



TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO

Adam KMIECIK, Jerzy ZAJĄC

INTEGRACJA OPERACJI TECHNOLOGICZNYCH I TRANSPORTOWYCH W REKONFIGUROWALNYCH SYSTEMACH WYTWARZANIA

Streszczenie

W pracy przeanalizowano zasadnicze obszary występowania wariantów realizacji procesu produkcyjnego z punktu widzenia sterowania produkcją. Warianty te dotyczą zarówno procesu wytwarzania jak i procesów pomocniczych w tym czynności transportowych. Przedstawiono ogólną metodę integracji operacji technologicznych i transportowych ułatwiającą budowę rekonfigurowanych systemów wytwarzania.

WSTĘP

Systemy wytwarzania nowej generacji, nastawione są w coraz większym stopniu na produkcję zindywidualizowaną. Jest to konsekwencją konkurencyjności rynku, wymagającego nowego podejścia, które nie tylko łączy w sobie wysoką wydajność produkcji z elastycznością systemów wytwórczych, ale także oferuje dużą szybkość reagowania na charakterystyczne dla globalnego rynku zmiany. Istotną cechą takich systemów jest ich zdolność do rekonfiguracji, która daje im możliwość dostosowania się do potrzeb poprzez zmiany w strukturze systemu wytwarzania oraz realizowanych procesach. Analogicznie jak niskie koszty produkcji oraz jej wysoka jakość, rekonfiguracja stała się nową pożądaną własnością systemów wytwarzania [3]. Ważnymi cechami rekonfigurowalnych systemów wytwarzania są nadmiarowość zasobów oraz wielowariantowość realizowanych procesów technologicznych wynikająca m.in. ze stosowania maszyn o zróżnicowanej funkcjonalności. Efektywne wykorzystanie tych cech jest możliwe dzięki zastosowaniu sprawnie działającego podsystemu transportu odpowiedzialnego za przemieszczanie półfabrykatów, gotowych produktów, narzędzi itp.

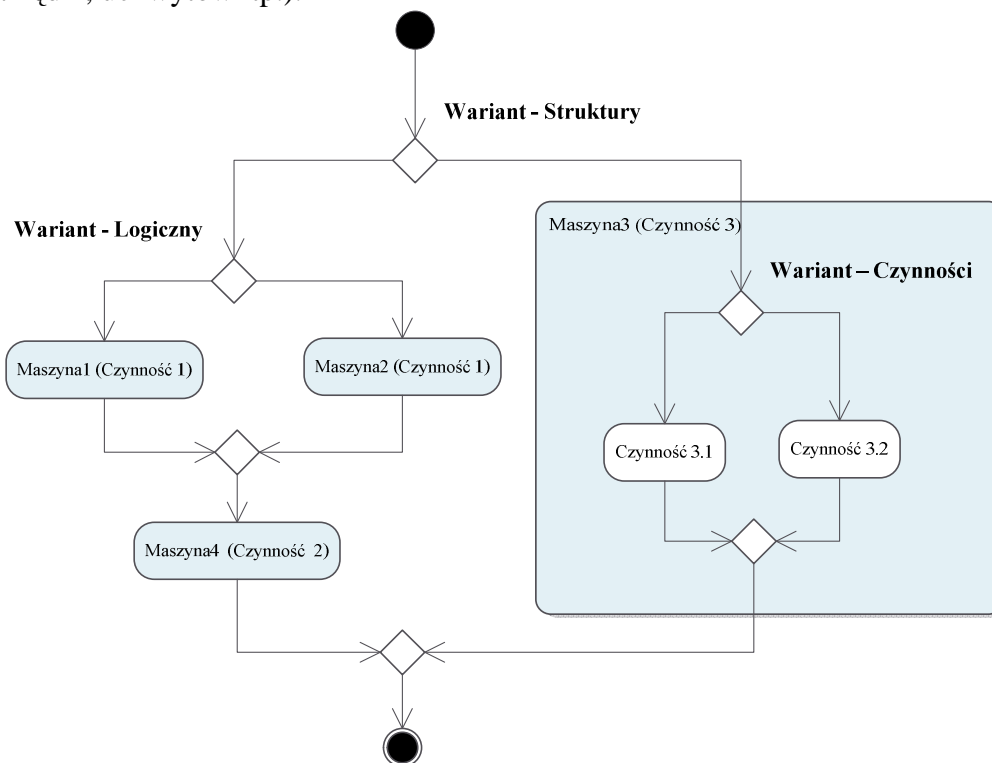
Na Politechnice Krakowskiej od kilkunastu lat trwają prace [1][5] nad systemem rozproszonego sterowania produkcją, który uwzględnia możliwość rekonfiguracji systemu produkcyjnego. Założono w nim że, przygotowanie procesu produkcyjnego wymaga ścisłej integracji podsystemu wytwarzania z podsystemem przepływu materiałów. Każdy z procesów realizowanych w rozpatrywanym systemie jest sekwencją operacji wytwórczych, transportowych, manipulacyjnych oraz magazynowania. Dało to możliwości zintegrowania realizowanych procesów w strumień przeplatających się działań: przygotowawczych, obsługowych, transportowo-magazynowych i sterujących realizowanych w otoczeniu podstawowego procesu wytwarzania.

1. CZYNNOŚCI TRANSPORTOWE W REALIZACJI PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

Procesy przygotowania produkcji to działania, będące elementem procesu powstawania nowego produktu, poprzedzające uruchomienie właściwej produkcji. W wyniku generowania procesów technologicznych obróbki w trakcie przygotowania produkcji, powstaje zbiór operacji z żądaną kolejnością ich realizacji mających na celu zmiany kształtów, wymiarów oraz własności wytwarzanych przedmiotów. Procesy technologiczne mogą różnić się strukturą czyli posiadać różną liczbę operacji technologicznych. Każda operacja w procesie technologicznym może być zazwyczaj wykonana w wielu wariantach wynikających z zastosowania różnych: obrabiarek, struktur operacji w zakresie ustawień, pozycji i zabiegów, sekwencji zabiegów, parametrów obróbki np. w zależności od dobranego narzędzia. Z punktu widzenia przygotowania produkcji i sterowania produkcją operacja technologiczna utożsamiana z czynnością wytwórczą [4] jest najważniejszym elementem, stanowiącym zadanie (zależne i niepodzielne) realizowane na stanowisku produkcyjnym. Może się ona różnić co do liczby i sekwencji: ustawień, pozycji, zabiegów oraz możliwych wariantów oprzyrządowania przedmiotowego, narzędziowego i narzędzi. W efekcie wyboru różnych wariantów struktury operacji (ustawienia, pozycje, zabiegi) i oprzyrządowania otrzymujemy warianty czynności wytwórczej różniące się kosztem i czasem wykonania przy utrzymaniu przyjętych wymagań jakościowych.

Na rysunku 1 przedstawiono trzy rodzaje wariantowania w ramach technologicznego przygotowania produkcji. Realizowane są one na poziomie:

- struktury (różna liczba czynności wytwórczych wykonywanych na różnych maszynach),
- logicznym (czynności wytwórcze realizowane są na różnych maszynach zazwyczaj tego samego typu),
- operacji (wariant tej samej czynności wytwórczej wynikający np. zastosowania różnych narzędzi, uchwytów itp.).



Rys 1. Poziomy wariantowania w procesie technologicznego przygotowania produkcji

Przedstawiony na rysunku 1 fragment wielowariantowego procesu technologicznego pozbawiony jest niezbędnych czynności odpowiedzialnych za przepływ materiałów. Dlatego też jednym z etapów przygotowania produkcji jest dobór zasobów przeznaczonych do realizacji niezbędnych operacji transportowych. W takiej sytuacji w trakcie przygotowania produkcji wymagane jest zaprojektowanie czynności transportowych oraz zweryfikowanie ich realizowalności poprzez dostępne środki transportowe. Podsystem transportowy niejako z definicji warunkuje bowiem możliwość funkcjonowania podsystemu wytwarzania [2] co oznacza możliwość realizacji produkcji.

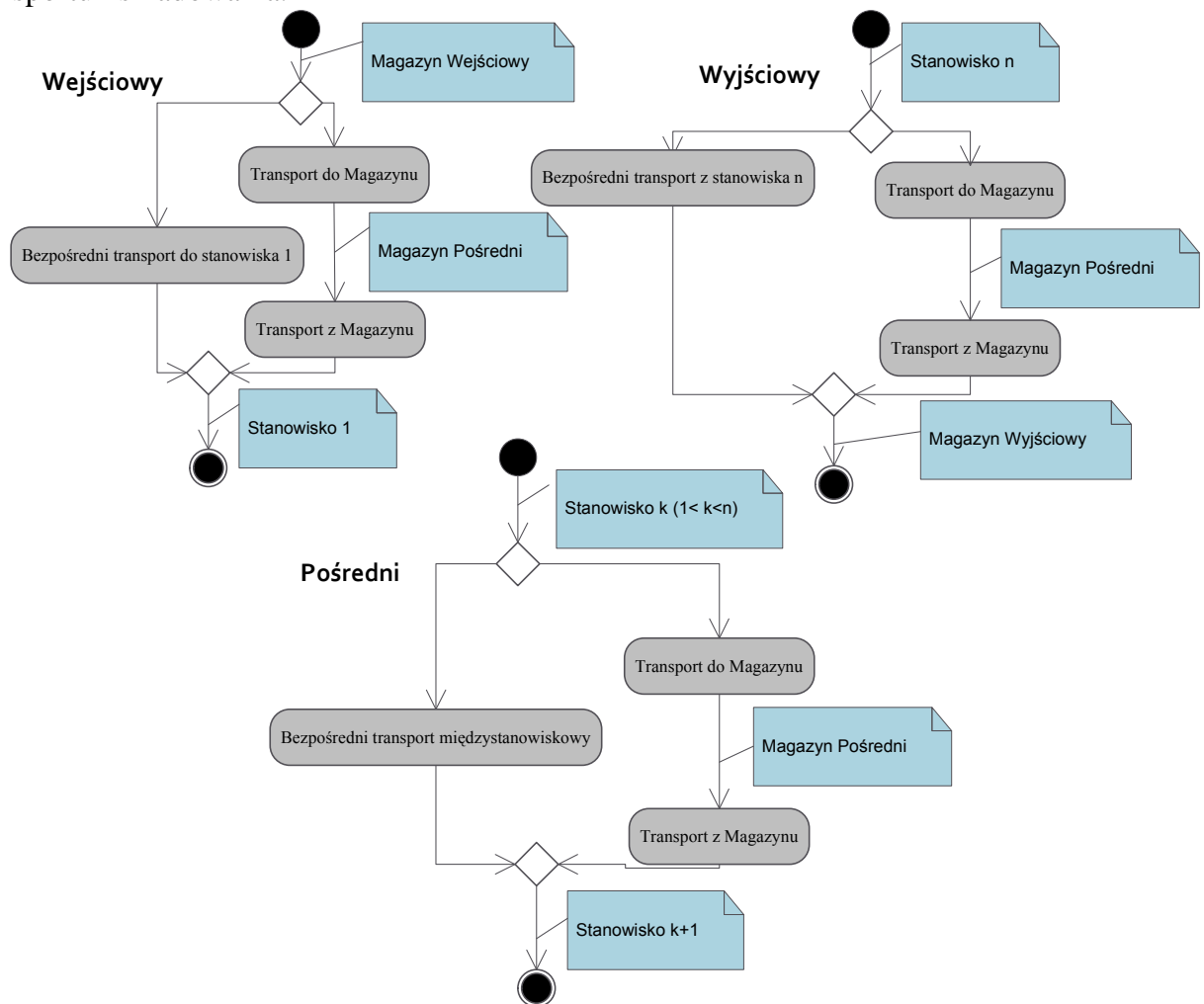
Czynności transportowe w zautomatyzowanych systemach wytwarzania realizowane są w sposób automatyczny, a wytwarzane przedmioty zazwyczaj przemieszczane na paletach. Podsystem transportowy realizując swoje zadania jest w środowisku zautomatyzowanym podsystemem usługowym w stosunku do podsystemu wytwarzania [6]. Przebieg typowego procesu produkcyjnego przyjmuje, iż stanowiska wytwórcze takie jak maszyny i urządzenia, na których realizowane są czynności wytwórcze są w najprostszym przypadku powiązane bezpośrednio za pomocą czynności transportowych. W większości przypadków sytuacja jest jednak bardziej skomplikowana. Zadania transportowe związane z obsługą przepływu przedmiotów wytwarzanych podczas realizacji procesu technologicznego, obsłużyć muszą również operacje związane z magazynowaniem przedmiotów. Istnieje więc również silne powiązanie między podsystemem transportu a podsystemem składowania, odpowiedzialnym m.in. za tworzenie zapasów przedmiotów umożliwiających efektywną pracę podsystemu wytwarzania. Konieczne jest zatem aby planowanie działań w ramach obydwu tych podsystemów było zsynchronizowane z zaprojektowanym przez technologa procesem technologicznym. Ponadto elastyczna struktura transportowo-magazynowa powinna zakładać możliwość przekazywania przedmiotów bezpośrednio ze stanowiska na stanowisko lub dostarczaniu przedmiotów do magazynu pośredniego (buforowego), międzystanowiskowego lub przystanowiskowego i dopiero stamtąd przekazywania na stanowisko wytwórcze. Należy uwzględnić też stałe działania transportowe poprzedzające pierwszą czynność wytwórczą oraz działania końcowe związane z wyprowadzeniem przedmiotu z systemu wytwarzania.

Rozpatrując problematykę dodawania czynności pomocniczych do czynności wytwórczych wynikających z przyjętego do realizacji procesu technologicznego, zaproponować można wprowadzenie ujednoczonych trzech zbiorów działań transportowych (Rys. 2) zdefiniowanych jako *modele transportowe* odpowiedzialne za:

- dostarczenie przedmiotu do systemu wytwarzania – *model wejściowy*,
- działania transportowe między sąsiednimi czynnościami wytwórczymi – *model pośredni*,
- wyprowadzenie gotowych wyrobów z systemu wytwarzania. – *model wyjściowy*.

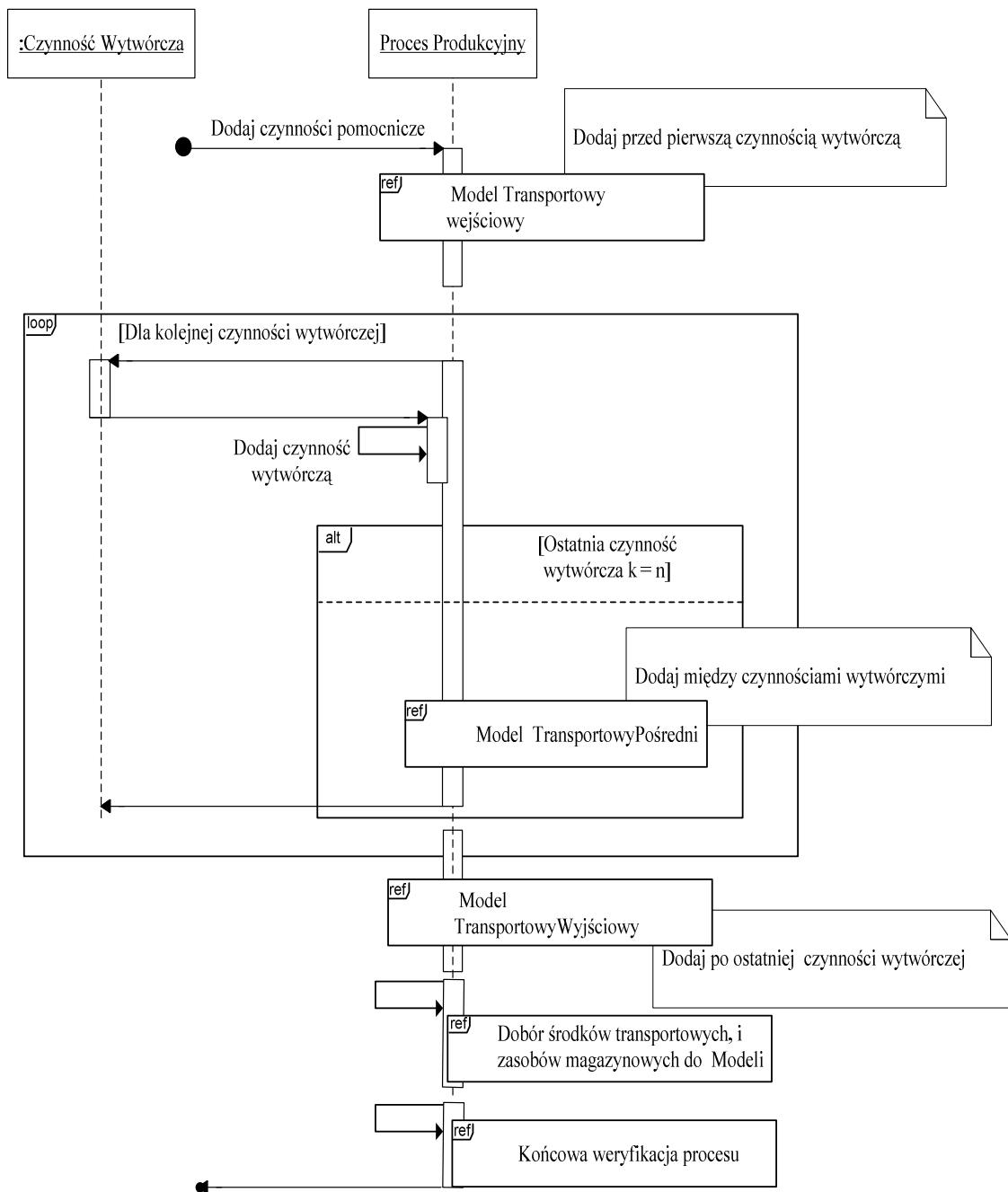
Model pośredni opisuje dwa warianty realizacji zadania przekazywania przedmiotów pomiędzy kolejnymi stanowiskami wytwórczymi (k , $k+1$). Ich kolejność wynika z realizowanego procesu technologicznego. Pierwszy z wariantów odpowiada za transport bezpośredni, podczas gdy drugi zakłada dwie operacje transportowe z wykorzystaniem magazynu pośredniego, międzystanowiskowego. W modelu wejściowym oraz wyjściowym występują odpowiednio magazyn wejściowy i wyjściowy, których pojemności są nielimitowane. Te magazyny można utożsamiać np. ze stacją załadowczo-rozładowczą. Podobnie jak w modelu pośrednim zakłada się, iż przepływ przedmiotów realizowany jest z wykorzystaniem magazynu w celu wstępnego lub końcowego buforowania przedmiotów. Stanowisko 1 w modelu wejściowym jest stanowiskiem, na którym odbywa się pierwsza czynności wytwórcza wynikająca z przebiegu procesu technologicznego. Z kolei w modelu wyjściowym stanowisko n jest stanowiskiem gdzie kończy się proces technologiczny. Pojawienie się jednego lub obydwu wariantów transportowych w modelach zależy od

konkretnych uwarunkowań technicznych i funkcjonalnych podsystemów wytwarzania, transportu i składowania.



Rys 2. Modele transportowe

Na rysunku 3 przedstawiono algorytm dodawania czynności pomocniczych do czynności narzuconych przez przyjęty proces technologiczny, który jest źródłem informacji o czynnościach wytwórczych dla generowanego procesu produkcyjnego.



Rys 3. Algorytm dodawania czynności pomocniczych

Wynikiem dodawania czynności pomocniczych do procesu technologicznego jest ogólna postać wielowariantowego procesu produkcyjnego, w której znajdują się wszystkie potencjalnie możliwe warianty jego realizacji. Kolejny krok algorytmu - dobór środków transportowych - eliminuje z tej ogólnej postaci te warianty, których realizacja przy aktualnym stanie zasobów systemu nie jest możliwa ze względu na ograniczenia transportowo-magazynowe. Ostatnim etapem algorytmu jest końcowa weryfikacja procesu produkcyjnego, w ramach której dokonuje się sprawdzenia czy istnieje choć jedna kompletna marszruta produkcyjna. W przypadku gdy takich marszrut jest więcej, decyzję o wyborze konkretnej podejmuje *on line* system sterowania produkcją.

Rezultatem przygotowania produkcji jest zazwyczaj wiele potencjalnych wariantów prowadzących do wytworzenia gotowego produktu. Jest to ważna i pożądana cecha charakteryzująca systemy rekonfigurowalne zwiększająca ich odporność na zakłócenia

wynikające z pojawiających się awarii czy też losowo napływających zleceń produkcyjnych.

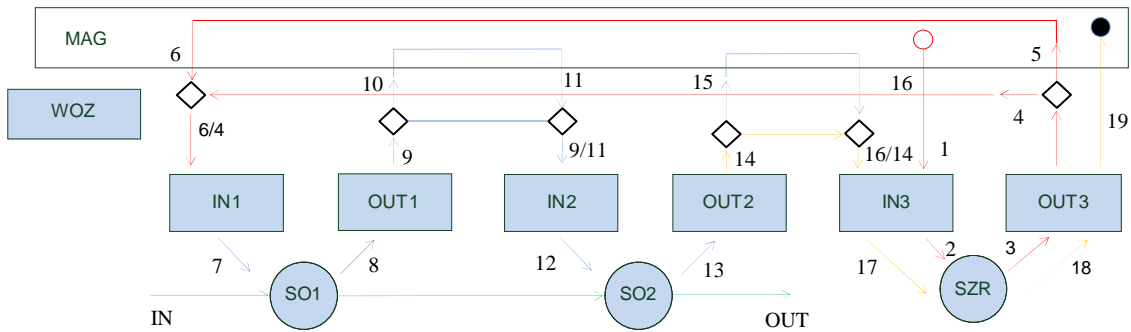
2. INTEGRACJA CZYNNOŚCI WYTWÓRCZYCH I TRANSPORTOWYCH SYSTEMIE PRODUKCYJNYM TOR

Przedstawioną metodykę integracji czynności wytwórczych i transportowych przedstawiono dla systemu produkcyjnego TOR znajdującego się w Laboratorium Zakładu Zautomatyzowanych Systemów Produkcyjnych Politechniki Krakowskiej. W skład systemu wchodzi (Fot. 1): *magazyn regałowy MAG*, w którym znajdują się palety zawierające produkowane przedmioty; *wózek szynowy WOZ*, *stacja załadowczo-rozładowcza SZR* służąca do załadunku półfabrykatów na palety i rozładunku gotowych przedmiotów z palet oraz dwie *stacje obróbkowe SO1 i SO2*.



Fot. 1. System produkcyjny TOR

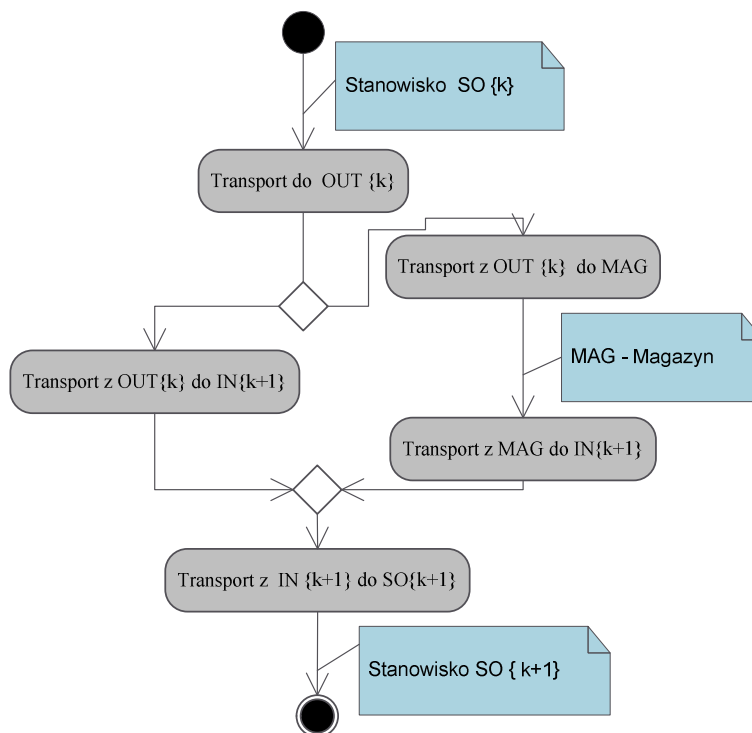
Każda ze stacji obróbkowych zawiera: *obrabiarkę* (tokarka TKX50NS), *zmienniczkę palet ZP* oraz *podajnik przedmiotów PP* wyposażony w dwa chwytaki umożliwiające ładowanie i rozładowanie obrabiarki. Każda z obrabiarek oraz stacja załadowczo – rozładowcza wyposażone są w dwa jednodzielne magazyny przystankowe - wejściowy *IN* i wyjściowy *OUT*, z którymi z jednej strony współpracuje wózek szynowy, a z drugiej zmienniczkę palet.



Rys. 5. Sekwencja czynności typowego procesu produkcyjnego realizowanego w systemie TOR

Na rysunku 5 przedstawiono schematycznie zasadnicze elementy Systemu Produkcyjnego TOR biorące udział w realizacji czynności transportowych. Do wykonania zadań transportu palet w systemie TOR wykorzystuje się wózek szynowy (WOZ) poruszający się w obu kierunkach. Transportuje on palety pomiędzy stacjami obróbkowymi (SO1, SO2), stacją załadowczo – rozładowczą (SZR) oraz czternastomiejscowym magazynem regałowym (MAG). Załadunek półfabrykatów na palety oraz rozładunek gotowych wyrobów z palet jest realizowany przez operatora na stacji załadowczo rozładowczej. Wózek szynowy pracuje cyklu *pojedź, zabierz, zawieź i zostaw*, co oznacza, że po uzyskaniu polecenia wykonania czynności transportowej wózek jedzie z aktualnego położenia do miejsca, w którym znajduje się paleta, pobiera tę paletę, przewozi do miejsca docelowego i oddaje paletę na stanowisku docelowym.

Rysunek 5 przedstawia także wynikowy proces produkcyjny, w którym proces technologiczny obejmuje realizację kolejnych czynności obróbkowych na stacji obróbkowej SO_1 i stacji obróbkowej SO_2 (zielone linie). Do zbioru tych czynności opracowano stosowne modele transportowe wynikające z wprowadzenia półfabrykatów (linie czerwone) oraz wyprowadzenia gotowych produktów (linie żółte), a także model pośredni przedstawiony na rysunku 6.



Rys. 5. Pośredni model transportu dla systemu TOR

PODSUMOWANIE

W ramach technologicznego przygotowania produkcji powstaje proces technologiczny zawierający sekwencje operacji technologicznych. Istnieje możliwość opracowania wielu wariantów tego samego procesu technologicznego. Konieczne jednak jest, aby został on uzupełniony o czynności potrzebne dla realizowanych procesów przyływu materiałów np. czynności transportu łączące poszczególne operacje technologiczne. Zaproponowano więc metodę integracji operacji technologicznych z czynnościami transportowymi dając w efekcie spójny proces produkcyjny. Podczas realizacji opracowania zwrócono szczególną uwagę na możliwość generowania wielu wariantów produkcyjnych na różnym poziomie procesu produkcyjnego.

INTEGRATION OF TECHNOLOGICAL AND TRANSPORTATION OPERATIONS IN RECONFIGURABLE MANUFACTURING SYSTEMS

Abstract

This paper examines the main areas of occurrence of production process variants taking into consideration production control. These variants concern both, the manufacturing process and the auxiliary process such as the transportation. The general method for the integration of technological and transportation operations is presented. It is used to facilitate building reconfigurable manufacturing systems.

BIBLIOGRAFIA

1. Chwajół G.: *Rozproszone sterowanie systemami wytwarzania z wykorzystaniem technologii internetowych*. Praca Doktorska. Politechnika Krakowska 2009.
2. Honczarenko J.: *Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Obrabiarki i systemy obróbkowe*. WNT, Warszawa 2000.
3. Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy G., Van Brussel H.: *Reconfigurable Manufacturing Systems*. Annals of the CIRP, Vol. 48/2, 1999, p. 527-540.
4. Zajac J., Chwajół G., Kmiecik A.: *Integracja projektowania procesów i sterowania produkcją w zautomatyzowanych systemach wytwarzania*. Pomiary Automatyka Robotyka, 2/2007.
5. Zajac, J.: *Rozproszone sterowanie zautomatyzowanymi systemami wytwarzania*. Seria Mechanika. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Monografia Kraków, 2003.
6. Zajac J.: Chwajół G.: *Integracja podsystemów wytwarzania i transport w rozproszonym systemie sterowania produkcją AIM*, Logistyka 3, Radom, 2011, s.3033-3043.

Autorzy:

mgr inż. Adam KMIECIK – Politechnika Krakowska

dr hab. inż. Jerzy ZAJĄC, prof. PK – Politechnika Krakowska