

Bożena SKOŁUD, Damian KRENCZYK, Krzysztof KALINOWSKI
Politechnika Śląska

MODELOWANIE WIELKOSKALOWE SYSTEMÓW WSPÓLBIEŻNYCH PROCESÓW CYKLICZNYCH

Streszczenie. Wzrastająca konkurencja i oczekiwania klientów silnie oddziałują na przedsiębiorstwa, które poszukują sprawnych metod sterowania. W szczególności mali dostawcy półproduktów (komponentów) muszą dopasować swoją produkcję do oczekiwań odbiorców pod względem różnorodności asortymentu, ilości oraz terminu dostawy. W odpowiedzi na te potrzeby zaproponowano nowy opis systemów produkcyjnych inspirowany przez modelowanie wieloskalowe. Przedstawiono ideę bazującą na modelowaniu współbieżnych procesów cyklicznych oraz możliwość zastosowania tego podejścia w złożonych systemach produkcyjnych.

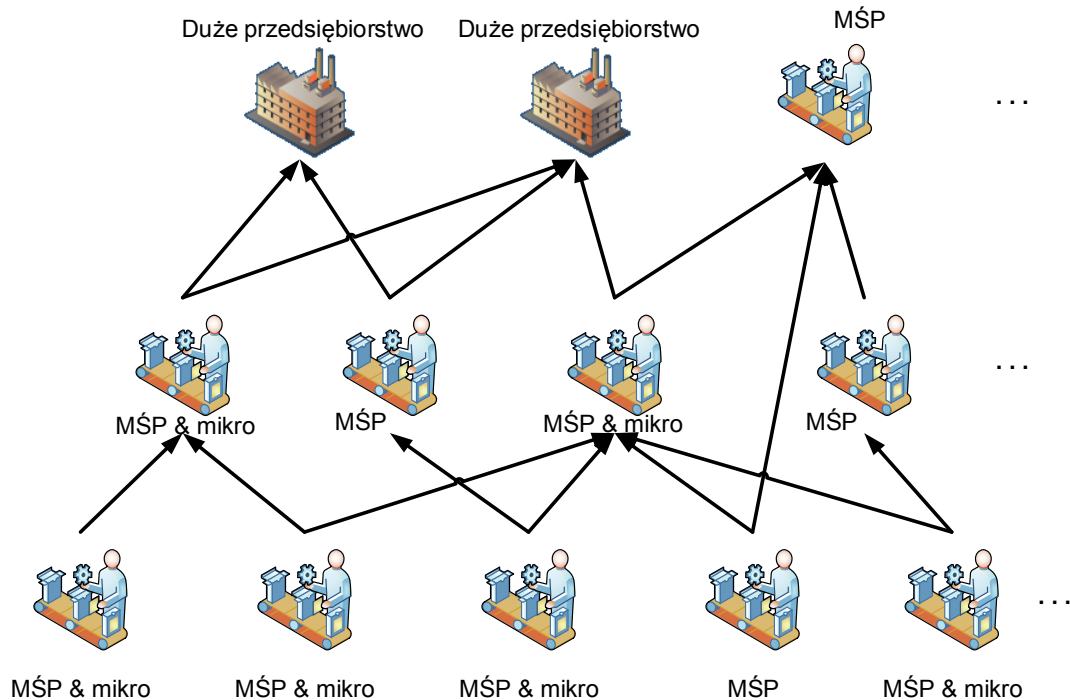
THE CYCLIC CONCURRENT PROCESSES SYSTEMS. MULTI-SCALE MODELING APPROACH

Summary. Increasing competition and customer expectations strongly influence the company that are looking for efficient methods of control. In particular, small supplier semi-products (components) must adapt their production to consumers' expectations in terms of diversity of assortment, quantity and delivery time. In response to these needs, we proposed a new description of the production inspired by the multi-scale modeling. It presents the idea based on the modeling of concurrent cyclic processes and the ability to use this approach in complex production systems.

1. Wprowadzenie

Konkurencyjność przedsiębiorstwa jest zależna od szybkości reakcji na zmiany rynku. Dlatego też producenci prześcigają się w spełnianiu oczekiwań klientów, co jest szczególnie widoczne wśród producentów dóbr konsumpcyjnych, takich jak: samochody, sprzęt AGD, urządzenia elektroniczne, odzież itd. Pomimo zróżnicowania poszczególnych wyrobów ich podobieństwo technologiczne i konstrukcyjne nie wymusza przezbrajania urządzeń, każdy z produktów może być wykonany na tej samej zbilansowanej linii produkcyjnej lub montażowej. W wielu przypadkach finalne produkty są tworzone zgodnie z produkcją charakterystyczną dla produkcji masowej. Dostawcy zespołów, podzespołów oraz części składowych produktów mają znacznie trudniejsze zadanie – muszą dopasować swoją produkcję do oczekiwań

odbiorców i to zarówno pod względem różnorodności asortymentu jak i ilości oraz terminu dostawy, zgodnie z oczekiwaniami produkcji „Just In Time”, „Just In Sequence” [4].



Rys. 1. Hierarchiczna sieć przedsiębiorstw

Z tego powodu produkcja w niniejszych przedsiębiorstwach ma charakter produkcji na zlecenie (make to order-MTO), która często jest realizowana przez działające niezależnie mikro, małe lub średnie przedsiębiorstwa (MŚP), a jedynym łączącym je ogniwem jest wspólny odbiorca. Każda z tych firm planuje produkcję nie zważając na innych dostawców. Jednakże z punktu widzenia odbiorcy dostawy przez nich realizowane muszą być zsynchronizowane.

W ostatnich latach obserwuje się szybki wzrost liczby MŚP, które współpracują z producentami finalnych produktów w danej branży. W Unii Europejskiej MŚP stanowią aż 99.8% spośród wszystkich przedsiębiorstw i wytwarzają 58% wartości dodanej [1]. Tworzą sieć logistyczną (rys. 1), stanowiącą grupę niezależnych firm konkurujących i kooperujących w celu poprawy sprawności i efektywności przepływu produktów i towarzyszących im informacji zgodnie z oczekiwaniami klientów[8].

W związku z silnym powiązaniem przedsiębiorstw na różnych poziomach produkcji poprzez wspólnych odbiorców oraz ich przynależności do branż konieczne staje się wspieranie procesu podejmowania decyzji w zakresie planowania i sterowania produkcją, wykonując następujące zadania:

- ustalenie planu pracy dla danego systemu produkcyjnego,
- ustalenie harmonogramu oraz przebiegu partii produkcyjnych w połączeniu z wymaganym zapotrzebowaniem materiału oraz wymaganej wydajności zasobów produkcyjnych,
- kontrola przepływu produkcji w systemie,
- monitorowanie i reagowanie na odchylenia od przyjętych planów.

Tradycyjne podejście związane jest ze wstępną koncepcją integracji komputerowej (Computer Integrated Manufacturing - CIM) i prowadzi zazwyczaj do scentralizowanych lub hierarchicznych struktur sterowania, w których przełożony inicjuje wszelkie działania, a jednostki podległe odpowiadają bezpośrednio w celu ich wykonania.

Autorzy artykułu proponują nowy opis systemów produkcyjnych inspirowany przez modelowanie wieloskalowe. Przedstawiono ideę bazującą na zastosowaniu tego podejścia do modelowania systemów współbieżnych procesów cyklicznych, stanowiących jeden ze sposobów sterowania złożonymi systemami produkcyjnymi.

2. Wieloskalowość systemów produkcyjnych

W inżynierii chemicznej, inżynierii materiałowej oraz mechanice coraz częściej stosowane jest podejście wieloskalowe, które jest związane z wymaganiami klienta dotyczącymi produktu o określonych własnościach. Projektant znając rynkowe zapotrzebowania na cechy produktu, skupia się na metodologii i narzędziach prowadzących do produktu o żądanych cechach. Postępowanie takie może być przeprowadzone na różnych poziomach uszczegółowienia, często po przeprowadzeniu analizy procesu w różnych skalach długości i czasu [9].

Przez modelowanie wieloskalowe rozumie się wyznaczanie cech materiału, albo zachowania systemu na jednym poziomie przez użycie informacji lub modelu z innego poziomu.

W odniesieniu do systemów produkcyjnych problem wieloskalowości został podjęty w [5]. To podejście jest postrzegane jako powiązanie produkcji z działem sprzedaży i wykorzystanie metod bazujących na wiedzy w celu efektywnego modelowania i symulacji systemów montażowych i procesów realizowanych w nich, tak by przedstawić silne powiązania między posiadaną infrastrukturą i wyrobami, które mają w niej zostać wykonane. W tym celu utworzono bazującą na wiedzy bibliotekę zasobów, która jest wykorzystywana do modelowania na poziomie linii, gniazda czy też na poziomie zakładu.

Autorzy proponują wykorzystanie idei modelowania wieloskalowego do sterowania przepływami współbieżnych procesów cyklicznych, realizowanych na różnych poziomach produkcji.

Proponowane podejście związane jest ze sterowaniem przepływami poprzez budowę systemu współbieżnych procesów cyklicznych. Wybrano ten rodzaj przepływu, gdyż dla niego już na etapie planowania możliwa jest dokładna ocena funkcjonowania systemu. Zakłada się ponadto, że w systemie spełnione są warunki wystarczające, gwarantujące jakościowo dopuszczalną realizację procesów. Warunki te wyznaczają podzbiór dopuszczalnych reguł sterujących realizacją procesów. Na tak określonym zbiorze formułowany jest tzw. problem satysfakcji, którego rozwiązanie sprowadza się do wyznaczenia realizacji procesu (procesów) o wskaźniku oceny równym lub przekraczającym zadany poziom.

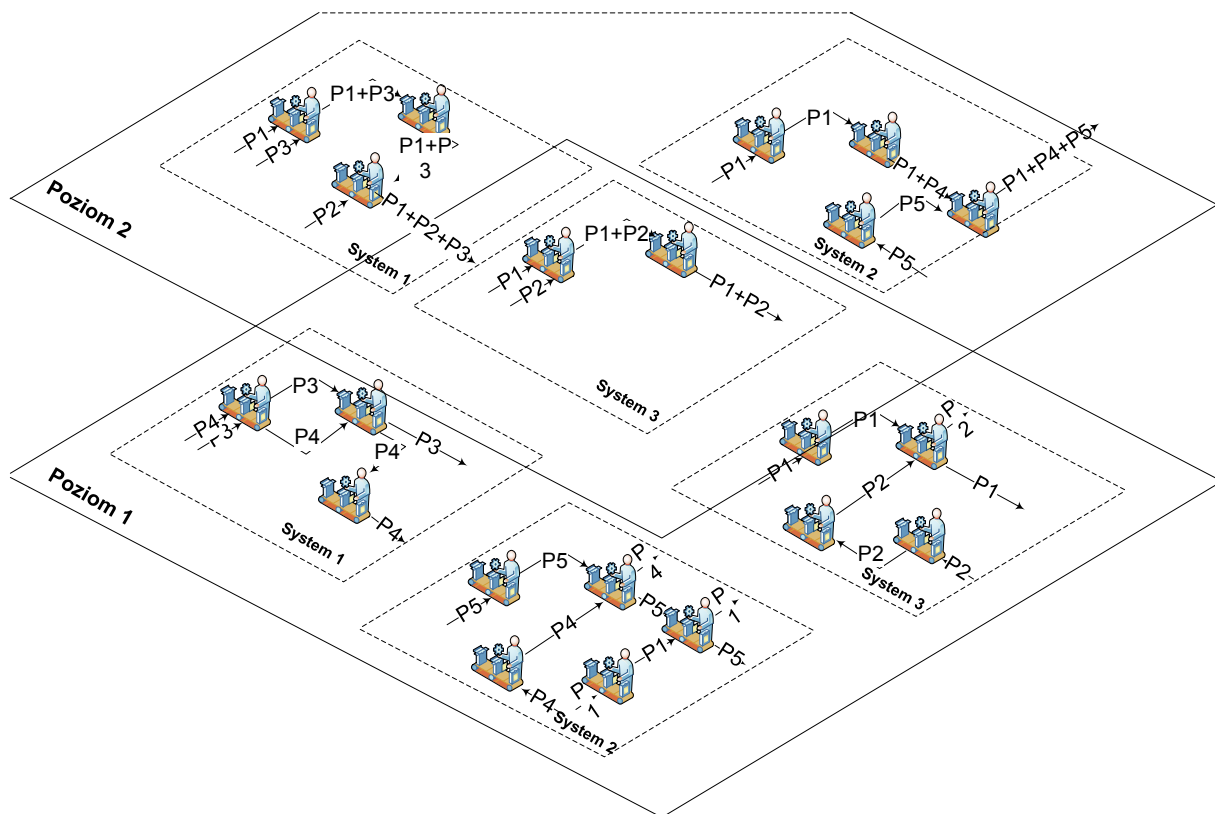
Oznacza to między innymi, że spełnienie warunków wystarczających, gwarantujących cykliczny przebieg ustalony, daje podstawę do analitycznego wyznaczania parametrów przepływu produkcji, takich jak:

- okres powtarzalności systemu,

- liczba zasobów krytycznych (zasobów całkowicie zajętych),
- pojemności magazynów,
- terminowość realizacji zlecenia.

3. Modelowanie systemów współbieżnych procesów cyklicznych

Rozważany jest problem planowania przepływu produkcji w systemach należących do klasy Systemów Współbieżnych Procesów Cyklicznych (SWPC) [2,3,6,7]. W rozważanej klasie systemów produkcyjnych, na współdzielonych zasobach produkcyjnych M_i , współbieżnie realizowane są w trybie wzajemnego wykluczania cykliczne procesy dyskretnie P_j . Cykl pracy systemu tworzony jest poprzez sekwencję operacji technologicznych procesów realizowanych na zasobach współdzielonych s -go producenta na l -tym poziomie (rys. 2), których kolejność regulują lokalne reguły rozstrzygania konfliktów zasobowych (lrrkz) R_i , tworzone na etapie planowania, dla każdego zasobu.



Rys. 2. Przepływ produkcji współbieżnych procesów cyklicznych na różnych poziomach w podejściu wieloskalowym

Formalnie system współbieżnych procesów cyklicznych, w którym sterowanie odbywa się w oparciu o lrrkz definiowany jest jako:

$$SC_{l,s} = (M_{l,s}, PP, B, R), \text{ gdzie:}$$

l – poziom realizacji produkcji, $l = 1 \dots L$,

s – identyfikator systemu produkcyjnego na danym poziomie,
 $M_{l,s} = \{M_i, i = 1, 2, \dots, m_{l,s}\}$ – zbiór zasobów s -go producenta na l -tym poziomie,
 $PP_{l,s} = (P_{l,s}, MP_{l,s})$ – struktura procesów produkcyjnych s -go producenta na l -tym poziomie, gdzie:

$P_{l,s} = \{P_j, j = 1, 2, \dots, n_{l,s}\}$ – zbiór procesów produkcyjnych s -go producenta na l -tym poziomie,

$MP_{l,s} = \{MP_j, j = 1, 2, \dots, n_{l,s}\}$ – zbiór macierzy procesów produkcyjnych s -go producenta na l -tym poziomie:

$$MP_j = \begin{bmatrix} mp_{11} & mp_{12} & \dots & mp_{1h} & \dots & mp_{1H_j} \\ mp_{21} & mp_{22} & \dots & mp_{2h} & \dots & mp_{2H_j} \\ mp_{31} & mp_{32} & \dots & mp_{3h} & \dots & mp_{3H_j} \end{bmatrix}, \text{ macierz } j\text{-tego procesu, gdzie:}$$

h – numer kolejny operacji (zgodnie z kolejnością operacji określonych przez marszrutę),

H_j – liczba operacji w marszrucie j -tego procesu,

mp_{1h} – nr zasobu, na którym realizowana jest h -ta operacja,

mp_{2h} – czas jednostkowy h -tej operacji,

mp_{3h} – czas przygotowawczo-zakończeniowy h -tej operacji.

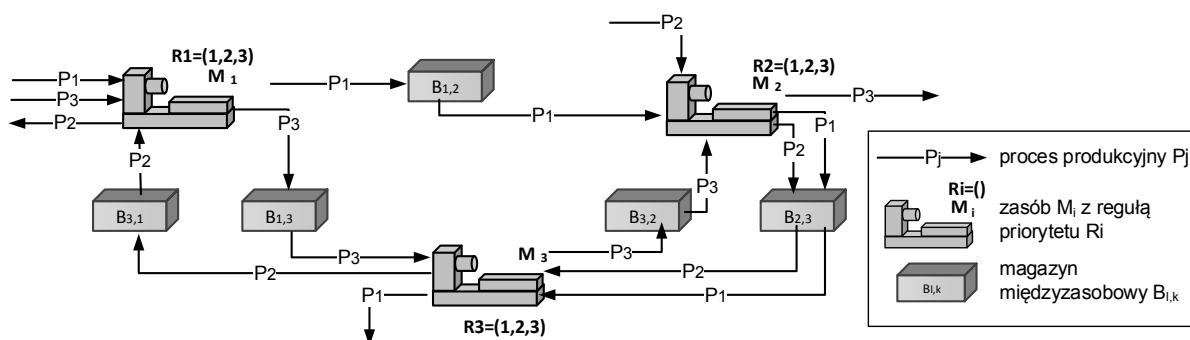
$B_{l,s} = \{B_{l,k}, u = 1, 2, \dots, m_{l,s}; k = 1, 2, \dots, m_{l,s}; u \neq k\}$ – zbiór magazynów międzyzasobowych s -go producenta na l -tym poziomie przydzielonych do zasobów sąsiadujących (M_u, M_k),

$R_{l,s} = \{R_i, i = 1, 2, \dots, m_{l,s}\}$ – zbiór lrrkz przydzielonych do zasobów s -go producenta na l -tym poziomie, gdzie:

$$R_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{io_i}), \text{ gdzie:}$$

$p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{io_i}$ – numery procesów, które zostają przydzielane do i -tego zasobu,

o_i – liczba operacji realizowanych w jednym cyklu pracy.



Rys. 3. System współbieżnych procesów cyklicznych

Planowanie przepływu produkcji dla danego zbioru procesów produkcyjnych sprowadza się do problemu wyznaczenia zbioru lrrkz gwarantujących realizację procesów w zadanych terminach oraz przy określonych parametrach systemu

(współczynnik wykorzystania zasobów, minimalny czy maksymalny czas cyklu pracy). Reguły te określają liczbę oraz kolejność procesów realizowanych na zasobie oraz powinny zapewnić przynajmniej jednokrotną realizację operacji należącej do każdego z procesów przebiegających przez zasób (rys. 3) (w czasie cyklu pracy), tym samym gwarantując żywotność lokalną (brak zagłódzeń). W pracach [6,7] przedstawiono algorytmy wyznaczania lrrkz pozwalających na realizację zbioru procesów w zadanych terminach.

By zagwarantować żywotność systemów na poszczególnych poziomach, dla każdego z systemów muszą zostać spełnione lokalne warunki bilansu systemu:

Warunek bilansu systemu – liczba procesów wprowadzonych do system w jednym okresie powtarzalności musi być równa liczbie procesów opuszczających system w tym okresie.

$$\chi_1^{l,s} n_{1,j}^{l,s} = \chi_2^{l,s} n_{2,j}^{l,s} = \dots = \chi_i^{l,s} n_{i,j}^{l,s} = \dots = \chi_{m_{l,s}}^{l,s} n_{m_{l,s},j}^{l,s} \quad (1)$$

gdzie:

$\chi_i^{l,s}$ – powtarzalność reguły przydzielonej do i -tego zasobu s -go producenta na l -tym poziomie,

$n_{i,j}^{l,s}$ – powtarzalność j -tego procesu w regule przydzielonej do i -tego zasobu s -go producenta na l -tym poziomie.

Ponadto bilans musi zostać także zachowany pomiędzy poszczególnymi poziomami. Innymi słowy suma produktów poszczególnych procesów dla każdego z poziomów we wspólnej wielokrotności okresu pracy (T) systemów dla poszczególnych producentów i poziomów musi być sobie równa, tj.:

$$\sum_{s=1}^{S_1} \frac{T}{T_{1,s}} \chi_i^{1,s} n_{i,j}^{1,s} = \sum_{s=1}^{S_2} \frac{T}{T_{2,s}} \chi_i^{2,s} n_{i,j}^{2,s} = \dots = \sum_{s=1}^{S_l} \frac{T}{T_{l,s}} \chi_i^{l,s} n_{i,j}^{l,s} = \dots = \sum_{s=1}^{S_L} \frac{T}{T_{L,s}} \chi_i^{L,s} n_{i,j}^{L,s} \quad (2)$$

gdzie:

S_l - liczba producentów (systemów produkcyjnych) na l -tym poziomie,

$T_{l,s}$ - okres pracy s -go systemu na l -tym poziomie,

L - liczba poziomów.

Warunek przydziału pojemności w buforach międzyoperacyjnych. Pojemność bufora $B_{p,r}^j$ pomiędzy sąsiednimi zasobami M_p i M_r dla j -tego procesu musi spełnić warunek (3):

$$B_{p,r}^j \geq n_{i,j} \cdot \chi_i \quad (3)$$

gdzie:

χ_i – powtarzalność reguły przydzielonej do i -tego zasobu,

$n_{i,j}$ – powtarzalność j -tego procesu w regule przydzielonej do i -tego zasobu.

Warunek pojemności buforów musi być również zachowany między poziomami i przyjmuje on następującą wartość dla j-tego procesu

$$B_{p,r}^{j,l,s} = \frac{T}{T_{l,s}} \chi_p^{l,s} n_{i,j}^{l,s} \quad (4)$$

Warunek ten zapewnia pojemność magazynu, gwarantującą przechowanie wszystkich elementów wykonanych we wspólnej wielokrotności okresu pracy (T) systemów.

4. Podsumowanie

Spełnienie oczekiwań przedsiębiorstw, które wynikają z potrzeby redukcji kosztów i skrócenia czasu zaprojektowania, zaplanowania i przygotowania produkcji, który pozwala producentowi szybko dopasować się do oczekiwań klienta, wymaga zaimplementowania innowacyjnego i efektywnego komputerowego wspomaganie.

W odpowiedzi na te potrzeby zaproponowano nowy opis systemów produkcyjnych inspirowany przez modelowanie wieloskalowe. Przedstawiono ideę bazującą na modelowaniu współbieżnych procesów cyklicznych oraz możliwość zastosowania tego podejścia w złożonych systemach produkcyjnych. Podejście zaproponowane w artykule bazuje na dotychczasowych pracach autorów, w których stosowana jest propagacja ograniczeń. Metodyka „filtrowania” rozwiązań była podstawą utworzenia modelu algebraicznego, który w przeciwieństwie do pracochłonnych badań symulacyjnych daje natychmiastową odpowiedź na pytanie o wartości wybranych wskaźników jakościowych i ilościowych. Kontynuacją tego podejścia jest spojrzenie na produkcję poprzez kontekst wieloskalowości.

W niniejszej pracy przedstawiono warunki zagwarantowania żywotności globalnej i lokalnej na różnych poziomach wytwarzania. Autorzy planują w kolejnych pracach przedstawić sposób generowania reguł sterujących i warunki, których spełnienie zagwarantuje działanie powiązanych systemów w sposób gwarantujący spełnienie oczekiwań klientów.

LITERATURA

1. Hope K. (eds.) Annual Report on European SMEs 2014 / 2015. SME Performance Review 2014/2015, Final Report, November 2015, European Union.
2. Krenczyk D., Kalinowski K., Grabowik C.: Integration Production Planning and Scheduling Systems for Determination of Transitional Phases in Repetitive Production, Hybrid Artificial Intelligent Systems, Lecture Notes in Computer Science. 7209, 2012, p. 274–283.
3. Krenczyk D., Skołod B.: Production Preparation and Order Verification Systems Integration Using Method Based on Data Transformation and Data Mapping, Hybrid Artificial Intelligent Systems, Lecture Notes in Computer Science. 6679, 2011, p. 397–404.

4. Leverick F., Cooper R.: Partnerships in the motor industry: opportunities and risks for suppliers. *Long Range Planning*, Vol. 31, Issue 1, 1998, p. 72–81.
5. Naumann M., Constantinescu C., Westkamper E.: Method for multi-scale modeling and simulation of assembly systems. *Procedia CIRP* 2012, p. 406–411.
6. Skołod B.: Approaches to the production flow scheduling and control, *Intelligent manufacturing for industrial business process*, J. Jędrzejewski (Ed.), *Journal of Machine Engineering*. 8(2), 2008, p. 5–13.
7. Skołod B., Krenczyk D.: Synchronisation of the production system, Creating of the control procedure, in: *Methods of artificial intelligence. AI-METH 2002*. Silesian University of Technology. Department for Strength of Materials and Computational Mechanics. Department of Fundamentals of Machinery Design, Gliwice, 2002, p. 367–370.
8. Witkowski J.: *Zarządzanie łańcuchem dostaw*, PWE, Warszawa 2003.
9. Zakrzewska B., Baniukiewicz P., Jaworski Z.: Modelowanie wieloskalowe systemu procesowego. *Numeryczne badania wstępne. Inż. Ap. Chem.*, 49, 3, 2010, p.119–120.