

Mirosław ZABOROWSKI
Politechnika Śląska

ZASTOSOWANIE PRODUKCYJNYCH SIECI PETRIEGO DO MODELOWANIA OPERACJI*

Streszczenie. Praca zawiera opis zastosowań nowej klasy sieci Petriego, nazwanej „Produkcyjnymi Sieciami Petriego” (PPN), do modelowania operacji produkcyjnych składających się z czynności. Przedstawiono fragment formalnej definicji PPN dla operacji oraz związki między tym modelem i modelem zagregowanym, w którym operacje stanowią stadia procesów. Dla przykładu przedstawiono schematy sieci PPN oraz odpowiadające im tabele relacyjnej bazy danych dla operacji tłoczenia części karoserii i przezbrajania pras w fabryce samochodów.

APPLICATION OF PRODUCTION PETRI NETS TO MODELING OPERATIONS

Summary. It is shown in the paper how to apply a new class of Petri nets, called „Production Petri Nets” (PPN), to build models of discrete production operations consisting of activities. A part of the formal definition of PPN for operations has been demonstrated. As the example the PPN graphs and corresponding tables of a relational database for a stamping and a press reequipment operations in a car factory have been presented.

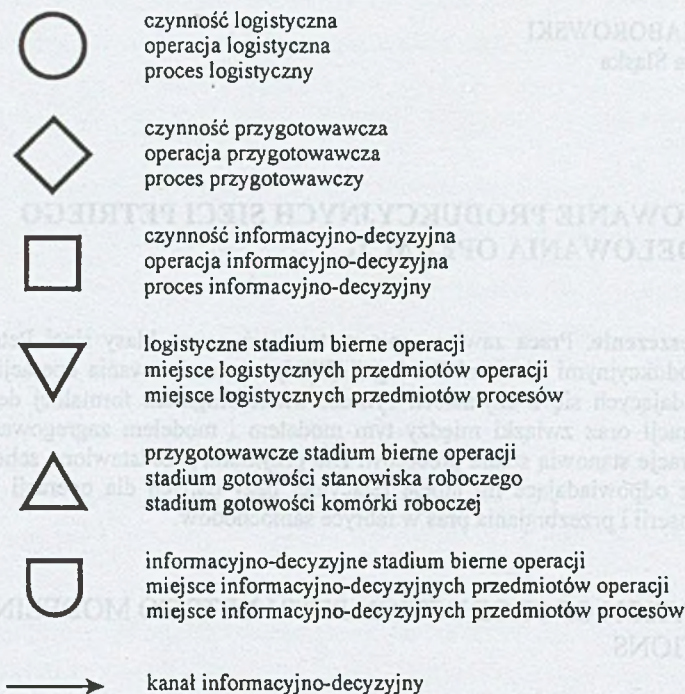
1. Produkcyjne sieci Petriego

Produkcyjne sieci Petriego są przeznaczone do modelowania dyskretnych procesów produkcji i ich składowych [2, 3]. Czynności, operacje i procesy składające się na proces produkcji w zakładzie przemysłowym dzielą się na:

- logistyczne (wytwarzanie, transport i kontrola jakości),
- przygotowawcze (przebrojenia, naprawy, remonty itp.)

* Praca sponsorowana przez Komitet Badań Naukowych, grant 8 T11A 02018

- **informacyjno-decyzyjne** (przetwarzanie danych na potrzeby sterowania, w tym zarządzania).



Rys. 1. Symbole stosowane na schematach PPN

Fig. 1. Symbols existing in PPN graphs

Analogicznie klasyfikowane są stadia bierne procesów produkcji. Stąd na schematach PPN stosuje się sześć różnych symboli na oznaczenie stadiów modelowanych procesów (rys.1). Tranzycje oraz łuki łączące je ze stadiami czynnymi nie są pokazywane na schematach produkcyjnych sieciach Petriego, dzięki czemu schematy stają się bardziej przejrzyste. Tranzycje można ukryć, bo wiadomo, że występują one wyłącznie na wejściach i wyjściach stadiów czynnych, a ich położenie jest identyfikowane przez łuki łączące stadia czynne z sąsiadującymi z nimi stadiami biernymi [2].

2. Struktura modelu procesu produkcji składającego się z operacji

Tworząc PPN dla procesu produkcji należy w pierwszej kolejności określić zbiory opisujące strukturę schematu PPN [3]. Są to:

- 1) SN – skończony zbiór stanowisk roboczych, $i \in SN$,
- 2) IO – skończony zbiór przedmiotów operacji, $k \in IO$,
- 3) MM – skończony zbiór miejsc między stanowiskami roboczymi, $l \in MM$,
- 4) OP – skończony zbiór operacji, czyli zbiór par (q,i) , gdzie „q” jest głównym produktem operacji, natomiast „i” jest stanowiskiem roboczym, w którym operacja jest wykonywana,
- 5) MO – skończony zbiór miejsc przedmiotów operacji, $(k,l) \in MO$,
- 6) FMO – funkcja głównego przeznaczenia operacji, która każdej operacji (q,i) przyporządkowuje miejsce przedmiotu operacji (q,l) , gdzie kierowany jest główny produkt operacji, $((q,i),(q,l)) \in FMO$.
- 7) WAO – relacja warunków operacji, czyli zbiór par $((q,i),(k,l))$ takich, że (q,i) – operacja, (k,l) – wejściowe miejsce przedmiotu operacji (q,i) ,
- 8) WYO – relacja ubocznych wyników operacji, czyli zbiór par $((q,i),(k,l))$ takich, że (q,i) – operacja, (k,l) – wyjściowe miejsce ubocznego produktu operacji (q,i) ,

3. Struktura modelu operacji składającej się z czynności

Jednym z zastosowań produkcyjnych sieci Petriego (PPN) [2, 3] jest modelowanie operacji. Produkcyjna sieć Petriego dyskretnej operacji produkcyjnej, rozpatrywanej jako uporządkowany zbiór czynności, zbudowana jest analogicznie do przedstawionej w [3] PPN procesu produkcji. Tworząc PPN dla operacji (q,i) należy najpierw określić zbiory opisujące strukturę schematu PPN. Ich przeznaczenie jest następujące:

- 1) SCO jest skończonym zbiorem stadiów czynnych operacji, $(q,i,a) \in SCO$, gdzie a – stadium czynne operacji (q,i) , przy czym

$$SCO = LSCO \cup ISCO \cup GSCO$$

gdzie LSCO – zbiór logistycznych stadiów czynnych operacji,

ISCO – zbiór informacyjno-decyzyjnych stadiów czynnych operacji,

GSCO – zbiór przygotowawczych stadiów czynnych operacji.

- 2) SBO jest skończonym zbiorem stadiów biernych operacji, $(q,i,s) \in SBO$, przy czym s – stadium bierne operacji (q,i) ,

$$SBO = LSBO \cup ISBO \cup GSBO$$

gdzie LSBO – zbiór logistycznych stadiów biernych operacji,

ISBO – zbiór informacyjno-decyzyjnych stadiów biernych operacji,

GSBO – zbiór przygotowawczych stadiów biernych operacji.

- 3) FM jest funkcją głównego przeznaczenia stadiów czynnych operacji, $FM \ni (q,i,a,s)$, gdzie (q,i,s) jest głównym stadiem biernym stadiem czynnego (q,i,a) .
- 4) WAC jest relacją warunków stadiów czynnych operacji, czyli zbiorem czwórek (q,i,a,s) , takich że a – stadium czynne operacji (q,i) , s – stadium bierne operacji (q,i) wyjściowe dla stadium czynnego „a” tej samej operacji (q,i) .
- 5) WYC jest relacją ubocznych wyników stadiów czynnych operacji, czyli zbiorem czwórek (q,i,a,s) , takich że a – stadium czynne operacji (q,i) , s – stadium bierne operacji (q,i) wyjściowe, lecz nie główne, dla stadium czynnego „a” tej samej operacji (q,i) .

Czynności i stadia bierne operacji można identyfikować za pomocą ich numerów wewnątrz operacji, ponieważ nie ma czynności, które należałyby do dwu różnych operacji. Każde brzegowe stadium bierne operacji również należy tylko do tej operacji, lecz jest równoważne pewnym brzegowym stadiom biernym innych operacji [1]. Dla PPN modelujących procesy składające się z operacji (rozdz. 2) taka identyfikacja operacji nie jest możliwa, ponieważ mogą istnieć operacje należące do różnych procesów [3].

4. Związki między PPN modelującymi procesy i operacje

Zgodnie z teorią hierarchicznych CPN (Coloured Petri Nets) [1], aby określić związki między PPN modelującymi operacje składające się z czynności i PPN modelującymi procesy składające się z operacji, należy wskazać „miejsca brzegowe” z poziomu czynności i „miejsca zagnieżdżeń” z poziomu operacji, a następnie określić dla nich relację równoważności. W przypadku PPN wszystkie miejsca przedmiotów operacji (k,l) są „miejscami zagnieżdżeń” i nie ma innych „miejsc zagnieżdżeń” w modelach z poziomu operacji. Ponadto, dla każdej pary $((q,i),(q,l)) \in FMO$, $((q,i),(k,l)) \in WAO$, $((q,i),(k,l)) \in WYO$, istnieje jedno i tylko jedno stadium bierne s operacji (q,i) , które jest równoważne występującemu w tej parze miejscu przedmiotu operacji (k,l) . Z drugiej strony, każde „miejsce brzegowe” s operacji (q,i) jest równoważne jednemu i tylko jednemu miejscu przedmiotu operacji (k,l) . Dlatego wystarczy określić:

FOC – funkcję równoważności miejsc przedmiotów operacji i stadiów biernych operacji, $FOC \ni (((q,i),(k,l)),s)$, która każdej czwórce z dziedziny $FMO \cup WAO \cup WYO$ jednoznacznie przyporządkowuje brzegowe stadium bierne s operacji (q,i) .

Dzięki takiej definicji związków między modelami PPN z sąsiednich poziomów hierarchii systemu CIM, aby zapisać funkcję FOC nie są potrzebne żadne dodatkowe tabele relacyjnej bazy danych. Wystarczy dodać kolumnę s do tabel OP, WAO, WYO.

5. Przykład. PPN operacji przezbrajania pras i tłoczenia części karoserii

Operacja tłoczenia części karoserii samochodu składa się z trzech czynności logistycznych:

- podanie przygotówki lub wytłoczki z poprzedniej prasy do strefy roboczej prasy,
- uderzenia stempla w przygotówkę na matrycy,
- zdjęcie wytłoczki z prasy (rys. 2).

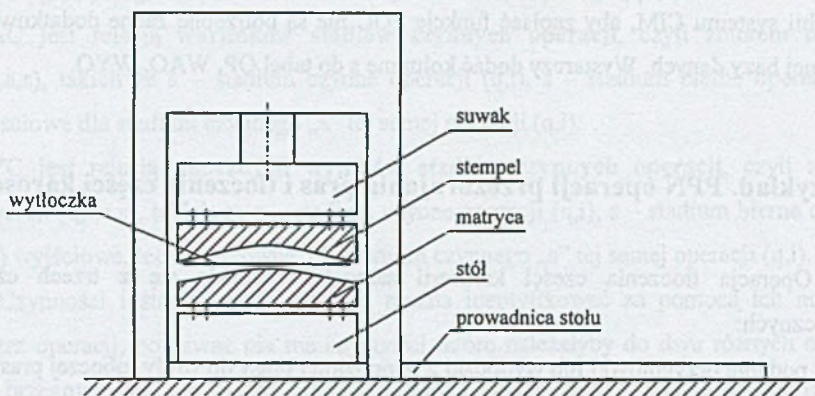
Podanie przygotówki do prasy odbywa się za pomocą robota, natomiast po operacji wytłoczka jest zdejmowana automatycznie z prasy za pomocą wyrzutnika katapultowego i ześlizgu na miejsce, skąd może ją zabrać następny robot.

Kształt wytłoczki zależy od tłoczniaka (matrycy i stempla) zamontowanego w prasie. Tłocznik wymieniany jest podczas przezbrojenia prasy. Najpierw stary tłocznik jest odłączany, po czym stół z tłocznikiem jest wysuwany spod prasy. Następnie jest przenoszony przez suwnicę na składowisko, skąd nowy tłocznik jest pobierany i transportowany do stołu prasy. Po wsunięciu stołu pod prasę nowy stempel jest mocowany do suwaka, a nowa matryca do stołu prasy.

Schematy PPN dla przykładowych operacji tłoczenia i przezbrajania są przedstawione na rysunkach 3 i 4. Poszczególne stadia czynne i bierne są identyfikowane przez numery opisane w poniższych tabelach. Połączenia między schematami operacji tłoczenia i przezbrajania są pokazane na schemacie PPN wyższego poziomu (rys. 5), przedstawiającym fragment PPN modelującej proces produkcji składający się z operacji. Podobnie jak dla operacji składających się z czynności, także struktura modelu procesu składającego się z operacji może być zapisana w odpowiednich tabelach relacyjnej bazy danych. Związki między operacjami można odczytać z kolumny s w tabelach OP, WAO, WYO.

SN – Stanowiska Robocze

i Nazwa FGS
232 prasa 1 232



Rys. 2. Prasa do tłoczenia blach karoseryjnych

Fig. 2. A press for stamping car body parts

OP – Operacje

q	i	Nazwa	FMO	s
0	232	uzbrajanie prasy lekkiej 1	232	20
2332	232	operacja 1 tłoczenia części karoserii	2321	3

SCO – Stadia Czynne Operacji

q	i	a	Nazwa	s
0	232	1	zwolnienie umocowania matrycy	1
0	232	2	ruch suwaka do położenia dolnego	2
0	232	3	zwolnienie umocowania stempla	3
0	232	4	ruch suwaka do położenia górnego	4
0	232	5	wysunięcie stołu ze starym tłocznikiem	5
0	232	6	transport starego tłocznika na składowisko	6
0	232	7	transport nowego tłocznika do prasy	7
0	232	8	wsunięcie stołu z nowym tłocznikiem	8
0	232	9	ruch suwaka do położenia dolnego	9
0	232	10	umocowanie stempla w suwaku	10
0	232	11	ruch suwaka do położenia górnego	11
0	232	12	umocowanie matrycy na stole	12
0	232	13	jazda suwnicy do prasy	13
0	232	14	jazda suwnicy po nowy tłocznik	14
0	232	15	jazda suwnicy do położenia spoczynkowego	15
0	232	21	dystrybucja decyzji o starcie operacji	24
0	232	22	koniunkcja warunków zakończenia operacji	20

2332	232	1	załadunek wytłoczki do prasy	1
2332	232	2	ruch suwaka w dół i tłoczenie	2
2332	232	3	wyrzut wytłoczki	3
2332	232	11	ruch powrotny robota	11
2332	232	12	ruch suwaka w górę do spustu wyrzutnika	12
2332	232	13	ruch suwaka w górę do położenia spoczynkowego	13
2332	232	14	powrót wyrzutnika do stanu gotowości	14
2332	232	21	koniunkcja warunków zakończenia operacji	10
2332	232	22	koniunkcja warunków startu operacji	5

SBO – Stadia Bierne Operacji

q	i	s	Nazwa	
0	232	1	matryca nie umocowana	
0	232	2	suwak w położeniu dolnym	
0	232	3	stempel nie umocowany	
0	232	4	suwak w położeniu górnym	
0	232	5	stół ze starym tłocznikiem wysunięty	
0	232	6	suwnica po rozładunku starego	
0	232	7	nowy tłocznik na stole	
0	232	8	stół z nowym tłocznikiem wsunięty	
0	232	9	suwak w położeniu dolnym	
0	232	10	nowy stempel umocowany	
0	232	11	suwak w położeniu górnym	
0	232	12	nowa matryca umocowana	
0	232	13	suwnica przy prasie przed transportem starego tłoczniaka	
0	232	14	suwnica przy nowych tłocznikach	
0	232	15	suwnica w położeniu spoczynkowym	
0	232	16	suwnica przy prasie po rozładunku nowego tłoczniaka	
0	232	17	tłocznik stary na składowisku	
0	232	18	tłocznik nowy na składowisku	
0	232	19	energia elektryczna	
0	232	20	stan gotowości prasy po uzbrojeniu	
0	232	21	decyzja o zmianie stanu gotowości prasy	
0	232	22	informacja o suwnicy w położeniu spoczynkowym	
0	232	23	decyzja o jeździe suwnicy do prasy	
0	232	24	decyzja o zwolnieniu starego tłoczniaka	
2332	232	1	wytłoczka na stole prasy	
2332	232	2	wytłoczka na stole po tłoczeniu	
2332	232	3	wytłoczka za prasą	
2332	232	4	przygotówka przed prasą	
2332	232	5	przygotówka przed prasą po starcie operacji tłoczenia	
2332	232	6	energia elektryczna	
2332	232	7	robot w położeniu spoczynkowym	
2332	232	10	stan gotowości prasy	
2332	232	11	ruch powrotny robota zakończony	
2332	232	12	suwak przy spuszczeniu wyrzutnika	
2332	232	13	suwak w położeniu spoczynkowym	
2332	232	14	wyrzutnik w stanie gotowości	
2332	232	15	robot pod prasą	

2332	232	16	suwak w położeniu dolnym
2332	232	17	wyrzutnik rozprężony
2332	232	21	decyzja o uruchomieniu wyrzutnika
2332	232	22	informacja o wytłoczce na stole prasy następnej
2332	232	23	informacja o wytłoczce na stole prasy
2332	232	24	wolna pojemność bufora przygotówek przed prasą
2332	232	25	wolna pojemność bufora wytłoczek za prasą
2332	232	26	detaliczne zadanie poboru przygotówek
2332	232	27	zadanie detaliczne operacji tłoczenia
2332	232	28	raport o realizacji zadania detalicznego tłoczenia

WAC – Warunki Stadiów Czynnych Operacji

q	i	a	s	q	I	a	s
2332	232	1	5	2332	232	13	6
2332	232	1	6	2332	232	13	12
2332	232	2	1	2332	232	14	6
2332	232	2	6	2332	232	14	17
2332	232	2	11	2332	232	21	13
2332	232	2	22	2332	232	21	14
2332	232	3	2	2332	232	22	4
2332	232	3	6	2332	232	22	7
2332	232	3	21	2332	232	22	10
2332	232	11	6	2332	232	22	25
2332	232	11	15	2332	232	22	26
2332	232	12	6	2332	232	22	27
2332	232	12	16				

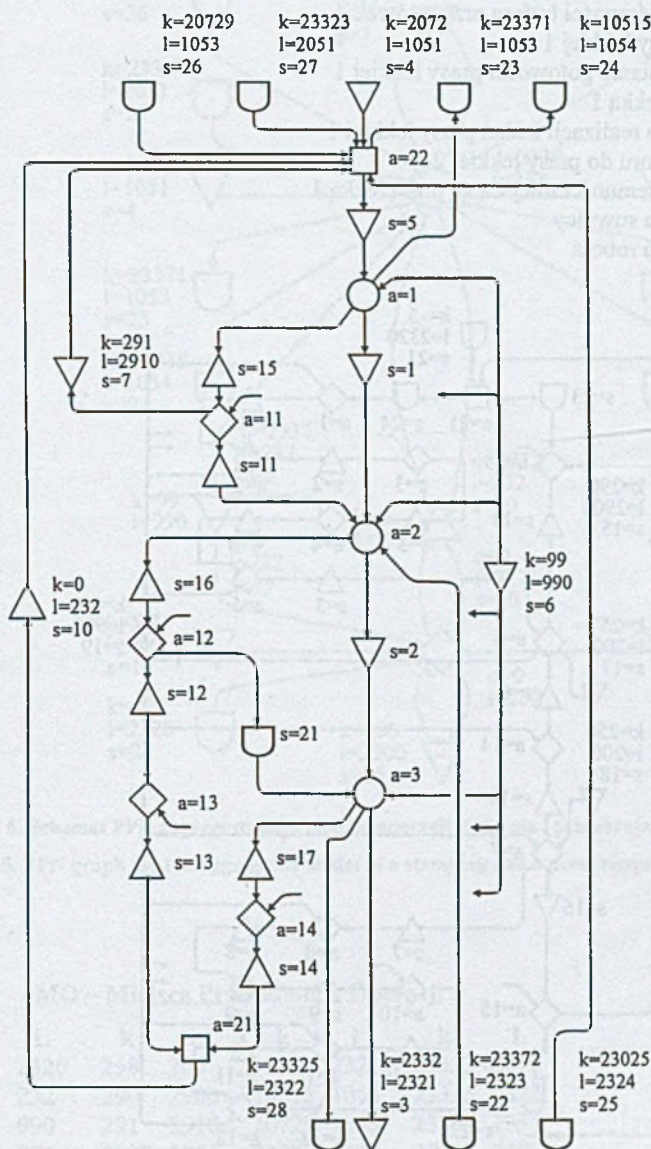
WYC – Uboczne Wyniki Czynności

q	i	a	s	q	I	a	s
2332	232	1	15	2332	232	3	28
2332	232	1	23	2332	232	11	7
2332	232	2	16	2332	232	12	21
2332	232	3	17	2332	232	22	24

IO – Przedmioty Operacji

k	Nazwa
-5	decyzja o stanie gotowości stanowiska roboczego
0	stan gotowości stanowiska roboczego po uzbrojeniu
99	zasób energii elektrycznej
257	stary tłocznik na składowisku
258	nowy tłocznik na składowisku
290	suwnica w pozycji spoczynkowej
291	robot w pozycji spoczynkowej
2072	przygotówki
2332	część karoserii po tłoczeniu 1
10515	wolna pojemność bufora przed prasą 1
20729	detaliczne zadanie poboru przygotówki

- 23025 wolna pojemność bufora za prasą 1
- 23323 zadanie detaliczne operacji tłoczenia 1
- 23325 raport o realizacji zadania detalicznego tłoczenia 1
- 23371 sygnał o zakończeniu poboru do operacji tłoczenia 1
- 23372 sygnał o zakończeniu poboru do operacji tłoczenia 2

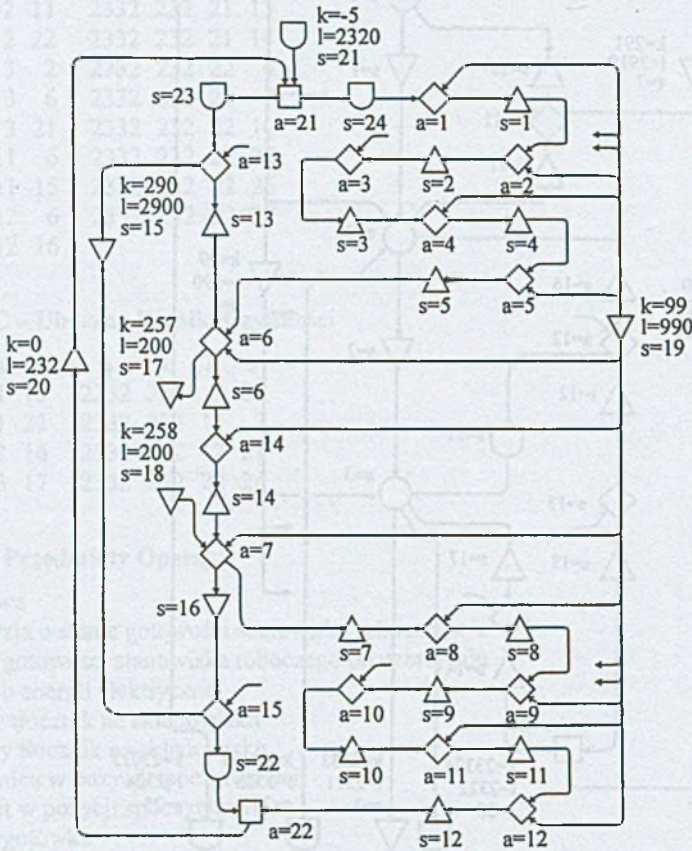


Rys. 3. Schemat PPN operacji tłoczenia

Fig. 3. PPN graph for a stamping operation

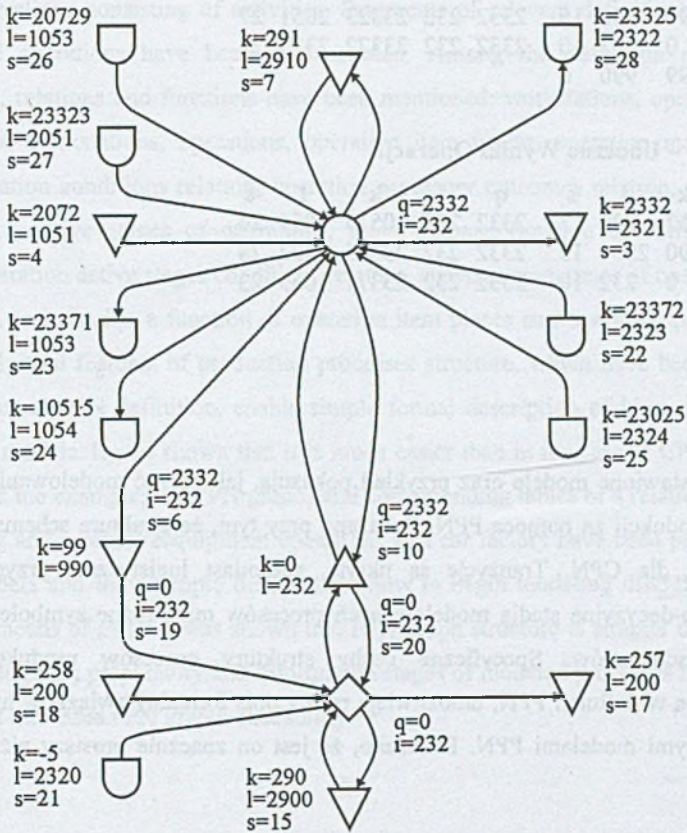
MM – Miejsca między Stanowiskami Roboczymi

- 1 Nazwa
- 200 składowisko tłoczników
- 232 pamięć gotowości prasy lekkiej 1
- 990 sieć elektryczna
- 1051 pole odkładcze przygotówek
- 1053 pamięć zleceń i zadań poboru przygotówek
- 1054 pamięć wolnej pojemności bufora przygotówek
- 2051 pamięć zadań prasy lekkiej 1
- 2320 pamięć decyzji o stanie gotowości prasy lekkiej 1
- 2321 miejsce za prasą lekką 1
- 2322 pamięć raportów o realizacji zadań prasy lekkiej 1
- 2323 pamięć zadań poboru do prasy lekkiej 2
- 2324 pamięć wolnej pojemności miejsca za prasą lekką 1
- 2900 miejsce spoczynku suwnicy
- 2910 miejsce spoczynku robota



Rys. 4. Schemat PPN operacji przezbierania prasy

Fig. 4. PPN graph for a press reequipping operation



Rys. 5. Schemat PPN zagregowanego modelu operacji tłoczenia i przezbrajania

Fig. 5. PPN graph for the aggregated model of a stamping and a press reequipping operations

MO – Miejsca Przedmiotów Operacji

k	L	k	l	k	l	k	l
-5	2320	258	200	2332	2321	23323	2051
0	232	290	2900	10515	1054	23325	2322
99	990	291	2910	20729	1053	23371	1053
257	200	2072	1051	23025	2324	23372	2323

WAO – Warunki Operacji

q	i	k	l	s	q	i	k	l	s
0	232	-5	2320	21	2232	232	291	2910	7
0	232	0	232	20	2332	232	2072	1051	4
0	232	99	990	19	2332	232	20729	1053	26
0	232	258	200	18	2332	232	23025	2324	25
0	232	290	2900	15	2332	232	23323	2051	27
2332	232	0	232	10	2332	232	23372	2323	22
2332	232	99	990	6					

WYO – Uboczne Wyniki Operacji

q	i	k	l	s	q	i	k	l	s
0	232	257	200	17	2332	232	10515	1054	24
0	232	290	2900	15	2332	232	23325	2322	28
2332	232	0	232	10	2332	232	23371	1053	23

6. Wnioski

Przedstawione modele oraz przykład pokazują, jak zacząć modelowanie dyskretnych procesów produkcji za pomocą PPN. Pokazano przy tym, że struktura schematów PPN jest prostsza niż dla CPN. Tranzycje są ukryte, natomiast logistyczne, przygotowawcze i informacyjno-decyzyjne stadia modelowanych procesów mają różne symbole, co zwiększa czytelność schematów. Specyficzne cechy struktury procesów produkcji, które są uwzględnione w definicji PPN, umożliwiają prosty opis formalny związków hierarchicznych między różnymi modelami PPN. Pokazano, że jest on znacznie prostszy niż w przypadku CPN [1].

LITERATURA

1. Jensen K.: Coloured Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. Springer-Verlag, Berlin 1997.
2. Zaborowski M.: Produkcyjne sieci Petriego. Materiały XIV Krajowej Konferencji Automatyki, Zielona Góra 2002, s. 735-742.
3. Zaborowski M.: Zastosowanie produkcyjnych sieci Petriego do modelowania procesów produkcji. Referat zgłoszony na XIII KAPD.

Abstract

It is shown in the paper how to apply a new class of Petri nets, called „Production Petri Nets” (PPN), to build models of discrete production processes consisting of operations and models of operations consisting of activities. Fragments of relevant definitions of PPN for processes and operations have been demonstrated. Among the definition elements the following sets, relations and functions have been mentioned: workstations, operation items, places between workstations, operations, operation item places, operation main purposes function, operation conditions relation, operation accessory outcomes relation, active stages of operations, passive stages of operations, main purpose function of active stages of operations, operation active stages conditions relation, accessory outcomes of operation active stages relation and, finally, a function of operation item places and operation passive stages equivalence. Special features of production processes structure, which have been taken into account in general PPN definition, enable simple formal description of hierarchic relations between PPN models. It was shown that it is much easier than in the case of CPN (Coloured Petri Nets). As the example, the PPN graphs and corresponding tables of a relational database for a stamping and a press reequipment operations in a car factory have been presented. The presented models and the example demonstrate how to begin modeling discrete production processes by means of PPN. It was shown that PPN graph structure is simpler than for CPN. Furthermore, logistic, preparatory and information stages of modeled processes have different symbols, what increases PPN graphs readability.