AUTOMATYKA • 2011 • Tom 15 • Zeszyt 3

Ewa Dudek-Dyduch*, Hubert Sękowski*

# Zastosowanie modelu algebraiczno-logicznego do symulacji stanów awaryjnych w produkcji

## 1. Wstęp

W większości prac modelujących dyskretne procesy produkcyjne zakładane jest wprost, że proces jest realizowany w sposób ciągły (sformułowania „praca ciągła" czy „realizacja procesu w sposób ciągły" odnoszą się w niniejszym artykule do przypadków, gdzie nie są uwzględniane zakłócenia, tj. awaria maszyny, powodujące przestoje) oraz zostaje ukończony w założonym czasie. Podobnie, dotychczasowe prace wykorzystujące model algebraiczno-logiczny E. Dudek (metamodel) [2, 5, 7], pomijają problematykę awarii. Również opracowania dotyczące organizacji procesów produkcyjnych zakładają pracę ciągłą lub milcząco pomijają kwestie awaryjnych przerw w produkcji [4, 6, 7, 13, 14, 15]. Tymczasem w praktyce produkcyjnej istnieje wielka potrzeba szybkiego reagowania na awarie różnego typu.

W systemach służących do symulacji i prowadzenia produkcji jest położony nacisk na działania proaktywne, tj. planowanie przeglądów czy okresowej wymiany elementów eksploatacyjnych. Systemy takie udostępniają także monitoring ze zdefiniowanymi poziomami alarmów oraz szybki dostęp do procedur postępowania, co niewątpliwie wspomaga podejmowanie decyzji w przypadku zakłócenia ciągłości produkcji. Osoba podejmująca decyzję otrzymuje listę decyzji możliwych do podjęcia, ale brak oszacowania skutków podjęcia decyzji zmusza taką osobę do kierowania się intuicją i doświadczeniem. Istnieją komercyjne rozwiązania wspomagające zarządzanie produkcją w przypadku zakłócenia. W kontekście niniejszego opracowania, warto wspomnieć o systemach informatycznych niemieckiej firmy PSI [19]. Systemy te są przeznaczone dla wielu branż (energetyka, produkcja i infrastruktura). Ograniczeniem tych systemów jest wspomaganie tylko najczęściej spotykanych przypadków zakłóceń dla każdej z branż.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Katedra Automatyki, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Lepszy, pod względem listy spotykanych przypadków zakłóceń oraz możliwości rozbudowy tej listy, jest system Machu Picchu firmy ACM [20]. Niestety system ten może być zastosowany tylko do systemów produkcyjnych.

Niniejsze opracowanie przedstawia metodę badań symulacyjnych mających na celu wypracowanie zbioru reguł postępowania minimalizującego skutki awarii. Metoda składa się z poszczególnych etapów:

1) wyznaczenie dla poszczególnych maszyn wchodzących w skład procesu produkcyjnego współczynników RPN metodą FMEA,
2) przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych opartych na modelu algebraiczno-logicznym (A-L), mających na celu wypracowanie reguł (algorytmów) minimalizujących skutki awarii o największych współczynnikach RPN.

Wypracowane w ten sposób reguły mają zastosowanie do prowadzenie produkcji przy wystąpieniu sytuacji awaryjnych.

Autorzy pragną zwrócić uwagę na fakt skutecznego wykorzystania modelu A-L do opisu innych zagadnień niż prowadzenie produkcji – np. w logistyce i infrastrukturze ([2, 5]). Skuteczne zastosowanie modelu A-L do symulacji stanów awaryjnych w produkcji, pozwala przewidywać skuteczność tego modelu w symulacji analogicznych stanów np. w logistyce.

## 2. Model algebraiczno-logiczny

Przyjmijmy oznaczenia:

$X$ – zbiór stanów właściwych,

$T \subset R^+$ – zbiór nieujemnych liczb rzeczywistych, reprezentujący chwile czasowe,

$S = X \times T$ – zbiór stanów uogólnionych,

$U$ – zbiór decyzji (sterowań).

Dla oznaczeń jak powyżej, definiuje się dyskretny proces $P$, który jest jednoznacznie określony przez czwórkę:

$$P = (s_0, f, S_N, S_G) \tag{1}$$

gdzie:

$s_0 = (x_0, t_0)$, $s_0 \in S$ – uogólniony stan początkowy,

$f : U \times S \to S$ – funkcja częściowa (określona tylko dla pewnych par ((u, s) $\in U \times S$), zwana funkcją przejścia,

$S_N \subset S$ – zbiór uogólnionych stanów niedopuszczalnych,

$S_G \subset S$ – niepusty zbiór uogólnionych stanów docelowych.

Funkcja przejścia jest zdefiniowana przy pomocy dwóch funkcji $f = (f_x, f_t)$, gdzie:

$f_x : U \times X \times T \to X$ – określa następny stan właściwy,

$f_t : U \times X \times T \to T$ – określa następny moment czasu.

Funkcja przejścia $f$ jest zdefiniowana jako funkcja częściowa, co pozwala uwzględnić ograniczenia dotyczące sterowania za pomocą tzw. zbiorów sterowań możliwych w stanie $s$, zdefiniowanych równaniem (2).

$$U_p(s) = \{u \in U : (u, s) \in Dom\ f\} \tag{2}$$

W przypadku gdy stan $s$ nie jest ani stanem docelowym, ani stanem niedopuszczalnym, a zbiór sterowań możliwych dla tego stanu jest zbiorem pustym, mówimy, że stan $s$ należy do zbioru stanów uogólnionych $S_E$, dla których funkcja przejścia $f$ jest nieokreślona.

Model algebraiczno-logiczny jest zbudowany na podstawie powyżej zdefiniowanego procesu $P$, przy czym istotą klasy modeli jest fakt, że zarówno współrzędne stanu, jak i decyzje mogą być zmiennymi indywiduowymi lub zmiennymi wyższego rzędu, a ponadto funkcja przejścia i ograniczenia mogą być zdefiniowane za pomocą zależności zarówno algebraicznych, jak i logicznych. Dzięki tak zdefiniowanym współrzędnym stanu, sterowaniu, funkcji przejścia i ograniczeniom, model A-L stanowi sposób reprezentacji wiedzy o problemie.

Na podstawie przyjętego algorytmu sterowania lub heurystyki, ze zbioru $U_p(s)$, wybierane jest sterowanie $u_i$ powodujące przejście systemu ze stanu $s_i$ (ze względu na ciągłość toku rozumowania przyjmijmy $s_i$=$s$) do stanu $s_{i+1}$ ($s_{i+1}$= $f(s_i, t_i)$) Jeśli nowo wyznaczony stan nie należy do zbioru stanów docelowych $(s_{i+1} \notin S_G)$ ani niedopuszczalnych $(s_{i+1} \notin S_N)$, służy on jako stan dla którego wyznaczany jest zbiór sterowań możliwych $U_p(s_{i+1})$, a następnie wyznaczane jest sterowanie $u_{i+1}$ przenoszące system do stanu $s_{i+2}$. Jeśli $s_{i+1} \in S_E$ (czyli $U_p(s_{i+1}) \in \emptyset$), $s_{i+1} \in S_G$ lub $s_{i+1} \in S_N$, to stan $s_{i+1}$ jest stanem ostatnim $s_d$.

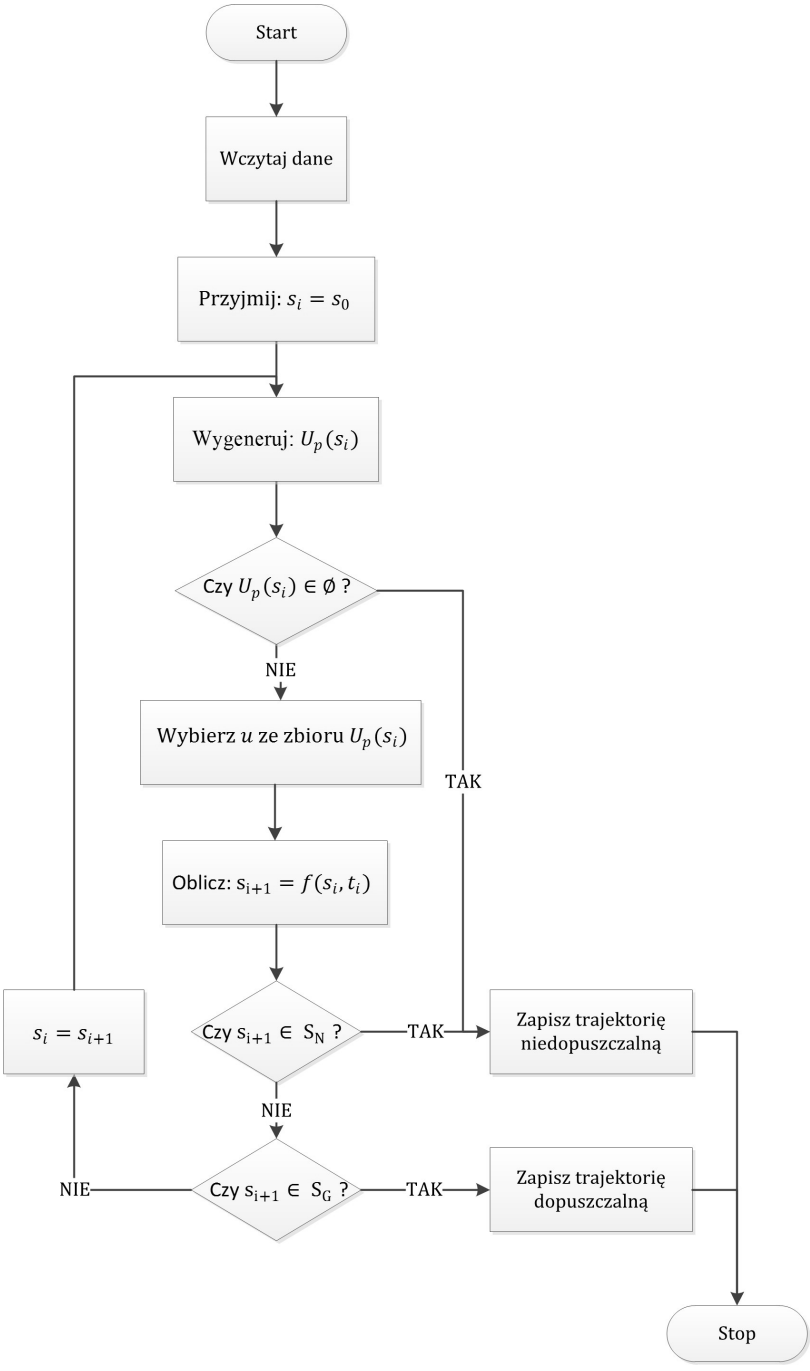
Wynikiem działania powyżej opisanego algorytmu, zilustrowanego na rysunku 1, są ciągi $\tilde{s} = (s_0, ..., s_n)$, nazywane też trajektoriami procesu $P$. W zależności od stanu końcowego, trajektorie mogą być niedopuszczalne $(s_d \in S_N \cup S_E)$ lub dopuszczalne $(s_d \in S_G)$. Ciąg sterowań $\tilde{u}$ związany z trajektorią dopuszczalną jest nazywany dopuszczalnym ciągiem sterowań.

Proces $P$ definiuje się równoważnie jako zbiór wszystkich jego trajektorii.

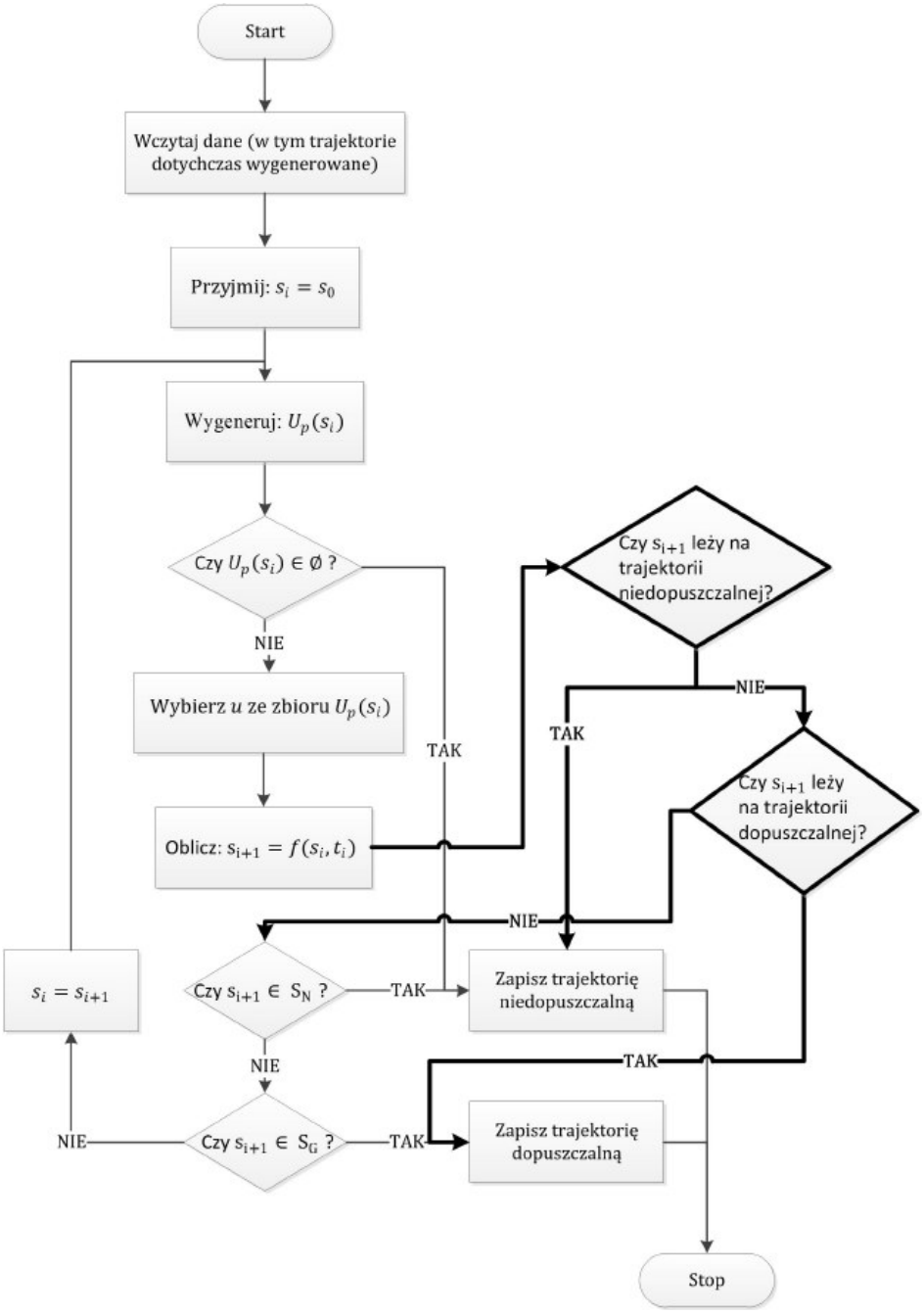
Jeśli proces $P$ zawiera tylko skończone zbiory $U_p$, graf przejść dla procesu $P$ jest definiowany jako graf $G$ = ($S$, $R$) [9], gdzie $R$ jest relacją taką, że $R \subset (S \times S) : (s_i, s_j) \in R \Leftrightarrow \exists_{u \in U_p} s_j = f(u, s)$.

Wyznaczenie trajektorii dopuszczalnej jest równoważne wyznaczeniem ścieżki w grafie przejść $G$, dla której wierzchołkiem początkowym jest stan $s_0$, zaś wierzchołkiem końcowym stan $s_d \in S_G$. Co warto podkreślić, równoznaczne wyznaczeniu takiej ścieżki jest wyznaczenie ciągu sterowań dopuszczalnych $\tilde{u}$.

Zadanie optymalizacji sterowania procesem polega na znalezieniu takiej trajektorii, która ekstramalizuje funkcjonał $Q$ i jest reprezentowane przez parę ($P$, $Q$).




**Rys. 1.** Algorytm generujący jedną trajektorię (na podstawie [5])




**Rys. 2.** Algorytm generujący jedną trajektorię; wyróżniono modyfikację pozwalającą na skorzystanie z informacji o wygenerowanych dotychczas stanach systemu

Rozpatrzmy zadanie optymalizacji sterowania procesem dyskretnym. W algorytmach optymalizacji typu poprawy przyjmuje się dwa etapy poszukiwania rozwiązania optymalnego: w pierwszym etapie (konstrukcji) jest konstruowana pojedyncza trajektoria dopuszczalna, drugi etap (poprawy) polega na poszukiwaniu rozwiązania ekstramalizującego funkcjonał $Q$.

Uzyskane w czasie symulacji stany uogólnione są przechowywane w trajektoriach. Dla każdego, nowo generowanego stanu, można przeszukiwać zbiór wcześniej wygenerowanych stanów uogólnionych pod kątem przynależności do nowo wygenerowanego stanu (rys. 2 przedstawia odpowiednią modyfikację algorytmu prezentowanego na rys. 1). Takie podejście pozwala nie tylko zaoszczędzić czas generowania kolejnych trajektorii (po wykryciu, że nowo wygenerowany stan jest elementem zbioru zawierającego stany należące do trajektorii wcześniej wygenerowanych, algorytm kończy tworzenie nowej trajektorii), ale pozwala także pokazać, że do jednego stanu końcowego można dotrzeć wieloma ścieżkami.

Warto rozważyć zastosowanie tego podejścia już na etapie konstrukcji rozwiązania optymalnego, co może dać wymierne korzyści, jako że nowo wygenerowany stan może być elementem wcześniej wygenerowanej trajektorii niedopuszczalnej.

Jeśli dla jednoznacznego określenia stanu procesu nie jest niezbędna zmienna określająca chwilę czasową, przechowywane oraz porównywane mogą być stany właściwe zamiast uogólnionych.

W przypadku wykorzystania metody poszukiwania rozwiązania z gromadzeniem informacji na potrzeby sterowania [5, 8] lub metody pokrewnej, należy przechowywać nie tylko zbiór stanów, ale także trajektorie dotychczas uzyskane. Dla przypadku najbardziej ogólnego, przechowywany jest aktulnie wygenerowany podgraf procesu (a ściśle jego aktualne oszacowanie).

Model algeraicznoo-logiczny pozwala uwzględnić następujące własności rzeczywistego procesu produkcyjnego [5]:

- zarówno oddziaływanie na proces (sterowanie), jak i obserwowalna zmiana stanu odbywają się w ściśle wyznaczonych momentach czasu, przy czym momenty te nie muszą być od siebie równoodległe (...);
- reżim technologii produkcji określa decyzje, które są możliwe w konkretnych sytuacjach (...); uwzględnione jest to przy określaniu zbioru $U_p(s)$ (...);
- dodatkowo istnieją w procesie ograniczenia dotyczące zarówno czasu, jak i stanu właściwego (nieprzekraczalne terminy, ograniczenia surowcowe); uwzględnione one zostały przez definicję $S_N$.

## 3. Sterowanie procesem dyskretnym w przypadku awarii

Zapewnienie ciągłości procesów biznesowych (w tym procesów produkcyjnych) jest podstawą prac z zakresu planowania ciągłości działania (*Business Continuity Planning* – BCP; [3]). Jest to także istotny element opracowań z zakresu elastycznych systemów produkcyjnych (*Flexible Manufacturing System* – FMS; [1, 14, 17, 18]).

W pierwszym przypadku (BCP), opracowywane są raczej ogólne instrukcje pomagające ocenić czynniki negatywnie wpływające na ciągłość produkcji oraz sposoby przywrócenia działania wszystkich procesów biznesowych (w tym produkcyjnych) przedstawiane na wysokim poziomie ogólności. Brak jest algorytmów wspomagających ilościowe oszacowanie możliwych opóźnień, kosztów oraz wpływu ewentualnej awarii jednego z komponentów na ciągłość całego procesu.

W drugim przypadku (FMS), wykorzystywane są prace prowadzone nad systemami komputerowymi – w szczególności z zakresu przydziału zadań w środowiskach wieloprocesorowych i heterogenicznych. Opracowania dotyczące systemów FMS, poruszają temat ciągłości pracy systemu, ale tylko w kontekście takiej organizacji topologii, aby awaria jednego komponentu nie powodowała przerwania ciągłości procesu produkcyjnego, a tylko wpływała na jego wydajność. W najnowszych publikacjach [1] wskazuje się na potrzebę dalszych badań w celu określenia wpływu czasów naprawy na działanie systemu produkcyjnego. Niniejszy artykuł związany jest właśnie z tym nurtem badań.

W przypadku awarii można rozważyć trzy sposoby postępowania: przezbrojenie, naprawa lub wymiana maszyny (być może o innej wydajności).

We współczesnych systemach produkcyjnych powszechnie stosowane są maszyny wielozadaniowe (dotyczy to zwłaszcza systemów FMS; [17, 18]). Maszyny takie, w zależności od aktualnej konfiguracji, mogą wykonywać jedno z zadań, do których zostały zaprojektowane. Aby wykonywane były zadania innego typu, musi nastąpić przezbrojenie maszyny. Do przezbrojenia potrzebne są określone zasoby (tj. udział innych urządzeń, interwencja operatora itp.), a ponadto wiąże się ono z kosztami oraz czasem. Ponieważ przezbrojenie generuje dodatkowe koszty, a maszyna podczas przezbrojenia nie uczestniczy w produkcji, dąży się, aby liczba przezbrojeń była minimalna [16, 17, 18].

Systemy FMS są projektowane tak, aby awaria jednego z komponentów nie powodowała przerwy w działaniu całego systemu. Analogicznie do wieloprocesorowych systemów komputerowych, gdzie awaria jednego procesora pozwala na ciągłą pracę całego systemu, tak w systemach tego typu obserwowane może być co najwyżej obniżenie zdolności produkcyjnych. Dzięki temu, równolegle mogą przebiegać prace przygotowujące do wymiany lub naprawy uszkodzonego elementu. Wreszcie, sama operacja naprawy lub wymiany może być wykonana w dogodnym terminie (na przykład podczas przezbrojenia linii produkcyjnej).

W przypadku systemów, dla których awaria jednego z komponentów może spowodować wstrzymanie całego procesu bądź ograniczenie zdolności produkcyjnych do poziomu grożącego przekroczeniem nałożonych na proces ograniczeń, podczas projektowania należy uwzględnić fakt naprawy.

Rozpatrzmy wystąpienie awarii na maszynie, która może wykonywać zadania różnego typu. Awaria powoduje przejście takiej maszyny ze stanu, w którym wykonywane jest zadanie określonego typu, do stanu, w którym:

- nie może być wykonywane zadanie danego typu,
- nie mogą być wykonywane zadania kilku typów,
- nie może być wykonywane żadne zadanie do którego maszyna jest przeznaczona.

Z powodu wielu możliwych skutków wystąpienia awarii, niezbędna jest diagnostyki oraz klasyfikację awarii.

Naprawa pociąga za sobą konieczność skorzystania z zasobów, wiąże się z kosztami oraz czasem. W wyniku naprawy stan maszyny zmienia się z takiego, w którym zadanie danego typu nie może być wykonywane, do stanu kiedy może być wykonywane (ze względu na aktualny stan procesu, można podjąć decyzję o częściowej naprawie przyspasabiającej maszynę do wykonywania zadania jednego typu). Opis naprawy odpowiada charakterystyce przezbrojenia (co zostało zauważone także w [16]), dlatego naprawa może być opisywana takimi parametrami jak przezbrojenie.

## 4. Awarie – oszacowanie skutków

Awarie – w szczególności ich rodzaje oraz skutki – są przedmiotem analizy i badań. Jedną z metod, pozwalających na ilościowe określenie możliwych do wystąpienia błędów jest FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) [10]. Metoda ta opiera ocenę wpływu awarii na projektowany proces produkcyjny na podstawie obserwacji pracy aktualnie działających systemów o podobnej charakterystyce.

Wykorzystywana jest wielofazowa analiza. W fazach przygotowawczych definiowany jest system oraz tworzony jest jego opis formalny. Kolejne fazy mają na celu wypracowanie parametrów oceniających: częstotliwości występowania, konsekwencje oraz łatwości detekcji błędów generujących awarie. Wszystkie trzy parametry są w skali od 1 do 10.

Do oceny częstotliwości występowania, wykorzystywany jest ranking występowania $O$ (*occurrence ranking*), gdzie 1 oznacza częstotliwość znikomą, a 10 bardzo wysoką (błędy są niemal nieuniknione). Konsekwencję błędów ocenia się za pomocą współczynnika $S$ (*severity number*), takiego że 1 jest równoważny brakowi wpływu, a 10 oznacza bardzo wysoki (system nie działa). Poziom detekcji błędów $D$ (*detection number*) jest opracowywany na podstawie oceny możliwości usunięcia błędów dzięki planowym testom oraz przeglądom. $D = 1$ oznacza wykrycie prawie pewne, a $D = 10$ wysoce niepradopodobne lub niemożliwe.

Współczynniki $S$, $O$ i $D$ służą do wyznaczania priorytetu ryzyka RPN (*Risk Priority Numbers*), obliczanego według równania (2).

$$\mathrm{RPN} = S \cdot O \cdot D \tag{2}$$

Procesy o wyższym współczynniku RPN powinny podlegać wcześniejszej analizie, niż te o niższym.

W praktyce, częściej stosowana jest metoda FMECA (*Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis*), która jest rozszerzeniem metody FMEA o dodatkową ocenę istotności parametrów $S$, $O$ i $D$ [11].

Proces produkcyjny podlega ciągłej kontroli w celu identyfikacji występujących błędów (także wynikających z czynników zewnętrznych – np. obniżenie jakości komponentów dostarczanych przez poddostawców), ich oceny i ewentualnej modyfikacji oszacowania

współczynników *S*, *O* i *D* (dla FMEA) oraz oceny tych współczynników (dla FMECA). Pomimo narzutu jaki generuje zastosowanie tych metod, są one stosowane nawet w stale zmieniających się środowiskach produkcyjnych [12].

## 5. Symulacja awarii

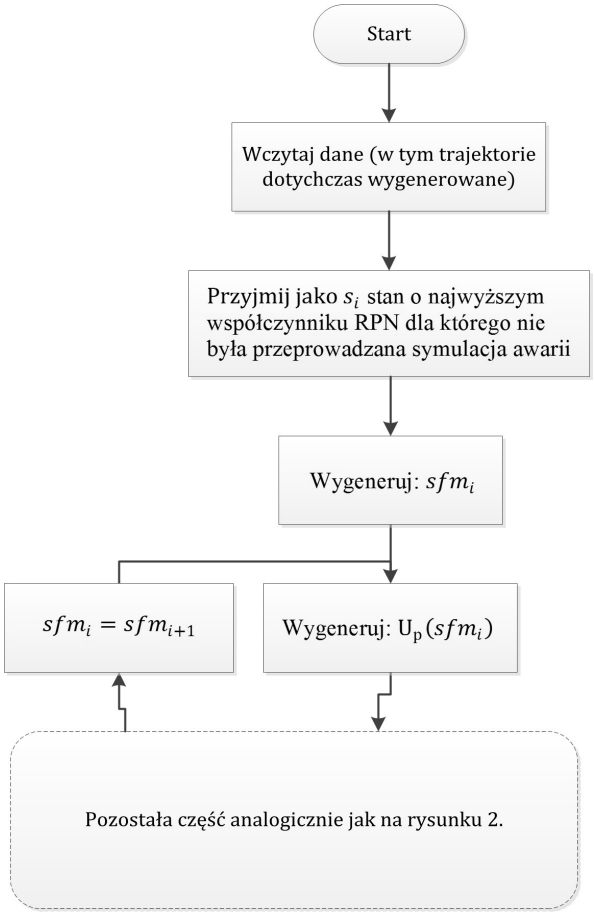
Wykorzystywany model algebraiczno-logiczny procesu dyskretnego pozwala na uwzględnienie występowania sytuacji awaryjnych. Symulacja dla różnego typu awarii i różnych scenariuszy dalszego prowadzenia produkcji może być przeprowadzona na etapie projektowania systemu produkcyjnego. Wynik symulacji może być wykorzystany w przypadku zakłócenia procesu produkcyjnego do oszacowania postępowania minimalizującego jego negatywne skutki.

Zakłócenie (awaria) występuje na etapie przechodzenia systemu ze stanu $s_i$ do stanu kolejnego, przy czym (z powodu awarii) system nie przechodzi do stanu $s_{i+1}$, ale do stanu $sfm_i$ (*state in failure mode*). Spowodowana zakłóceniem zmiana struktury bądź działania systemu powoduje zmianę modelu algebraiczno-logicznego dla części procesu produkcyjnego po chwili $t_i$. Bezpośrednio po wykryciu awarii należy zdiagnozować typ awarii, co wymaga czasu – a więc wpływa na algorytm $f_t$ funkcji przejścia. Diagnoza pozwala wypracować możliwe scenariusze postępowania, tj.:

- przezbrojenie (pozwala wykonywać zadania innego typu),
- naprawa częściowa (pozwala wykonywać zadania wykonywane przed awarią),
- naprawa kompleksowa lub wymiana (pozwalają na wykonywanie zadań wszystkich typów przewidzianych dla tej maszyny).

Efektem diagnozy jest więc wypracowanie zbioru sterowań możliwych $U_p(sfm_i)$. Należy zauważyć, że sama naprawa może nie następować bezpośrednio po zdiagnozowaniu awarii (np. z powodu konieczności zakupu części zamiennych, wykryciu awarii na zmianie nocnej, konieczności wcześniejszego udostępnienia maszyny do naprawy itp.), co należy uwzględnić w algorytmie $f_t$ funkcji przejścia. W wyniku awarii oraz późniejszej naprawy, system przechodzi w stan $s'_{i+1}$ (w szczególnych przypadkach może być stan wcześniej wyznaczony).

W rozdziale 3 zostały opisane możliwe następstwa awarii, a powyżej są wymienione scenariusze postępowania. Ze względu na bardzo złożoną strukturę maszyn, w szczególności wielozadaniowych, oraz fakt, że należałoby przeprowadzać symulacje z uwzględnieniem możliwości wystąpienia awarii dla każdej z krawędzi w grafie przejść, otrzymujemy zadanie, którego próba rozwiązania prowadzi do eksplozji kombinatorycznej. Pierwsze ograniczenie, jakie należy wprowadzić, wynika ze spostrzeżenia, że bezcelowe jest rozpatrywanie dróg w grafie, które nie należą do trajektorii dopuszczalnej (choć sam system po przejściu przez stan awaryjny może się znaleźć w stanie będącym na ścieżce takiej trajektorii).




**Rys. 3.** Szkic algorytmu do symulacji zakłócenia (awaria)

W rozdziale 4 przedstawiono dwie metody służące do oceny awarii. Zdefiniowany był również współczynnik RPN, pozwalający oszacować częstotliwość występowania, konsekwencje oraz łatwość detekcji awarii. Proponuje się wykorzystanie tego współczynnika do szeregowania eksperymentów symulacji awarii, tak że najpierw rozważane są sytuacje, dla których wartości współczynnika RPN jest większa.

Mając model algebraiczno-logiczny dla ustalonego ciągu decyzji procesu produkcyjnego – a więc wyznaczone trajektorie dopuszczalne – można wykorzystać przedstawiony na rysunku 3 szkic algorytmu do symulacji różnych typów awarii i różnych sposobów naprawy. Wynikiem symulacji jest zbiór reguł postępowania minimalizującego skutki awarii:

– awaria typu 1 – reguły naprawcze dla awarii typu 1.,
– awaria typu 2 – reguły naprawcze dla awarii typu 2.,
– ... ,
– awaria typu n – reguły naprawcze dla awarii typu n.

Wyniki pracy tak zbudowanego systemu doradczego mogą być wykorzystane dla zakłócenia występującego w trakcie prowadzenia produkcji:

1) wystąpienie awarii w trakcie procesu produkcyjnego – przejście produkcji w tryb awaryjny, na podstawie wypracowanego modelu algebraiczno-logicznego dla takiego trybu pracy;
2) diagnoza awarii, oraz próba jej klasyfikacji na podstawie zbioru reguł postępowania;
3) zastosowanie reguł naprawczych;
4) powrót do prowadzenia produkcji na podstawie modelu algebraiczno-logicznego wypracowanego dla nieawaryjnego trybu pracy.

## 6. Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiono wykorzystanie modelu algebraiczno-logicznego do modelowania sytuacji awaryjnych. Autorzy proponują wykorzystanie metody FMEA pozwalającej wyznaczyć dla poszczególnych maszyn współczynniki RPN (*Risk Priority Numbers*). Współczynniki te pozwalają uszeregować ważność rozważanych awarii. Zgodnie z tak wyznaczoną kolejnością przeprowadza się eksperymenty symulacyjne poszczególnych typów awarii i wypracowuje się zbiory reguł postępowania minimalzującego skutki awarii.

Zastosowanie modelu A-L do symulacji stanów awaryjnych nie wymagało ani zmian w definicji dyskretnego procesu $P$, ani rozszerzenia tej definicji. Model rozpatrywanego procesu ulega zmianie, ale jest to spowodowane innymi czynnikami – np. mniejszą ilością maszyn mogących wykonać zadanie danego typu (co wpływa na zbiór $U_p$).

Autorzy planują dalsze badania przedstawionej koncepcji, w tym także do symulacji analogicznych stanów w innych dziedzinach niż planowanie i prowadzenie produkcji.

## Literatura

[1] Joseph O.A., Sridharan R., *Evaluation of routing flexibility of a flexible manufacturing system using simulation modelling and analysis*. Int. J. Adv. Manuf. Technol., DOI 10.1007/s00170-011-3153-5, Published online: 26 January 2011.

[2] Dutkiewicz L., Kucharska E., *Algorytm planowania tras dostaw dla wielu komiwojażerów*. Automatyka (półrocznik AGH), t. 14, z. 3/2, 2010, 853–865, ISSN 1429-3447,.

[3] Bosworth S., Kabay M.E., Whyne E., *Computer Security Handbook, Fifth Edition.* Chapter 58 – Business Continuity Planning by Michael Miora, John Wiley & Sons 2009, ISBN:9780471716525.

[4] Blażewicz J., Ecker K.H., Pesch E., Schmidt G., Węglarz J., *Handbook on Scheduling: From Theory to Applications* (*International Handbooks on Information Systems*). Springer 2007, ISBN 978-3-540-28046-0.

[5] Kucharska E., *Wykorzystanie modelu algebraiczno-logicznego do optymalizacji problemów szeregowania z czasem przezbrojeń zależnym od stanu.* Rozprawa doktorska, Kraków, 2006.

[6] Sąsiadek M., *Planowanie i wybór sekwencji montażu we współbieżnym projektowaniu elementów i zespołów maszyn*. Rozprawa doktorska, Zielona Góra, 2009.

[7] Dudek-Dyduch E., *Systemy informacyjne zarządzania produkcją, Zagadnienia wybrane*. Kraków, 2002, ISBN 83-88979-12-4.
[8] Dudek-Dyduch E., *Learning based algorithm in scheduling*. Journal of Intelligent Manufacturing (JIM), Cluver Academic Publishers, vol. 11, No. 2, 2000, 135–143.
[9] Dudek-Dyduch E., *Schedulingsome class of discrete processes*. Proc. of 12th IMACS World Congress, Paris, 1988.
[10] McDermott R., Mikulak R., Beauregard M., *The Basics of FMEA, Second Edition*. Productivity Press, 2009, ISBN:9781563273773.
[11] Tweeddale M., *Managing Risk and Reliability of Process Plants*. Gulf Professional Publishing, 2003, ISBN:9780750677349.
[12] Mili A., Bassetto S., Siadat A., Tollenaere M., *Dynamic risk management unveil productivity improvements*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 22, 2009, 25–34.
[13] Pinedo M., *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. Springer, 2009.
[14] Wang L., Shen W., *Process Planning and Scheduling for Distributed Manufacturing*. Springer, 2007.
[15] Palmer D., *Maintenance planning and scheduling handbook*. McGraw-Hill Professional, 2005.
[16] Fuerderer R., Herrmann A., Wuebker G., *Optimal bundling: marketing strategies for improving economic performance*. Springer, 1999.
[17] McIntosh R., *Lean Improving changeover performance: a strategy for becoming a lean, responsive manufacturer*. Butterworth-Heinemann, 2002.
[18] Keisuke A., Kenichi S., *Kaizen for Quick Changeover: Going Beyond Smed*. Productivity Press, 2006.
[19] www.psi.de.
[20] www.acm.ab.ca.