

## WYBRANE ZAGADNIENIA PLANOWANIA PROCESU PRODUKCYJNEGO

Izabela KUTSCHENREITER-PRASZKIEWICZ

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono problematykę planowania procesu produkcyjnego ze szczególnym uwzględnieniem metod wyznaczania czasu realizacji operacji technologicznych oraz z uwzględnieniem ryzyka. Przedstawiono przykład planowania procesu produkcyjnego przekładni zębatej ogólnego przeznaczenia wytwarzanej w warunkach produkcji jednostkowej i małoseryjnej.

**Słowa kluczowe:** Planowanie procesu produkcyjnego, czas realizacji operacji technologicznych, planowanie z uwzględnieniem ryzyka.

### 1. Planowanie procesu produkcyjnego - wprowadzenie

Dostosowanie wyrobu dla potrzeb klienta decyduje o konkurencyjności przedsiębiorstwa.

Dążenie do standaryzacji prowadzi do wprowadzania tych samych podzespołów, zespołów i elementów w różnych konstrukcjach oraz stosowania tych samych rozwiązań w zakresie procesów wytwarzania. A zatem doskonalenie metod integracji już istniejących rozwiązań z wymaganiami klienta pozwala na opracowanie oferty, która będzie atrakcyjna dla klienta.

Opracowanie oferty wymaga: oceny możliwości technicznych zakładu, oceny czasu realizacji, kosztu oraz ryzyka.

O atrakcyjności oferty decyduje nie tylko funkcjonalność wyrobu, ale również cena, termin dostawy oraz warunki gwarancji.

Stąd doskonalenie metod stosowanych w obszarze planowania procesu produkcyjnego a w szczególności analizy wybranych danych dotyczących wyrobu i procesu wytwarzania jest istotnym obszarem badawczym.

Przedsiębiorstwa coraz częściej w procedurach decyzyjnych uwzględniają ryzyko, dzięki czemu mogą poprawić skuteczność działań.

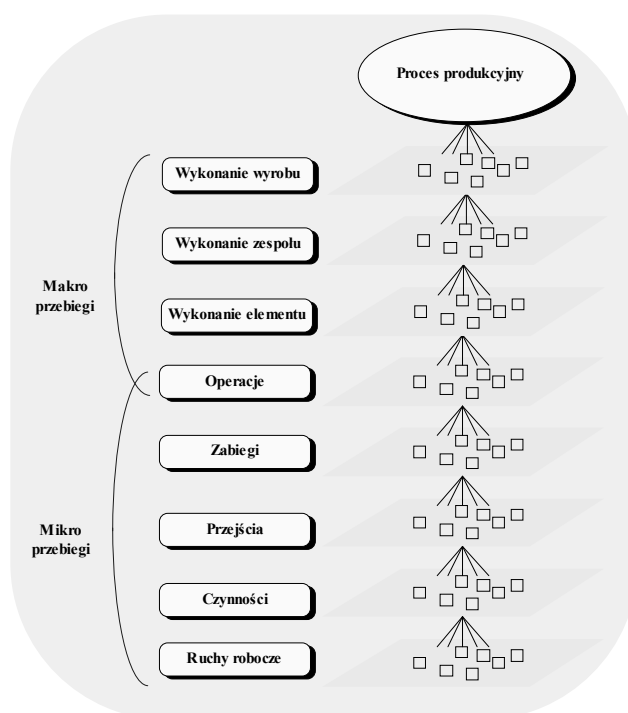
Zadaniem procesu planowania jest umiejscowienie w czasie operacji, zabiegów czynności wykonywanych w związku z zamówionymi wyrobami lub usługami. Celem planowania jest racjonalizacja wykorzystania zasobów przedsiębiorstwa. W efekcie chodzi o to, żeby sprecyzować moment rozpoczęcia i zakończenia zadania oraz ustalić: gdzie, przez kogo, jak oraz z wykorzystaniem jakiego materiału oraz informacji ma ono być realizowane.

Planowanie procesu produkcyjnego wymaga stosowania metod predykcji i analizy danych dotyczących m.in. czasu realizacji operacji technologicznych.

## 2. Metody wyznaczania czasu realizacji operacji technologicznych

Czas realizacji operacji technologicznych może być wyznaczany na podstawie znajomości wartości czasu pracy niezbędnego do wykonania poszczególnych zadań zorganizowanej produkcji przy ustalonej metodzie i warunkach pracy.

Dążenie do poprawy efektywności działań mierzonych stosunkiem osiągniętych wyników do poniesionych nakładów prowadzi do szukania sposobów skracania czasu trwania poszczególnych czynności poprzez likwidację strat wynikających z przyjętej technologii i metody pracy. Wyznaczanie czasu oraz szukanie strat może być realizowane zarówno na poziomie makro jak i mikro przebiegów (rys. 1).



Rys.1. Podział procesu produkcyjnego [10]

Metody wyznaczania czasu pracy dla prac na stanowiskach bezpośrednio produkcyjnych można podzielić na grupy:

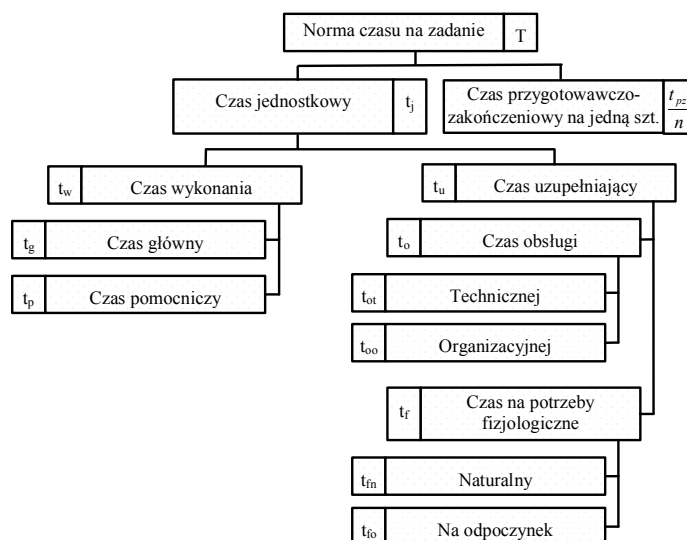
- Metody analityczno-pomiarowe:
  - Chronometraż.
  - Obserwacja migawkowa.
  - Fotografia dnia pracy.
- Metody analityczno-obliczeniowe:
  - Metody normatywów elementarnych (MTM).
  - Normowanie pracy wg normatywów technologicznych.
- Metody analityczno-porównawcze
  - Porównanie i szacowanie.

Przydatność poszczególnych metod wyznaczania czasu jest uzależniona od typu procesu produkcyjnego oraz celu jaki ma być osiągnięty w badaniu pracy. Porównanie metod normowania czasu pracy przedstawiono w tab. 1.

Tab.1. Porównanie metod normowania czasu pracy

Metoda normowania czasu pracy	Pracochłonność badań	Możliwość badania mikro przebiegów	Możliwość badania makro przebiegów	Możliwość predykcji czasu	Wiarygodność wyników	Dokładność wyników badań
Chronometraż	duża	tak	tak	nie	duża	duża
Fotografia dnia roboczego	duża	nie	tak	nie	średnia	średnia
Obserwacja migawkowa	mała	nie	tak	nie	duża	średnia
Metody normatywów elementarnych (MTM)	duża	tak	tak	tak	duża	duża
Normowanie pracy wg normatywów technologicznych	mała	tak	tak	tak	duża	duża
Porównanie i szacowanie	mała	tak	tak	tak	średnia	średnia

Zastosowanie wybranych metod wyznaczania czasu pracy wymaga analizy procesu, która może być przeprowadzona z wykorzystaniem klasyfikacji czasu pracy przedstawionej na rys. 2.



Rys.2. Struktura czasu pracy [10]

W planowaniu procesu wytwarzania szczególnie istotne jest uwzględnienie czasu przygotowawczo-zakończeniowego, który w dużej mierze decyduje o efektywności procesu wytwarzania realizowanego w warunkach produkcji jednostkowej oraz małoseryjnej.

### **2.1. Metody analityczno-pomiarowe**

Metody analityczno-pomiarowe pozwalają na wyznaczenie zarówno czasu jednostkowego jak i czasu przygotowawczo zakończeniowego operacji technologicznych.

Chronometraż uważany za podstawową metodę wyznaczania norm czasu pracy pozwala na wyznaczenie czasu wykonania (czasu głównego oraz czasu pomocniczego) będącego podstawowym składnikiem czasu jednostkowego operacji technologicznej oraz czasu przygotowawczo-zakończeniowego. Czasy te są wyznaczane poprzez wielokrotny pomiar czasu z wykorzystaniem stopera przemysłowego. Zastosowanie metody chronometrażu wymaga standaryzacji metod pracy. Wiarygodne wyniki pomiarów mogą zostać uzyskane m.in. dzięki umiejętnej analizie procesu produkcyjnego – precyzyjne rozdzielanie badanych przebiegów pracy, które mogą być jednoznacznie klasyfikowane jako czas główny (maszynowy, ręczny lub maszynowo - ręczny) oraz czas pomocniczy.

Wyznaczenie czasu jednostkowego operacji technologicznej wymaga znajomości nie tylko czasu wykonania ale również czasu uzupełniającego.

Czas uzupełniający wyrażony najczęściej za pomocą dodatku procentowego, który obejmuje czas na potrzeby fizjologiczne pracownika oraz czas obsługi może być wyznaczony z wykorzystaniem fotografii dnia roboczego lub obserwacji migawkowej.

Każda z metod analityczno-pomiarowych wymaga obecności inżyniera produkcji na badanym stanowisku pracy, co wymaga odpowiedniego przygotowania (pracownik wykonujący badane zadania robocze oraz jego przełożony muszą być poinformowani o prowadzonych badaniach).

### **2.2. Metody analityczno-obliczeniowe**

Metody analityczno-obliczeniowe umożliwiają wyznaczanie czasu wykonania oraz czasu przygotowawczo-zakończeniowego dla procesu planowanego.

Metody analizy ruchów elementarnych pozwalają na wyznaczenie czasu realizacji różnych wariantów ręcznych przebiegów pracy. Podstawowa sekwencja ruchów elementarnych obejmująca sięganie, chwytanie, przenoszenie, łączenie oraz puszczenie pozwala na analizę zdecydowanej większości prac manualnych. Mimo pracochłonności związanej z zastosowaniem tej metody jest ona uważana za skuteczne narzędzie zarówno planowania jak i doskonalenia procesu produkcyjnego.

Normowanie wg normatywów technologicznych pozwala na wyznaczanie czasu jednostkowego operacji maszynowych i maszynowo - ręcznych.

### **2.3. Metody analityczno-porównawcze**

Metody analityczno-porównawcze umożliwiają wyznaczanie czasu jednostkowego dla procesu planowanego. Metody te wymagają wcześniejszego opracowania katalogu prac wzorcowych, które będą podstawą określania pracochłonności dzięki oszacowaniu różnic między przedmiotem lub procesem wzorcowym a aktualnie wykonywanym.

### 3. Problematyka uwzględniania ryzyka w planowaniu zleceń produkcyjnych

Wyznaczenie możliwego terminu realizacji zlecenia dotyczącego wytworzenia wyrobu adaptowanego wymaga zastosowania odpowiedniej metody planowania.

Planowanie zleceń produkcyjnych może zostać oparte o dwie grupy metod:

- planowanie w oparciu o metodę harmonogramów Ganta,
- planowanie w oparciu o metody bazujące na teorii grafów – metody sieciowe.

Metody sieciowe można podzielić ze względu na stopień pewności danych dotyczących realizowanego przedsięwzięcia.

A zatem metody wspomagające planowanie można podzielić na metody stosowane w warunkach pewności (metody deterministyczne) oraz w warunkach niepewności i ryzyka (metody stochastyczne).

Metodą powszechnie stosowaną do planowania przedsięwzięć w sytuacji jednoznacznie zdefiniowanych zadań, ich struktury oraz znanych czasów realizacji jest CPM (Critical Path Method).

Planowanie w warunkach niepewności oznacza brak informacji o możliwych zakłóceniach w przebiegu projektu, a szacowanie pracochłonności czynności projektowych jest wykonywane bez prowadzenia analizy prawdopodobieństwa oraz skutków możliwych zakłóceń. W warunkach niepewności może zostać zastosowana metoda PERT (Program Evaluation And Review Technique), która jest stosowana dla przedsięwzięć, w których nie można jednoznacznie określić pracochłonności czynności.

W harmonogramie realizacji zlecenia mogą znaleźć się działania realizowane w celu wykonania określonego zlecenia oraz działania wynikające z przyjętej strategii zarządzania ryzykiem, np. działania kontrolne, których zadaniem jest ograniczenie występowania określonych kategorii ryzyk. Uwzględnienie w planowaniu sprzężeń zwrotnych pozwala na modelowanie ryzyk rezydualnych oraz zaakceptowanych. Zarządzanie ryzykiem powinno być integralną częścią wszystkich procesów organizacyjnych w przedsiębiorstwie [5]. A zatem przyjęta metodyka planowania zleceń powinna uwzględniać problematykę zarządzania ryzykiem.

Planowanie przedsięwzięć, których struktura może ulegać zmianie w trakcie realizacji wymaga wykorzystania sieci stochastycznych, które są bardziej złożone niż sposoby bazujące na sieciach o strukturze deterministycznej (np. CPM, PERT). Sieci stochastyczne umożliwiają wielowariantowe ustalanie zależności między zdarzeniami tej samej sieci oraz dają możliwość dobierania, w toku realizacji przedsięwzięcia, innych niż pierwotnie ustalono dróg postępowania.

Jedną z bardziej znanych metod planowania opartych o sieci stochastyczne jest metoda GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), która jest procedurą analizy sieci stochastycznych i została po raz pierwszy opisana w [18]. GERT jest to połączenie koncepcji budowy sieci typu PERT, grafów przepływu sygnałów (SFG), algebry grafów oraz stosowania elementów logicznych w sieciach [6, 9, 1, 2, 14, 15, 18].

Uwzględnienie czynności alternatywnych w strukturze sieci może być realizowane poprzez zastosowanie trzech rodzajów węzłów grafu typu wejścia (wyjścia):

- „i” – czynność zostanie wykonana, jeżeli wszystkie zdarzenia nim się kończące (zaczynające) zostaną wykonane, oznaczana w grafie za pomocą kółka,
- „lub” – czynność zostanie wykonana, jeżeli zostanie wykonana przynajmniej jedna czynność nim się kończąca (zaczynająca), oznaczana w grafie za pomocą odwróconego kwadratu,

- „albo” – czynność zostanie wykonana wtedy i tylko wtedy, gdy dokładnie jedna czynność nim się kończąca (zaczynająca) zostanie wykonana, oznaczona w grafie za pomocą odwróconego kwadratu z kreską prostopadłą do przekątnej przechodzącej przez wierzchołek kwadratu.

Struktura sieci ma jeden wierzchołek początkowy i przynajmniej dwa wierzchołki kończące sieć. Czynnościom w sieci są przyporządkowywane zasoby w postaci czasu i/lub kosztu oraz prawdopodobieństwo zaistnienia czynności. Struktura sieci zakładająca kilka węzłów kończących sieć pozwala na modelowanie ryzyka w realizacji przedsięwzięć, które polega na określaniu prawdopodobieństwa oraz skutków zakłóceń występujących w trakcie realizacji przedsięwzięcia. A zatem przy pomocy procedury GERT można określać prawdopodobieństwo i czas (lub inny atrybut np. koszt) transmitancji jednego wierzchołka grafu w drugi. W procedurze wyróżniamy następujące kroki:

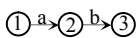
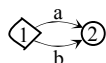
- Przekształcenie werbalnego opisu obiektu w jego opis przy pomocy sieci stochastycznej.
- Zebranie danych dotyczących transmitancji poszczególnych łuków.
- Redukcja sieci stochastycznej – znalezienie sieci lub funkcji zastępczej opisującej jednoznacznie sieć oryginalną. Przekształcenie sieci lub funkcji do postaci umożliwiającej określenie prawdopodobieństw i/lub czasu realizacji.
- Interpretacja wyników – analiza wyników uzyskanych w kroku poprzednim.

Opracowanie sieci stochastycznej wymaga uwzględnienia działań, które muszą być wykonane w procesie rozwoju wyrobu, ich alternatywnych wariantów oraz działań związanych z czynnikami ryzyka zidentyfikowanymi w modelowanym procesie. A zatem uwzględnienie metodyki zarządzania ryzykiem w planowaniu zadań dotyczących adaptacji wyrobu może być jednym z działań niezbędnych do pozyskania danych dotyczących modelowania przedsięwzięcia.

Zgromadzenie danych dotyczących modelowanego procesu wymaga analizy pracochłonności oraz prawdopodobieństwa zajścia zidentyfikowanych zdarzeń. Stochastyczny charakter sieci pozwala na uwzględnienie zarówno alternatywnych rozwiązań w zakresie przebiegu prac jak i sprzężeń zwrotnych związanych z ryzykiem wystąpienia zakłóceń w przebiegu procesu. Natomiast prawdopodobieństwo związane z czynnikami ryzyka może być określone na podstawie wybranych metod zarządzania ryzykiem.

W metodzie GERT redukcja sieci polegająca na wyznaczeniu prawdopodobieństwa transmitancji zastępczej rozumianej, jako prawdopodobieństwo łączne wyznaczone dla grupy czynności może być realizowane na podstawie zasad algebry grafów Elmaghrabiego [14] (tab. 2).

Tab. 2. Elementy algebry grafów (na podstawie [14])

Węzeł grafu	Prawdopodobieństwo transmitancji zastępczej
	$P_e = P_a \cdot P_b$
	$P_e = P_a + P_b$

	$p_e = \frac{p_a \cdot p_c}{1 - p_b}$
	$p_e = \frac{p_a}{1 - p_a p_b}$
	$p_e = \frac{p_b}{1 - p_a}$

Po przeprowadzeniu redukcji sieci, gdzie węzeł początkowy został oznaczony jako  $1$ , a węzeł końcowy jako  $n_k$ , oczekiwany czas realizacji projektu można wyznaczyć ze wzoru (1) [6].

$$\mu_{1(1,n_k)} = \frac{\sigma}{\sigma_s} W_{1,n_k}(s) \Big|_{s=0} \quad (1)$$

gdzie:  $W_{1,n_k}(s)$  - funkcja ekwiwalencji dla sieci

Natomiast wariancja może być wyznaczona z zależności (2) [6].

$$\sigma_{1,n_k}^2 = \mu_{2(1,n_k)} - [\mu_{1(1,n_k)}]^2 \quad (2)$$

Przy czym:

$$\mu_{2(1,n_k)} = \frac{\sigma^2}{\sigma_s^2} W_{1,n_k}(s) \Big|_{s=0} \quad (3)$$

Prawdopodobieństwo oraz działania uwzględniane w sieciach stochastycznych mogą być identyfikowane m.in. dzięki stosowaniu metod zarządzania ryzykiem.

Zarządzanie ryzykiem obejmuje planowanie wraz z kolejnymi fazami analizy ryzyka, ocenę oraz wybór właściwych środków zaradczych. Połączenie zarządzania ryzykiem z procesem podejmowania decyzji wymaga wspólnego planowania oraz kontroli. Celem zarządzania ryzykiem jest przeciwdziałanie jego skutkom [4, 16, 17, 19, 21]. Proces podejmowania decyzji powinien uwzględniać element bezpieczeństwa, który obejmuje wszystkie środki ochrony i obrony, późniejsze usunięcie zakłóceń i błędów w procesie realizacji przyjętego planu. W procesie planowania, identyfikowania i analizowania określonych problemów trzeba zaistniałe problemy zidentyfikować, zbadać ich przyczyny ułożyć w określaną strukturę, aby stworzyć podstawę do wyboru określonego wariantu.

Wiele przedsiębiorstw w swojej działalności wprowadza metody zarządzania ryzykiem (Enterprise Risk Management ERM) integrując informacje o przyszłych zdarzeniach, które mogą pozytywnie bądź negatywnie oddziaływać na prowadzoną działalność z istniejącymi w organizacji procesami. Podejście to wymusza ocenę przyjętej strategii zarządzania organizacją w kontekście przygotowania jej na przyszłe zdarzenia biznesowe [21].

Zarządzanie ryzykiem jest szczególnie istotne dla przedsiębiorstw przemysłu lotniczego motoryzacyjnego oraz związanych z bezpieczeństwem. Również przedsiębiorstwa działające poza tymi branżami coraz częściej wdrażają metody zarządzania ryzykiem.

Ryzyko może dotyczyć np.:

- wyrobu (np. jakości, niezawodności),

- terminu realizacji (np. ryzyko opóźnień),
- zobowiązań finansowych (np. problemy z płynnością finansową),
- wpływu czynników otoczenia (np. powódź).

Zarządzanie ryzykiem wymaga szczegółowego przeanalizowania procesów zachodzących w przedsiębiorstwie. Rejestracja a następnie analiza zakłóceń, które wystąpiły w procesie pozwala na identyfikację przyczyn i zapobieganie skutkom przez wdrożenie odpowiednich działań.

Proces zarządzania ryzykiem polega na: identyfikacji ryzyka, analizie ryzyka, hierarchizacji (ocenie) ryzyka, reakcji na ryzyko polegającej na wdrożeniu odpowiednich działań zapobiegawczych oraz monitorowaniu ryzyka.

W identyfikacji zagrożeń pomaga klasyfikacja ryzyk, która obejmuje istotne kategorie ryzyka dla danej działalności. Powodzenie w identyfikacji ryzyka zależy od zasad wybranej systematyki ryzyka. Kategoryzacja ryzyka pozwala analizować przyczyny powodujące określone ryzyko [5]. Stąd tworzenie kategorii ryzyk ułatwia proces zarządzania ryzykiem.

Z punktu widzenia planowania procesu produkcyjnego na szczególną uwagę zasługuje ryzyko związane z wystąpieniem wad w wyrobie i procesie.

Klasyfikację wad urządzeń można przeprowadzić wg różnych kryteriów. Przykładowo wg kryterium przyczyn i miejsca powstawania można wyróżnić [12]:

- wady projektowe wynikające z błędów projektu konstrukcyjnego lub technologicznego,
- wady technologiczne spowodowane odstępstwami od technologii,
- wady materiałowe.

Wady projektowe mają zazwyczaj charakter chroniczny, natomiast wady technologiczne i materiałowe sporadyczny [12]. Analiza i klasyfikacja wad pozwala na wprowadzanie zmian w konstrukcji wyrobu i/lub procesie produkcyjnym, planowanie zadań kontroli jakości oraz określanie warunków gwarancji.

Analiza ryzyka prowadzi do zrozumienia istoty ryzyka i jest niezbędna w celu oszacowania możliwych skutków oraz prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych ryzyk. Źródła danych w zarządzaniu ryzykiem obejmują:

- dane historyczne dotyczące wcześniejszych realizacji projektów – dane ilościowe,
- wiedzę ekspertów – dane jakościowe.

Ocena ryzyka może być prowadzona z wykorzystaniem analizy tabelarycznej prowadzonej w określonych przedziałach czasu [5]. Określenie prawdopodobieństwa oraz skutków zdarzenia umożliwia ocenę ryzyka wg przyjętej skali a następnie pozwala na klasyfikację ryzyka na akceptowane oraz nieakceptowane, co jest podstawą do zaplanowania reakcji na ryzyko.

Kultura przedsiębiorstwa decyduje o efektywności działania organizacji. Identyfikacja celów oraz określenie apetytu na ryzyko pozwala na przyjęcie strategii postępowania wobec zidentyfikowanych zagrożeń.

Najczęściej stosowane reakcje na ryzyko to:

- unikanie ryzyka, które jest stosowane, gdy istnieją alternatywne równie skuteczne rozwiązania, które są mniej ryzykowne,
- transfer ryzyka, który polega na przeniesieniu odpowiedzialności i konsekwencji na ubezpieczyciela,
- łagodzenie ryzyka polega na zmniejszeniu prawdopodobieństwa oraz skutku jego wystąpienia,



- akceptacja ryzyka, która polega na przyjęciu konsekwencji wynikających z wystąpienia ryzyka.

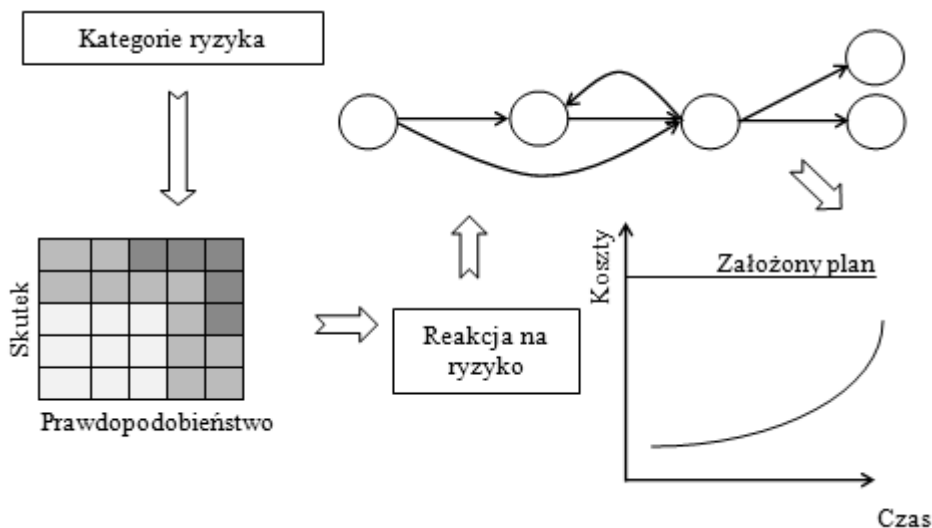
Wyrazem reakcji na ryzyko powinny być odpowiednie rezerwy czasowe i finansowe, lub też zgoda na ograniczenie funkcjonalności wyrobu.

Celem reakcji na ryzyko jest ograniczenie prawdopodobieństwa i/lub skutków zidentyfikowanych ryzyk. Metody wykorzystywane do redukcji i monitorowania ryzyka obejmują m.in. [3]: karty kontrolne, arkusz analityczny, histogram, punktowy diagram korelacji.

Istnieje szereg standardów stosowanych w zarządzaniu ryzykiem [21] np.: Enterprise Risk Management Integrated Framework – COSOII, Australian Standard for risk management (standards Australia, 2004) AS/NZS 4360, Risk Management Standard (AIRMIC, IRM&ALARM, 2002), ISO 31000.

Zintegrowane zarządzanie ryzykiem korporacyjnym wg struktury ramowej COSOII obejmuje m.in. analizę odniesioną do: kultury przedsiębiorstwa, celów, identyfikacji zagrożeń, oceny ryzyka, odpowiedzi na ryzyko, działań kontrolnych, informacji i komunikacji, monitorowania.

Zarządzanie ryzykiem powinno być integralną częścią wszystkich procesów organizacyjnych w przedsiębiorstwie [5]. A zatem przyjęta metodyka planowania zleceń powinna uwzględniać problematykę zarządzania ryzykiem. W harmonogramie realizacji zlecenia mogą znaleźć się działania realizowane w celu wykonania określonego zlecenia oraz działania wynikające z przyjętej strategii zarządzania ryzykiem, np. działania kontrolne, których zadaniem jest ograniczenie występowania określonych kategorii ryzyk. Uwzględnienie w planowaniu sprzężeń zwrotnych pozwala na modelowanie ryzyk rezydualnych oraz zaakceptowanych. Narzędzia pozwalające ograniczyć negatywne skutki ryzyka pozwalają równocześnie wyeliminować lub ograniczyć straty [5]. Powiązanie metodyki zarządzania ryzykiem z metodyką planowania przedsięwzięć zostało przedstawione na rys. 3.



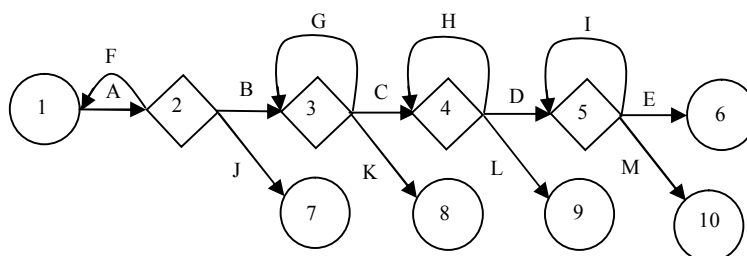
Rys.3. Ryzyko w planowaniu przedsięwzięć [11]

#### 4. Przykład planowania zleceń produkcyjnych z uwzględnieniem ryzyka

Planowanie z uwzględnieniem ryzyka może być wspomagane metodą GERT [11] - przebieg prac przygotowania produkcji przekładni zębatej z uwzględnieniem możliwych zakłóceń zamodelowano stosując graf przepływu (rys. 4). W modelu uwzględniono etapy przygotowania produkcji oraz wybrane czynniki ryzyka. Dane zostały zamieszczone w tab. 3.

Tab. 3. Zadania przygotowania produkcji oraz wybrane czynniki ryzyka

Etap	Opis	Prawdopodobieństwo	MGF M(s)	Transmitancja
A	Opracowanie oferty – założenia projektowe	1	$e^{12s}$	$e^{12s}$
B	Wykonanie dokumentacji konstrukcyjnej	1	$e^{20s}$	$e^{20s}$
C	Opracowanie dokumentacji technologicznej	0,99	$e^{10s}$	$0,99 e^{10s}$
D	Wytwarzanie	0,9	$e^{74,46s}$	$0,9 e^{74,46s}$
E	Testy	1	$e^{8s}$	$e^{8s}$
F	Ponowne przygotowanie oferty	0,01	$e^{2s}$	$0,01 e^{2s}$
G	Poprawa dokumentacji konstrukcyjnej	0,01	$e^{12s}$	$0,01 e^{12s}$
H	Poprawa dokumentacji technologicznej	0,01	$e^{2s}$	$0,01 e^{2s}$
I	Poprawa wyrobu	0,01	$e^{8s}$	$0,01 e^{8s}$
J	Nie przyjęcie oferty przez klienta	0,01	$e^s$	$0,01 e^s$
K	Rezygnacja z kontynuowania projektu	0,01	$e^s$	$0,01 e^s$
L	Rezygnacja z kontynuowania projektu	0,01	$e^s$	$0,01 e^s$
M	Rezygnacja z kontynuowania projektu	0,01	$e^s$	$0,01 e^s$



Rys. 4. Przebieg prac przygotowania produkcji – metoda GERT

Funkcja ekwiwalencji dla sieci przedstawionej na rys. 4 ma postać przedstawioną za pomocą zależności (4).

$$W_{1-6} = \frac{W_A \cdot W_B \cdot W_C \cdot W_D \cdot W_E}{(1 - W_A \cdot W_F) \cdot (1 - W_G) \cdot (1 - W_H) \cdot (1 - W_I)} \quad (4)$$

$$W_i = p_i \cdot M_i \quad (5)$$

gdzie:  $W_i$  – transmitancja i-tego łuku

$p_i$  – prawdopodobieństwo i-tego łuku

$M_i$  – funkcja generująca pracochłonność realizacji i-tego etapu

Na podstawie tab. 3 oraz funkcji (4) oraz (5) można wyznaczyć prawdopodobieństwo zrealizowania projektu zgodnie ze wzorem (6).

$$W_{1-6} = \frac{e^{12s} \cdot e^{20s} \cdot 0,99 \cdot e^{10s} \cdot 0,9 \cdot e^{74,46s} \cdot e^{8s}}{(1 - 0,01 \cdot e^{2s} \cdot e^{12s}) \cdot (1 - 0,01 \cdot e^{12s}) \cdot (1 - 0,01 \cdot e^{2s}) \cdot (1 - 0,01 \cdot e^{8s})} \quad (6)$$

$$W_{1-6} = 0,928$$

$$\mu_{1(1,6)} = \frac{\sigma}{\sigma_s} W_{1,6}(s) \Big|_{s=0} \quad (7)$$

Oczekiwany czas realizacji projektu wyznaczony ze wzoru (7) wynosi 116,281 [godz].

## 5. Wnioski

Spośród wielu metod wspomagających planowanie, metoda GERT pozwala na modelowanie sprzężeń zwrotnych, których możliwość realizacji jest określana poprzez ocenę prawdopodobieństwa ich wystąpienia. Przedstawiony w artykule przykład pokazuje możliwości jakie daje metoda GERT w planowaniu zleceń z uwzględnieniem ryzyka.

## Literatura

1. Ignasiak E.: Teoria grafów i planowanie sieciowe. PWE, Warszawa 1982.
2. Ignasiak E.: Badania operacyjne. PWE, Warszawa 1996.
3. Jasińska J., Pokora W.: Przegląd metod zarządzania ryzykiem. Materiały z seminarium: Zarządzanie ryzykiem, Ryzyko w działaniach biznesowych, Polskie Forum ISO 9000, Niepołomice 2011.
4. Kaczmarczyk T.: Ryzyko i zarządzanie ryzykiem. Difin, Warszawa 2005.
5. Kaczmarczyk T.: Zarządzanie ryzykiem. Ujęcie interdyscyplinarne, Difin, Warszawa, 2010.
6. Kukuła K.: Badania operacyjne w przykładach i zadaniach. PWN, Warszawa 2004.
7. Kutschenreiter-Praszkiewicz I.: Redukcja rozmytych grafów przedsięwzięć. Badania Operacyjne i Decyzje, 3-4(2007), 111-119.

8. Kutschenreiter-Praszkiewicz I.: Problematyka ryzyka w planowaniu realizacji zleceń produkcyjnych [w]: monografia pod red. Józefa Matuszka: Metody i techniki zarządzania w inżynierii produkcji, Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała 2009.
9. Kutschenreiter-Praszkiewicz I.: Wybrane problemy zarządzania procesami projektowymi. Monografia pod red. Józefa Matuszka: Metody i Techniki zarządzania w Inżynierii Produkcji, Wydawnictwo Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała 2006.
10. Kutschenreiter-Praszkiewicz I.: Metodologia planowania przebiegu prac technicznego przygotowania produkcji elementów maszyn. Praca doktorska, Politechnika Łódzka Filia w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała 2000.
11. Kutschenreiter-Praszkiewicz I.: Systemy bazujące na wiedzy w technicznym przygotowaniu produkcji części maszyn. WN Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, Ser. Rozprawy Naukowe, Nr 42, 2012.
12. Migdalski J.: Inżynieria niezawodności. ZETOM, Warszawa 1992.
13. Muhlemann A., Oakland J., Lockyer K.: Production and operations management. Pitman Publishing, London 1992.
14. Nasierowski W.: Metoda GERT, Przegląd Organizacji, 2(1978), 70-76.
15. Nasierowski W.: Zarządzanie rozwojem techniki. POLTEXT, Warszawa 1997.
16. Nataraj M., Arunachalam V.P., Ranganathan G.: Using risk analysis and Taguchi's method to find optimal conditions of design parameters: a case study. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 27(2006), 445-454.
17. Pohl B., Piotrowski W., Wieczorowski K.: Niektóre aspekty ryzyka i niepewności w projektowaniu procesów technologicznych kół zębatych. Materiały konferencyjne: Koła Zębate KZ'2000, Poznań 2000.
18. Priisker A.: GERT: graphical evaluation and review technique. National Aeronautics and Space Administration. Memorandum RM-4973 NASA, The RAND Corporation Santa Monica California 1966.
19. Sienkiewicz P.: Analiza ryzyka w zarządzaniu projektami systemów. Problemy Techniki Uzbrojenia, Zeszyt 95, Wojskowy Instytut techniczny Uzbrojenia w Zielonce 2005.
20. Trzaskalik T.: Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem. PWE, Warszawa 2003.
21. Zastawa M.: Zintegrowane Zarządzanie Ryzykiem. V Konferencja nt. Systemów Zarządzania w Energetyce, Strategie Zarządzania Ryzykiem, Szczyrk 2007.

Dr hab. inż. Izabela KUTSCHENREITER-PRASZKIEWICZ  
 Katedra Inżynierii Produkcji  
 Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej  
 43-300 Bielsko-Biała, ul. Willowa 2  
 tel./fax: (0-33) 827 92 82  
 e-mail: ipraszkiewicz@ath.bielsko.pl