

Adam Muszyński

Metody analizy sieci zależności w planowaniu i kontroli pracy

Problemy Profesjologii nr 2, 95-105

2006

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

Adam Muszyński

METODY ANALIZY SIECI ZALEŻNOŚCI W PLANOWANIU I KONTROLI PRACY

Streszczenie

W artykule przedstawiono metody analizy sieci zależności jako jedne z technik usprawniające proces organizacji pracy i służące racjonalnemu gospodarowaniu zasobami. Omówiono najważniejsze pojęcia związane z planowaniem i kontrolą pracy metodami analizy sieci zależności tj. czynność i zdarzenie oraz zasady budowy sieci i wymogi formalne niezbędne do jej konstruowania. Zaprezentowano najważniejsze metody analizy sieci zależności (CPM i PERT) i możliwości ich zastosowań. Dokonano oceny metod i technik analizy sieci zależności w planowaniu i kontroli pracy oraz ich przydatności w realizacji różnych przedsięwzięć.

ANALYSIS METHODS IN THE NETWORK OF DEPENDENCY WITHIN THE PLANNING AND CONTROL OF LABOUR

Summary

There were presented in this article analysis methods in the network of dependency as one of the techniques which improve the process of labour organization and serve a purpose of rational funds management. The article discusses the most important notions connected with planning and control of labour, using analysis methods in the network of dependency which is the activity and the event together with the principles of network's structure and formal requirements necessary for its construction.

The paper presents the most important analysis methods in the network of dependency such as CPM and PERT and possibilities of their application. It also estimates methods and techniques of network dependency within the planning and control of labour together with their usefulness in the realization of different kinds of undertakings.

Metody analizy sieci zależności w planowaniu i kontroli pracy

W organizacji pracy i produkcji stosuje się różnorodne metody i techniki, mające na celu zapewnienie skutecznego kierowania zarówno poszczególnymi częściami, jak i całą instytucją, dbając jednocześnie o to, aby części te tworzyły zharmonizowany system oraz pracowały sprawnie i wydajnie. Przepływ informacji musi nie tylko pozwalać na zestawianie różnych wskaźników, sporządzenie wykresów, ale również dawać wgląd w całość a zwłaszcza w przebieg produkcji, jej równomierność i rytmiczność, dokładność

planowania itp. Dobra organizacja pracy i produkcji jest gwarancją sukcesu we wszelkiego rodzaju działalności gospodarczej.

Racjonalnemu gospodarowaniu zasobami służą między innymi *metody analizy sieci zależności*, nazywane często metodami sieciowymi. Są one wykorzystywane jako graficzne metody organizacji pracy, zwłaszcza planowania i kontroli pracy. Obejmują całokształt sposobów wyrażania myśli i odwzorowywania rzeczywistości za pomocą obrazów, symboli i znaków, mających umowne znaczenie i przedstawianych najczęściej na płaskiej powierzchni. Metody te są szeroko stosowane przez personel kierowniczy oraz pracowników inżyniersko-technicznych i organizacyjno-ekonomicznych przy obliczaniu, modelowaniu, planowaniu, projektowaniu i przedstawianiu wyników, schematów organizacyjnych, przepływu informacji itp. Sprawne posługiwanie się nimi pozwala na stałą kontrolę przedsięwzięć i ich optymalizację (Muszyński, Żukowski 2007).

Obserwuje się ciągły postęp w poszukiwaniu metod i technik usprawniających procesy organizacji pracy. Można do nich zaliczyć na przykład badania operacyjne. Według W. Sadowskiego (1960, s. 32). „(...) badania operacyjne to grupa metod wywodzących się z różnych dziedzin nauki, a umożliwiających analizę wielu wariantów planu rozpatrywanej operacji i wybranie wariantu najkorzystniejszego”. Istota badań operacyjnych i ich skuteczność polegają na konsekwentnym przyjęciu zasady, że podstawą podjęcia decyzji może być tylko logiczne rozumowanie, zawsze poparte szczegółową obserwacją i dokonaną później metodyczną analizą. Badania operacyjne ściśle wiążą się z prowadzeniem działalności gospodarczej, a ich celem jest m.in. rozwijanie metod umożliwiających podejmowanie optymalnych decyzji gospodarczych i wybór najlepszych kierunków działania. Jako grupa metod objętych nazwą *badania operacyjne* powstały metody analizy sieci zależności (harmonogramy sieciowe).

Podstawy metod analizy sieci zależności opracowano pod koniec lat pięćdziesiątych XX wieku w USA. Posługiwanie się tymi metodami polega na przeprowadzeniu dwóch odrębnych, lecz ściśle powiązanych ze sobą grup prac:

- ustaleniu programu działania, tj. określenia co, gdzie i w jakiej kolejności ma być wykonane oraz sporządzenia sieci czynności,
- określeniu terminów rozpoczęcia i ukończenia poszczególnych czynności oraz czasu wykonania całego programu.

Podstawowymi pojęciami w planowaniu i kontroli pracy metodami analizy sieci zależności są *czynność* i *zdarzenie*. Sieć czynności (zależności) przedstawia określony model przebiegu prac, zależności i ograniczenia zawarte w programie działania w postaci grafu. Zasady budowy sieci zależności są opisane w literaturze przedmiotu, jednak umiejętność jej sporządzania zdobywa się tylko w praktyce (Bładowski 1970, Korzan 1978). Przy konstruowaniu sieci zależności należy pamiętać o tym, że dotyczy ona kon-

kretnych warunków wykonania, ze wszystkimi konsekwencjami przyjętych założeń techniczno-technologicznych i organizacyjno-ekonomicznych. Przed budową sieci wskazane jest przygotowanie pisemnego opisu planowanego przedsięwzięcia w celu jasnego sprecyzowania zamierzeń. Wielkość sieci, liczba czynności i stopień trudności powiązań i zależności powinny być dopasowane do rozmiaru prac, stosowanych rozwiązań techniczno-technologicznych i organizacyjnych oraz zakresu podejmowanych na podstawie sporządzanego harmonogramu sieciowego decyzji dotyczących programu (planu) i wykonania przedsięwzięcia oraz kontroli (Połoński 1995).

Koncepcje budowy sieci zależności dzielą się na zorientowane według zdarzeń (jednopunktowe) i czynności (dwupunktowe) (Michnowski 1985). Z uwagi na możliwość modelowania projektowanych rozwiązań wybór rodzaju koncepcji budowy sieci nie ma większego znaczenia, choć w praktyce modele dwupunktowe są bardziej rozpowszechnione (Żukowski 2001). W metodach sieciowych bazujących na teorii sieci dwupunktowych czynności przedstawia się w postaci skierowanych krawędzi grafu ograniczonych zdarzeniami.

Zdarzenie jest elementem określającym fakt rozpoczęcia lub zakończenia czynności. Zdarzenie rozpoczynające daną czynność nazywa się zdarzeniem poprzedzającym, zdarzenie kończące daną czynność zdarzeniem następującym. Zdarzenie poprzedzające, do którego nie dochodzi żadna czynność w sieci zależności, nazywa się zdarzeniem początkowym, zdarzenie następujące, od którego nie odchodzi żadna czynność w sieci zdarzeniem końcowym. Zdarzenie jest momentem ukończenia lub rozpoczęcia jednej lub kilku czynności czyli działań. Przedstawia się je na schemacie sieci zależności jako koło podzielone na cztery części, przy czym liczba umieszczona w górnej części koła (ćwiartce) oznacza numer zdarzenia, liczba w lewej ćwiartce – najwcześniejszy termin zajścia zdarzenia, liczba w prawej ćwiartce najpóźniejszy termin, liczba w dolnej ćwiartce koła – zapas czasu, potrzebny do wykonania danej czynności (działania).

Czynność jest elementem, do wykonania której potrzebne są czas i określone środki czyli zasoby. Oznacza się ją strzałką (grafem), na której podaje się czas trwania czynności (działania). Liczba nad strzałką oznacza zadany lub przewidywany czas trwania czynności. Czynność łączy dwa kolejne zdarzenia i numery tych zdarzeń są identyfikatorami danej czynności w sieci zależności. Dodatkowym elementem konstrukcyjnym sieci zależności są czynności zerowe (nie pochłaniają czasu ani środków, przedstawiają tylko zachodzące powiązania technologiczne i organizacyjne, oznacza się je strzałką przerywaną). W schemacie sieci zależności przyjmuje się, że zdarzenie następujące jednej czynności jest równocześnie zdarzeniem poprzedzającym czynności kolejnej, a więc zakończenie wszystkich czynności zmierzających do danego zdarzenia umożliwia rozpoczęcie czynności wychodzących z tego zdarzenia.

Sieć zależności powinna spełniać kilka wymogów formalnych:

- każde zdarzenie w sieci musi mieć inny numer,
- graf przedstawiający daną sieć zależności musi być acykliczny,
- każde zdarzenie musi być powiązane co najmniej z dwoma innymi zdarzeniami (wyjątek stanowią zdarzenia początkowe i końcowe),
- w sieci może być tylko jedno zdarzenie początkowe i jedno końcowe;
- sieć zależności nie może być multigrafem, tj. nie może być w niej kilku różnych czynności o tych samych numerach zdarzeń poprzedzających i następujących (Połński 1995).

Zdarzenia i czynności tworzą właściwą sieć zależności, która jest graficznym przedstawieniem metody sieciowej. Poprawne zbudowanie sieci zależności jest najważniejszym i jednocześnie najtrudniejszym elementem w tworzeniu metod sieciowych planowania i kontroli pracy (harmonogramów sieciowych). Należy przede wszystkim sporządzić listę wszystkich czynności niezbędnych do realizacji przedsięwzięcia i ustalić konieczne następstwo działań oraz możliwości równoległej ich realizacji. Jednocześnie ustala się, jaka czynność powinna być całkowicie zakończona przed rozpoczęciem danej czynności, jaka czynność może być wykonana równoległe z daną czynnością, jaka czynność może zacząć się dopiero po zakończeniu czynności rozpatrywanej

Od momentu opublikowania założeń teoretycznych sieci czynności (zależności) i dwóch podstawowych metod ich analizy (CPM i PERT) można zaobserwować stały rozwój stosowanych już metod i technik analizy sieci czynności. Następuje on na drodze nowych oryginalnych opracowań lub też w wyniku przejmowania elementów innych metod. Wśród metod sieciowych można wyróżnić:

- metody umożliwiające analizę wyłącznie w zakresie czasu i terminów z zastosowaniem zarówno modeli deterministycznych, jak i probabilistycznych (stochastycznych), są to m.in. metody CPA, PERT, PEP, PET, OPI, GUR, SPU,
- metody umożliwiające analizę czasu, terminów i zasobów z zastosowaniem modeli deterministycznych, metody z tej grupy to CPM, LESS, CPPS, CPT, CPA,
- metody umożliwiające analizę czasu, terminów i zasobów z zastosowaniem modeli probabilistycznych, zalicza się do nich m.in. PERT – COST, PERT CO, SUPER PERT CO, PAR,
- metody umożliwiające analizę czasu, terminów i zasobów wielu przedsięwzięć realizowanych równocześnie, są to m.in. metody RAMPS, RPSM, SCANS, APPRAISE, SPRAT, IMPACT, SPERT,
- metody umożliwiające analizę modeli o alternatywnych rozwiązaniach, zaliczyć tu należy przede wszystkim uogólnioną metodę PERT, tzw. programowanie i planowanie na podstawie punktów decyzyjnych (Pawłowski 1966).

Jako główne rodzaje metod analizy sieci zależności wymienia się przede wszystkim metody CPM i PERT z odpowiednimi ich modyfikacjami. Metoda PERT jest szczególnie efektywna podczas analizy przedsięwzięć jednorazowych, zwłaszcza o charakterze prototypowym. Jest to jednak metoda uboga, ponieważ poza wieloma istotnymi parametrami i cechami odzwierciedla tylko czasu.

Opracowanie metody sieciowej CPM miało na celu ujęcie, oprócz czasu, także kosztowej strony przedsięwzięcia. Integralną częścią oryginalnej metody CPM (metody drogi krytycznej) jest optymalizacja układu: czas trwania przedsięwzięcia – całkowite koszty jego realizacji. Zgodnie z założeniami CPM czas trwania przedsięwzięcia, obliczony za pomocą analizy sieci, czynności wynikający z czasu trwania poszczególnych działań, z tzw. ścieżki krytycznej, przyjmuje się czas *normalny*, na podstawie tzw. normalnej oceny czasu trwania działań. Ponadto przyjmuje się, że wykonanie działania w normalnym czasie związane jest z najniższymi kosztami bezpośrednimi. Czynności o niewielkim zapasie czasu na ich wykonanie uważa się za czynności podkrytyczne i zalicza się je do sfery krytycznej, gdyż przy opóźnieniach terminów stają się one czynnościami krytycznymi (Nowicki 1974, Połoński 1995, Żukowski 2001).

Znaczenie drogi krytycznej ujawnia się już przy planowaniu danego przedsięwzięcia. Pozwala ona wyodrębnić z ogółu działań te, które mają decydujący wpływ na pomyślne ukończenie przedsięwzięcia w terminie ustalonym w sposób logiczny i uzasadniony pod względem techniczno-ekonomicznym. Znajomość drogi i strefy krytycznej pozwala także kierownictwu na racjonalne przygotowanie odpowiednich rezerw – wykwalifikowanego personelu, rezerwowych maszyn, urządzeń, zapasów części zamiennych, materiałów, półfabrykatów itp.

Znaczenie drogi krytycznej przejawia się również w toku kontroli realizacji przedsięwzięcia. Sieć czynności pozwala otrzymywać na bieżąco obraz realizacji planu całego przedsięwzięcia i aktualizować go, zachowując zawsze przemyślaną, wnikliwie przeanalizowaną i zatwierdzoną jego organizację. Aktualizacja sieci czynności polega na wprowadzeniu do niej informacji o rzeczywistym czasie przebiegu poszczególnych czynności podczas realizacji danego przedsięwzięcia. W przypadku przekroczenia określonych zapasów czasu, w związku z powstałymi zakłóceniami w przebiegu czynności niekrytycznych, może wytworzyć się w sieci czynności nowa droga krytyczna. Sytuacja taka w praktyce powoduje nie tylko zmianę terminu wykonania całego przedsięwzięcia, lecz także konieczność przesunięcia rezerw lub zwiększenia zapasów, np. zwiększenia liczby związanych z danym działaniem środków pracy, liczby wykonawców i innych zasobów (Muszyński, Żukowski 2007).

Metody analizy sieci czynności stosuje się w planowaniu i kontroli szczególnie trudnych i skomplikowanych przedsięwzięć techniczno-organizacyjnych. W Polsce

pierwsze prace z zakresu praktycznego stosowania metod sieciowych podjęto w latach sześćdziesiątych XX wieku w przemyśle okrętowym, wykorzystano je także przy przeprowadzaniu remontu wielkiego pieca w Nowej Hucie.

W literaturze przedmiotu mówi się o kilku sferach działalności, w których zastosowanie metod analizy sieci czynności jest szczególnie korzystne.

Wymienia się tu przede wszystkim *przygotowywanie i prowadzenie skomplikowanych, długotrwałych prac badawczych i wdrożeniowych, przygotowanie i uruchamianie produkcji urządzeń prototypowych* (opracowywanie dokumentacji projektowo-kosztorysowej, kontraktowej i konstrukcyjnej, opracowywanie dokumentacji technologicznej i warsztatowej, koordynację dostaw materiałów i urządzeń, budowę urządzenia, próby zdawczo-odbiorcze, rozruch i przekazywanie do eksploatacji), *planowanie produkcji jednostkowej* (planowanie i koordynację niektórych odcinków prac, planowanie wszystkich przedsięwzięć realizowanych równocześnie, inwestycje i remonty, programowanie inwestycji, planowanie generalnych założeń rozwoju i modernizacji zakładów, budowę dużych obiektów inwestycyjnych, eksport kompletnych obiektów inwestycyjnych, kapitalne remonty, modernizacje zakładów), *działalność organizatorską* (zmianę asortymentu produkcji, przygotowywanie i wdrożenie zmian organizacyjnych (reorganizacje zakładów, zmiany systemów płac, metod planowania), wprowadzanie zintegrowanych systemów przetwarzania informacji, przygotowywanie konferencji, zjazdów, dużych uroczystości (Pawłowski 1966, s. 127-128).

Ze względu na istotne różnice występujące między metodami analizy sieci zależności należy zwrócić uwagę na najbardziej celowe ich zastosowanie:

- metodę CPA stosuje się do planowania operatywnego i kontroli przebiegu realizacji przedsięwzięć, w których większość elementów jest już znana,
- metodę CPM stosuje się tam, gdzie istnieje potrzeba odpowiedniego ścisłego wiązania czasu trwania czynności z kosztem realizacji przedsięwzięcia i ustalenia najkorzystniejszego cyklu realizacji,
- metodę PERT stosuje się głównie do planowania i kontroli nowych nie znanych jeszcze przedsięwzięć, zawierających elementy niepewności, niemożliwości deterministycznej oceny czasu,
- uogólnioną metodę PERT stosuje się przy planowaniu badań charakteryzujących się wielowariantowym przebiegiem procesu realizacji,
- metodę RAMPS stosuje się do skomplikowanych zamierzeń, złożonych z kilku czy kilkunastu różnych przedsięwzięć, gdy trzeba ustalić dla nich prawidłowe priorytety, równomierny rozdział zasobów (Pawłowski 1966).

Stosowanie w danym przedsięwzięciu metody analizy sieci czynności wymaga wyraźnie określonego terminu rozpoczęcia. Pożądane jest, aby był to termin w niedalekiej

przyszłości, korzystne może być także zastosowanie omawianych metod do przedsięwzięć już rozpoczętych, będących w toku realizacji. Metody sieciowe mogą być stosowane do przedsięwzięć przedstawionych za pomocą sieci małej i średniej wielkości, bez pomocy elektronicznych maszyn liczących. Bardziej rozwinięte metody analizy sieci zależności wymagają na ogół współpracy z ośrodkami obliczeniowymi, dysponującymi komputerami o dużej pamięci wewnętrznej oraz odpowiednimi programami przetwarzania danych lub będącymi w stanie takie programy opracować i wdrożyć.

Zakres zastosowania metod sieciowych może obejmować prace inwestycyjne, jednostkowe prace produkcyjne, prace remontowo-konstrukcyjne. Z pozatechnicznych zastosowań omawianych metod można wymienić organizację wielkich imprez sportowych, konferencji naukowych, zjazdów itp. Ta rozległość zastosowań metod sieciowych wynika głównie z względnie prostych zasad ich budowy i wysokiej efektywności.

Możliwości różnorodnych zastosowań metod sieciowych, a także fakt, że nie są znane wszystkie ich rezultaty, utrudnia ich analizę i ocenę. O. Pawłowski (1966) podkreśla przede wszystkim zalety samej sieci czynności jako nowej metody graficznego przedstawiania dowolnych procesów. Według autora umożliwia ona jednoznaczny, czytelny i łatwy zapis planu realizacji przedsięwzięć dla dowolnego poziomu kierowania z określoną dokładnością oraz precyzyjne ustalenie powiązań koordynacyjnych między poszczególnymi wykonawcami.

Ocena omawianych metod jest bardziej korzystna, gdy do analizy sieci czynności zastosuje się inną metodę planowania i kontroli. Można wówczas stwierdzić, że zastosowane metody analizy sieci zależności:

- są proste i nie wymagają od użytkowników specjalnego przygotowania,
- nie wymagają zbierania dodatkowych informacji lub danych statystycznych, poza tymi, które w każdej organizacji są zbierane,
- zmuszają do realnego planowania,
- ułatwiają ściśle sprecyzowanie zadań poszczególnych poziomów kierowania, a także produkcji lub usług oraz ocenę ich obciążenia,
- ułatwiają wcześniejsze sprecyzowanie zadań dla dowolnej organizacyjnej jednostki kontrolnej,
- dają kierownictwu ściśle informacje o charakterze profilaktycznym, umożliwiające podjęcie decyzji zabezpieczających prawidłowy przebieg realizacji przedsięwzięcia,
- umożliwiają określenie wyprzedzenia dostaw materiałów (półfabrykatów) w ramach kooperacji, co daje znaczne zmniejszenie zamrożenia środków obrotowych,
- umożliwiają najbardziej efektywne wykorzystanie zasobów (środków) związanych z realizacją przedsięwzięcia,

- ułatwiają aktualizację planów produkcji (usług) oraz umożliwiają dostarczanie precyzyjnych harmonogramów sieciowych dla wszystkich poziomów kierowania,
- pozwalają na skoncentrowanie się wyłącznie na czynnościach lub strefie krytycznej (Muszyński, Żukowski 2007).

Ponadto wykorzystanie metod sieciowych w praktyce zgodnie z ich przeznaczeniem stwarza możliwości realizacji przedsięwzięć według najbardziej ekonomicznych wariantów w odniesieniu do założonych lub wymuszonych sytuacji, zmniejszenia zamrożenia środków obrotowych, skrócenia cykli produkcyjnych, lepszego wykorzystania środków dodatkowych, wykrycia rezerw produkcyjnych, zwiększenia rytmiczności produkcji.

Oprócz wielu zalet, metody sieciowe mają również wady. A. Idźkiewicz (1967) nazywa je raczej problemami i trudnościami pojawiającymi się we wdrażaniu metod sieciowych do praktyki. Analiza sieci czynności nie jest systemem automatycznym i nie zastępuje decyzji kierowniczej. Jej zadaniem jest przygotowanie i dostarczenie informacji do podjęcia właściwej decyzji. Metody te kolidują z ustalonymi tradycyjnymi schematami organizacji pracy. Traktują one zrealizowane przedsięwzięcie jako układ zintegrowany, odchodzą zatem od tradycyjnej struktury pionowej, a stymulują poziomą współpracę i koordynację na niższych poziomach kierowania. Zdaniem O. Pawłowskiego (1966) metody analizy sieci czynności nie rozwiązują wszystkich problemów związanych z planowaniem i kontrolą pracy, nie można ich stosować do kontroli procesów ciągłych, planowania, produkcji wielkoseryjnej czy masowej ani do analizy dużych sieci (np. dla dużych przedsięwzięć), które muszą być przeprowadzone z użyciem komputerów o wielkiej mocy, co stwarza pewne ograniczenia.

Metody sporządzania i analizy sieci czynności, służące do planowania i kontroli pracy, pełnią jednak ważną rolę w usprawnianiu działalności jednostek organizacyjnych, zwłaszcza w sferze produkcyjnej, remontowej, a także inwestycyjnej. Umożliwiają optymalizację tej działalności (przez budowanie modeli oraz odpowiednią analizę czasu i środków), a tym samym racjonalne gospodarowanie posiadanymi zasobami. Są również narzędziem efektywnego planowania i kontroli pracy, pozwalającym na osiąganie korzystnych wyników z danych nakładów lub osiąganie danego wyniku przy minimalnym zużyciu środków (zasobów).

Analizując rozwój badań nad doskonaleniem metod planowania i kontroli pracy, bazujących na modelach sieciowych, obserwuje się coraz bardziej dojrzałe próby uwzględniania elementów losowych. Pierwsza opracowana metoda służąca do analizy harmonogramów sieciowych w funkcji czasu (CPM) ujmuje czas wykonania każdej czynności (grup czynności) jako wartość deterministyczną, natomiast wszystkie następne postacie rozszerzenia tej metody pozwalają na wprowadzanie danych odwzorowujących probabilistyczny (stochastyczny) charakter procesu planowania. W metodzie PERT dopuszczono

deklarowanie trzech ocen czasu wykonania poszczególnych czynności, co pozwala na obliczenie prawdopodobieństwa dotrzymania terminów realizacji poszczególnych czynności i całego przedsięwzięcia techniczno-organizacyjnego. Jest to postępowanie w stosunku do metody CPM, jednak założenie o stochastycznej niezależności pojedynczych czynności i ich poszczególnych ciągów znacznie upraszcza sposób prowadzenia obliczeń i zmniejsza wiarygodność otrzymanych wyników. Podjęto więc próby wyznaczenia i wprowadzenia do obliczeń rozkładu czasu zdarzenia, w którym zbiegają się dwie lub więcej czynności. Zaproponowana przez Clarka metoda obliczeń rozwiązała wprawdzie to zagadnienie, jednak ze względu na duże trudności w obliczeniach nie przyjęła się w praktyce (Kasprzak 1974, Żukowski 2006).

Inną próbą zwiększenia pewności planowania sieciowego jest propozycja obliczania niezawodności harmonogramu sieciowego (Jaworski 1980). W klasycznej metodzie PERT za najważniejszy zbiór działań przyjmuje się ścieżkę krytyczną, jednak nie rozpatruje się pewności wykonania ani poszczególnych czynności, ani też całego programu sieciowego w wyznaczonych terminach. Dzięki zdefiniowaniu pojęcia niezawodności programów sieciowych możliwe stało się wyznaczenie ciągu czynności decydującego o dotrzymaniu terminu końcowego w sieci zależności oraz obliczenie najkorzystniejszego, z punktu widzenia niezawodności, cyklu budowy. Ponieważ niezawodny cykl realizacji obiektu jest dłuższy od okresu obliczonego w tradycyjnej analizie czasu, zbudowano algorytm rozdziału rezerwy czasu, w celu podniesienia niezawodności dotrzymania terminu cyklu budowy. Przeanalizowano również czynniki, które podnoszą lub obniżają pewność dotrzymania planowanych terminów takie jak wielkość projektowanego przedsięwzięcia, dostępność środków produkcji czy metoda organizacji budowy.

Jednym z zarzutów, dotyczących klasycznej metody PERT, jest sposób określania czasu trwania czynności. Próbą odmiennego sposobu definiowania tego czasu jest metoda bazująca na teorii zbiorów rozmytych, która pozwala na stopniowanie prawdy i fałszu. W logice dwuwartościowej zmienne logiczne przyjmują wartości 0 lub 1, natomiast funkcje logiczne „or”, „and” i „not” zwracają w wyniku swoich operacji wartości 0 lub 1. W logice „rozmytej” zmienne i funkcje logiczne przyjmują wartości z przedziału [0...1]. W proponowanej metodzie model czasu realizacji czynności jest określony jako relacja „rozmyta” w pewnym zbiorze możliwych terminów (Chanas, Radomiński 1976). Udział danego elementu w zbiorze wartości rozmytych określa tzw. funkcja uczestnictwa (przynależności). W takim przypadku termin zakończenia czynności nie wiąże się ściśle z jakimś konkretnym punktem czasowym, lecz mieści się w pewnym przedziale. Rozmycie jest tym większe, im mniej precyzyjne są szacowania czasu trwania poszczególnych czynności. W świetle prowadzonych badań dotyczących zastosowań w praktyce inżynierskiej teorii zbiorów rozmytych do opisu i badań zjawisk, w których inny model ma-

tematyczny musiałby być bardzo rozbudowany (Basztura 1994), wydaje się, że to podejście może w przyszłości znaleźć szerokie zastosowanie w planowaniu sieciowym, zwłaszcza w analizie środków (zasobów), przy zachowaniu narzuconych ograniczeń w ich dostępności.

Znaczny postęp nastąpił również w technikach konstruowania sieci zależności. Nowsze systemy, bazujące na sieciach jednopunktowych, dopuszczają definiowanie alternatywnych powiązań między rozpatrywanymi czynnościami (Połoński 1995, s. 25, ryc. 5). Dodatkowo w systemach tych możliwe jest określanie czasów nakładania się czynności lub wymaganych przerw między ich wykonaniem. Taki sposób ustalania połączeń między czynnościami zwiększa elastyczność konstruowanej sieci, lecz często też komplikuje i usztywnia analizę środków oraz powoduje trudności w interpretacji uzyskanych wyników obliczeń. Operując tylko połączeniem typu SF (ang. *Start to Finish* – przestawienie kolejności wykonania zadań) oraz stosując czynności zerowe, można wymodelować dowolny układ sprzężeń między czynnościami, przy czym wyniki analiz nie są trudne do interpretacji. Jediną wadą takiego rozwiązania jest ewentualne zwiększenie liczby czynności w sieci zależności.

Badania struktury sieci zależności doprowadziły do znacznego rozszerzenia definicji zdarzenia. W tradycyjnym ujęciu zakończenie wszystkich czynności, zmierzających do realizacji zadania, umożliwiało rozpoczęcie wszystkich działań wychodzących z niego. W nowym ujęciu rozdzielono wejście do zdarzenia od wyjścia. Wprowadzono również możliwość rozpoczynania pewnego podzbioru czynności w zależności od zakończenia tylko części działań dochodzących do zdarzenia, to znaczy zdefiniowano zdarzenie o charakterze probabilistycznym (Michnowski 1985). Dzięki temu umożliwiono wprowadzanie do sieci czynności ciągów wielowariantowych i alternatywnych oraz sprzężeń zwrotnych (np. powtarzania pewnych prac ze względu na złą jakość ich wykonania). W metodzie GERT, w której najpełniej zastosowano opisane rozwiązania, wprowadzono dodatkowo definiowanie czasu trwania czynności na podstawie kilkunastu rozkładów prawdopodobieństwa. Tak elastyczny sposób modelowania obiektu wyeliminował wiele wad pierwotnej metody PERT i znacznie zwiększył wiarygodność prowadzonych na jej podstawie obliczeń. Jednocześnie skomplikował jednak proces zbierania danych, projektowania sieci zależności, a przede wszystkim zwiokrotnił wymagania dotyczące programów i sprzętu, dzięki którym mogą być wykonywane obliczenia. Wydaje się, że w praktyce inżynierskiej i organizatorskiej tak zaawansowane metody nie znajdują powszechnego zastosowania. Warto zaznaczyć, że pierwsze wdrożenia metody PERT dotyczyły bardzo rozbudowanych projektów wojskowych, z czasem postęp w zakresie badań operacyjnych, elektroniki i techniki komputerowej pozwolił na zaadapto-

wanie ich do planowania i kontroli realizacji małych i średnich przedsięwzięć technicznych, technologicznych i organizacyjnych (Połoński 1995, s. 22-26).

Literatura

- Basztura Cz., *Nic bój się logiki rozmytej*, Enter 1994, 10.
- Bładowski S., *Metody sieciowe w planowaniu i organizacji pracy*, PWE, Warszawa 1970.
- Chanas S., Radośniński E., *Model czasu realizacji czynności w świetle teorii zbiorów rozmytych*, Problemy Organizacji 1976, nr 3.
- Idźkiewicz A., *PERT – metody analizy sieciowej*, PWN, Warszawa 1967.
- Jaworski K. M., *Projektowanie realizacji budowy według kryterium niezawodności*, PWE, Warszawa 1980.
- Kasprzak T., *Badania operacyjne w nowoczesnym zarządzaniu*, PWE, Warszawa 1974.
- Korzan B., *Elementy teorii grafów i sieci. Metody i zastosowania*, WNT, Warszawa 1978.
- Michnowski Z. i in., *Podstawy organizacji zarządzania i technologii w budownictwie*, Arkady, Warszawa 1985.
- Muszyński A., Żukowski P., *Podstawy organizacji pracy* Wydawnictwo Wyższej Szkoły Zarządzania w Opolu, Opole 2007.
- Pawłowski O., *PERT, CPA, CPM – siatki czynności i ich analiza*, PWE, Warszawa 1966.
- Połoński M., *Planowanie realizacji inwestycji melioracyjnych w funkcji czasu i środków na podstawie harmonogramów sieciowych*, SGGW, Warszawa 1995.
- Sadowski W., *Teoria podejmowania decyzji. Wstęp do badań operacyjnych*, PWG, Warszawa 1960.
- Żukowski P., *Podstawowe metody i techniki organizacji i zarządzania. Style kierowania*, WSDG, Warszawa 2001.
- Żukowski P., *Podstawy nauk o zarządzaniu*, Oficyna Wydawnicza PRz, Rzeszów 2006.

Rec. I. Korcz