

# PLANOWANIE ZLECEŃ W WIRTUALNYCH SIECIACH PRODUKCYJNYCH

Małgorzata OLENDER, Damian KRENCZYK

**Streszczenie:** Dynamiczne zmiany zachodzące na rynku spowodowane szybkim postępowaniem technologicznym, zmiennymi wymaganiami klientów, oraz nastawieniem na wprowadzanie innowacji procesowych, a także coraz to krótszy cykl życia produktu i rosnąca konkurencja, powodują, że poszukuje się coraz lepszych rozwiązań związanych z jednej strony z możliwością maksymalizacji stopnia wykorzystania dostępnych zdolności produkcyjnych, z drugiej zaś z dostępem do zaawansowanych technologii mogących sprostać rosnącym wymogom. Odpowiedzią na te wymagania może być realizacja produkcji z zastosowaniem nowoczesnych struktur opartych na koncepcji wirtualnych sieci wytwarzania. W artykule zaproponowano metodę wspomagającą proces planowania przepływu produkcji w wirtualnych sieciach produkcyjnych wykorzystującą metody zaczerpnięte z teorii gier, wspomagającą rozwiązywanie problemów związanych z procesem wyboru marszrut alternatywnych w sieci wytwórców.

**Słowa kluczowe:** wirtualna organizacja, wirtualna sieć wytwarzania, organizacja procesów wytwarzania, teoria gier, planowanie produkcji.

## 1. Wstęp

Dynamika rynku związana z postępowaniem technologicznym wymusza na producentach zmiany w obszarze organizacji procesów wytwarzania wpływających na zwiększenie poziomu elastyczności funkcjonowania przedsiębiorstw na rynku. Coraz krótsze cykle życia produktów, wysoki poziom innowacyjności oraz mnogość nowych rozwiązań powodują, że producenci poszukują coraz to efektywniejszych metod wspomagających proces planowania przepływu produkcji. Wymogi stawiane przed producentami, związane z jednej strony z wymogiem ciągłego dostosowywania parku maszynowego do rosnącej złożoności i stopnia innowacyjności produktu, z drugiej strony związane z koniecznością osiągnięcia bardzo wysokich poziomów wskaźników wykorzystania posiadanych zasobów, aby ponoszone koszty pozwoliły na utrzymaniu się na rynku pomimo stale rosnącej konkurencji, powodują, że producenci coraz częściej poszukują rozwiązań pozwalających na realizację szczególnie specjalistycznych działań u kooperantów oraz oferują swoje niewykorzystane moce produkcyjne na zewnątrz. Na tego typu zapotrzebowania, wymagające zwiększenia poziomu elastyczności, częstych zmian wydajności procesów i zasobów oraz ograniczania kosztów, odpowiadają rozwiązania związane z realizacją produkcji w formie wirtualnego wywarzania [1, 2, 3]. W tego typu organizacji procesów wytwarzania pojawiają się nowe ograniczenia, które należy uwzględnić w procesach planowania przepływu produkcji, a które to wpływają na sposoby i możliwe do zastosowania metody wspomagające podejmowanie decyzji w tym obszarze. Kluczowym czynnikiem, który należy tutaj brać pod uwagę, jest możliwość sprawnego przekazywania i przetwarzania informacji w ramach sieci [1, 3, 4]. Obecny postęp w technologiach IT w obszarach komunikacji umożliwia osiągnięcie, niemożliwego jeszcze kilka lat temu,

stopnia sprawności przepływu informacji, niezależnie od odległości i stopnia rozproszenia członków sieci. Wyeliminowanie problemów przesyłania i przetwarzania danych spowodowało dynamiczny wzrost zainteresowania możliwościami wykorzystania wirtualnych organizacji przy wykorzystaniu *wirtualnej sieci wytwarzania (VMN)* [2, 3, 5]. Przedsiębiorstwa dysponujące wolnymi mocami produkcyjnymi, łącząc się w sieć mogą skuteczniej wykorzystać szanse pojawiające się na rynku. Mogą wykorzystywać okazje z których nie mogliby skorzystać działając w pojedynkę. Kolejną zaletą jest możliwość skorzystania z rozwiązań bardzo specjalistycznych i zaawansowanych technologii, których koszty byłyby dużo wyższe, gdyby ich implementacja związana była jedynie z potrzebami jednego producenta. Jednakże, zawiązanie wirtualnej sieci wytwarzania pod kątem konkretnego przedsięwzięcia jest samo w sobie skomplikowane na wielu płaszczyznach i wymaga pomocy integratora, głównie w procesach związanych z obszarem organizacji i synchronizacji przepływu produkcji [1-5]. Potrzeba integracji wielu zadań do zrealizowania przedsięwzięcia powoduje, że poszukuje się elastycznych metod rozwiązywania problemów związanych z doбором kooperantów, odpowiednim wykorzystaniem wolnych zasobów członków sieci, doбором odpowiednich marszrut, czy dostaw komponentów w odpowiednim czasie. W artykule zaproponowano wykorzystanie metod oraz formalizmów zaczerpniętych z teorii gier do zapisu problemu decyzyjnego w obszarze planowania przepływu produkcji w szczególności związanego z wyborem marszrut z dostępnego zbioru marszrut alternatywnych w łączonych procesach produkcyjnych kooperantów uczestniczących w wirtualnej sieci wytwarzania. Ze względu na swoje korzenie, metody teorii gier były wykorzystywane dotąd głównie w planowaniu produkcji na poziomach strategicznych i taktycznych. Stosowane są do wspomagania procesów podejmowania decyzji związanych między innymi z wyborem dostawców i partnerów strategicznych, poszukiwaniu strategii biznesowych w odpowiedzi na zachowanie innych uczestników rynku, czy zarządzanie łańcuchem dostaw [6, 7, 8, 9]. Ze względu na stosunkowo prosty aparat matematyczny i mnogość dostępnych modeli, strategii decyzyjnych oraz ich uniwersalność, rośnie zainteresowanie wykorzystaniem metod teorii gier także w obszarach planowania produkcji na poziomie operacyjnym [10]. Głównym celem pracy jest zaprezentowanie opracowanego modelu decyzyjnego, w którym uczestnicy gry reprezentowani są za pomocą obiektów określonych funkcji celu, wraz z przykładem obliczeniowym, w którym pokazano sposób ich implementacji we wspomaganie planowania produkcji dla VMN.

## **2. Wirtualna organizacja**

Wirtualna organizacja w ujęciu strukturalnym wg J. Burna, P. Marshalla oraz M. Barnetta [11], scharakteryzowana jest jako struktura organizacyjna, oparta na różnych sposobach współdziałania w celu wykorzystania swoich wolnych zasobów, umiejętności, wiedzy, itp. do wykonania konkretnego przedsięwzięcia, bądź wykorzystania możliwości płynących z rynku. Integralnym elementem związanym z wirtualną organizacją jest technologia informacyjna [1,4,5,12,13]. Stosując ją, przedsiębiorstwa mogą komunikować się ze sobą o każdej porze z prawie każdego miejsca na świecie. Prowadzenie wideokonferencji, wysyłanie maili, kontakt telefoniczny, czy wymiana danych w zintegrowanych systemach informatycznych zarządzania, pozwala na dostęp do informacji i kontakt z każdym, nawet jeżeli na podjęcie decyzji jest niewiele czasu. Sposób komunikacji jest istotny, tym bardziej, że uczestnictwo w sieci kilku kooperantów jest bardzo rozbudowanym i trudnym do powiązania przypadkiem współpracy na wielu

płaszczyznach. Wirtualna organizacja posiada wiele cech z organizacji zarządzanej tradycyjnie, ale wykracza również poza schemat zwykłej jednostkowej organizacji, ponieważ [11, 12, 13]:

- nie istnieje przez długi czas, ale tak długo, jak wykonywane jest zadanie,
- czas nawiązywania i kończenia współpracy jest krótki,
- występuje spora niezależność, ale nie całkowita,
- struktura wewnętrzna jest zmienna,
- nie istnieje utrwalony sposobów działania,
- posiada teoretycznie nieograniczoną wielkość,
- wymaga wykształcenia kilku wzorców zachowania (swój wewnętrzny oraz zewnętrzny związany z wirtualną organizacją i siecią w której jest kooperantem),
- nie może funkcjonować bez technologii informacyjnej,
- proces odnowy wykonywany niezależnie u jednego z kooperantów (w przypadku wady produktu, bądź zmian).

Z wirtualną organizacją powiązana jest wirtualna sieć wytwarzania.

## 2.1. Wirtualna sieć wytwarzania

Przedsiębiorstwa decydując się na udział w wirtualnej organizacji liczą na zwiększenie poziomu elastyczności i efekt synergii powstający dzięki wykorzystywaniu zasobów członków sieci, aby w przyszłości móc w pełni wykorzystywać swoje umiejętności, doświadczenie, wolne zasoby i współpracować z kooperantami, którzy są rozproszeni geograficznie. Współpraca organizacji związana z przedsięwzięciem, oznacza, że wszyscy kooperanci są łączeni w tzw. wirtualną sieć wytwarzania, która charakteryzuje się tym, że jest to sieć tworzona na potrzeby danego przedsięwzięcia, tymczasowo, pod kątem danego zlecenia. Kooperanci nie są powiązani na stałe, co cechuje się dynamiką w funkcjonowaniu. W momencie wystąpienia konfliktów, bądź niewywiązywania się z powierzonych zadań istnieje możliwość zmiany kooperanta.

Ważnym aspektem w wirtualnej sieci jest więc wzajemne zaufanie. Bez niego współpraca organizacji tworzących tymczasową „całość” jest niemożliwa. Każde przedsiębiorstwo podejmuje się wykonania swojej części przedsięwzięcia. Według [11, 14] kształtowanie zaufania nie jest prostym zadaniem i należy przestrzegać pewnych zasad:

- zaufanie wymaga ciągłej pracy, uczenia się, jak i otwartości na nowe wyzwania,
- zaufanie nie powinno być ślepe,
- zaufanie nie jest dane na zawsze,
- zaufanie powinno być wspomagane różnymi działaniami integrującymi,
- należy podtrzymywać zaufanie poprzez dbanie o bezpośrednie kontakty,
- budowanie i podtrzymywanie zaufania wymaga sprawnej kadry kierowniczej.

Uczestnictwo w wirtualnej sieci wytwarzania umożliwia wykorzystanie swoich wolnych zasobów, współpracę z innymi, naukę od innych, ale jest to współpraca bardzo złożona. Każda z organizacji nadal jest przedsiębiorstwem indywidualnym, ale na czas współpracy funkcjonuje w sieci. Oprócz dysponowania swoimi umiejętnościami, chęcią współpracy, zaangażowaniem nadal potrzeba kogoś, kto od początku nawiąże współpracę z producentami i dostawcami, odpowiednio pod każde zlecenie. Taką funkcję pełni integrator.

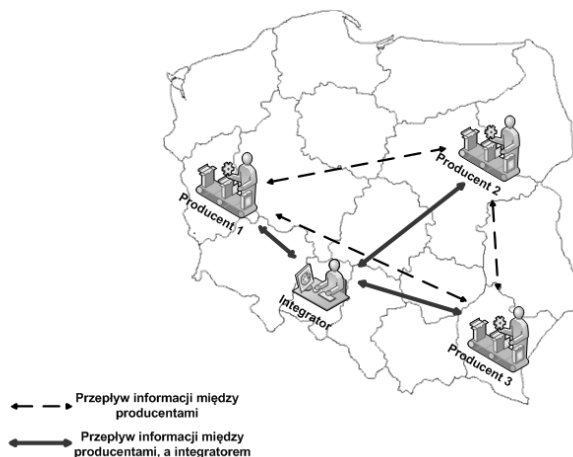
## 2.2. Integrator w wirtualnej sieci

Jednym z najważniejszych zadań integratora jest dobór przedsiębiorstw, które będą ze sobą współpracowały. W tym celu musi posiadać podstawowe dane (zakres funkcjonowania, wolne zasoby, park maszynowy, lokalizacja itp.) każdej z organizacji, aby odpowiednio dobrać współpracowników pod kątem zlecenia. Integrator realizuje trzy podstawowe zadania [11]:

- *tworzy wirtualną platformę* – poszukuje przedsiębiorstw, które spełniają wymagania do wykonania przyszłego projektu. Na tym etapie pełni rolę łącznika między przedsiębiorstwami, aby przed przystąpieniem do zadania kooperanci poznali się i nabrali pewnego zaufania do siebie. Po ukończeniu tego etapu partnerzy mają określone zasady współpracy, misję, czy reguły dzielenia kosztów.
- *koordynuje i doskonali wirtualną platformę współpracy* – wybiera do sieci konkretne przedsiębiorstwa do współpracy. Angażowanie integratora w sprawdzanie stanu działalności przedsiębiorstw. Weryfikowanie umiejętności uczestników, a także organizowanie szkoleń i spotkań dla przedsiębiorstw.
- *formuje organizację wirtualną* – znając umiejętności poszczególnych uczestników i dysponując informacjami na temat zasobów integrator przy pojawieniu się zadania do wykonania, dobiera i łączy w sieć wybrane przedsiębiorstwa, które w danej chwili dysponują najlepszymi możliwościami z punktu widzenia realizacji zlecenia. Po wybraniu przedsiębiorstw przekazać swoje funkcje jednemu lub kilku przedsiębiorstwom.

## 3. Organizacja procesów wytwarzania wirtualnego

Rozważmy wirtualną sieć wytwarzania tworzoną przez trzech producentów, którzy są rozproszeni geograficznie (rys. 1).



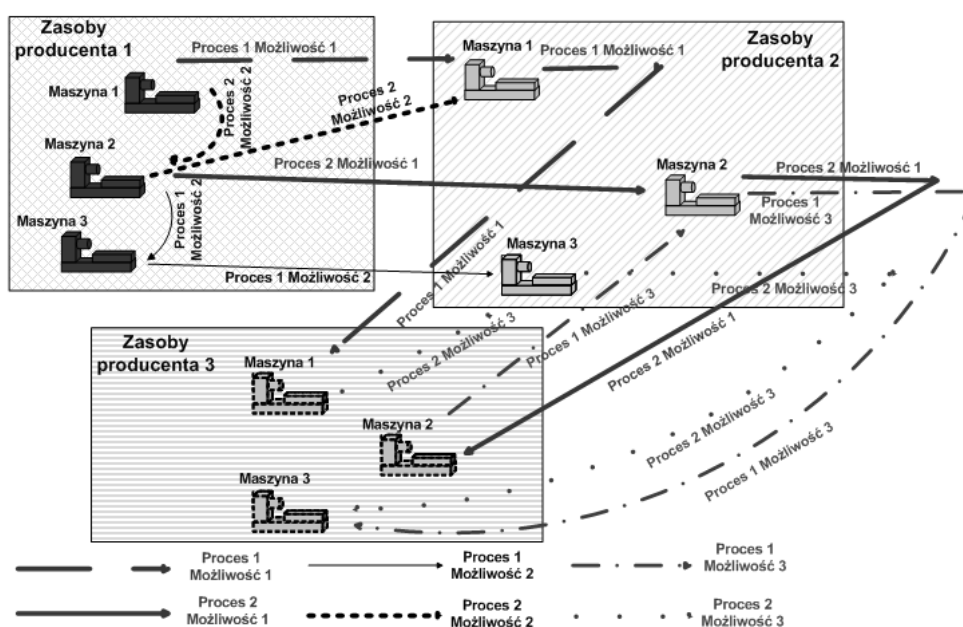
Rys. 1 Rozmieszczenie producentów w sieci

Między nimi realizowany jest przepływ informacji potrzebnych do odpowiedniego przygotowania, jak i wykonania „wirtualnego” przedsięwzięcia. Na rysunku zaznaczono również przepływ informacji producent – integrator, wspomagający funkcje kontrolne w

trakcie realizacji kolejnych etapów produkcji, poziomu współpracy, czy jakości współpracy między producentami. Każdy z nich ma do dyspozycji wolne zasoby produkcyjne, które można wykorzystać w otrzymanym zleceniu.

Każdy z producentów ma za zadanie wykonać część zlecenia produkcyjnego. Rozpatrywany problem występuje na poziomie operacyjnym. Związany jest z planowaniem produkcji, konkretniej z wyborem marszruty z dostępnych marszrut alternatywnych.

Przyjęto, że występują trzy warianty przepływu procesów w systemie produkcyjnym. Każdy z wariantów składa się z dwóch osobnych procesów – procesu P<sub>1</sub> oraz P<sub>2</sub>. Poza tym warianty przepływu produkcji składają się z trzech różnych możliwości. Przepływ procesów produkcyjnych uwzględniający wykorzystanie wolnych zasobów producentów pokazano na rys. 2. Każdy z producentów dysponuje pewnymi wolnymi zasobami, w tym przypadku trzema zasobami na producenta. Różnicą między wariantami są czasy jednostkowe potrzebne na wytworzenie elementów.



Rys. 2 Przepływ procesów produkcyjnych

### 3.1. Model systemu produkcyjnego

Proponowany model problemu decyzyjnego powiązany jest z problemem planowania przepływu procesu produkcyjnego. System produkcyjny zdefiniowano jako:

$$S=(M, C, PP, B, R) \quad (1)$$

gdzie:

$S$  – system produkcyjny,

$M = \{M_i^\varepsilon, i = 1, 2, \dots, m_\varepsilon; \varepsilon = 1, 2, \dots, R\}$  – zasoby produkcyjne,

$m_\varepsilon$  – liczba zasobów producenta  $\varepsilon$ ,  $R$  – liczba producentów w sieci,

$C = C^P + C^T$  – jednostkowe koszty wytworzenia produktów ( $C^P$ ) oraz koszty jednostkowe transportowe ( $C^T$ ) ponoszone przez członków sieci,

jednostkowe koszty wytworzenia  $C^P$ :

$$C^P = [C_{\varepsilon,k}^P] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & \dots & K \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ R \end{matrix} & \begin{bmatrix} C_{1,1} & \dots & C_{1,K} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ C_{R,1} & \dots & C_{R,K} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

gdzie:

$K = \max(m_\varepsilon)$  – maksimum z liczby zasobów dostępnych u członków sieci,

$C_{\varepsilon,k}^P$  - koszt jednostkowy realizacji operacji technologicznej na  $k$ -tym zasobie należącym do producenta  $\varepsilon$ ,

jednostkowe koszty transportu  $C^T$ :

$$C^T = [C_{\varepsilon,\varepsilon}^T] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & \dots & R \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ R \end{matrix} & \begin{bmatrix} C_{1,1} & \dots & C_{1,R} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ C_{R,1} & \dots & C_{R,R} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

gdzie:

$C_{\varepsilon,\varepsilon}^T$  - koszt jednostkowy transportu pomiędzy przedsiębiorstwami producentów należących do sieci (wartości na przekątnej, pomiędzy tymi samymi producentami, wynoszą 0)

Model zlecenia produkcyjnego:

$PP = (P, MP, N_j)$  – model zlecenia produkcyjnego,

$P = \{P_j, j = 1, 2, \dots, n\}$  – liczba procesów produkcyjnych,

$MP = \{MP_j^w, j = 1, 2, \dots, n; w = 1, 2, \dots, v_j\}$  – macierz procesów produkcyjnych:

$n$  – liczba procesów produkcyjnych,

$w$  – wersja marszruty procesu technologicznego,  $v_j$  – liczba wersji marszrut dla  $j$ -tego procesu,

$$MP_j^w = \begin{bmatrix} mp_{11} & mp_{12} & \dots & mp_{1h} & \dots & mp_{1H_j^w} \\ mp_{21} & mp_{22} & \dots & mp_{2h} & \dots & mp_{2H_j^w} \\ mp_{31} & mp_{32} & \dots & mp_{3h} & \dots & mp_{3H_j^w} \end{bmatrix}, \text{ macierz } w\text{-tej wersji marszruty dla } j\text{-tego}$$

procesu:

$h$  - numer sekwencji (zgodnie z porządkiem operacji określonej przez marszrutę),

$H_j^w$  – liczba operacji technologicznych  $w$ -tej marszruty dla  $j$ -tego procesu,

$mp_{1h}$  – numer producenta,

$mp_{2h}$  – numer zasobu dla  $h$ -tej operacji,

$mp_{3h}$  – czas jednostkowy dla  $h$ -tej operacji.

$N_j$  – wielkość serii dla  $j$ -tego producenta,

$B = \{B_{l,k} \mid l = 1, 2, \dots, R; k = 1, 2, \dots, R; R \neq k\}$  – pojemności magazynów dla poszczególnych producentów.

Dla tak zdefiniowanych modeli systemów produkcyjnych oraz zleceń produkcyjnych zdefiniowano następujące funkcje celu:

*F1*: minimalizacja kosztów produkcji:

$$F1(\sigma) = \sum_{j=1}^h \sum_{h=1}^{H_j^{\sigma_j}} (C_{(mp_{1h}), (mp_{2h})}^P * mp_{3h}) \rightarrow \min \quad (2)$$

gdzie:

$\sigma_j$ - wybrany do realizacji wariant marszruty *j*-tego procesu  $\sigma = (\rho_j)$

*F2*: minimalizacja kosztów transportu między producentami:

$$F2(\sigma) = \sum_{j=1}^h \sum_{h=1}^{(H_j^{\sigma_j} - 1)} (C_{(mp_{1h}), (mp_{1(h+1)})}^T * N_j) \rightarrow \min \quad (3)$$

gdzie:

$\sigma_j$ - wybrany do realizacji wariant marszruty *j*-tego procesu  $\sigma = (\rho_j)$ .

W artykule zastosowano zapis problemu decyzyjnego zaczerpniętego z teorii gier do poszukiwania rozwiązania związanego z wyborem marszruty z marszrut alternatywnych. Teoria gier stosowana jest w wielu dziedzinach nauki, nie tylko w matematyce, ale i w ekonomii, psychologii, czy wojskowości [8,9,10,11]. Planując wykorzystanie metod podejmowania decyzji zaczerpniętych z teorii gier należy zdefiniować elementy opisujące grę.

W obszarze modelowania sytuacji decyzyjnych związanych z teorią gier wyróżnia się kilka podstawowych obszarów [15]:

- zbiór graczy,
- zbiór reguł gry, jakimi kierują się gracze,
- zbiór możliwych strategii dla każdego z graczy,
- zbiór możliwych wyników,
- wypłaty graczy, związane z podjętymi wcześniej decyzjami.

Sytuację decyzyjną w rozpatrywanym obszarze można przedstawić jako niekooperacyjną, *f*-osobową grę o sumie niezerowej z kompletną informacją. Gracze są reprezentowani jako funkcje celu (w omawianym przypadku *F1*, *F2*). Pierwszy z graczy reprezentuje funkcję celu *F1* - minimalizacja kosztów produkcji, natomiast drugi gracz, funkcję *F2* - minimalizację kosztów transportu między producentami. Zgodnie z teorią gier każdy z graczy dąży do wyboru strategii z pola możliwości rozwiązań według dostępnych alternatyw dla każdego procesu produkcyjnego.

Dysponując funkcjami celu i sprecyzowanymi uczestnikami, grę można zapisać jako:

$$G = (N, S^j, U^j) \quad (4)$$

gdzie:

$N = \{N_g, g = 1, 2\}$  - zbiór graczy odpowiadających każdej funkcji celu (*F<sub>j</sub>*),

$S^j = (s^j)$  - zbiór strategii, odpowiadających wybranym od realizacji wersjom marszrut

$s_j = \sigma_j$ ,

$U^j = (u^j)$  - macierz wypłat, odpowiadająca wartościom kosztów dla wybranej strategii.

### 3.2. Przykład obliczeniowy

Rozpatrywany w artykule problem planowania procesów produkcyjnych w wirtualnej sieci wytwarzania związany jest z wyborem marszrut, których procesy są zgodne z oznaczeniami z rys. 2 z dostępnego zbioru marszrut alternatywnych. Dysponując informacjami, kto jest uczestnikiem gry, co jest zbiorem strategii, określono czasy produkcyjne w trzech wariantach dla każdego z dwóch procesów  $P_1$  oraz  $P_2$ .

W tabelach 1-3 przedstawiono czasy produkcji każdego procesu produkcyjnego, rozdzielając je również na trzy możliwości wariantowe ( $M 1- 3$ ).

Tab. 1. Czasy procesu  $P_1$  i  $P_2$  - wariant 1

Proces $P_1$	Czasy na zasobach			Suma	Suma czasów dla procesu $P_1$ i $P_2$	
M1	1	3	1	5	M1	15
M2	3	2	6	11		
M3	4	2	3	9		
Proces $P_2$						
M1	4	3	3	10	M2	24
M2	2	3	8	13		
M3	2	6	6	14		

Tab. 2. Czasy procesu  $P_1$  i  $P_2$  - wariant 2

Proces $P_1$	Czasy na zasobach			Suma	Suma czasów dla procesu $P_1$ i $P_2$	
M1	3	4	2	9	M1	20
M2	2	5	7	14		
M3	3	5	8	16		
Proces $P_2$						
M1	4	3	4	11	M2	30
M2	8	5	3	16		
M3	5	2	5	12		

Tab. 3. Czasy procesu  $P_1$  i  $P_2$  - wariant 3

Proces $P_1$	Czasy na zasobach			Suma	Suma czasów dla procesu $P_1$ i $P_2$	
M1	4	5	3	12	M1	22
M2	5	2	5	12		
M3	3	6	6	15		
Proces $P_2$						
M1	4	4	2	10	M2	27
M2	2	5	8	15		
M3	8	5	3	16		

Następnie wyznaczono koszty wytworzenia produktów, które są związane z pierwszą funkcją celu  $F1$  - minimalizacja kosztów produkcji dla procesów  $P_1$  i  $P_2$ . Dla każdego procesu przedstawiono koszty wytworzenia. W tabeli 7 znajdują się zbiorcze wyniki dla obu procesów.



Tab. 4. Koszty wytworzenia procesów P<sub>1</sub> i P<sub>2</sub> – wariant 1

	Koszty CP na zasobie dla P <sub>1</sub>			Suma kosztów dla jednostki	Suma dla partii (25)
M1	3	2	2	7	175
M2	2	4	8	14	350
M3	6	3	5	14	350
	Koszty CP na zasobie dla P <sub>2</sub>				Suma dla partii (20)
M1	2	4	5	11	220
M2	1	3	7	11	220
M3	8	5	3	16	320

Tab. 5. Koszty wytworzenia procesów P<sub>1</sub> i P<sub>2</sub> – wariant 2

	Koszty CP na zasobie dla P <sub>1</sub>			Suma kosztów dla jednostki	Suma dla partii (25)
M1	2	4	2	8	200
M2	3	2	5	10	250
M3	3	3	4	10	250
	Koszty CP na zasobie dla P <sub>2</sub>				Suma dla partii (20)
M1	2	3	5	10	200
M2	7	8	5	20	400
M3	5	6	6	17	340

Tab. 6. Koszty wytworzenia procesów P<sub>1</sub> i P<sub>2</sub> – wariant 3

	Koszty CP na zasobie dla P <sub>1</sub>			Suma kosztów dla jednostki	Suma dla partii (25)
M1	3	5	3	11	275
M2	4	4	2	10	250
M3	5	2	1	8	200
	Koszty CP na zasobie dla P <sub>2</sub>				Suma dla partii (20)
M1	3	2	2	7	140
M2	5	5	3	13	260
M3	2	5	4	11	220

Tab. 7. Koszty końcowe kosztów produkcji procesów P<sub>1</sub> i P<sub>2</sub>

Warianty	Możliwość wariantowa	Suma kosztów dla procesów P <sub>1</sub> i P <sub>2</sub>
Wariant 1	M1	395
	M2	570
	M3	670
Wariant 2	M1	400
	M2	650
	M3	590
Wariant 3	M1	415
	M2	510
	M3	420

Po wyznaczeniu danych dotyczących kosztów produkcji obliczono koszty dotyczące drugiego gracza reprezentującego drugą funkcję celu F2 – minimalizacja kosztów transportu między producentami, którzy są rozproszeni geograficznie.

Koszty transportu między producentami (prod. p<sub>1</sub>, prod. p<sub>2</sub>, prod. p<sub>3</sub>) zapisano w tabelach 8-10. Tabela 11 jest zbiorczą tabelą z wynikami. W przypadku, gdy kolejna część zlecenia będzie wykonywana u tego samego producenta, to koszty transportu osiągają wartość zerową. W tabelach w kolumnie „kolejność” zapisano kolejność produkcji, jaka występuje u kooperantów w sieci.

Tab. 8. Koszty transportowe dla P<sub>1</sub> i P<sub>2</sub>– wariant 1

		Prod. p <sub>1</sub>	Prod. p <sub>2</sub>	Prod. p <sub>3</sub>	Proces P <sub>1</sub>	Kolejność	Suma
	Prod. p <sub>1</sub>	0	100	50	M1	1,2,3	180
CTP <sub>1</sub>	Prod. p <sub>2</sub>	100	0	80	M2	1,1,2	100
	Prod. p <sub>3</sub>	50	80	0	M3	3,2,3	160
		Prod. p <sub>1</sub>	Prod. p <sub>2</sub>	Prod. p <sub>3</sub>	Proces P <sub>2</sub>		
	Prod. p <sub>1</sub>	0	60	150	M1	1,2,3	160
CTP <sub>2</sub>	Prod. p <sub>2</sub>	60	0	100	M2	1,1,2	60
	Prod. p <sub>3</sub>	150	100	0	M3	3,2,3	200

Tab. 9. Koszty transportowe dla P<sub>1</sub> i P<sub>2</sub>– wariant 2

		Prod. p <sub>1</sub>	Prod. p <sub>2</sub>	Prod. p <sub>3</sub>	Proces P <sub>1</sub>	Kolejność	Suma
	Prod. p <sub>1</sub>	0	120	180	M1	1,2,3	370
CTP <sub>1</sub>	Prod. p <sub>2</sub>	120	0	250	M2	1,1,2	120
	Prod. p <sub>3</sub>	180	250	0	M3	3,2,3	500
		Prod. p <sub>1</sub>	Prod. p <sub>2</sub>	Prod. p <sub>3</sub>	Proces P <sub>2</sub>		
	Prod. p <sub>1</sub>	0	30	170	M1	1,2,3	120
CTP <sub>2</sub>	Prod. p <sub>2</sub>	30	0	90	M2	1,1,2	30
	Prod. p <sub>3</sub>	170	90	0	M3	3,2,3	180

Tab. 10. Koszty transportowe dla P<sub>1</sub> i P<sub>2</sub>– wariant 3

		Prod. p <sub>1</sub>	Prod. p <sub>2</sub>	Prod. p <sub>3</sub>	Proces P <sub>1</sub>	Kolejność	Suma
	Prod. p <sub>1</sub>	0	40	130	M1	1,2,3	120
CTP <sub>1</sub>	Prod. p <sub>2</sub>	40	0	80	M2	1,1,2	40
	Prod. p <sub>3</sub>	130	80	0	M3	3,2,3	160
		Prod. p <sub>1</sub>	Prod. p <sub>2</sub>	Prod. p <sub>3</sub>	Proces P <sub>2</sub>		
	Prod. p <sub>1</sub>	0	120	230	M1	1,2,3	260
CTP <sub>2</sub>	Prod. p <sub>2</sub>	120	0	140	M2	1,1,2	120
	Prod. p <sub>3</sub>	230	140	0	M3	3,2,3	280

Przedstawiając sytuację decyzyjną jako grę dwóch graczy, którym w tym przypadku dopowiadają zdefiniowane funkcje celu, wartościami wypłat będą wielkości poniesionych kosztów. Są to koszty wytwarzania i koszty transportu pomiędzy producentami. Wyznaczone wyniki dla poszczególnych wariantów przedstawiono w tabeli 12.

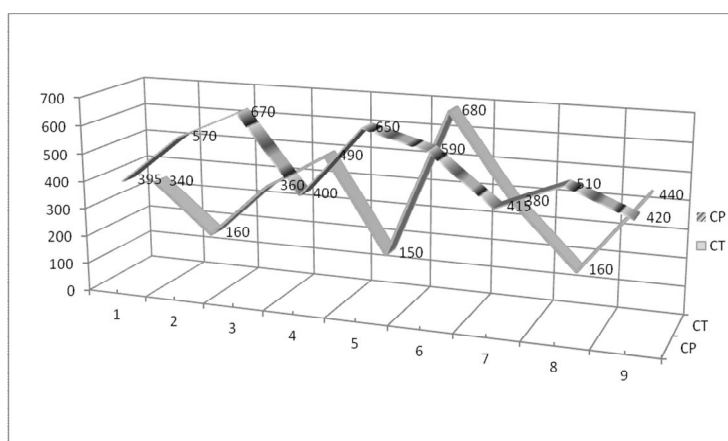
Tab. 11. Koszty końcowe kosztów transportowych procesów P<sub>1</sub> i P<sub>2</sub>

Warianty	Możliwość wariantowa	Suma kosztów dla procesów P <sub>1</sub> i P <sub>2</sub>
Wariant 1	M1	340
	M2	160
	M3	360
Wariant 2	M1	490
	M2	150
	M3	680
Wariant 3	M1	380
	M2	160
	M3	440

Tab. 12. Przedstawienie wypłat graczy

CP	CT			MIN	MAX
		395, 340	570, 160	670, 360	160
	400, 490	650, 150	590, 680	150	
	415, 380	510, 160	420, 440	160	
MAX	490	650	680		
MIN	490				

Dążąc do minimalizacji kosztów, poszukuje się rozwiązania dla uczestników gry, przy założeniach, jakie narzucają funkcje celu. Zastosowano tutaj metodę MIN-MAX. Poszczególni „gracze” reprezentujący jedną z funkcji celu F1 – minimalizacja kosztów produkcji, oraz F2 – minimalizacja kosztów transportu pomiędzy kooperantami, zostali oznaczeni jako CP (koszty produkcyjne) i CT (koszty transportowe). Każdy wiersz tabeli to warianty 1 - 3, gdzie pierwsza wartość w komórce to wartość gracza CP, a druga to wartość gracza CT. Wartości w kolumnie, to możliwości (dla każdego wariantu 1 - 3 występują jeszcze po trzy możliwości każdego gracza). Wykorzystując metodę MIN-MAX uzyskano dwie wartości 490 oraz 160. Uzyskane wypłaty pokazano również na wykresie na rys. 3.



Rys. 3. Wypłaty uczestników gry

Pionowa oś opisuje wypłaty, której maksymalna wartość nie przekracza 700. Z kolei oś pozioma o wartościach 1- 9, oznacza ilość wypłat dla każdego gracza. Uzyskane wyniki gry

przy zastosowanej metodzie pokazują, że dla graczy nie ma wspólnej wartości tzn. dla maksymalnej wartości z wierszy, nie ma identycznej wartości z minimalnej wartości kolumn. Oznacza to, iż chociaż nie istnieje punkt równowagi w strategiach czystych, wybór może zostać dokonany z wykorzystaniem strategii mieszanych wybierając np. punkt o najmniejszej wartości.

#### 4. Podsumowanie

Zmiany zachodzące w otoczeniu przedsiębiorstw, dynamika rynku, wymagają elastycznego podejścia w obszarze planowania przepływu procesów produkcyjnych, które dają możliwość utrzymania się przedsiębiorstwom na rynku. Jedną z możliwości wykorzystania wolnych zasobów w przedsiębiorstwach jest uczestnictwo w wirtualnych sieciach wytwarzania. Planowanie przepływu produkcji w takich organizacjach wymusza poszukiwania efektywniejszych metod do podejmowania decyzji związanych z wyborem marszrut z marszrut alternatywnych. W artykule wykorzystano formalizm zaczerpnięty z teorii gier do zapisu sytuacji decyzyjnej związanej z planowaniem produkcji i wyborem marszrut. W przykładzie obliczeniowym wykorzystując metodę MIN-MAX uzyskano wyniki, w których dla wypląt graczy nie osiągnięto punktów równowagi w strategiach czystych. Kolejne prace w omawianym obszarze związane będą z poszukiwaniem rozwiązań dla strategii mieszanych.

#### Literatura

1. Wadhwa S., Mishra M., Chan F: Organizing a virtual manufacturing enterprise: an analytic network process based approach for enterprise flexibility. *International Journal of Production Research*, vol. 47/1, s. 163-186, 2009.
2. Lei R., Zong S.: Collaborative Production in Networked Manufacturing. 5th International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI 2014), Atlantis Press, s. 357-362, 2014.
3. Fujii S., Kaihara T., Morita H.: A distributed virtual factory in agile manufacturing environment. *International Journal of Production Research*, Vol. 38/17, s. 4113-4128, 2000.
4. Peng Q., Chung C., Yu C., Luan T.: A networked virtual manufacturing system for SMEs. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 20/1, p. 71-79, 2007.
5. Liang F., Fung R. Y. K., Jiang Z., Wong T.N.: A hybrid control architecture and coordination mechanism in virtual manufacturing enterprise. *International Journal of Production Research* Vol. 46/13, s. 3641-3663, 2008.
6. L. Xinyu, G. Liang, L. Weidong, Application of game theory based hybrid algorithm for multi-objective integrated process planning and scheduling, *Expert Systems with Applications*, 39, s. 288-297, 2012.
7. W.D. Li, L. Gao, X.Y. Li; Y. Guo, Game theory-based cooperation of process planning and scheduling, w: 12th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design, 2008, s. 841-845, 2008.
8. X.Zheng, J. Zhang, Q. Gao, Application of non-cooperative game theory to multi-objective scheduling problem in the automated manufacturing system, w: International Conference on Automatic Control and Artificial Intelligence ACAI 2012, 554-557, 2012.

9. Chinchuluun A., Karakitsiou A., Mavrommati A.: Game Theory Models and Their Applications in Inventory Management and Supply Chain. Springer Optimization and Its Applications 17, s. 833-865, 2008.
10. D. He W. Sun, L. Zheng, X. Liao, Scheduling flexible job shop problem subject to machine breakdown with game theory, International Journal of Production Research, 52 13, s. 3858-3876, 2014.
11. Burn J., Marshall P., Barnett M.: E-business Strategies for Virtual Organizations. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.
12. Brzozowski M.: Organizacja wirtualna. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2010.
13. Najda-Janoszka M.: Organizacja wirtualna. Teoria i praktyka. Wydawnictwo Difin, Warszawa, 2010.
14. Lipnack J., Stamps J.: Virtual Teams. People working Across Boundaries with Technology. J. Wiley & Sons, New York, 2000.
15. Kostecki R.P.: Wprowadzenie do teorii gier,  
[http://www.fuw.edu.pl/~kostecki/teoria\\_gier.pdf](http://www.fuw.edu.pl/~kostecki/teoria_gier.pdf), data dostępu: 20.07.2015

Mgr inż. Małgorzata OLENDER

Dr hab. inż. Damian KRENCZYK

Instytut Automatyzacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów  
Wytwarzania

Politechnika Śląska

44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18A

tel. (032) 237 12 19

e-mail: [malgorzata.olender@polsl.pl](mailto:malgorzata.olender@polsl.pl)

[damian.krenczyk@polsl.pl](mailto:damian.krenczyk@polsl.pl)