

TWORZENIE WIRTUALNYCH SIECI PRODUKCYJNYCH

Bożena SKOŁUD, Damian KRENCZYK, Małgorzata OLENDER

Streszczenie: Producenci z sektora małych i średnich przedsiębiorstwa (MŚP), przy wsparciu wirtualnych sieci wytwarzania, mogą wykorzystywać swoje poszczególne wolne moce produkcyjne, łącząc je z innymi producentami na potrzeby wykonania zlecenia, którego w pojedynkę nie byłyby w stanie wykonać. Problemy pojawiające się w tego typu organizacjach związane są z planowaniem przepływu produkcji, który poza uwzględnieniem dysponowanych możliwości każdego z producentów, musi uwzględniać konieczność zaplanowania transportu komponentów pomiędzy członkami sieci, uwzględniające ich rozproszenie geograficzne. W artykule omówiono podstawowe aspekty, które należy wziąć pod uwagę w procesie tworzenia sieci wirtualnych oraz przedstawiono algorytm ich tworzenia.

Słowa kluczowe: wirtualna sieć wytwarzania, organizacje wirtualne, planowanie przepływu produkcji, wspomaganie podejmowania decyzji

1. Wprowadzenie

Małe i średnie przedsiębiorstwa, chcąc utrzymać się na dynamicznym rynku muszą poszukiwać metod wspomagających procesy podejmowania decyzji planistycznych, w szczególności dotyczących terminu i skali realizowanych zamówień. Dynamika rynku powoduje także, że pomimo dysponowania pewnymi niewykorzystanymi zdolnościami produkcyjnymi, producenci nie są w stanie przyjąć kolejnych zleceń z uwagi na brak zasobów wymaganych do kompletacji zlecenia. Starając się wykorzystać swoje zasoby produkcyjne i jednocześnie nie chcąc dalej tracić zleceń, producenci poszukują rozwiązań kooperacyjnych, które w połączeniu z możliwościami produkcyjnymi innych przedsiębiorstw z tego samego sektora, mogą bardziej elastycznie i efektywnie reagować na zmiany na rynku.

Tego typu organizacje określane są terminem wirtualnych sieci wytwarzania, będących alternatywnymi rozwiązaniami dla tradycyjnych systemów produkcyjnych. Ze względu na charakter tworzonej sieci, planowanie przepływu produkcji wymaga przeanalizowania istotnie większej ilości danych wymaganych w procesie analizy i podejmowania decyzji o możliwych połączeniach pomiędzy producentami. Zgodnie z zapotrzebowaniem na dany wyrób, określa się rodzaj i wielkość produkcji, uwzględniając również takie elementy między innymi jak: zdolności produkcyjne przedsiębiorstwa, planowanie obciążenia maszyn, czy wybór odpowiedniej marszruty, znajdującej się w obszarze rozwiązań dopuszczalnych, określanej na podstawie możliwości produkcyjnych producentów w sieci [1]. Planowanie przepływu produkcji w wirtualnej sieci wytwarzania, opiera się na rozpatrywaniu przez decydenta, możliwych do wykorzystania mocy produkcyjnych kilku przedsiębiorstw jednocześnie. Zadanie wymagające nie tylko koordynacji wielu czynności, ale przede wszystkim dysponowania informacjami wymaganymi do prawidłowego pojęcia decyzji. Decyzji, które określają charakter sieci w zależności od liczby poszczególnych przedsiębiorstw, jako uczestników sieci, jak i poziomu zaufania i możliwości,

wpływających na ich współpracę w określonym przedziale czasu. Ponieważ tylko przedsiębiorstwa charakteryzujące się dużym stopniem elastyczności produkcji i mogące szybko odpowiadać na konieczność przystosowania technologicznego do nowego produktu, będą w stanie szybko odpowiadać na pojawiające się potrzeby rynkowe, aktualnym problemem staje się poszukiwanie rozwiązań w postaci nowych, skutecznych metod wspomagających proces planowania przepływu produkcji w tego typu organizacjach.

2. Wirtualna sieć produkcyjna

Wirtualna sieć produkcyjna jest elastyczną konfiguracją różnych przedsiębiorstw produkcyjnych łączonych w jeden system produkcyjny na potrzeby zlecenia produkcyjnego. Stworzona jest do ciągłego dostosowania się do powstających potrzeb. Ich dynamika związana jest z możliwością konfiguracji różnej liczby producentów, mogących uczestniczyć w sieci w tym samym czasie. I to złożoność zlecenia produkcyjnego i możliwości każdego z producentów wpływają na charakter powiązań w sieci. Porównując z organizacją tradycyjną, w organizacji wirtualnej trudno jest wyodrębnić sztywną strukturę wewnętrzną. Każdy z producentów będący uczestnikiem sieci, w dalszym ciągu ma swój własny system zarządzania, który nie zawsze jest znany innym. Cechą nadrzędną wirtualnych organizacji jest dynamiczny, zmienny wzorzec funkcjonowania, który jest zależny od aktualnej liczby uczestników tworzących sieć, czasu trwania współpracy między nimi, a także specyfiki zlecenia produkcyjnego do wykonania. Natomiast w tradycyjnej organizacji znana jest przede wszystkim ich wewnętrzna struktura oparta na: planowaniu, organizowaniu, motywowaniu i kontrolowaniu. Jako organizacja funkcjonująca samodzielnie może określać cele i zakres działania na rynku w dłuższym okresie, a także posiada swoje własne wzorce funkcjonowania, które nie zmieniają się dynamicznie, w zależności od zmiennej liczby uczestników [2,3,4]. Ponadto zarówno organizacja tradycyjna, jak i wirtualna dążą do osiągnięcia swoich zamierzonych celów, przy różnych ograniczeniach i możliwościach. Są zdolne również do odnawiania swoich zasobów, przy czym w wirtualnej sieci wytwarzania, odnowa zasobów przebiega w sposób niezależny u poszczególnych producentów będących w związanej sieci [4,5,6,7].

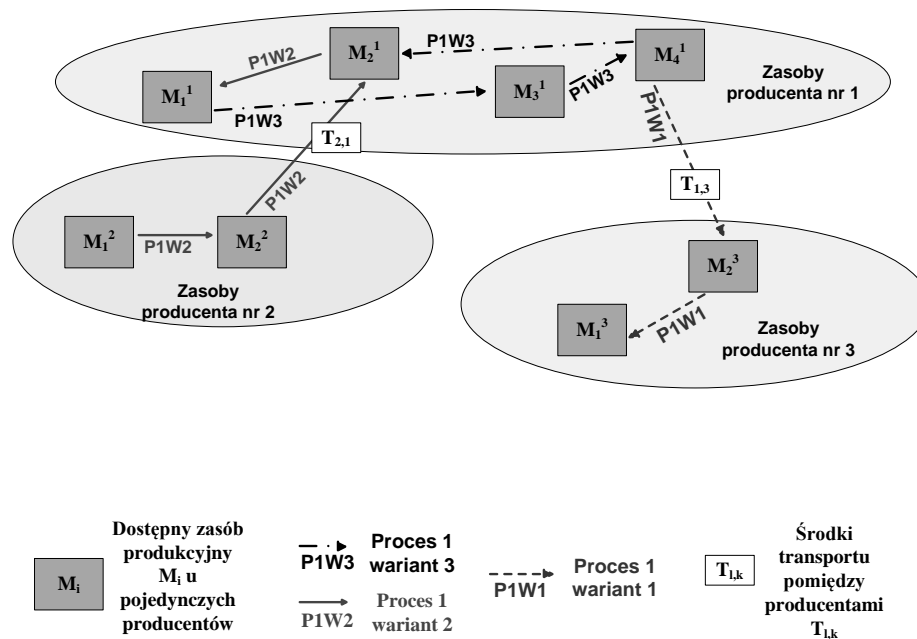
Wirtualne sieci wytwarzania charakteryzują się również tym, że producenci są rozproszeni geograficznie. Sieć zawiązywana jest tymczasowo, tylko na potrzeby zlecenia i w większości przypadków rozwiązywana zaraz po jego wykonaniu, dlatego tworząc wirtualną sieć należy uwzględnić przede wszystkim dobrze rozwinięte technologie informacyjne oraz odpowiednie bazy danych i metody wymiany informacji (platformy).

W zależności od specyfikacji zlecenia produkcyjnego oraz wolnych mocy produkcyjnych możliwych do wykorzystania, zawiązywana jest sieć, w której tymczasowo współpracuje różna liczba producentów. Każde ze zleceń produkcyjnych może być inne, wykonywane przez różną liczbę producentów, stąd coraz częściej pojawiająca się nazwa dynamicznych bądź wirtualnych sieci produkcyjnych (VMN – Virtual Manufacturing Network). Podstawą tworzenia VMN jest zlecenie produkcyjne oraz możliwe do uzyskania odpowiedzi na szereg pytań, takich jak: jakimi wolnymi mocami produkcyjnymi dysponują i kiedy?, który z producentów podjąłby się takiej współpracy?, czy możliwe jest zawiązanie sieci?, czy podołają stawianym im wymaganiom?, które marszruty zastosować przy produkcji?. W zależności od uzyskanych odpowiedzi tworzona jest tymczasowa sieć, a jej uczestnicy przystępują do realizacji zadań zgodnie z opracowanymi planami. Planowanie produkcji w wirtualnej sieci wytwarzania musi obejmować następujące aspekty i

ograniczenia: określanie liczby producentów w sieci, analizę zbioru wolnych mocy produkcyjnych producentów w rozpatrywanym okresie planistycznym, zdefiniowanie zbiorów marszrut alternatywnych dla procesu, bądź procesów, uwzględnianie odległości geograficznych między konkretnymi producentami, przez dodanie do planu produkcyjnego czasów potrzebnych na transport między nimi.

2.1. Przykład wirtualnej sieci produkcyjnej

Przykładową strukturę wirtualnej sieci wytwarzania pokazano na rys. 1



Rys. 1. Przykład struktury wirtualnej sieci produkcyjnej

Wirtualną sieć produkcyjną zawiązało trzech producentów. Każdy z nich w określonym czasie posiada wolne moce produkcyjne, które przekazywane do dyspozycji sieci, pozwalają na wykonanie zlecenia produkcyjnego. Producent pierwszy posiada cztery wolne zasoby produkcyjne, natomiast producent drugi oraz trzeci przekazują po dwa wolne zasoby produkcyjne. Dla tak zdefiniowanego zbioru wolnych mocy produkcyjnych, określono trzy możliwe warianty wykonania zlecenia produkcyjnego, składającego się z jednego procesu produkcyjnego. Na tym etapie wybierany jest wariant ze zbioru wariantów marszrut alternatywnych, który spełnia wymagania określonego zlecenia. Najczęściej, taką decyzję podejmuje wyznaczona do tego osoba (decydent, integrator) [3,8], ale również jest ona odpowiedzialna za szereg innych zadań, między innymi odpowiada za późniejsze funkcjonowanie sieci wytwarzania, jako całości, rozlicza wykonanie zleceń z członkami sieci jak i z odbiorcami. Jakikolwiek zakłócenia i zmiany zachodzące w sieci, związane np. z wycofaniem się jej uczestnika, nieterminowymi dostawami po stronie dostawców, wpływają na wykonanie całego zlecenia produkcyjnego i to właśnie integrator jest

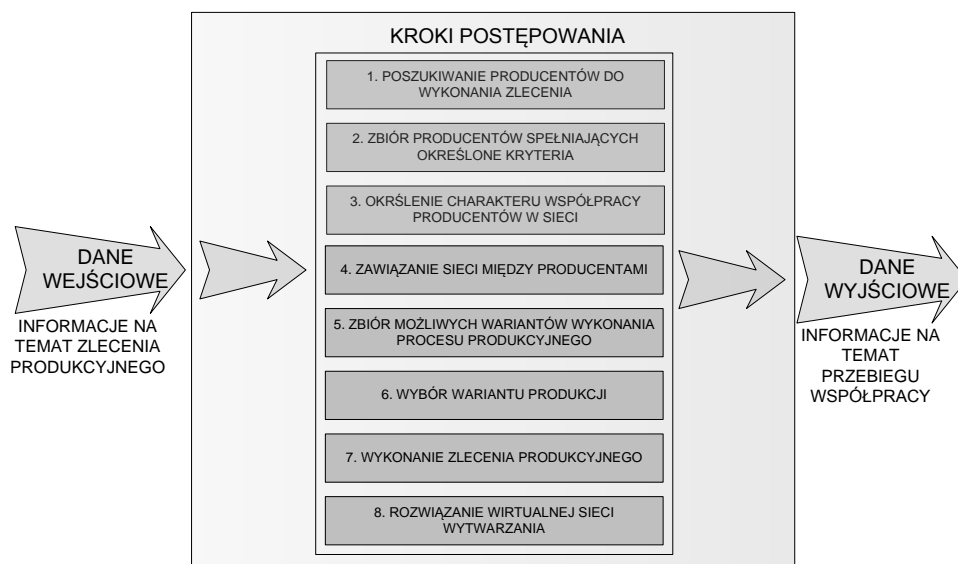
odpowiedzialny za rozwiązanie tego typu problemów. W ogólności, integrator podczas pracy w wirtualnej sieci wytwarzania powinien [3]:

- oszacować całkowity koszt współpracy. Na ich koszt wpływają między innymi sposoby dostawy, czy czas dostawy,
- wybrać odpowiednich kooperantów do sieci. Wybór opierany jest na podstawie charakteru zlecenia, umiejętności współpracy, dostępnych zasobów produkcyjnych itp.,
- określić przed rozpoczęciem przedsięwzięcia kluczowe warunki współpracy, procedurę kontaktów między producentami, oraz wyjaśnić wszystkie niezrozumiałe kwestie i ingerować w razie wystąpienia problemów.

Początkowo podjęte decyzje wpływają na charakter współpracy przedsiębiorstw podczas całego zlecenia. Integrator przede wszystkim zawiązuje sieć współpracy między producentami, która obejmuje kilka etapów. Zostaną one przedstawione w kolejnym podrozdziale.

2.2. Zawiązanie wirtualnej sieci produkcyjnej

Sposób postępowania podczas procesu tworzeniu wirtualnej sieci wytwarzania, obejmuje kilka podstawowych etapów, które pokazano na rys. 2. Dysponując danymi nt. zlecenia produkcyjnego tj. liczbą procesów produkcyjnych, specyfikacją wymagań klienta, poszukuje się producentów, którzy posiadają w danym okresie planistycznym wolne moce produkcyjne oraz wyrazili chęć uczestniczenia w wirtualnej sieci wytwarzania, ponadto muszą oni spełniać określone kryteria m.in. dostępności określonej grupy zasobów produkcyjnych, odległości geograficznej. Następnie sieć zostaje wstępnie zawiązana, aby określić możliwy charakter współpracy pomiędzy poszczególnymi producentami i zapoznać się z dostępnymi zasobami każdego uczestnika sieci.

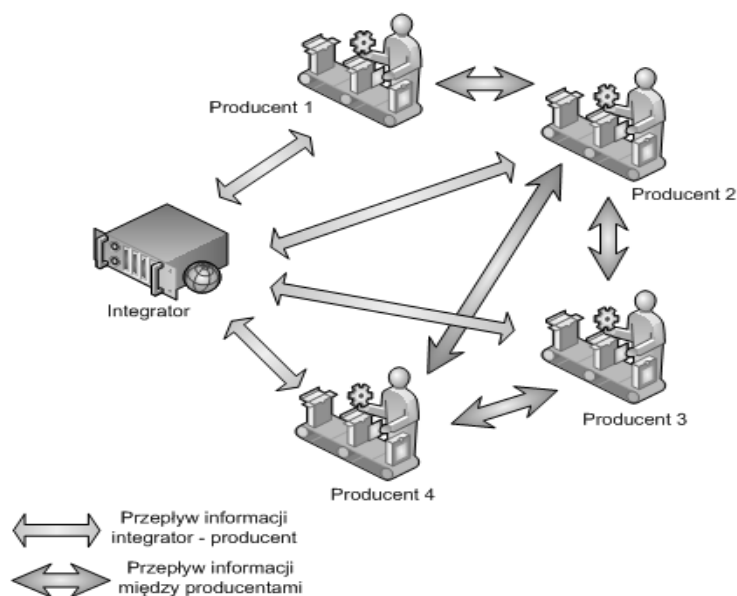


Rys. 2. Zawiązywanie wirtualnej sieci produkcyjnej

W kolejnym kroku zawiązywana jest sieć właściwa, a także określone są dopuszczalne rozwiązania, czyli zbiór dostępnych marszrut alternatywnych dających możliwość wykonania zlecenia produkcyjnego. W kolejnym kroku wybierane jest ostateczne rozwiązanie dotyczące planu przepływu produkcji, następuje realizacja poszczególnych etapów procesu produkcyjnego, a po wykonaniu zlecenia i rozliczeniu wszystkich kosztów oraz przychodów, sieć jest rozwiązywana. Po rozwiązaniu sieci, integrator dysponuje informacjami na temat przebiegu współpracy między uczestnikami sieci, które może wykorzystać przy planowaniu kolejnej konfiguracji sieci. Oczywiście w zaprezentowanym przypadku, współpraca między poszczególnymi producentami nie byłaby możliwa, gdyby nie odpowiednio rozwinięta technologia informacyjna, która w obecnych czasach pozwala na dzielenie się informacjami z innymi nawet przy dużym rozproszeniu geograficznym.

2.3. Technologia informacyjna

Funkcjonowanie wirtualnej sieci wytwarzania uwarunkowane jest odpowiednim poziomem technologii informacyjnej. Na rys. 3 pokazano przepływ informacji między uczestnikami sieci, a integratorem, a także między samymi producentami. Wspólną podstawą dla wszystkich producentów będzie sposób komunikowania się poprzez kontakt kanałami elektronicznymi. Informacje przekazywane między integratorem, a producentami, dotyczą przede wszystkim: wolnych mocy produkcyjnych uczestników sieci, postępów w realizacji zlecenia produkcyjnego, konfliktów na tle współpracy, pomocy przy poszerzaniu zaufania między współproducentami itp. Informacje przekazywane tylko między producentami dotyczą płaszczyzny produkcyjnej i wszystkich problemów związanych z postęпами dotyczącymi wykonywania zlecenia produkcyjnego [9,10].



Rys.3. Przepływ informacji w wirtualnej sieci produkcyjnej [11]

Za poprawne funkcjonowanie i sposób wykorzystania technologii informacyjnej w każdej konfiguracji wirtualnej sieci, odpowiadają wyznaczeni pracownicy, delegowani do tego zadania przez każdego z producentów.

Przepływ informacji na odpowiednim poziomie jest wymagany nie tylko w wirtualnych sieciach wytwarzania, ale i organizacjach tradycyjnych. Z tym, że w wirtualnej sieci wytwórczej, jest to bardziej skomplikowane, ze względu na rozproszenie geograficznie tworzących go przedsiębiorstw. I tak są wykorzystywane odpowiednio: telekonferencje, bazy danych, e-mail, komunikaty przesyłane pomiędzy heterogenicznymi systemami informatycznymi zarządzania itp. Bez odpowiednio rozwiniętego poziomu technologii informacyjnej, mogą wystąpić problemy z wykonywaniem powierzonych zadań, ponieważ proces produkcyjny jest jednoczesną kooperacją kilku producentów rozproszonych geograficznie [12, 13].

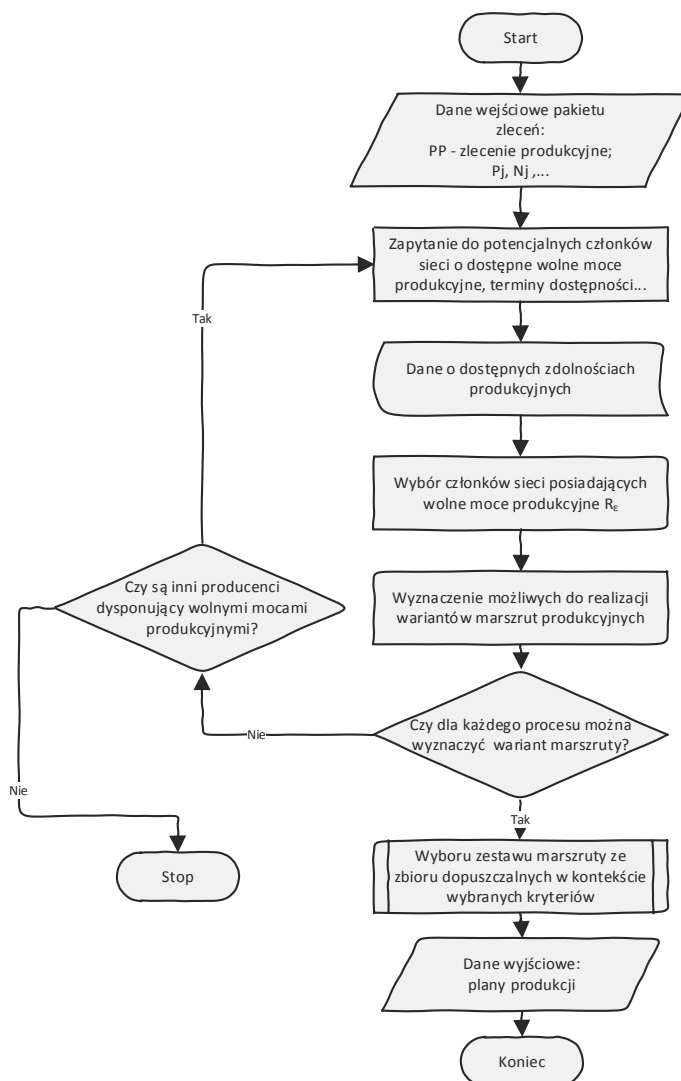
3. Planowanie przepływu produkcji w wirtualnej sieci produkcyjnej

Zawiązanie sieci pomiędzy producentami dysponującymi odpowiednimi wolnymi mocami produkcyjnymi w określonym czasie jest bardzo wymagającym i skomplikowanym zadaniem. Dysponując odpowiednimi informacjami na temat zasobów, można zacząć planować przepływ produkcji między przedsiębiorstwami w odpowiedniej kolejności. Z tym, że jest to również złożone i wieloaspektowe przedsięwzięcie, wymagające szeregu decyzji podejmowanych przez decydenta. Musi on wziąć również pod uwagę ograniczenia, związane między innymi z terminami realizacji zlecenia, które w tym przypadku, ze względu na rozproszenie geograficzne przedsiębiorstw, musi uwzględniać operacje transportowe pomiędzy uczestnikami sieci wymagane do kompletacji zlecenia. Istotny jest tutaj również ponoszony koszt związany z realizacją zlecenia produkcyjnego, skorygowany o koszty transportu między poszczególnymi uczestnikami sieci. Wymienione elementy są charakterystyczne w procesie planowania i kontrolowania przepływu produkcji w wirtualnych sieciach. Należy również pamiętać, że zmieniają się one w sposób dynamiczny, za każdym razem, gdy zmieni się wariant marszrut, czy liczba producentów uczestnicząca w jej realizacji. Zmiana uczestnika sieci, wpływa zatem również na sam proces decyzyjny prowadzący do wyłonienia określonej marszrut ze zbioru możliwych marszrut. Ze względu na to, że każdy producent dysponuje określonymi wolnymi mocami produkcyjnymi, zmiennymi w określonych okresach planistycznych, decydent na bieżąco musi analizować dostępne możliwości. Stąd czas i możliwość dostępu do najważniejszych informacji są tak ważne. Mimo, że każda zawiązywana wirtualna sieć wytwarzania ma swój niepowtarzalny charakter to można zakreślić stałe elementy w algorytmach planowania produkcji w sieciach, które obejmują:

- określenie liczby producentów zawiązujących sieć,
- analizę wolnych mocy produkcyjnych u poszczególnych producentów w określonym przedziale czasu,
- rozpisanie możliwych wariantów marszrut alternatywnych dla procesu/-ów produkcyjnego/-nych określonego zlecenia produkcyjnego,
- uwzględnienie w planowaniu odległości geograficznych między producentami, wpływających na czas oraz koszt transportu.

Autorzy proponują algorytm tworzenia sieci (rys. 4), składający się z poszczególnych kroków, których efektem jest proponowany dla planisty zestaw marszrut ze zbioru marszrut alternatywnych dla wszystkich procesów wchodzących w skład zlecenia produkcyjnego, którego realizacji podejmuje się wirtualna sieć wytwórców. Oczywiście, algorytm ten

stanowi podstawę do kolejnych prac badawczych mających na celu opracowanie metod dotyczących sposobu określenia marszrut ze zbiorów marszrut alternatywnych, doboru kooperantów, określania wymaganych odpowiednich wolnych mocy produkcyjnych pojedynczych producentów, oraz wyboru dostawców podzespołów/komponentów w wymaganym czasie.



Rys.4. Algorytm tworzenia wirtualnej sieci produkcyjnej [11]

Zakłada się, że są dane dotyczące konkretnego zlecenia produkcyjnego, tj. dotyczące specyfikacji zbioru procesów technologicznych, wymagań technologicznych dla poszczególnych operacji w technologii wykonania procesu, wielkości serii produkcyjnych oraz czasu przeznaczanego na realizację całego zlecenia. Na podstawie tych informacji

integrator (decydent) poszukuje producentów spełniających wymagania postawionego zadania.

4. Podsumowanie

Coraz większa konkurencja w obszarze przedsiębiorstw z sektora MŚP, wymuszają poszukiwanie rozwiązań, które pozwoliłyby na wykorzystanie dysponowanych wolnych mocy produkcyjnych. Takie sytuacje związane mogą być z tym, że producenci nie są w stanie przyjąć kolejnych zleceń napływających z rynku, z uwagi na brak kompletu zasobów wymaganych do ich realizacji. Ponadto powodzenie działań biznesowych przedsiębiorstw w dynamicznie zmieniającym się otoczeniu, zależy od umiejętności dostosowywania się do zmiennych warunków panujących na rynku i wymagań klientów, a więc od poziomu elastyczności, zarówno w odniesieniu do zasobów technologicznych, jak i do metod i sposobów planowania. Pojawiające się tutaj problemy, stają się impulsami do działania, związanego z poszukiwaniem innowacyjnych rozwiązań, umożliwiających zaplanowanie i wykonanie zlecenia produkcyjnego, wykraczających poza ramy tradycyjnych, pojedynczych producentów. W tą sytuację wpisuje się koncepcja wykorzystania wirtualnych sieci wytwarzania, będących alternatywą dla funkcjonowania na rynku tradycyjnych pojedynczych organizacji. Jednak wraz z możliwością zastosowania wirtualnych sieci, pojawiają się dodatkowe problemy w procesach planowania przepływu produkcji, ponieważ wymagana do wykonania produkcja dzielona jest pomiędzy poszczególnymi producentami, którzy zawiązali określoną sieć.

Decydent, bądź integrator, musi wnikliwie przeanalizować możliwości produkcyjne każdego z producenta w sieci i dobrać odpowiednie zasoby produkcyjne w odpowiednim czasie. Na tej podstawie buduje, w zależności od dostępnych zasobów, możliwe do wykonania warianty marszrut alternatywnych procesów produkcyjnych. Zaproponowane przez decydenta możliwe rozwiązania muszą uwzględniać oprócz zasobów również, rozproszenie geograficzne uczestników, które wpływa na koszt i czas transportu. Jednak nawiązana współpraca i opracowane możliwości, bez odpowiednio rozwiniętej technologii informacyjnej, nie miałyby miejsca, gdyż przedsiębiorstwa muszą ze sobą ściśle współpracować na odległość. Rozwinięta w obecnych czasach technologia informacyjna i obliczeniowa, może stać się narzędziem pozwalającym na pokonanie przeszkód, dzięki czemu koncepcja wirtualnych sieci wytwarzania może być alternatywą dla przedsiębiorstw z sektora MŚP.

Literatura

1. Skołod B.: Planowanie wieloasortymentowej produkcji rytmicznej, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Mechanika z. 136, Gliwice, 2000.
2. Kisielnicki J.: Podstawy Organizacji i Zarządzanie, <http://edu.pjwstk.edu.pl/wyklady/poz/scb/index01.html>, 2005.
3. Brzozowski M.: Organizacja Wirtualna, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa, 2010.
4. Burn J., Marshall P., Barnett M.: E-business Strategies for Virtual Organizations, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2002.
5. Olender M., Krenczyk D.: Planowanie Przepływu Produkcji w Przedsiębiorstwach Wirtualnych z Uwzględnieniem Ograniczeń Logistycznych, [w:] Nowe trendy

- w logistyce – rozwiązania IT pod redakcją: Witkowski K., Saniuk S., Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra, 2016.
6. Olender M., Krenczyk D.: Wirtualne Sieci Wytwarzania, [w:] Inżynier XXI wieku. V Międzynarodowa konferencja studentów oraz doktorantów. Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej. Wydział Budowy Maszyn i Informatyki. Bielsko-Biała: Wydaw. Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej, 2015, s. 47-56.
 7. Kudelska K.: Organizacja Ucząca się w Świetle Współczesnych Koncepcji Zarządzania, Kwartalnik, Nr 3(7), 2013, s. 21-32.
 8. Meija R., Molina A.: Virtual Enterprise Broker: processes, methods and tools, [w:] Collaborative Business Ecosystems and Virtual Enterprises, Springer Science+Business Media, New York, 2002, s. 81-90.
 9. Dziembek D.: Wspieranie Procesów Zarządzania Wiedzą w Organizacji Wirtualnej Oprogramowaniem Dostępnym w Modelu SAAS, [w:] Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji: Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2014, s. 306-318.
 10. Godniak M.K.: Informatyczne Wspomaganie Procesu Tworzenia Organizacji Wirtualnej, [w:] "Trzecia Konferencja Entuzjastów Informatyki KEI'2004", Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie, Chełm, 2004.
 11. Olender M.: Algorytmy planowania przepływu produkcji w dynamicznych sieciach wytwórczych (niepublikowana praca doktorska, 20.12.2016).
 12. Saniuk S.: Modeling of Virtual Production Networks, Scientific Journal of Logistics, Vol. 7, Issue 1, No 3, 2011, s. 23 – 33, on – line: 02.02.2011.
 13. Pańkowska M.: Rozwój informacji organizacji wirtualnych, wyd. Akademii Ekonomicznej, Katowice, 2007.

Prof. dr inż. Bożena SKOŁUD
Dr hab. inż. Damian KRENCZYK
Dr inż. Małgorzata OLENDER
Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych
i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania
Politechnika Śląska
44-100 Gliwice, ul. Konarskiego 18A
tel.: (032) 237 12 19
e-mail: bozena.skolud@polsl.pl
damian.krenczyk@polsl.pl
malgorzata.olender@polsl.pl