

Modelowanie produkcji obudowy separatora olejowego za pomocą diagramów aktywności UML i α -sieci

Agnieszka Lasota

Streszczenie: W artykule zostały opisane wytyczne, wskazujące na celowość wspomaganie modelowania procesów produkcyjnych diagramami aktywności UML. Podobieństwo strukturalne tych procesów i diagramów aktywności do α -sieci umożliwia wzajemną transformację. Kooperacja mechaników i informatyków na etapie projektowania i optymalizacji produkcji potwierdza zasadność zastosowania metody „upartych zbiorów” oraz metody redukcji Andre do analizy procesów.

Słowa kluczowe: α -sieci, diagram aktywności, proces produkcyjny, transformacja

1. WPROWADZENIE

Zastosowanie przyjaznego dla projektanta języka modelowania UML oraz sieci Petriego pozwalających na weryfikację formalną projektowanych procesów produkcyjnych ma na celu połączenie dwóch metod, czyniąc tym samym prostszą współpracę pomiędzy informatykami i mechanikami. Zaproponowane podejście pozwoli właśnie na usprawnienie modelowania tych procesów i kooperację działań na różnych płaszczyznach modelowanych procesów produkcyjnych niezależnie od ilości uczestników procesu. Diagram aktywności UML 2.0 (Unified Modeling Language) zapoczątkowany w 1997 roku pozwala w sposób obiektowy przedstawić proces produkcyjny opisany specyfikacją technologiczną. Zaproponowane w artykule metody analizy sieci Petriego, które zaistniały w informatyce już w latach '60, pozwalają określić poprawność realizacji sieci. Metoda „upartych zbiorów” wprowadzona przez A. Valmari'ego pozwala za pomocą zredukowanego grafu osiągalności określić poprawność sieci. Opisana w [1] metoda redukcji Andre pozwala na istotną kompresję sieci w celu jej analizy. Modułem łączącym przedstawione funkcjonalności jest przyjęta zasada transformacji α -diagramów aktywności na α -sieci. Sekcja druga niniejszego artykułu stanowi wprowadzenie w podstawy teoretyczne definiujące kluczowe zagadnienia w obszarze tematu. Metodologia realizacji przyjętej koncepcji została przedstawiona w sekcji trzeciej. Praktyczna implementacja została przeprowadzona na przykładzie procesu produkcyjnego obudowy separatora olejowego - sekcja czwarta. Sekcja piąta poddaje analizie uzyskane w wyniku eksperymentu rezultaty. Podsumowanie zostało zawarte w sekcji szóstej.

2. PODSTAWY TEORETYCZNE

2.1. α -SIECI

Przez sieć Petriego $\Sigma=(P,T,F,M_0)$ rozumiemy uporządkowaną czwórkę składająca się z:

- skończonych zbiorów miejsc P i tranzycji T , gdzie iloczyn zbioru miejsc przez zbiór tranzycji stanowi zbiór pusty ($P \cap T = \emptyset$),
- relacji będącej podzbiorem sumy iloczynów kartezjańskich miejsc i tranzycji $F \subset (P \times T) \cup (T \times P)$,
- znakowania początkowego M_0 .

W poszczególnych miejscach sieci mogą znajdować się znaczniki nazwane *znakowaniem* sieci. Stan sieci jest funkcją odwzorowującą zbiór liczb naturalnych wraz z zerem na skończonym zbiorze miejsc sieci $M: P \rightarrow \mathbb{N} \cup \{0\}$. Tym samym, jeżeli w danym miejscu znajduje się co najmniej jeden znacznik to takie miejsce nazywa się *oznakowanym*. Jeżeli każde miejsce wejściowe tranzycji będzie zawierało jeden znacznik oznacza to, że tranzycja jest *aktywna* i może zostać zrealizowana. Realizacja tranzycji następuje poprzez zabranie znacznika z każdego z miejsc wejściowych i przekazanie znacznika do każdego z miejsc wyjściowych tranzycji. Wagi wszystkich łuków są równe jeden. Jednak, jeżeli dochodzi do sytuacji, że w danym znakowaniu żadna tranzycja nie jest aktywna oznacza to, że wystąpiło *zakleszczenie*.

Sieć Petriego nazwana jest α -siecią jeżeli w znakowaniu początkowym znajduje się dokładnie jeden znacznik a dowolne dwa miejsca sieci, które mają wspólną tranzycję wyjściową mają równe zbiory tranzycji wyjściowych [2][3][4][8].

Jeżeli w każdym z osiągalnych znakowań żadne miejsce nie zawiera więcej niż jeden znacznik oznacza to, iż sieć jest *bezpieczna*. Jeżeli dla każdej tranzycji, z każdego osiągalnego znakowania ze znakowania początkowego, osiągalne jest znakowanie, w którym tranzycja może zostać zrealizowana, oznacza to, iż sieć jest *żywa* a gdy znakowanie początkowe jest osiągalne z każdego osiągalnego znakowania to taka sieć jest *powtarzalna*. Gdy α -sieć jest żywa, bezpieczna i powtarzalna to taką sieć nazywa się siecią dobrze zbudowaną [4].

Proces produkcyjny, rozumiany jako uporządkowany zestaw celowych działań wykonywanych w toku

produkcji, można przedstawić za pomocą α -sieci jako dwudzielny skierowany graf, w którym miejsca i tranzycje stanowią możliwe rodzaje wierzchołków. Należy przyjąć, iż tranzycje reprezentują zdarzenia a miejsca reprezentują stany.

Tabela 1.
Gramatyka podzbioru sieci Petriego

Nazwa komponentu α -sieci	Symbol graficzny
Miejsce	
Tranzycja	
Łuk	

2.2. METODY ANALIZY α -SIECI

Proponowane są dwie metody analizy α -sieci: metoda „upartych zbiorów” oraz metoda redukcji Andre dzięki czemu możliwa jest formalna weryfikacja α -sieci na poprawność strukturalną.

Metoda „upartych zbiorów” została zaproponowana do analizy sieci przez A. Valmari’ego a zastosowana do analizy α -sieci przez A. Karatkevich’a. Zbiorem upartym określamy zbiór tranzycji T_s w znakowaniu M w którym nieaktywne tranzycje mają takie nieoznakowane miejsca wejściowe, że wszystkie wejściowe tranzycje miejsc należących do zbioru tranzycji sieci, dodatkowo żadna aktywna tranzycja sieci nie ma wspólnych miejsc wejściowych spoza zbioru T_s aktywnych lub nieaktywnych tranzycji sieci, jednocześnie zbiór uparty tranzycji zawiera aktywną tranzycję [7]. Analiza sieci przeprowadzona za pomocą metody „upartych zbiorów” odbywa się symulując realizację aktywnych tranzycji, które są w „upartym zbiorze” w wyniku czego powstaje zredukowany graf osiągalności. Niejednokrotnie zbudowanie pełnego grafu osiągalności rozbudowanych sieci stanowi duży problem nie wspominając już o jego analizie. Metoda upartych zbiorów pozwala na konstrukcję zredukowanego grafu osiągalności na podstawie którego możliwe jest wykrycie wszystkich zakleszczeń lub stwierdzenie ich braku [7]. Osiągnięte rezultaty badań przez Karatkevich’a wykazały, iż zastosowanie metody Valmari’ego pozwala stwierdzić, że jeżeli zredukowany graf osiągalności jest silnie spójny i zawiera więcej niż jeden wierzchołek to α -sieć jest silnie spójna. Ostatnią właściwością zredukowanego grafu osiągalności w stosunku do α -sieci, wskazaną przez Karatkevich’a jest fakt, iż jeżeli zawiera on znakowanie, z którego nie jest osiągalne żadne zakleszczenie to tym samym pełny graf osiągalności α -sieci zawiera takie znakowanie [4].

Metoda Andre jest metodą doskonale radzącą sobie z zagadnieniem redukcji podsieci sekwencyjnych. Polega na zastąpieniu sekwencyjnej części sieci przez makromiejsce., Makromiejsca przedstawione są przez składowe spójne grafy powstałe po usunięciu tranzycji z jednym wejściem i jednym wyjściem. Makrosieci zawierają wyłącznie tranzycje wielowejsciowe i wielowyjściowe oraz makromiejsca typu automatowego [1] [3]. Zastosowanie metody pozwala sprawdzić, czy analizowana sieć jest dobrze zbudowana.

2.3. α -DIAGRAMY AKTYWNOŚCI UML

Proces produkcyjny realizowany w pewnym zakresie w sposób współbieżny jak również część procesu realizowana jest w sposób sekwencyjny, ponieważ jeżeli znaczna część podprocesów da się przedstawić w sposób równoległy to jednak zawsze pozostanie pewien obszar działań, który wymaga realizacji w sposób sekwencyjny. α -diagram aktywności składa się z komponentów podzbioru diagramu aktywności i zostały określone zgodnie z zapotrzebowaniem na poszczególne komponenty diagramu pozwalające na modelowanie procesów produkcyjnych. Wyodrębniony podzbiór diagramu aktywności nazwany został α -diagramem aktywności. W diagramie czynności przedstawiane są w postaci zaokrąglonych prostokątów. Każda czynność może być prosta jak również złożona oraz zagnieżdżona tzn. być wyrażona w sposób hierarchiczny. Czynności między sobą połączone są za pomocą skierowanej strzałki – przepływu. Niezbędnym do rozpoczęcia realizacji procesu jest wskazanie węzła początkowego a do jego zakończenia zastosowanie węzła końcowego. Procesy współbieżne w diagramie realizowane są za pomocą wskazania początku procesów współbieżnych tranzycją *rozgałęzienie* (*fork*) i ich końca tranzycją *złączenie* (*join*). Przejście do realizacji następnej czynności następującej po realizacji procesów współbieżnych możliwe jest, gdy tranzycję *złączenie* osiągną wszystkie w niej występujące procesy [6].

Tabela 2.
Gramatyka podzbioru diagramu aktywności języka modelowania UML

Nazwa komponentu α -diagramu aktywności	Symbol graficzny
Czynność	
Przepływ	
Węzeł początkowy	
Końcowy węzeł czynności	
Rozgałęzienie / Złączenie	
Decyzja	

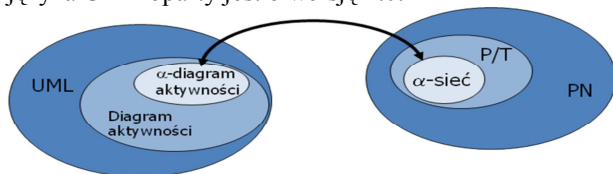
3. METODOLOGIA

Analiza specyfikacji procesu produkcyjnego w omawianym przypadku została ograniczona wyłącznie do graficzno-tekstowej formy. Odzworowanie podzbioru diagramu aktywności UML α -diagramu aktywności, przydatnego w modelowaniu procesów produkcyjnych następuje na podzbiór sieci Petriego tj. α -sieci na podobieństwo strukturalne 1:1.

Przedstawiony na rys. 1 model strukturalny pozwala określić dziedzinę odwzorowania procesu zamodelowanego za pomocą UML i transformowanego na sieć Petriego dzięki semantycznemu podobieństwu wskazanych podzbiorów i procesów produkcyjnych.

Z założenia każdy proces produkcyjny określony zostanie na zbiorze komponentów opisujących α -diagram

aktywności ilustrujący czynności, będący podzbiorem języka UML oparty jest o wersję 2.0.



Rys. 1. Model strukturalny przedstawiający dziedzinę odwzorowania

Ograniczenie języka modelowania UML do wybranych komponentów diagramu aktywności ma na celu zapewnienie jak najdalej idącego podobieństwa do struktury α -sieci. Zdefiniowane w ten sposób wystarczająco duże podzbiory pozwoliły określić gramatykę zbiorów niezbędną do automatycznej transformacji. Struktura UML zawiera tranzycje typu *fork* i *join* oraz tranzycje realizowane w sposób sekwencyjny, w związku z czym odpowiadająca jej sieć należy do klasy *free choice* z jednym znacznikiem w znakowaniu początkowym a tym samym jest to α -sieć.

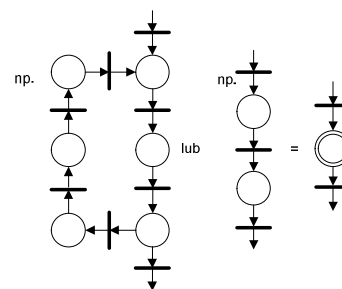
Jako dziedzinę sieci Petriego w analizowanej przestrzeni traktujemy podzbiór: α -sieci. Struktura procesu produkcyjnego odpowiada strukturze α -sieci, ponieważ większość operacji można podzielić na bloki sekwencyjne lub na bloki równoległe. W pierwszej fazie projektowania zakłada się, że część podprocesów może być realizowana w sposób równoległy. To, jaka część procesu może być realizowana w sposób współbieżny zależy od wielu czynników, do których zaliczane są m.in.: dostępność maszyn, dostępność zasobów ludzkich czy wskazania technologiczne. Brak logicznego związku i chronologii pomiędzy planowanymi operacjami może zakłócić poprawność realizacji procesu. Wychwycenie ewentualnych błędów (np. zakleszczeń) na etapie planowania znacząco obniży koszty wdrożenia produkcji. Do przeprowadzenia weryfikacji poprawności projektowanego procesu produkcyjnego, pod względem poprawności strukturalnej konieczne jest potwierdzenie faktu, iż dana sieć jest dobrze zbudowana. Zaproponowana metodologia projektowania łączy niezależne dziedziny wiedzy mechanikę i informatykę w związku z czym niezbędna jest eliminacja ewentualnych błędów strukturalnych wynikających implementowania operacji na różnych poziomach abstrakcji. Efektem uzyskanego podobieństwa α -diagramów aktywności do procesów produkcyjnych a tym samym do α -sieci jest możliwość wykorzystania metod analizy α -sieci do weryfikacji procesów produkcyjnych.

3.1. ANALIZA PROCESÓW PRODUKCYJNYCH METODĄ „UPARTYCH ZBIORÓW”

Zredukowana struktura sieci pozwala zaoszczędzić czas, który zostałby poświęcony na analizę m.in. poprzez uniknięcie przeszukiwania wszystkich kolejnych miejsc sieci. Analiza za pomocą metody „upartych zbiorów” opiera się na wyodrębnieniu upartego zbioru na podstawie zredukowanego grafu osiągalności.

3.2. ZASADA REDUKCJI I ANALIZY PROCESU PRODUKCYJNEGO METODĄ ANDRE

Zaproponowana w pracy zasada redukcji α -sieci jest zgodna z metodą zaproponowaną przez Andre a zastosowaną przez Karatkevich'a [4]. Formalna weryfikacja pod kątem poprawności strukturalnej jest możliwa dzięki zastosowaniu metod zredukowanej przestrzeni stanów. Ciąg procesu produkcyjnego, posiadający wyłącznie jedno miejsce wejściowe i jedno miejsce wyjściowe, który realizowany jest w sposób sekwencyjny niezależnie od jego długości zastępowany jest poprzez makromiejsce. Zasada tożsamer zapisu obowiązuje do momentu, aż w procesie produkcyjnym wystąpią tranzycje wielowejsciowe lub wielowyjsciowe. Powstały w ten sposób równoważny proces produkcyjny zawiera tranzycje wielowejsciowe i wielowyjsciowe oraz makromiejsca.

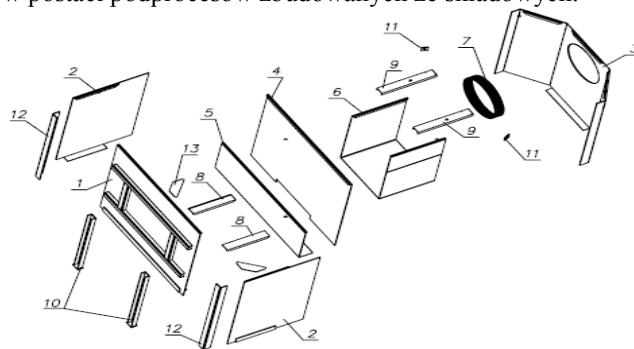


Rys. 2. Zasada redukcji sekwencyjnego procesu produkcyjnego

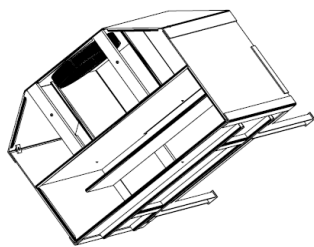
4. PRAKTYCZNA IMPLEMENTACJA

Bodźcem do zamodelowania procesu produkcyjnego obudowy separatora olejowego stała się potrzeba zrozumienia realizacji tego procesu w rzeczywistości. Źródłem informacji o procesie jest dokumentacja technologiczna opierająca się o specyfikację technologiczną, rysunki wykonawcze, rysunek złożeniowy oraz warunki technologiczne procesu. Wynik realizacji procesu produkcyjnego z elementów przedstawionych na rys. 4, w celu zobrazowania został przedstawiony na rys. 3.

Niezbędnym do uzyskania rezultatu końcowego jest realizacja poszczególnych elementów obudowy separatora w postaci podprocesów zbudowanych ze składowych.



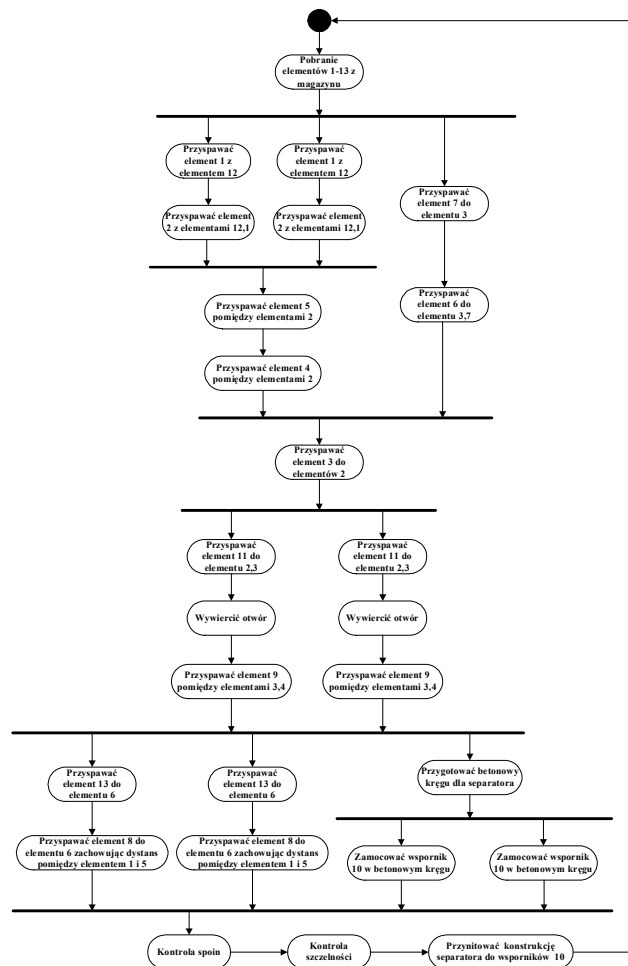
Rys. 3. Obudowa separatora olejowego w rzucie dynamicznym



Rys. 4. Obudowa separatora olejowego

Realizując zamodelowany proces należy określić osoby, które są odpowiedzialne za poszczególne z działań, co stanowi uzupełnienie do treści przekazanych za pomocą diagramów aktywności wskazując odpowiedzialność obiektów w procesie. Zgodnie z przyjętą metodologią pierwszym krokiem do zobrazowania procesu produkcyjnego za pomocą diagramów aktywności UML jest określenie poszczególnych czynności składających się na każdy podproces w wyniku których nastąpi realizacja procesu końcowego (rys. 5).

Przedstawiony za pomocą UML proces produkcyjny i wszystkie jego podprocesy poddawane są transformacji na α -sieć (rys. 6).



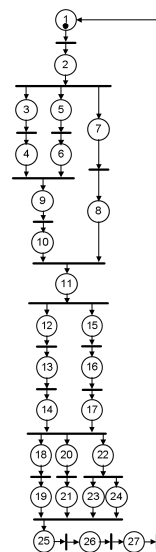
Rys. 5. Realizacja procesu produkcyjnego obudowy separatora olejowego

Po transformacji diagramu aktywności na α -sieć, sieć jest poddawana analizie matematycznej z wykorzystaniem metod redukcji. W pierwszej kolejności, dla porównania

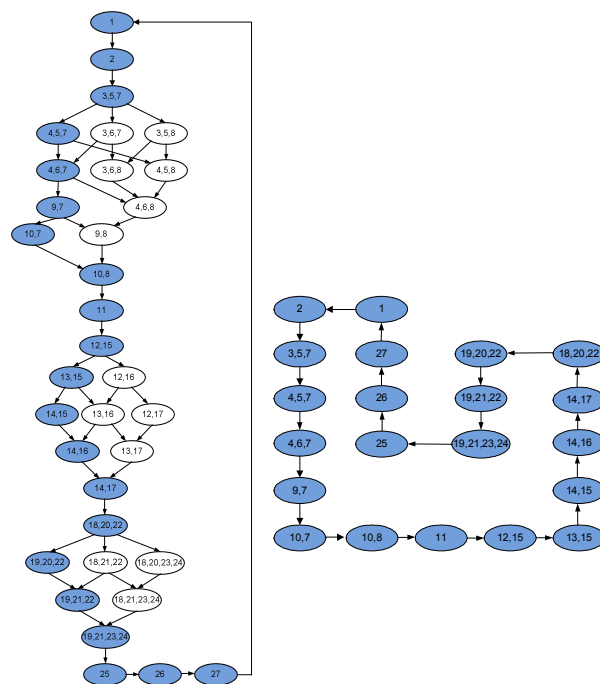
i zobrazowania oszczędności czasu z wykorzystaniem wskazanej metody, budowany jest pełny graf osiągalności (prezentowany przykład jest stosunkowo mało rozbudowany). Następnie tworzony jest zredukowany graf osiągalności (rys. 7).

Równolegle przeprowadzana jest redukcja α -sieci (rys. 8) metodą Andre. Uzyskane wyniki pozwalają określić własności sieci pomijając pracochłonne i czasochłonne analizy pełnej sieci. Zestawienie wyników przeprowadzonej redukcji przedstawia tabela 3.

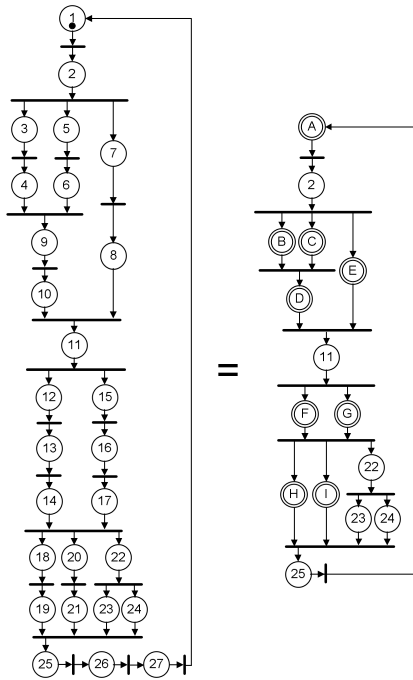
Analogiczne działania wykazane zostały na przykładzie jednego z podprocesów przedstawiającego realizację produkcji elementu 1 obudowy separatora olejowego (Rys. 9-15).



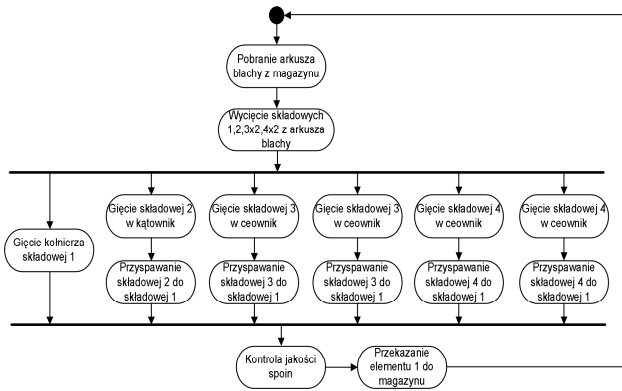
Rys. 6. Realizacja procesu produkcyjnego obudowy separatora olejowego



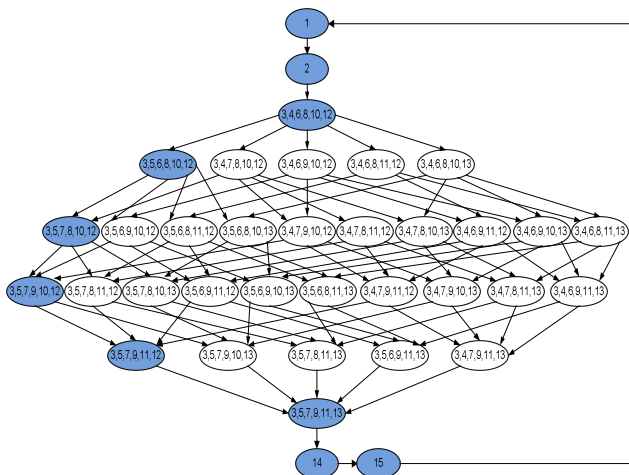
Rys. 7. Pełny i zredukowany graf osiągalności α -sieci procesu produkcyjnego obudowy separatora olejowego



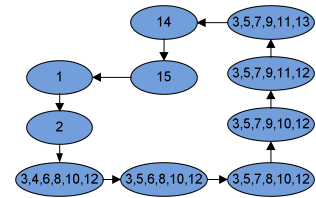
Rys. 8. Zakres przeprowadzonej redukcji α -sieci procesu produkcyjnego obudowy separatora olejowego



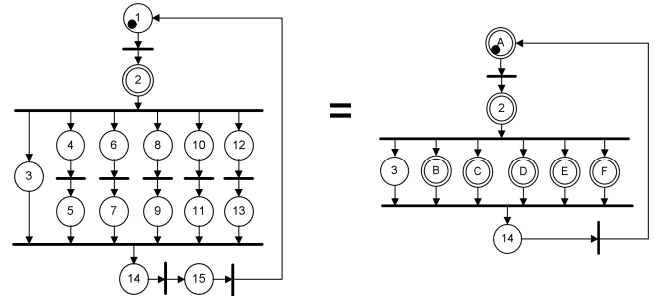
Rys. 9. Diagram aktywności produkcji elementu 1 obudowy separatora olejowego



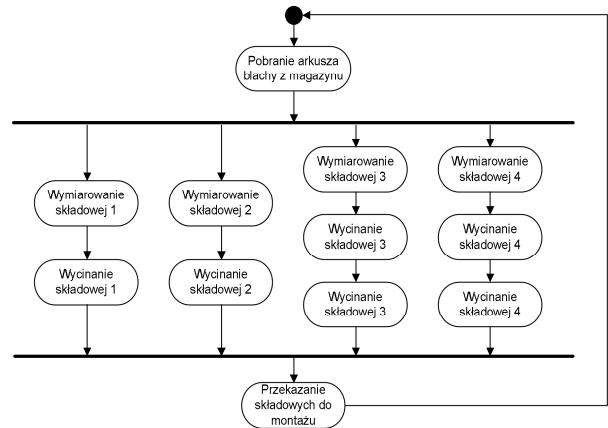
Rys. 10. Pełny graf osiągalności α -sieci elementu 1 obudowy separatora olejowego



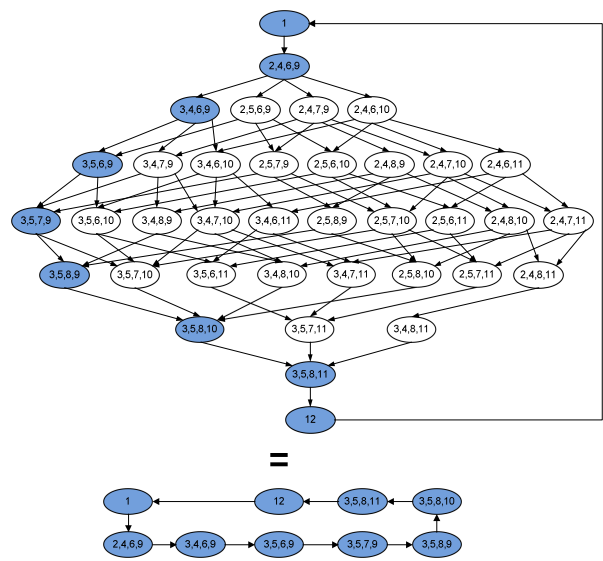
Rys. 11. Zredukowany graf osiągalności α -sieci elementu 1 obudowy separatora olejowego



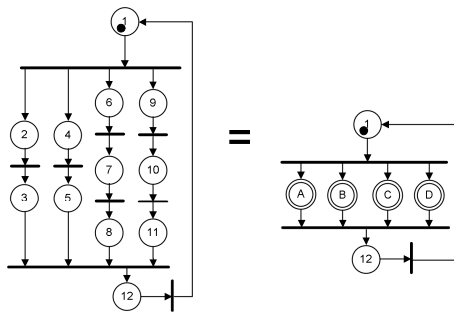
Rys. 12. Makrosiec i tożsama jej α -sieć produkcji elementu 1 obudowy separatora olejowego



Rys. 13. Diagram aktywności podprocesu wycinania składowych elementu 1



Rys. 14. Zredukowany graf osiągalności α -sieci równoważny pełnemu grafowi produkcji podprocesu wycinania składowych elementu 1



Rys. 15. α -sieć podprocesu wycinania składowych elementu I i jej widok po dokonanej redukcji

5. REZULTATY

α -sieci, będące podklasą sieci Petriego, obrazujące przebieg procesu produkcyjnego obudowy separatora olejowego zostały poddane analizie z wykorzystaniem metody „upartych zbiorów” oraz metody Andre. W wyniku przeprowadzonych badań zostało wykazane, iż dokonane implementacje procesów to sieci żywe oraz bezpieczne oraz nie jest osiągalne żadne zakleszczenie. Uzyskane rezultaty potwierdziły zasadność stosowania metody „upartych zbiorów” do α -sieci a tym samym do analizy procesów produkcyjnych implementowanych za pomocą α -diagramów aktywności UML. Tożsame rezultaty na temat poprawności badanej sieci zostały uzyskane metodą redukcji Andre. Tabela 3 dodatkowo prezentuje różnice, jakie występują w nakładzie pracy wymaganym do podjęcia analizy w zależności od obranego toku i metody postępowania. Różnice w ilości miejsc sieci poddawanych analizie w większości przypadków przekraczają połowę. W metodzie Andre największą efektywność redukcji dostrzega się, gdy proces realizowany jest w sposób sekwencyjny, natomiast metoda upartych zbiorów korzystniejsza jest w przypadku większej ilości procesów równoległych.

Tabela 3.
Porównanie efektów redukcji i analizy w zależności od wskazanej metody

Nazwa procesu	Ilość miejsc α -sieci	Ilość miejsc sieci – metodą redukcji Andre	Pełny graf osiągalności	Zredukowany graf osiągalności
Obudowa separatora olejowego	27	15	34	21
Element 1	15	9	26	10
Składowa elementu 1	12	6	37	9

6. PODSUMOWANIE

Wynik realizacji procesu produkcyjnego, w celu zobrazowania został przedstawiony za pomocą α -diagramu aktywności, α -sieci oraz został poddany analizie za pomocą metody „upartych zbiorów” oraz metody

Andre. Niezbędnym jest by modelowane procesy produkcyjne za pomocą diagramów aktywności UML posiadały pełną dokumentację technologiczną, ponieważ przedstawiony model nie jest odzwierciedleniem modelowanego obiektu, lecz jego obrazem, który pozwala poznać najistotniejsze elementy procesu produkcji. Diagramy aktywności skupiają się na opisie procesu, w którym uczestniczy wiele obiektów procesu bez wskazywania, jakie są możliwe stany tych obiektów. Zaproponowana metoda specyfikacji rzeczywistego procesu produkcyjnego oraz analizy jego meta modelu pozwala uzyskać obraz jego realizacji i uzyskać informację co do jego poprawności. Metody analizy α -sieci są odpowiednim aparatem matematycznym do weryfikacji poprawności realizacji procesów produkcyjnych ze względu na adekwatność strukturalną procesów produkcyjnych do diagramów aktywności a tym samym do α -sieci.

LITERATURA

- [1] Banaszak Z., Kuś J., Adamski M., *Sieci Petriego. Modelowanie, sterowanie i synteza systemów dyskretnych*, Zielona Góra: Wydawnictwo Wyższej Szkoły Inżynierskiej, 1993.
- [2] Karatkevich A., „Analiza współbieżnych systemów dyskretnych: zbiory uporczywe vs. symulacja współbieżna”, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 7, ss. 182-184, 2009.
- [3] Karatkevich A., „Zagadnienia redukcji podsieci automatowych w sieciach Petriego”, *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne*, nr 6, ss. 806-808, 2008 (V konferencja naukowa KNWS'08).
- [4] Karatkevich A., *Dynamic Analysis of Petri Net-Based Discrete Systems*. Berlin Heidelberg New York: Springer LNCIS (356), 2007.
- [5] Spiteri Staines T., “Intuitive Mapping of UML 2 Activity Diagrams into Fundamental Modeling Concept Petri Net Diagrams and Colored Petri Net”, *IEEE*, 2008.
- [6] "UML Superstructure Specification" v2.0, OMG, 2005, <http://www.omg.org/docs/formal/05-07-04.pdf>
- [7] Valmari A., “State of the Art Report: STUBBORN SETS.” *Petri Net Newsletter*, nr 46, ss. 6-14, 1994.
- [8] Zakrevskij A., “High-level design of logical control devices.” Zakrevskij A. (ed.) *Third International Conference Computer-Aided Design of Discrete Devices*, National Academy of sciences of Belarus, Minsk, ss. 13-18, 1999.