.32	-	-	-
6	Det 6	-	-	-	-	0.24	0.36	0.24

Rys. 1. Przykład tablicy (macierzy) pracochłonności  $t_j$

Dla wydzielenia jednostek produkcyjnych ze zbiorów części i jednorodnych grup stanowisk (JGS) wskazane jest odpowiednie uporządkowanie, czyli dekompozycja tych tablic (macierzy). Przykład macierzy nieuporządkowanej zawiera rys. 1.

Wydzielanie podzbiorów części do  $JP_1$  należy rozpocząć od pozycji zapewniających maksymalne obciążenie stanowisk roboczych, czyli posiadających największe średnie zdolności obciążeniowe operacji  $r_{op\bar{s}r}$  (jako średnia arytmetyczna z wszystkich operacji danej części). Wielkość średniej zdolności obciążeniowej operacji powinna więc stanowić podstawowe kryterium (obok kryterium równorzędnego – podobieństwa) w selekcji części na potrzeby wydzielenia  $JP_1$ .

W procesie wydzielenia  $JP_1$  przyjęto trzy podstawowe założenia.

**Założenie 1.** Proces wydzielenia jednostek produkcyjnych nie może spowodować zwiększenia liczby stanowisk roboczych w poszczególnych JGS w stosunku do liczby wynikającej z sumarycznego ich obciążenia lub, w przypadku modernizacji struktury, z zainstalowanego parku maszynowego.

Gdy w wyniku podziału nie nastąpi zwiększenie liczby stanowisk, można utworzyć z danego podzbioru części i JGS potencjalną jednostkę produkcyjną. Najczęściej jednak wymagane będzie dociążenie poszczególnych stanowisk, a więc wystąpi problem dołączania kolejnych pozycji asortymentowych, podobnych pod względem technologiczno-organizacyjnym.

Podobieństwo technologiczno-organizacyjne winno więc stanowić, obok średniej zdolności obciążeniowej operacji, podstawowe kryterium w wydzieleniu jednostek produkcyjnych I stopnia złożoności. W przypadku konieczności doboru części do  $JP_1$  w pierwszej kolejności należy oczywiście wyszukiwać części o procesach technologicznych maksymalnie zbliżonych do procesów części już wydzielonych, a dopiero później (w razie potrzeby) części o coraz mniejszym podobieństwie. Określanie stopnia podobieństwa dwóch części przez badanie stopnia nakładania się marszrut technologicznych może być dokonywane za pomocą współczynnika  $\alpha$ . Formuła obliczeniowa współczynnika podobieństwa ujęta we wzorze 2 oraz zawarta jest między innymi w pozycjach [7, 11].

$$\alpha_{i,k} = \frac{\sum_{j=1}^r x_{i,j} x_{k,j}}{\min(\sum_{j=1}^r x_{i,j}; \sum_{j=1}^r x_{k,j})} \quad (2)$$

gdzie:

- $i, k = 1, 2, \dots, i, \dots, a$  – identyfikator części ( $i \neq k$ ),
- $j = 1, 2, \dots, r$  - identyfikator jednorodnej grupy stanowisk,
- $x_{ij}, X_{k,j}$  - elementy macierzy (tablicy) procesów technologicznych.

Proces dekompozycji (porządkowania) macierzy powiązań części i JGS realizowany będzie w następujący sposób. Kolumny macierzy (jednorodne grupy stanowisk) należy uporządkować według malejącego sumarycznego obciążenia. Natomiast wiersze (części) porządkuje się w sposób następujący. Jako pierwsza w macierzy umieszczana jest część o maksymalnej średniej zdolności obciążeniowej operacji  $r_{op\acute{s}r}$  a następnie po kolei pozostałe części według malejącego stopnia podobieństwa technologiczno-organizacyjnego  $\alpha$ , aż do osiągnięcia wartości granicznej założonej w danych wejściowych (np.  $\alpha = 0,8$ ). Z pozostałych części wybieramy ponownie część o maksymalnej wartości  $r_{op\acute{s}r}$  a następnie dobieramy do niego części o założonym stopniu podobieństwa. Tak postępujemy z całym zbiorem części stanowiącym obszar projektowy.

Proces porządkowania macierzy powiązań części i JGS powinien więc polegać na przesunięciach w układzie wierszy według średniej zdolności obciążeniowej operacji i kolumn według obciążeniowej liczby stanowisk roboczych (ich sumarycznego obciążenia). Tak zbudowane macierze, których elementami są obciążenia JGS poszczególnymi operacjami, stanowią podstawę podejmowania decyzji co do wydzielania jednostek produkcyjnych I stopnia złożoności.

**Założenie 2.** O przydzieleniu części do jednostki produkcyjnej powinien decydować fakt wykonania w niej większości operacji marszruty technologicznej. W literaturze przyjmuje się czasami jako warunek przydzielenia do JP wielkość 70% operacji z marszruty, stanowiącą granicę domknięcia specjalizacji przedmiotowej [12, 1].

Problem domknięcia specjalizacji przedmiotowej ma szczególne znaczenie przy tworzeniu potokowych form organizacji produkcji. Gdy warunek domknięcia specjalizacji nie jest zachowany, a jednocześnie istnieje konieczność dociążenia wybranej grupy stanowisk, wówczas do jednostki produkcyjnej należy przyporządkować tylko wybraną operację części, która będzie wykonywana w ramach kooperacji w rozpatrywanej JP.

**Założenie 3.** Każda część musi być jednoznacznie przyporządkowany do określonej jednostki produkcyjnej I stopnia złożoności.

Powyższe założenia metodyczne stanowią podstawę algorytmu wydzielania JP<sub>1</sub> w projektowaniu struktury systemu produkcyjnego w rzeczywistych warunkach przemysłu maszynowego.

Algorytm wydzielania jednostek produkcyjnych I stopnia złożoności składa się z następujących kroków obliczeniowo-decyzyjnych:

- K1. Przygotowanie danych wejściowych.
- K2. Obliczenie dla poszczególnych części średniej zdolności obciążeniowej operacji i porządkowanie zbioru części według tej wielkości (od max do min).
- K3. Obliczenie potrzebnej liczby stanowisk roboczych do wykonania założonego programu produkcji całego zbioru części - r.

$$r_g = \frac{\sum_{i=1}^{a_g} P_{czi} * T_{ji} * (1 + q)}{F_{mn} * \eta_n} \quad (3)$$

gdzie:

$P_{cz}$  – program części,

$F_{mn}$  – fundusz maszynowo nominalny,

$T_{ji}$  – czas jednostkowy,

$q$  – współczynnik udziału czasu przygotowawczo – zakończeniowego,

$\eta_n$  – dopuszczalne obciążenie stanowiska roboczego.

- K4. Porządkowanie JGS (jednorodnych grup stanowisk roboczych inaczej stanowisk wzajemnie zastępowalnych) według ich sumarycznego obciążenia.
- K5. Budowa macierzy powiązań JGS i części według K2 i K4, której elementami są zdolności obciążeniowe operacji.
- K6. Próba wydzielenia ze zbioru stanowisk i zbioru części o wysokich średnich zdolnościach obciążeniowych operacji jednostek produkcyjnych dla utworzenia potokowych form organizacji produkcji.
- K7. Określenie liczby stanowisk roboczych wydzielonego zbioru części -  $r_1$ , oraz liczby stanowisk pozostałego (nie podzielonego) zbioru części -  $r_2$ . Wobec przyjętego założenia, że proces wydzielania JPI nie może spowodować zwiększenia liczby stanowisk w poszczególnych grupach JGS w stosunku do liczby wynikającej z sumarycznego ich obciążenia ( $r$ ), konieczne jest sprawdzenie warunku:

$$r_1 + r_2 = r \quad (4)$$

Gdy warunek jest zachowany - można utworzyć jednostkę produkcyjną lub ewentualnie dobrać następną część dla uzyskania korzystniejszych parametrów. Po tej czynności następuje redukcja zbioru części i stanowisk o wydzielone  $JP_1$  i powrót do kroku K6.

- K8. Gdy powyższy warunek nie jest zachowany, a więc tak przeprowadzony podział spowodowałby wzrost liczby stanowisk, konieczne jest dobieranie do rozpatrywanej JP kolejnych części o podobnych marszrutach technologicznych. Dobieranie odbywa się za pomocą współczynnika podobieństwa technologiczno-organizacyjnego  $\alpha$ .
- K9. Po wyczerpaniu możliwości tworzenia JPI o potokowych formach organizacji produkcji w identyczny sposób postępujemy z kolejnymi częściami i grupami stanowisk.

Dokładny opis wspomnianych powyżej etapów został umieszczony w punkcie: komputerowe wspomaganie wydzielenia jednostek.

Prowadzone prace nad zastosowaniem metodyki wydzielenia jednostek produkcyjnych w rzeczywistych warunkach przemysłowych wykazały [7], że najbardziej żmudne i pracochłonne są:

- obliczenia zdolności obciążeniowych poszczególnych operacji (czyli zapotrzebowania na określoną liczbę stanowisk),
- obliczenia sumarycznych obciążeń stanowisk roboczych,
- obliczenie średniej zdolności obciążeniowej, a przede wszystkim prace nad porządkiem według kryterium podobieństwa technologiczno-organizacyjnego macierzy powiązań części i stanowisk dla skojarzenia ich w jednostki produkcyjne.

Duże trudności przy obliczeniach sprawia właśnie dobieranie (wyselekcjonowanie) do jednostek produkcyjnych części o wymaganym podobieństwie technologiczno-organizacyjnym (tzn. części wymagających takich samych grup stanowisk roboczych wzajemnie zastępowalnych JGS). Czynniki te stały się bodźcem do opracowania programu komputerowego wspomaganie procesu wydzielania JPI.

### 3. Komputerowe wspomaganie wydzielania jednostek produkcyjnych

Opracowany program realizuje kroki K1-K5 opisanego powyżej algorytmu oraz przygotowuje bezpośrednio dane do wykonania kroków K8 i K9. W wyniku działania programu następuje proces selekcji części według różnych kryteriów: np. tylko według średniej zdolności obciążeniowej operacji czy według wskaźnika  $\rho$  pokrywania JGS przez marszruty technologiczne części. Formułę obliczeniową wskaźnika  $\rho$  zamieszczono w [1, 7]. Najbardziej przydatna jest jednak opcja programu umożliwiająca selekcję części według średniej zdolności obciążeniowej operacji i współczynnika podobieństwa  $\alpha$ . W wyniku działania programu następuje proces selekcji części według średniej zdolności obciążeniowej operacji i współczynnika podobieństwa  $\alpha$ . Polega to na umieszczeniu jako pierwszego w macierzy obciążeń części o maksymalnej średniej zdolności obciążeniowej operacji. Do niego dołączane są wszystkie pozostałe części zbioru posiadające założone w danych wejściowych podobieństwo technologiczno-organizacyjne mierzone współczynnikiem  $\alpha$ . Tworzona jest w ten sposób "podmacierz obciążeń". Następnie jako kolejna w macierzy umieszczana jest ta z pozostałych części, która posiada największą średnią zdolność obciążeniową; do niej również dobierane są kolejne pozycje asortymentowe, posiadające założony stopień podobieństwa  $\alpha$ . Powstaje kolejna "podmacierz". Podobnie postępujemy z pozostałymi elementami zbioru aż do jego wyczerpania.

Powstałe w wyniku realizacji programu "podmacierze obciążeń" umożliwiają efektywne i szybkie dobieranie z nich części lub operacji dla tworzenia jednostek produkcyjnych I. stopnia złożoności oraz zapewniają odpowiednie obciążenia JGS. Możliwe jest wprowadzanie kolejnych, granicznych wielkości współczynnika  $\alpha$  (na przykład z krokiem 0.1) po analizie wyników wydzielania JP, a więc i w zależności od potrzeb dotyczących dalszej konieczności kojarzenia części. Obliczone obciążenia stanowisk roboczych umożliwiają również ciągłe śledzenie i sprawdzanie warunku dotyczącego liczby stanowisk roboczych w poszczególnych JGS. Wydzielanie jednostek produkcyjnych realizowane jest więc poprzez dobieranie części i operacji do JP w formie wyszukiwania z uporządkowanej macierzy obciążeń odpowiednich elementów składających się na jednostki produkcyjne.

Działanie programu SELEKCJA zostało opisane poniżej.

#### I. Menu programu.

Po uruchomieniu programu pojawia się menu z opcjami „Akcja” i „Opis” (zawierający informacje o programie). Uruchamiając opcję „Akcja” mamy do wyboru następujące operacje:

1. „Otwórz dane” - otwarcie istniejącego zbioru z danymi.
2. „Nowe dane” - utworzenie nowego zbioru z danymi.
3. „Obliczenia” - wykonanie obliczeń dla aktualnego zbioru danych.
4. „Wydruk danych” - umożliwia podgląd wyników zapisanych do zbioru tekstowego i otwarcie go w Notatniku (rys.2).

5. „Podgląd wyników” - umożliwia podgląd w Notatniku wyników obliczeń zapisanych do zbioru tekstowego.
6. „Koniec” - wyjście z programu.

Det	Jgs	GR1	GR2	GR3	GR4	GR5	GR6	GR7	Tj	Prog. prod.
1. Detal : 1										10000
Jgs	0.36000	0.28000	0.24000	0.12000						
Tj										
2. Detal : 2										10000
Jgs	0.28000	0.16000	0.20000							
Tj										
3. Detal : 3										10000
Jgs	0.08000	0.32000	0.32000	0.28000						
Tj										
4. Detal : 4										10000
Jgs	0.32000	0.20000	0.24000							
Tj										
5. Detal : 5										10000
Jgs	0.08000	0.04000	0.32000							
Tj										
6. Detal : 6										10000
Jgs	0.24000	0.36000	0.24000							
Tj										

Rys. 2. Program Selekcja – wydruk danych

## II. Wprowadzanie i edycja danych (rys. 3)

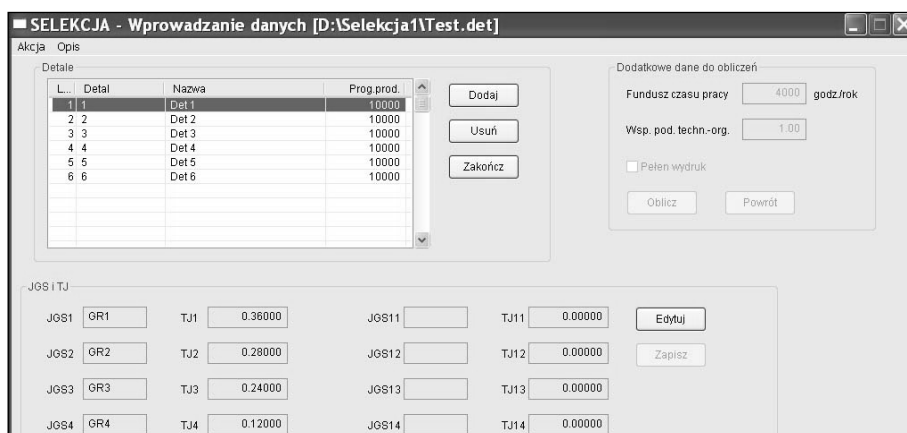
1. „Części” - możliwość przeglądu, dodawania i usuwania części. Należy wprowadzić numery części, ich nazwy oraz wielkości programów produkcji. Opcja „Zakończ” powoduje zamknięcie zbioru z danymi
2. „JGS” i Tj” - opcja wprowadzania i wyświetlania nazw JGS oraz czasów jednostkowych  $t_j$  wykonania operacji; istnieje możliwość zmiany (Edytuj) wprowadzonych parametrów. Opcję kończymy i zapisujemy zmiany korzystając z okna „Zapisz”

## III. Obliczenia

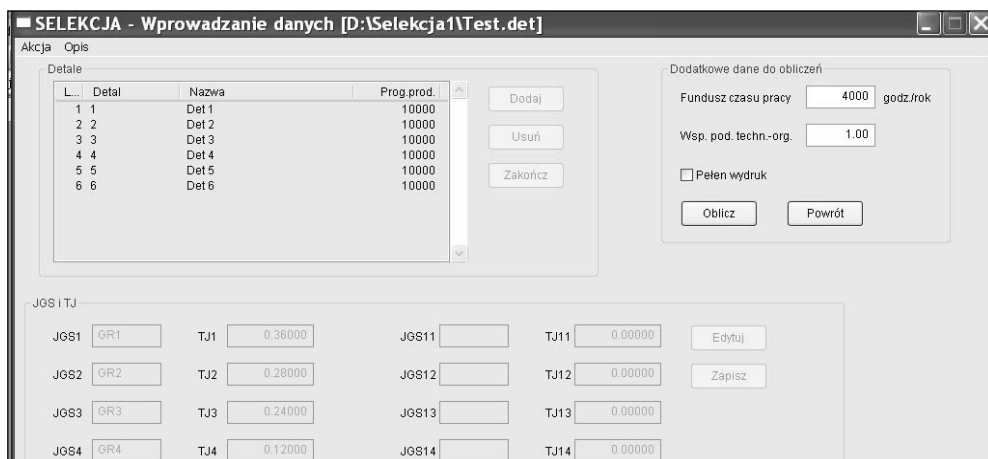
Dla wybranego zbioru części uruchamiamy opcję „Obliczenia” (rys. 4). Należy wprowadzić wielkość funduszu czasu pracy  $F$  oraz założonego współczynnika podobieństwa technologiczno-organizacyjnego  $\alpha$ .

Istnieje możliwość przeprowadzenia obliczeń w dwóch wariantach. Opcja „Wydruk niepełny” powoduje po przeprowadzeniu obliczeń uzyskanie obrazu jak na rys. 5. Jest to wersja najbardziej przydatna do bezpośredniego wydzielania jednostek produkcyjnych.





Rys. 3. Program Selekcja – wprowadzanie i edycja danych



Rys. 4. Program Selekcja – obliczenia

**Test\_wyniki.txt - Notatnik**

Plik Edycja Format Widok Pomoc

```

Dane..... D:\Selekcja1\Test.det
F..... 4000
ALFA..... 1.00
Selekcja wg sredniej zdolnosci obciazeniowej
i wspolczynnika podobienstwa technologiczno-organizacyjnego

```

Detal/jgs		GR.5	GR.6	GR.7	GR.1	GR.2	GR.3	GR.4
6	Det 6	0.600	0.900	0.600	-	-	-	-
4	Det 4	0.800	0.500	0.600	-	-	-	-
3	Det 3	0.800	0.800	0.700	0.200	-	-	-
1	Det 1	-	-	-	0.900	0.700	0.600	0.300
2	Det 2	-	-	-	0.700	0.400	0.500	-
5	Det 5	-	-	-	-	0.200	0.100	0.800
Obc		2.200	2.200	1.900	1.800	1.300	1.200	1.100
R		3.000	3.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

PROGRAM SELEKCJA

Rys. 5. Program Selekcja – wynik obliczeń (wydruk niepełny)

Natomiast opcja „Wydruk pełny” powoduje uzyskanie obrazu jak na rys. 6. Drukowana jest dodatkowo macierz powiązań uporządkowana tylko według średniej zdolności obciążeniowej części, a ponadto dla każdej części wielkości średniej zdolności obciążeniowej operacji  $r_{op\acute{s}r}$ , oraz wskaźnika  $\rho$ . Parametry te, w dalszej części prac projektowych umożliwiają dobór optymalnych form organizacji produkcji jednostek produkcyjnych.

Wyniki obliczeń zapisywane są do pliku tekstowego; opcja „Powrót” powoduje przejście do edycji danych dotyczących części.

#### IV. Pliki

Program zapisuje dane w plikach z rozszerzeniem .DET, wydruk danych i wyników obliczeń jako pliki .TXT. Nazwa tych plików powstaje poprzez dodanie do nazwy pliku z danymi odpowiedniej końcówki:

- „wyniki” do pliku z wynikami,
- „dane” do pliku z wydrukiem danych.

Pliki te można kopiować na wybrany nośnik w celu ich zachowania.

Test\_wyniki.txt - Notatnik

Plik Edycja Format Widok Pomoc

Dane..... D:\Selekcja1\Test.det  
F..... 4000  
ALFA..... 1.00

Detal	Rop_Sr	Ro	Detal	Rop_Sr	Ro	Detal	Rop_Sr	Ro	Detal	Rop_Sr	Ro
1	0.625	0.571	2	0.533	0.429	3	0.625	0.571	4	0.633	0.429
5	0.367	0.429	6	0.700	0.429						

Selekcja wg sredniej zdolnosci obciazeniowej

Detal/Jgs	GR5	GR6	GR7	GR1	GR2	GR3	GR4
6	Det 6	0.600	0.900	0.600	-	-	-
4	Det 4	0.800	0.500	0.600	-	-	-
1	Det 1	-	-	-	0.900	0.700	0.600
3	Det 3	0.800	0.800	0.700	0.200	-	-
2	Det 2	-	-	-	0.700	0.400	0.500
5	Det 5	-	-	-	-	0.200	0.100
Obc		2.200	2.200	1.900	1.800	1.300	1.200
R		3.000	3.000	2.000	2.000	2.000	2.000

Selekcja wg sredniej zdolnosci obciazeniowej i wspolczynnika podobienstwa technologiczno-organizacyjnego

Detal/Jgs	GR5	GR6	GR7	GR1	GR2	GR3	GR4
6	Det 6	0.600	0.900	0.600	-	-	-
4	Det 4	0.800	0.500	0.600	-	-	-
3	Det 3	0.800	0.800	0.700	0.200	-	-
1	Det 1	-	-	-	0.900	0.700	0.600
2	Det 2	-	-	-	0.700	0.400	0.500
5	Det 5	-	-	-	-	0.200	0.100
Obc		2.200	2.200	1.900	1.800	1.300	1.200
R		3.000	3.000	2.000	2.000	2.000	2.000

PROGRAM SELEKCJA

Rys. 6. Program Selekcja – wynik obliczeń (wydruk pełny)

Bezpośrednie wydzielanie jednostek produkcyjnych z tak uporządkowanych macierzy (jak na rys. 5) odbywa się wg kroków algorytmu i założeń omówionych wcześniej. Przykład takiego wydzielania, dla omawianego przykładu z rys. 1, zamieszczono na rys. 7.

Dane..... D:\Selekcja1\Test.det  
 F..... 4000  
 ALFA..... 1.00

Detal/Jgs		GR5	GR6	GR7	GR1	GR2	GR3	GR4
6	Det 6	0.900	0.600	0.600	JP1	-	-	-
4	Det 4	0.500	0.800	0.600	-	-	-	-
3	Det 3	0.800	0.800	0.700	0.200	-	-	-
1	Det 1	-	-	-	0.900	0.700	0.600	0.300
2	Det 2	-	-	-	0.700	0.400	0.500	JP2
5	Det 5	-	-	-	-	0.200	0.100	0.800
Obc		2.200	2.200	1.900	1.800	1.300	1.200	1.100
R		3.000	3.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

Rys. 7. Wynik wydzielania JP (wariant 1)

Jak wynika z rys. 7, wydzielono dwie jednostki produkcyjne i oznaczono je umownie JP1 i JP2. Do jednostki JP1 przydzielono trzy części (nr 6, 4 i 3) z pełnym procesem technologicznym. Oznacza to, że wszystkie operacje marszruty tych części wykonywane są w całości w jednej JP, na czterech grupach JGS, łącznie na 9 stanowiskach roboczych. Na JGS typu GR1 wystąpił problem nieprzekraczania liczby stanowisk w procesie wydzielania JP (por. K7 i wzór 2). Konieczne stało się dociążenie tego stanowiska operacją części nr 2 o  $r_{op} = 0,7$ . Operacja ta jest więc wykonywana w ramach kooperacji z jednostką nr 2.

Do jednostki JP2 przyporządkowano trzy części (1, 2 i 5), wykonywane na czterech JGS i na 7 stanowiskach. W związku z kooperacją dla części nr 2 (GR1) w jednostce tej nie występuje pełne domknięcie specjalizacji przedmiotowej.

Możliwy jest też drugi wariant rozwiązania tego prostego przykładu 6 części i 7 JGS. Przedstawiono go na rys. 8.

Dane..... D:\Selekcja1\Dane1.det  
 F..... 4000  
 ALFA..... 1.00

Część/JGS		GR5	GR6	GR7	GR1	GR2	GR3	GR4
6	Det 6	0.900	0.600	0.600	-	-	-	-
4	Det 4	0.500	0.800	0.600	-	-	-	-
3	Det 3	0.800	0.800	0.700	0.200	-	-	-
1	Det 1	-	-	-	0.900	0.700	0.600	0.300
2	Det 2	-	-	-	0.700	0.400	0.500	-
5	Det 5	-	-	-	-	0.200	0.100	0.800
Obc		2.200	2.200	1.900	1.800	1.300	1.200	1.100
R		3.000	3.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000

Rys. 8. Wynik wydzielania JP (wariant 2)

Do JP1 przyporządkowano trzy części (6, 4 i 3). W wariantcie tym z kolei występuje niepełne domknięcie specjalizacji przedmiotowej. Operacja części nr 3 na GR1 ( $r_{op} = 0,2$ )

wykonywana jest w kooperacji w JP2. Na tym etapie działań projektowych nie sposób określić, które rozwiązanie (rys. 7 i rys. 8) jest korzystniejsze. Wymaga to przeanalizowania innych wskaźników (parametrów) techniczno-organizacyjnych i określenia kryteriów wyboru wariantu optymalnego.

Prezetowany program komputerowego wspomaganie kształtowania struktur produkcyjnych umożliwia tworzenie odpowiednio uporządkowanych macierzy powiązań stanowisk roboczych i części, których elementami są obciążenia stanowisk roboczych. Wydzielanie jednostek produkcyjnych jest realizowane poprzez dobieranie części i operacji do jednostki w formie wyszukiwania z uporządkowanej macierzy obciążeń (zawartej na tabulogramie wynikowym w postaci podmacierzy obciążeń) odpowiednich elementów.

#### 4. Podsumowanie

W wieloetapowym procesie projektowania przedsiębiorstw przemysłowych istotną pozycję zajmuje projektowanie struktury produkcyjnej. Obszar projektowania obejmuje zazwyczaj duże, różnorodne zbiory części. Wymaga to od projektanta wykonywania szeregu pracochłonnych a jednocześnie prostych obliczeń. Dla usprawnienia tych obliczeń, a przede wszystkim osiągnięcia optymalnych rozwiązań korzystne jest komputerowe wspomaganie tych prac.

Prezentowany program komputerowego wspomaganie kształtowania struktur produkcyjnych umożliwia tworzenie odpowiednio uporządkowanych macierzy powiązań stanowisk roboczych i części, których elementami są obciążenia stanowisk roboczych. Wydzielanie jednostek produkcyjnych jest realizowane poprzez dobieranie części i operacji do jednostki w formie wyszukiwania z uporządkowanej macierzy obciążeń (zawartej na tabulogramie wynikowym w postaci podmacierzy obciążeń) odpowiednich elementów. Analiza takich tabulogramów jednoznacznie pokazuje możliwości zastosowania specjalizacji przedmiotowej podczas organizowania produkcji. Wartości pojawiające się w wierszach wskazują na formę: linię bądź gniazdo.

Pomimo "ręcznego" wydzielania JP przydział części (ewentualnie operacji) do jednostek produkcyjnych przebiega w tych warunkach sprawnie nawet dla dużych zbiorów pozycji asortymentowych. Odbywa się on poprzez analizę tabulogramów, na których graficznie można nanosić poszczególne JP. Gwarantuje to jednocześnie, że uzyskane wyniki będą możliwe do ich praktycznej realizacji w rzeczywistych warunkach przemysłowych.

Program znacznie skraca czas obliczeń prowadzonych przez projektanta oraz przede wszystkim ułatwia podejmowanie decyzji w sytuacjach wystąpienia rozwiązań wariantowych. Przydatność programu potwierdzona została zarówno w ramach zajęć dydaktycznych jak i w prowadzonych pracach badawczo-projektowych. na rzecz przedsiębiorstw przemysłowych.

#### Literatura

1. Boszko J.: Struktura organizacyjna przedsiębiorstwa i drogi jej optymalizacji, WNT, Warszawa, 1973.
2. Lis S.: Organizacja i ekonomika procesów produkcyjnych w przemyśle maszynowym, PWN, Warszawa, 1984.
3. Głowacka-Fertsch D., Fertsch M.: Zarządzanie produkcją, Wyższa Szkoła Logistyki, Poznań, 2004.

4. Brzeziński M.: Organizacja i sterowanie produkcją, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa, 2002.
5. Durlik I.: Inżynieria zarządzania, AMP WN, Katowice, 1993.
6. Jackowicz R., Lis S.: Podstawy projektowania struktur przedsiębiorstw przemysłowych, PWN, Warszawa, 1987.
7. Mazurczak J.: Projektowanie struktur systemów produkcyjnych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2002.
8. Mazurczak J.: Mierniki kształtowania struktur produkcyjnych i form organizacji produkcji, [in:] Grzybowska K., Hadaś Ł, Metody i techniki doskonalenia w logistyce produkcji - studia przypadków. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2010.
9. Lis S., Santarek K., Strzelczak S.: Organizacja elastycznych systemów produkcyjnych, PWN, Warszawa, 1994.
10. Mazurczak J., Wyrwicka M.: Das Kennzahlensystem zur Beurteilung der Produktionsstruktur, [in:] Nase Gospodarstvo. Our Economy Review of Current Problems in Economics, 1-2 Letnik 42, Maribor, str. 25-32, 1996.
11. Pająk E.: Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja, PWN, Warszawa, 2006.
12. Mazurczak J., Gania I.: Object specialization parameters of production systems, in: Fertsch M. (Ed), Production systems – Selected Issues – Theory and Practice. Monograph. Publishing House of Poznan University of Technology. str. 85-96, Poznań, 2011.
13. Gackowski Z., (1977) Podstawy teorii organizacji i projektowania systemów produkcyjnych, WPW, Warszawa.
14. Schmigalla H., (1970), Methoden zur optimalen Maschinenanordnung, VEB Verlag Technik, Berlin.
15. Fertsch M.,(2003), Logistyka produkcji, Biblioteka Logistyka, Poznań.

Dr inż. Jerzy MAZURCZAK  
 Mgr inż. Izabela KUDELSKA  
 Katedra Zarządzania Produkcją i Logistyki  
 Wydział Inżynierii Zarządzania  
 Politechnika Poznańska  
 60-965 Poznań , ul. Strzelecka 11  
 tel./fax.: 61- 665-34-23  
 email: Jerzy.Mazurczak@put.poznan.pl  
 Izabela.Kudelska@put.poznan.pl