

**Anna GRZEŚ<sup>1</sup>**

## **WYKRES GANTTA A METODA ŚCIEŻKI KRYTYCZNEJ (CPM)**

### **Streszczenie**

O sprawności i skuteczności każdej organizacji decyduje umiejętność zarządzania szeregiem rutynowych oraz nowych procesów i zadań. Stąd grupa nowych lub zmodyfikowanych przedsięwzięć wymaga przede wszystkim zastosowania metod ułatwiających zarządzanie nimi i umożliwiających zakończenie ich realizacji w wyznaczonym terminie. W zarządzaniu niezbyt dużymi i niezbyt czasochłonnymi projektami, w szczególności na etapach planowania struktury, planowania przebiegu oraz planowania zasobów, często są wykorzystywane klasyczne wykresy Gantta umożliwiające zaplanowanie, a następnie kontrolowanie przebiegu realizacji danego przedsięwzięcia. Podobne wyniki dostarcza metoda ścieżki krytycznej (Critical Path Method – CPM), która jest mniej popularna w praktyce gospodarczej polskich podmiotów. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wspólnych elementów wykresów Gantta i CPM oraz ocena ich ograniczeń i korzyści w zarządzaniu przedsięwzięciami.

Analiza przykładowego zestawu czynności składających się na dane przedsięwzięcie pokazała, że wykres Gantta i metoda ścieżki krytycznej (CPM) wzajemnie się uzupełniają i jest uzasadnione stosowanie w praktyce tych obu metod jednocześnie. Dodatkowo zauważa się, że w wyznaczaniu ścieżki krytycznej przedsięwzięcia, w którym kilka czynności jest realizowanych w tym samym czasie, przewagę zyskuje CPM.

**Słowa kluczowe:** wykresy Gantta, metoda ścieżki krytycznej (CPM), przedsięwzięcie

## **GANTT CHART AND CRITICAL PATH METHOD**

### **Summary**

The efficiency of each organisation is determined by its ability to manage a range of both traditional and new processes and tasks. Therefore, especially new or modified projects require the use of methods that aid management and allow for a timely completion. In the management of not very large and not very time-consuming projects, particularly in the stages involving the planning of the structure, course planning and resource planning, classic Gantt charts are often used since they facilitate the planning and monitoring of project implementation. Similar results can be received by means of the Critical Path Method (CPM), which is less common in the practice of Polish business entities. The aim of this paper is to present the elements that the two methods have in common, and to assess their limitations and benefits for project management.

Analysis of a sample set of actions comprising the project shows that the Gantt chart and the CPM are complementary and it is recommended that these two methods are used simultaneously. In addition, it is noted that when several activities are carried out at the same time, the CPM is capable of defining the critical path in a more precise way than Gantt Charts.

**Key words:** Gantt charts, Critical Path Method, project

---

<sup>1</sup> Dr Anna Grześ – Wydział Ekonomii i Zarządzania, Uniwersytet w Białymstoku; e-mail: agrzes@uwb.edu.pl.

## 1. Wstęp

Na działalność każdej organizacji składa się szereg różnych, mniej lub bardziej złożonych i zróżnicowanych czasowo procesów, które decydują o efektywności jej funkcjonowania. Część z nich to przedsięwzięcia składające się z rutynowych i powtarzających się w określonych odstępach czasu zadań. Drugą część stanowią nowe, realizowane po raz pierwszy oraz istniejące, ale zmodyfikowane zadania i procesy, które określa się jako projekty. Szczególnie projekt wymaga zazwyczaj zastosowania pewnych metod ułatwiających zarządzanie nimi i umożliwiających zakończenie ich realizacji w wyznaczonym czasie.

W ujęciu definicyjnym projekty są *sekwencją niepowtarzalnych, złożonych i związanych ze sobą zadań, mających wspólny cel, przeznaczonych do realizacji w określonymi terminie bez przekraczania ustalonego budżetu, zgodnie z założonymi wymaganiami* [Wysocki, McGary, 2005, s. 47]. Z definicji tej wynika, że zazwyczaj na projekt składa się co najmniej kilka zadań, które charakteryzują się określonymi cechami, takimi jak: sekwencja, niepowtarzalność, złożoność i powiązanie działań, konkretny cel oraz terminowość jego zakończenia. Sekwencja działań oznacza, że dane przedsięwzięcie składa się z czynności, które muszą być wykonane w określonej kolejności. Kolejna czynność nie może rozpocząć się dopóki czynność/czynności ją poprzedzająca/-e nie zakończą się. Sekwencja działań jest uwarunkowana posiadanymi, niezbędnymi do realizacji danej czynności nakładami (technicznymi, rzeczowymi, ludzkimi) i rezultatami osiąganymi w wyniku jej wykonania. Zazwyczaj projekt składa się z szeregu złożonych, powiązanych ze sobą logicznie (technicznie) działań. Takim działaniem jest np. zaprojektowanie nowego sposobu montowania wybranych podzespołów w samochodzie lub organizacji konferencji o zasięgu międzynarodowym. Im dany projekt jest większy bądź bardzo złożony, tym trudniejsza staje się jego realizacja. Wtedy może zostać podzielony na współzależne i wymagające dobrej komunikacji podprojekty albo większe zadania, które powinny się zakończyć w wyznaczonym terminie.

Projekt wyróżnia się na tle realizowanych procesów w organizacji niepowtarzalności, natomiast pozostałe cechy są podobne. Proces można potraktować jako projekt dopóki nie będzie miał charakteru powtarzalności w takich samych warunkach. Na przykład, gdy proces zaopatrzenia przedsiębiorstwa w określone dobro przez nowego dostawcę jest realizowany jako jednostkowy, traktuje się go jako projekt. Idąc tokiem rozumowania Wysockiego i McGary'ego [Wysocki, McGary, 2005, s. 48-49], należy stwierdzić, że zmiana warunków lub sytuacji stanowi podstawę do traktowania procesu jako projektu.

W efektywnym zarządzaniu cyklem projektowym, a także cyklem procesu, np. produkcji, po raz kolejny są pomocne wykresy Gantta. Ułatwiają one zaplanowanie, a następnie kontrolowanie oraz koordynowanie przebiegu ich realizacji. Podobne rezultaty można osiągnąć za pomocą metody ścieżki krytycznej (*Critical Path Method – CPM*), która wydaje się być zdecydowanie rzadziej stosowana w polskich organizacjach przy opracowywaniu projektów i przedsięwzięć. Metody te służą optymalizacji czasu trwania procesu, wykorzystania zasobów ludzkich oraz maszyn i urządzeń. Pozwalają

one m.in. na: znaczne usprawnienia realizacji procesów, ograniczenie marnotrawstwa wykorzystywanych w nim zasobów, skrócenie czasów ich realizacji i obniżkę kosztów.

Obie te metody mają ze sobą wiele wspólnego. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wspólnych elementów wykresów Gantta i CPM oraz ocena ich ograniczeń i korzyści w zarządzaniu zarówno projektami jak i zmodyfikowanymi procesami. Mając na uwadze powyższy cel, postawiono następującą hipotezę: wykresy Gantta i metoda ścieżki krytycznej (CPM) wzajemnie się uzupełniają i jest uzasadnione stosowanie ich obu jednocześnie. W przypadku wyznaczania ścieżki krytycznej przedsięwzięcia dokładniejsza jest metoda CPM.

## 2. Wykresy Gantta (*Gantt charts*)

Jak wspomniano na wstępie, aby sprawnie i skutecznie zarządzać cyklem projektowym lub cyklem produkcyjnym (operacyjnym), organizacja staje przed problemem optymalizacji jego czasu trwania. Na przykład cykl projektowy trwa od momentu rozpoczęcia projektu do momentu jego zakończenia. Podobnie i cykl produkcyjny trwa od momentu rozpoczęcia procesu produkcji danego dobra do momentu przekazania go klientowi [Pająk, 2006, s. 157; Durlik, 1996].

Zarówno cykl projektowy jak i cykl produkcyjny składają się z szeregu zależnych od siebie zadań o określonym czasie trwania i są one wyrazem organizacji projektu lub procesu produkcyjnego w czasie [Lis, Nizialek, Wróblewski, s. 74]. Czas trwania każdego z nich jest uwarunkowany jemu specyficznymi i niezbędnymi do realizacji zasobami materialnymi (tzn.: surowcami, materiałami, półproduktami, maszynami, urządzeniami, narzędziami), niematerialnymi (usługami, prawami autorskimi i licencjami), ludzkimi i finansowymi. Dla przykładu cykl produkcyjny jest uwarunkowany takimi czynnikami, jak: rodzaj wytwarzanego produktu, poziom stosowanej techniki i technologii, organizacja przebiegu procesu produkcyjnego, kompetencje zasobów ludzkich [Lis, Nizialek, Wróblewski, 1987].

Cykl ten obejmuje dwa podstawowe okresy:

- a) roboczy:
  - czas trwania operacji technologicznych;
  - czas trwania operacji pozatechnologicznych, czyli procesów: naturalnych, kontrolnych, transportu, konserwacji, magazynowania;
- b) przerw:
  - przerwy wynikające z organizacji procesu produkcji, np. czas oczekiwania w magazynach;
  - przerwy wynikające z organizacji dnia roboczego, np. przerwy międzyzmiannowe, dni wolne od pracy [Lis, Nizialek, Wróblewski, s.75].

Suma wymienionych czasów trwania i przerw składa się na czas trwania cyklu produkcyjnego. Czas ten ma bardzo ważny wymiar ekonomiczny, gdyż podczas trwania cyklu produkcyjnego przedsiębiorstwo ponosi koszty, a dopiero po zetknięciu się produktu z rynkiem zaczyna uzyskiwać przychody. Generalnie więc, im krótszy jest cykl produkcyjny, tym szybciej zaangażowane środki finansowe mogą być ponownie rein-

westowane. Dlatego jest niezbędna: optymalizacja czasów trwania poszczególnych czynności realizowanych w ramach projektu, optymalizacja wykorzystania zasobów i optymalizacja kosztów realizacji całego projektu /procesu [Wirkus i in., 2014, s. 105]. W cyklu produkcyjnym *sensu stricto* mamy do czynienia z optymalizacją czasu trwania poszczególnych czynności (zadań), czyli ze znalezieniem optymalnego rozwiązania z punktu widzenia kryterium czasu. Jednak ta optymalizacja zazwyczaj jest niewystarczającym zadaniem optymalizacyjnym umożliwiającym wskazanie rozwiązania w sposób jednoznaczny. Powinna ona na być poprzedzona analizą zapotrzebowania i dostępności niezbędnych do jego realizacji wymienionych zasobów (czyli optymalizacją wykorzystania zasobów), gdyż ich brak lub ograniczona dostępność i wysokie koszty ich pozyskania mogą wpływać na wydłużenie pierwotnie określonego terminu zakończenia projektu/przedsięwzięcia lub w ostateczności na podjęcie decyzji o rezygnacji z realizacji danego przedsięwzięcia. W niniejszym artykule uwaga zostanie skoncentrowana na optymalizacji cyklu produkcyjnego/projektowego za pomocą dwóch wybranych metod: wykresów Gantta i CPM.

Wykresy Gantta są dobrze znaną graficzną techniką planowania i kontroli, umożliwiającą porównanie ich faktycznego i planowanego przebiegu prac. Nazwa pochodzi od przedstawiciela nurtu naukowego zarządzania i zarazem współpracownika F. Taylora, Henry'ego Gantta. Opracował on harmonogram będący narzędziem służącym zarządzaniu procesem planowania i kontrolowania produkcji seryjnej w przedsiębiorstwie zgodnie z systemem opracowanym przez F. Taylora. Planowaniem były objęte zadania składające się na proces produkcji oraz obciążenia robotników i maszyn. Zarówno Gantt, jak i Taylor uważali, że kluczem do poprawy ogólnej wydajności jest stworzenie kompleksowego planowania systemu, a wykresy miały być pierwszym krokiem w jej osiągnięciu. Bez wykresów Gantta ten system nie mógłby sprawnie funkcjonować [Wilson, 2003, s. 431].

W literaturze przedmiotu brakuje zgodności w kwestii powstania narzędzia. Jedni autorzy uznają, że wykresy zostały opracowane podczas pierwszej wojny światowej [Field, Keller, 1998, s. 182; Meredith, Mantel, 1995, s. 354; Mantel i in., 2011, s. 178]. Inni wskazują pierwsze lata XX wieku. Na potwierdzenie tej daty Wilson przedstawił zachowaną kartę produkcji odlewni z 1903 roku, w której Gantt [Gantt, 1903, s. 1323] definiował rodzaj i liczbę wyrobów do wykonania na każdy dzień i ogółem oraz datę rozpoczęcia i zakończenia ich produkcji. Nie została na niej zaznaczona kolejność wykonywania zadań, ponieważ jak wskazuje J. Wilson, fabryka realizowała plan produkcji oparty na bezpośrednich zamówieniach klientów. Gdy pojawiały się trudności w uzyskaniu potrzebnych do produkcji próbek, ten fakt był sygnalizowany symbolem „p”. Ten pierwotny wzór stał się podstawą do dalszego rozwoju tego narzędzia w planowaniu i kontroli przebiegu prac [Wilson, 2003]. Zbichorski zauważa, że pierwsza wiadomość o metodzie została podana w październiku 1918 roku w czasopiśmie „Industrial Management”, natomiast możliwości jej stosowania i technika konstruowania wykresów zostały objaśnione w 1919 roku w kolejnych artykułach i książce pt.: *Organising for work*. Wykresy znalazły zastosowanie we wszystkich dziedzinach gospodarki, administracji i nauce. Przyczyniły się one do zwiększenia produkcji, usprawnienia organizacji działalności, obniżenia

kosztów własnych, lepszego wykorzystania majątku trwałego, pobudzenia inicjatywy pracowników, zwiększenia zainteresowania wynikami [Zbichorski, 1977, s. 72].

Wykresy Gantta zaczęły zyskiwać na znaczeniu wraz z rozwojem zarządzania projektami. Wzrost zainteresowania tym narzędziem wynikał z rozpowszechnienia się komputerów i oprogramowania specjalnie dedykowanego tym wykresom takiego, jak np. Gantt Project czy jako jednej z funkcji wykorzystywanych w arkuszu kalkulacyjnym Excel 2010 i nowszym.

Harmonogram podobny do wykresów Gantta został stworzony w tym samym okresie przez przedstawiciela polskiego zarządzania naukowego Karola Adamickiego, który zajmował się badaniem organizacji pracy zbiorowej w celu jej usprawnienia oraz racjonalizacji współdziałania w walcowni stali. Harmonogramy miały ujawniać ukryte rezerwy czasowe spowodowane niedostateczną harmonizacją procesów pracy i minimalizować przestoje i czas oczekiwania [Martynik, 2002, s. 82]. Dane historyczne wskazują, że K. Adamicki opracował go w 1896 roku, a swoje wyniki opublikował w 1909 roku w języku polskim w „Przeglądzie Technicznym” [Adamicki, 1909]. Ze względu na ograniczoną znajomość języka polskiego na arenie międzynarodowej, w praktyce rozpowszechniły się wykresy Gantta.

Zbichorski zauważa, że Gantt z ze swoimi współpracownikami rozróżniali następujące trzy rodzaje wykresów:

- wykres wydajności pracy robotników pokazujący stopień wykonania norm pracy;
- wykres wykorzystania maszyn i urządzeń umożliwiający rejestrację godzin pracy poszczególnych maszyn i urządzeń oraz czasów ich przestoju;
- wykres przebiegu planowych prac wydziałów przedsiębiorstwa.

Wszystkie trzy powyższe wykresy są podstawą do kontroli wykonania zadań, do których zostały powołane, jak również do wykrycia wszelkich przeszkód, które powinny być niezwłocznie usunięte [Zbichorski, 1977, s. 76].

Z kolei Nahmias wymienia trzy następujące typy wykresów Gantta:

- obciążenia zasobów (*the Gantt load chart*);
- rozmieszczenia stanowisk pracy pracowników i maszyn (*the Gantt layout chart*);
- projektu (*the Gantt project chart*).

Wskazuje on, że wymienione rodzaje wykresów Gantta są zasadniczo podobne graficznie do siebie (każdy z nich jest wyrażony w postaci poziomych słupków), ale dotyczą rozmaitych obszarów i z tego powodu różnią się związanymi z nimi wnioskami. Wykres obciążenia maszyn jest stosowany do pokazania ilości pracy wykonanej przez dane zasoby, takie jak pracownicy i maszyny. Jednak nie wykorzystuje się tego wykresu do przedstawienia postępu prac w projekcie. Jego uzupełnieniem jest wykres rozmieszczenia zasobów w czasie (*the Gantt layout chart*). Stanowi on jeden ze sposobów śledzenia postępu bieżącego projektu. Najpopularniejszym typem wykresu Gantta jest wykres projektu. Umożliwia on prezentację rozpoczęcia i zakończenia wszystkich czynności obejmujących projekt. Jest on także używany do monitorowania postępu projektu i ustalenia miejsc powstawania problemów [Nahmias, 2001, s. 324].

Typowy wykres Gantta jest przedstawiany w postaci wykresu poziomego słupkowego, w którym linie poziome (odznaczone na osi Y) oznaczają zadania/stanowiska

pracy/maszyny, a linie pionowe (odznaczone na osi X) – czas realizacji danego zadania lub czas pracy pracownika bądź maszyny. Słupki wykorzystuje się do pokazania czasu trwania, momentu rozpoczęcia i zakończenia danej czynności. Aby graficznie przedstawić dane przedsięwzięcie, niezbędne jest podzielenie czynności na następujące etapy:

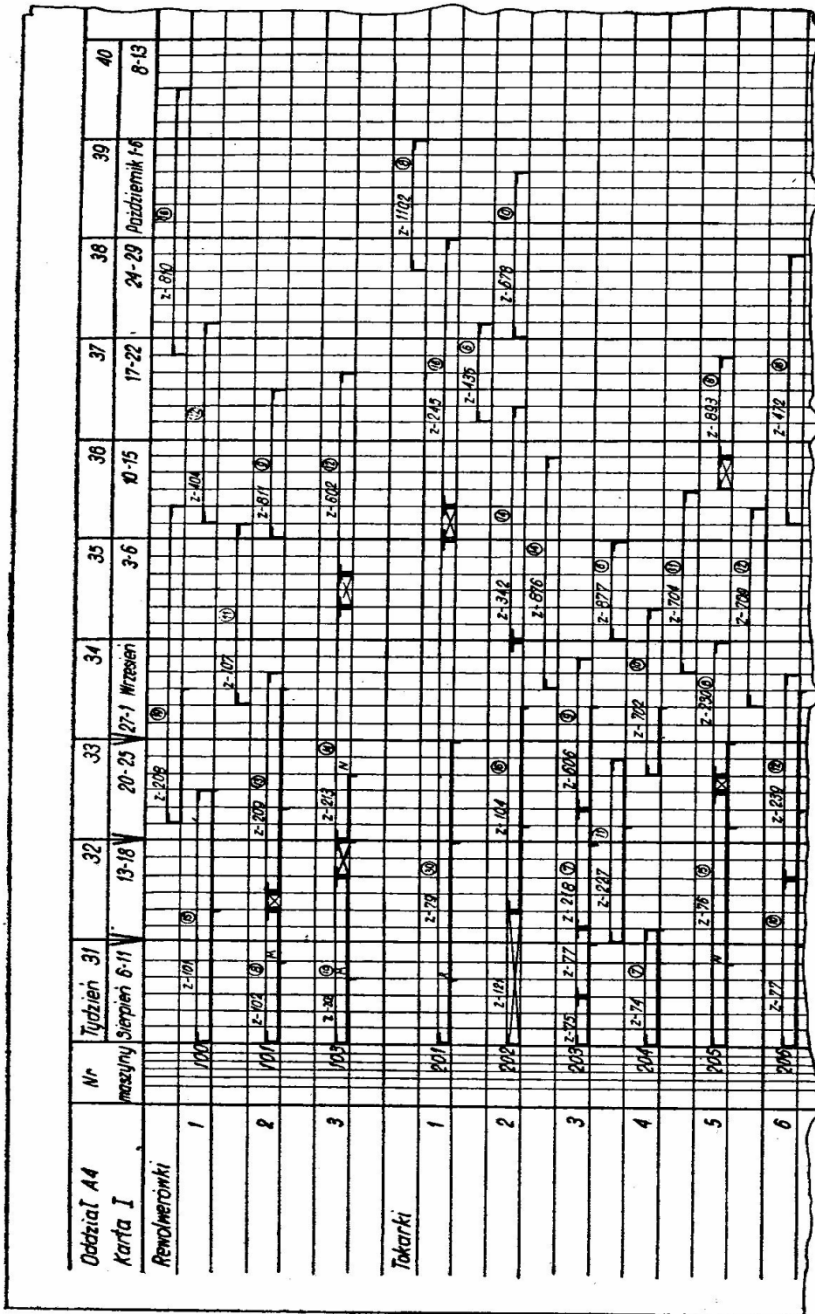
- I etap – rozłożenie przedsięwzięcia na czynności (zadania);
- II etap – ustalenie czasów trwania tych czynności, kolejności ich realizacji oraz terminów ich rozpoczęcia i zakończenia wraz z wyznaczeniem kamieni milowych;
- III etap – wyrażenie w postaci graficznej struktury podziału czynności danego przedsięwzięcia (*workbreak down structure – WBS*). Poniżej są zaprezentowane przykłady wykresów Gantta ukazujących wykres planowania wydziału mechanicznego (rysunek 1.) i wykres wydajności pracy robotników (rysunek 2.).

Na rysunku 2. uwagę należy skoncentrować na cienkich liniach sumarycznych i symbolach przy nich stojących, które oznaczają powody małej wydajności pracy. Dla przykładu symbol M oznacza brak materiału, x – brak robotnika, N – brak narzędzi, D – brak doświadczenia, R – remont maszyny, Y – brak zlecenia (roboty), K – brak kwalifikacji. Powyższy wykres służy głównie ocenie sprawności działania kierownictwa, które znając stan faktyczny i przyczyny niskiej wydajności, może szybko wyeliminować przeszkody. Realizacja określonego przedsięwzięcia wymaga zazwyczaj pokazania zależności występujących pomiędzy czynnościami. W wykresie Gantta podstawową zależnością jest zależność mówiąca o tym, że aby dana czynność zaczęła się, czynności bezpośrednio ją poprzedzające muszą się zakończyć. Może zatem wystąpić sytuacja mówiąca o tym, że rozpoczęcie czynności E jest uwarunkowane zakończeniem kilku czynności: A,C,D. Oznacza to, że wszystkie one muszą zakończyć się do momentu rozpoczęcia czynności E. W tym przypadku czynność A może zakończyć się wcześniej niż D. Jednakże istotny tu jest moment zakończenia danej czynności poprzedzającej, a nie czas jej trwania, gdyż niekoniecznie krótszy czas trwania danej czynności będzie sygnalizował jej wcześniejsze zakończenie. W przypadku gdy czas trwania czynności A będzie krótszy niż D, ale moment jej rozpoczęcia będzie późniejszy, może wystąpić sytuacja, że A zakończy się później niż D.

Zanim dane przedsięwzięcie zostanie graficznie przedstawione, należy określić sposób pomiaru czasu i jego skalowanie na osi. Czas danego zadania może być mierzony np. w: godzinach, dniach, tygodniach, miesiącach. Zazwyczaj przy realizacji projektów czas mierzony jest w dniach kalendarzowych. Niezbędne staje się wtedy doprecyzowanie długości trwania dnia, to znaczy czy trwa on 8, 12, 16, a może 24 godziny [Clark, 1952]. Kolejną kwestią jest uściślenie, czy projekt będzie realizowany w dni robocze, czy również w weekendy. Gdy posługujemy się programem komputerowym typu GanttProject, już na etapie wprowadzania danych mamy możliwość wyłączenia dni weekendowych i rozliczania czasu trwania projektu w dniach roboczych.

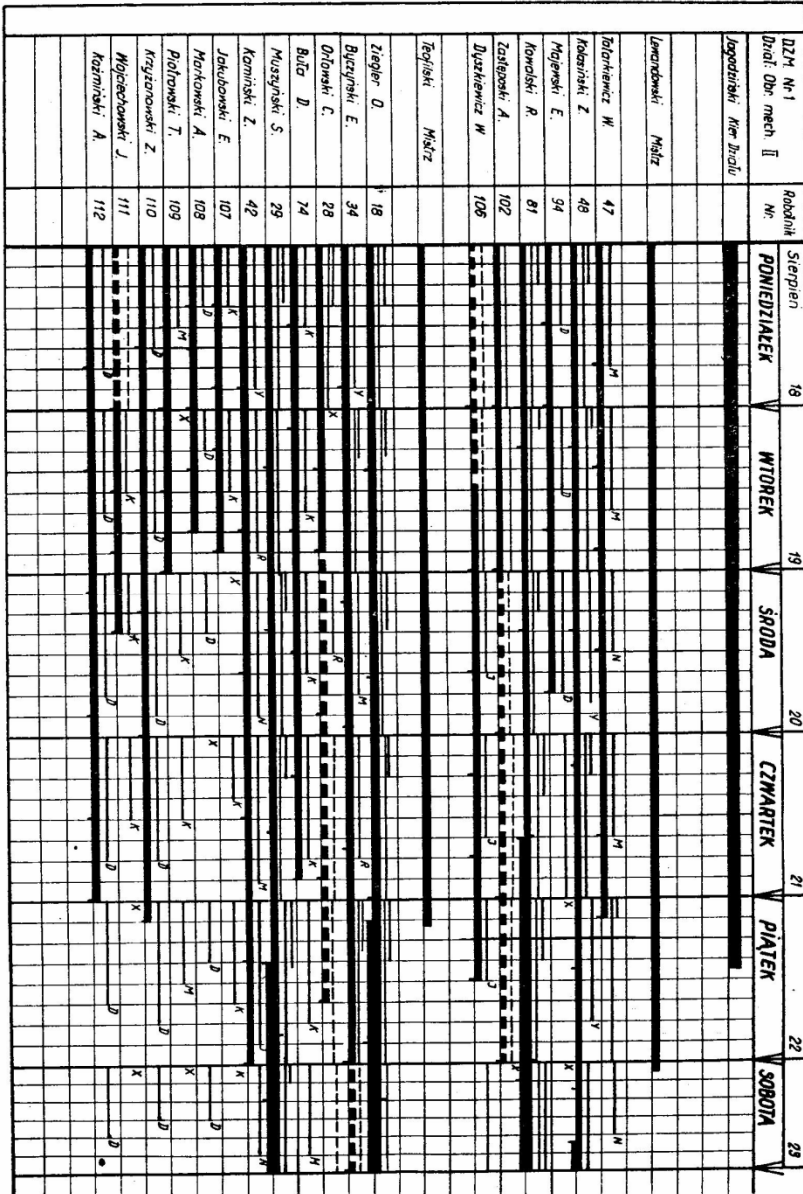
## RYSUNEK 1.

## Wykres planowania wydziału mechanicznego



## RYSUNEK 2.

Wykres wydajności pracy robotników



Źródło: [Zbichorski, 1977, s. 79].



Sporządzenie harmonogramu następuje przez zaznaczenie na wykresie poziomych słupków oznaczających czynności o długości czasu ich trwania z uwzględnieniem skali przyjętej dla osi czasu. Umieszczenie tych czynności odbywa się w odpowiedniej kolejności, która uwzględni zależności przyczynowo-skutkowe charakterystyczne dla struktury kooperacyjnej<sup>2</sup> projektu [Nowoczesne zarządzanie..., 2012, s. 181]. Na podstawie położenia słupków ilustrujących wyodrębnione czynności jest możliwe odczytanie terminów ich rozpoczęcia i zakończenia oraz wyznaczenie ścieżki krytycznej, a także kamieni milowych projektu.

Kamienie milowe projektu (*milestones* albo *checkpoints*) są punktami koordynacyjnymi i kontrolnymi cząstkowych rezultatów projektów. Z reguły sygnalizowanymi na harmonogramach znakiem odwróconego trójkąta lub rombu. Wyznaczają one krytyczne punkty realizacji poszczególnych etapów w całym projekcie i są bardzo istotne dla jego powodzenia. Stąd rodzi się pytanie, ile takich punktów powinno być? W literaturze przedmiotu wskazuje się, że co najmniej dwa kamienie (na początku i na końcu realizacji) powinny być ustalone. Nie podaje się przy tym konkretnej ich liczby, choć w celu usprawnienia i efektywnego wdrożenia projektu proponuje się, aby ustanowić takie punkty w relatywnie równych odstępach czasowych, np. po 15-20%, dalej po około 50%, 70-80% oraz 95% jego realizacji. Jednakże zauważa się, że ich liczba będzie zależała od wielkości i złożoności realizowanego projektu. Im większy i bardziej złożony projekt jest realizowany, tym więcej kamieni milowych powinno być zaznaczonych na wykresie, żeby wcześniejsza kontrola działań wykonywanych w projekcie przyczyniła się do wcześniejszego wykrycia i skorygowania wszelkich nieprawidłowości oraz do zakończenia sukcesem. Jednakże zbyt duża liczba kamieni milowych (np. po każdym działaniu) powoduje wzrost nakładów pracy na kontrolowanie tego rozwiązania i może spowodować powstawanie zakłóceń w bieżącej realizacji zadania [Nowoczesne zarządzanie..., 2012, s. 185].

Wyznaczenie kamieni milowych kończy etap ustalania terminów projektu i umożliwia dokończenie opracowania harmonogramu czynności realizowanego przedsięwzięcia w postaci wykresu Gantta i określenie ścieżki krytycznej. Ścieżka krytyczna jest to droga (ciąg czynności i zdarzeń umożliwiających przejście od początku do końca sieci), której czas przejścia od początku do końca jest najdłuższy [Jędrzejczyk, Kukula i in., 2011, s. 193-194]. Czynności na niej leżące łączą się w tym samym punkcie, czyli ani się nie zazębiają, ani nie tworzą między sobą przerwy. Suma czasów trwania tych czynności jest największa i wyznacza czas realizacji przedsięwzięcia. Wszelkie opóźnienia w ich realizacji wpływają na przesunięcie terminu zakończenia całego projektu, zaś przyspieszenia ich czasu trwania mogą przyczynić się do skrócenia tego czasu, a także zmiany ścieżki krytycznej, co zostanie pokazane na przykładzie poniżej.

Jak wcześniej wspomniano, aby został opracowany ostateczny wykres przebiegu planowanych zadań, kolejnym krokiem jest zweryfikowanie opracowanego wstępnego harmonogramu wyodrębnionych czynności pod kątem zapotrzebowania na niezbędne do jego realizacji zasoby: materialne (surowce, materiały, półprodukty, maszyny-

---

<sup>2</sup> Oprócz struktury kooperacyjnej występuje struktura hierarchiczna projektu, przypominająca schemat struktury organizacyjnej, w której części składowe projektu są powiązane ze sobą relacjami hierarchicznymi [Nowoczesne zarządzanie..., 2012].

ny, urządzenia, narzędzia), niematerialne (usługi, prawa autorskie i licencji), ludzkie i finansowe. Następnie po ustaleniu zapotrzebowania na niezbędne do realizacji zasoby przechodzi się do zbadania ich dostępności pod względem: ilości, jakości, terminowości dostaw zasobów materialnych, niematerialnych i finansowych oraz kompetencji i dyspozycyjności pracowników. W przypadku braku niektórych zasobów analizuje się (w odniesieniu do: zakresu, budżetu i terminu zakończenia projektu) możliwość wyrównania zapotrzebowania na zasoby przez przesunięcie ich z innych komórek organizacyjnych lub pozyskania z zewnątrz. W zależności od celu projektu są możliwe takie warianty rozwiązania, jak: ograniczenie zakresu projektu, podwyższenie limitu kosztów pozyskania zasobów lub wydłużenie terminu realizacji. Ustalenie wszystkich powyżej wymienionych kwestii jest niezbędne do podjęcia decyzji o ewentualnym skorygowaniu harmonogramu struktury przebiegu prac albo w ostateczności o rezygnacji z realizacji danego przedsięwzięcia.

Wykresy Gantta cieszą się atrakcyjnością ze względu na możliwość wizualnego przedstawienia przebiegu całego przedsięwzięcia. Pozwalają one:

- optymalizować planowanie i pozyskiwanie dodatkowych zasobów do realizacji zadania;
- ocenić na bieżąco, które zadania są opóźnione i o ile;
- lepiej wykorzystać czas pracy osób przez dobre zaplanowanie pracy i skuteczną kontrolę ich wydajności.

Źródło popularności tej metody można uzasadnić stwierdzeniem K. Adamieckiego: (...) *chociaż rozporządzamy nienyczerpanym zapasem czasu, który sam przez się nic nie kosztuje, jest to jednak jeden z najdroższych «materialów» jakie zużywamy przy wyrobie produktów* [Bieniok, 2004]. Z uwagi na cel artykułu oraz ograniczoność jego treści skupiono się na opracowaniu harmonogramu struktury podziału czynności w ramach danego przedsięwzięcia. Natomiast pominięto aspekt porównania zapotrzebowania na zasoby z ich dostępnością i fazę realizacji projektu.

Zobrazowaniu przykładowego zestawu czynności składających się na hipotetyczny projekt przedsięwzięcia w postaci wykresu Gantta posłużył poniższy przykład (tabela 1.)<sup>3</sup>.

Zawarte w tabeli dane pokazują listę czynności, czas ich realizacji oraz czynności poprzedzające, które muszą zakończyć się, aby rozpoczęła się kolejna czynność i w efekcie powstał harmonogram. Mamy zatem do czynienia z zależnością typu *finisz to start*. Dwie z wymienionych czynności: A i C nie mają czynności poprzedzających, co oznacza, że zaczynają się w jednym momencie równoległe. Jeśli kilka takich czynności, jak np.: F, G, H ma te same czynności poprzedzające i ewentualnie taki sam czas trwania, to może również utrudniać wyznaczenie właściwej ścieżki krytycznej.

<sup>3</sup> Przykład harmonogramu projektu budowy ujęcia wody oligoceńskiej w: [Nowoczesne zarządzanie..., 2012].

TABELA 1.

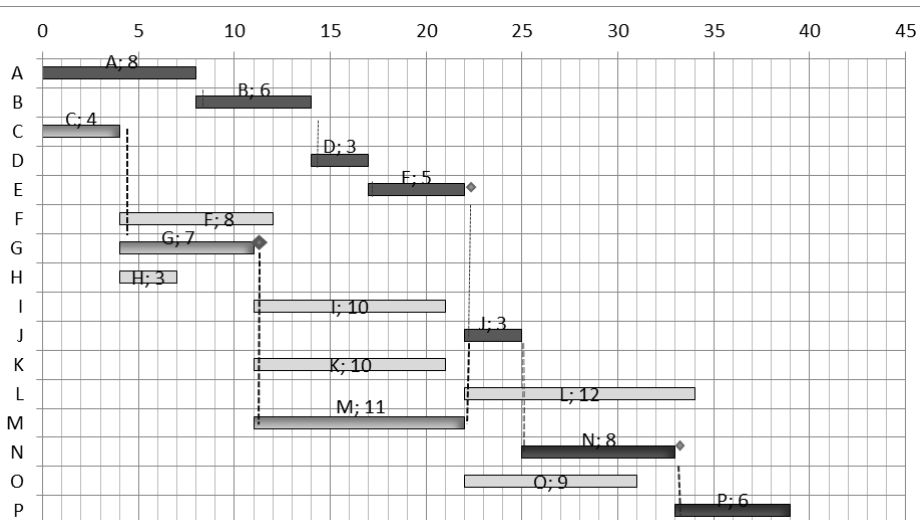
## Hipotetyczny zestaw czynności w ramach projektu

P	Czynności (activities)	Czas trwania czynności w dniach (duration)	Czynności poprzedzające (predecessors)
1	START	0	
2	A	8	-
3	B	6	A
4	C	4	-
5	D	3	B,F
6	E	5	D, H
7	F	8	C
8	G	7	C
9	H	3	C
10	I	10	G
11	J	3	E
12	K	10	G
13	L	12	E
14	M	11	G
15	N	8	I, J
16	O	9	K, M
17	P	6	N

Źródło: opracowanie własne.

RYSUNEK 3.

## Wykres Gantta przykładowego projektu sporządzonego na podstawie tabeli 1.



◆ kamienie milowe

Źródło: opracowanie własne.

Z danych zawartych na powyższym rysunku wynika, że dane przedsięwzięcie trwa 39 jednostek i ma dwie ścieżki krytyczne – widocznie oznakowane na wykresie – takie jak: A-B-D-E-J-N-P oraz C-G-M-J-N-P. Schodzą się one w momencie rozpoczęcia czynności i dalej stanowią część wspólną. Suma czynności leżących na obu ścieżkach wynosi 39 (w przypadku ścieżki A-B-D-E-J-N-P:  $8+6+3+5+3+8+6=39$ , zaś ścieżki C-G-M-J-N-P:  $4+7+11+3+8+6=39$ ). Z założenia można zauważyć, że te czynności należy wykonać we wskazanym czasie, gdyż opóźnienie którejs z nich spowoduje wydłużenie czasu realizacji przedsięwzięcia i opóźni tym samym termin jego zakończenia. Gdyby przyjąć, że za opóźnienia w realizacji podmiot będzie ponosił kary, to opłacalność takiego projektu będzie się zmniejszać i w rezultacie przyczyni się do pogorszenia sytuacji ekonomicznej podmiotu. Należy także zaznaczyć, że przy złożonych przedsięwzięciach obecność dwóch ścieżek krytycznych nie jest zaskoczeniem. Dzieje się to wtedy, gdy kilka czynności rozpoczyna się w tym samym czasie i mają one te same czasy trwania.

Innym ograniczeniem tego wykresu jest również fakt, że pomimo wyznaczenia ścieżki krytycznej znacznie trudniej jest odczytać zależności pomiędzy czynnościami niż na wykresie sieciowym CPM oraz rezerwę czasu, co zostanie pokazane w następnym akapicie. Aby odczytać te zależności i rezerwę czasu, nie wystarczy uwzględnienie samych słupków. W takim przypadku niezbędne staje się wprowadzenie dodatkowych oznaczeń w postaci krzywoliniowych strzałek pokazujących zależności. W ten sposób im większy i bardziej złożony jest projekt przedsięwzięcia, tym bardziej skomplikowane staje się wykorzystanie wykresów Gantta. Dlatego bardziej jest on przeznaczony do prezentowania mniejszych i o relatywnie krótszym czasie trwania przedsięwzięć. Dłuższa perspektywa czasowa oznacza większą niepewność w działaniu i możliwe ewentualne zmiany w realizacji przedsięwzięć, a coraz większa złożoność otoczenia, w którym działa firma, powoduje, że wykres Gantta ma ograniczone zastosowanie w planowaniu prac i ich przebiegu oraz kontroli. Z wymienionych powodów uniwersalność jego zastosowania jest również ograniczona, dlatego, zdaniem Geraldi i Lechtera [Geraldi, Lechter, 2012], należy korzystać z niego z większą rozważą i w szerszym kontekście. Można zatem stwierdzić, że metoda ta powinna być stosowana w połączeniu z innymi, pozwalającymi uwzględniać niepewność w działaniu.

Pomimo powyższego ograniczenia, najważniejszą zaletą wykresu Gantta jest jego przejrzystość i stosunkowo duża łatwość sporządzenia [Kumar, 2005]. Od osób go czytających nie jest wymagana specjalistyczna wiedza techniczna. Umożliwia on natychmiastowe określenie dokładnej daty planowanego zakończenia przedsięwzięcia, gdy kolumny są oznaczone jako konkretne, kalendarzowe daty. Także, jeśli zachodzi taka potrzeba, na wykresie mogą być naniesione wymagania dotyczące zasobów i czasu. Relatywnie łatwo jest pokazać bieżący status projektu, tzn. czas rozpoczęcia i jego przebieg oraz zweryfikować, czy występują zakłócenia. Tym samym nadaje się on do monitorowania przebiegu projektu i komunikowania stanu zaawansowania prac osobom zainteresowanym [Mantel i in., 2011, s. 178-182]. Mając na uwadze powyższe spostrzeżenia, należy sądzić, że będzie on dalej wykorzystywany jako jedna z prostych metod planowania i kontroli przebiegu prac oraz zasobów.

### 3. Metoda ścieżki krytycznej (Critical Path Method)

Jak wspomniano na wstępie, w planowaniu przedsięwzięć jest wykorzystywana metoda ścieżki krytycznej (CPM), która należy do grupy metod programowania sieciowego o zdeterminowanej strukturze logicznej<sup>4</sup>. Metody te dzielą się na: deterministyczne i stochastyczne. Różnica między nimi polega na tym, że w metodach deterministycznych jest jednoznacznie podany czas trwania czynności (np. 2 godziny, 3 dni), natomiast w stochastycznych czas trwania określa się z pewnym prawdopodobieństwem i wyznacza się. Do pierwszej grupy metod należy CPM, zaś do drugiej – PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). Jak wskazuje tytuł artykułu, uwaga zostanie skupiona na metodzie CPM.

Przedstawiana metoda została opracowana w latach 50. XX wieku przez R. Walkera i Jamesa E. Kelley'a z firmy DuPont w celu usprawnienia prac przy wytwarzaniu półproduktu w procesie produkcji neoprenu. Inżynierowie z firmy DuPont byli zaniepokojeni dużą ilością przestoju podczas konserwacji. Dzięki zastosowaniu CPM udało im się skrócić czas przestoju ze 125 do 93 godzin i w rezultacie poprawić wyniki ekonomiczne [Levy, Thomson, Wiest, 1963, s. 100]. Stanowi ona graficzną prezentację przedsięwzięcia, czyli zorganizowanego działania ludzkiego zmierzającego do realizacji wyznaczonego celu w określonym czasie i przy znanej liczbie pracowników i wielkości zasobów technicznych, rzeczowych, finansowych i informacyjnych. Na przedsięwzięcie składa się skończona liczba wzajemnie ze sobą powiązanych i wykonywanych w odpowiedniej kolejności czynności, dla których są znane czasy ich trwania.

Wykorzystanie metody CPM w planowaniu danego przedsięwzięcia wymaga przeprowadzenia kolejno następujących czynności, takich jak:

- ustalenie liczby czynności składających się na dane przedsięwzięcie;
- określenie kolejności ich wykonania i czasów trwania każdej z nich;
- przedstawienie wyodrębnionych czynności w postaci wykresu sieciowego, tzn. sieci zależności, dla których obowiązują określone oznaczenia elementów (zdarzeń i czynności) i reguły ich konstrukcji.

Wykresy sieciowe mogą być przedstawione graficznie w postaci: kół lub prostokątów (zwanymi węzłami) połączonych między sobą strzałkami (lub inaczej krawędziami). W zależności od sposobu oznaczania składowych wykresy dzieli się na dwa rodzaje:

- pierwszego rodzaju typu AoA (*Activity on Arrow*), w którym czynności są przedstawione jako krawędzie grafu w postaci strzałek, a zdarzenia w postaci kół. Stosuje się w metodzie CPM i jej modyfikacjach (*CPM-Cost*, *PERT – Program Evaluation and Review Technique*);
- drugiego rodzaju typu (*Activity on Mode*), gdzie czynności są oznaczone w postaci prostokątów (węzłów grafu), a łączące je relacje w postaci strzałek. Stosuje się je w technice MPM (*Metra Potential Method*).

---

<sup>4</sup> Można mówić o zdeterminowanej strukturze logicznej, gdy wszystkie czynności wymienione w przedsięwzięciu są zrealizowane. Natomiast, gdy następuje realizacja tylko części czynności w nim wymienionych, CPM tworzy zdeterminowaną strukturę logiczną modelu sieciowego, ponieważ wszystkie wyodrębnione w niej czynności są zrealizowane.

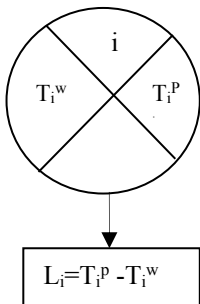
Oba rodzaje metod sieciowych są częściej wykorzystywane w większych i bardziej złożonych projektach, zaś rzadziej w małych. Główną determinantą wskazującą na zastosowanie jednej z nich jest charakter struktury (tzn. deterministyczna lub stochastyczna) projektu i związanych z nią jednoznacznie określonych lub prawdopodobnych czasów realizacji przedsięwzięcia. W przypadku obliczania terminów w większych projektach podstawowymi metodami są metody sieciowe, zaś wykresy Gantta odgrywają rolę uzupełniającą, gdyż stanowią one dodatkowy sposób wizualizacji przebiegu prac w projekcie [Nowoczesne zarządzanie..., 2012, s. 158-159, 175].

Ze względu na fakt, że przedmiotem zainteresowania jest metoda CPM, do prezentacji przyjmuje się oznaczenia w postaci kół obrazujących zdarzenia i strzałek.

Przy konstrukcji sieci w metodzie CPM obowiązują:

- dla czynności prostej, będącej dowolnie wyodrębnioną częścią przedsięwzięcia. W trakcie trwania tej czynności zużywa się czas o określonym czasie trwania  $t$  i określonym zużywaniu się zasobów. Kierunek strzałki sygnalizuje kierunek przebiegu czynności w czasie;
- dla czynności pozornej, której zadaniem jest jedynie ukazanie zależności między czynnościami (poinformowania o tym, które czynności muszą zakończyć się, aby rozpoczęła się kolejna, po nich następująca). W trakcie trwania czynności pozornej nie zużywa się ani czasu ( $t=0$ ), ani środków;

dla zdarzenia, w którym określa się stan zaawansowania prac przez wyznaczenie: najwcześniejszego możliwego ( $T_i^w$ ) i najpóźniejszego dopuszczalnego momentu ( $T_i^p$ ) zaistnienia danych czynności oraz rezerwy (zapasu) czasu ( $T_i^p - T_i^w$ ), o jaki możliwe jest opóźnienie bez konieczności przesunięcia terminu zakończenia przedsięwzięcia.



Realizacja określonego przedsięwzięcia wymaga zazwyczaj pokazania zależności występujących pomiędzy czynnościami. Podstawową i najczęściej stosowaną na etapie planowania zależnością jest zależność typu koniec do początku (*finish to start* – FS) oznaczająca, że czynność A musi się zakończyć, aby czynność B mogła się rozpocząć. Może również wystąpić sytuacja, w której rozpoczęcie czynności E jest uwarunkowane zakończeniem kilku czynności: A,C,D. Świadczy to o tym, że wszystkie one muszą się zakończyć do momentu rozpoczęcia czynności E. Wariant ten, jak wspomniano, jest charakterystyczny także dla wykresu Gantta.

Oprócz powyższej zależności FS, wymienia się następujące zależności:

- SS (*start to start*) – czynność B może rozpocząć się, gdy rozpocznie się czynność A;
- FF (*finish to finish*) – czynność B może skończyć się dopiero po zakończeniu czynności A;

- SF (start to finish) - czynność A nie może zakończyć się przed rozpoczęciem czynności B [Wysocki, McGary 2005, s. 173-175].

Zależność typu SS powstaje, gdy rozpoczęcie czynności B jest uwarunkowane rozpoczęciem czynności A. Obie czynności mogą w tym przypadku rozpocząć, jednocześnie. Taka sytuacja jest dość charakterystyczna przy podziale zadań pomiędzy członków zespołu. Załóżmy, że organizujemy konferencję naukową. Po przedyskutowaniu i ustaleniu zakresu omawianej problematyki, może nastąpić podział czynności do wykonania związanych z przygotowaniem listy rady programowej konferencji, listy potencjalnych uczestników, poszukiwaniem i wyborem miejsca konferencji, planowaniem imprez towarzyszących, opracowaniem ulotki informacyjnej. Wszystkie wymienione czynności mogą rozpocząć się równocześnie. Zależność typu FF, jak wspomniano, oznacza, że działanie B nie może zakończyć się wcześniej niż zakończy się działanie A. Biorąc pod uwagę powyższy przykład organizowania konferencji, można zauważyć, że nie zakończymy czynności opracowania ulotki informacyjnej dopóki nie zakończymy czynności, takich jak ustalenie: składu rady programowej, miejsca tej konferencji oraz kosztów uczestnictwa.

W praktyce najrzadziej występuje zależność typu SF. Oznacza ona, że czynność B nie może zakończyć się wcześniej niż rozpocznie się czynność A. Ma ona miejsce wtedy, gdy np. organizacja chce zastąpić istniejący system informatyczny innym. Stary system może być zdemontowany dopiero, gdy zostanie wdrożone nowe rozwiązanie [Wysocki, McGary, 2005, s. 176].

Reasumując, wśród wymienionych zależności najczęstszą i najbardziej rozpoznawalną jest zależność FS (czynność poprzedzająca musi zakończyć się, aby rozpoczęła się następująca po niej). Występuje ona i w wykresie Gantta i wykresie sieciowym CPM. Jest ona zarazem najmniej ryzykowna ze wszystkich czynności. Drugą, dość często pojawiającą się czynnością, jest czynność SS ukazująca podział pracy pomiędzy członków zespołu i umożliwiającą skrócenie przedsięwzięcia. Pozostałe czynności nie zawsze są łatwe do rozpoznania na wykresie słupkowym. O ile nie wprowadzi się dodatkowej symboliki określającej ich przebieg.

Aby prawidłowo narysować sieć zależności, jest wymagane zastosowanie następujących reguł:

- każda sieć zaczyna się jednym wierzchołkiem początkowym i jednym wierzchołkiem końcowym;
- czynności muszą być uporządkowane w kolejności rosnącej;
- kolejna czynność nie może rozpocząć się, zanim nie zakończą się wszystkie czynności ją poprzedzające;
- dwa zdarzenia są połączone tylko jedną czynnością prostą. Jeśli kilka czynności ją poprzedzających jest wykonywanych równoległe, należy wprowadzić czynności pozorne, doprowadzając je do czynności, która najpóźniej się kończy;
- strzałki obrazujące czynności nie mogą się przecinać;
- wyznaczenie podstawowych parametrów ilościowych zdarzenia, tj. najwcześniejszego możliwego momentu ( $T_i^w$ ) i najpóźniejszego dopuszczalnego momentu ( $T_i^p$ ) zaistnienia danych czynności oraz rezerwy (zapasu) czasu ( $T_i^p - T_i^w$ ).

Rozpoczynając graficzną prezentację przedsięwzięcia przyjmuje się, że najwcześniejszy możliwy moment zaistnienia zdarzenia początkowego numer 1 wynosi  $T_1=0$ , a najwcześniejszy możliwy moment zdarzenia następnego numer 2 jest równy sumie najwcześniejszego możliwego momentu zaistnienia zdarzenia  $T_1$  oraz długości czasu trwania ( $t_{1-2}$ ) czynności prowadzącej do zdarzenia 2. Przechodząc od początku do końca wykresu, wyznacza się kolejno najwcześniejsze momenty powstałych zdarzeń. Przyczym, jeśli do zdarzenia prowadzi więcej niż jedna czynność (występują np. trzy czynności poprzedzające) obowiązuje zasada, mówiąca, że:

$$T_i^p = \max \{ T_i^w + t_{ii} \},$$

- np. dla zdarzenia 5, do którego prowadzą dwie czynności,  $T_5^w = \max \{ 3+2; 3+4 \} = 7$  godzin.

Osiągniwszy wierzchołek końcowy, wyznacza się najpóźniejszy możliwy moment zaistnienia zdarzenia ( $T_n^w$ ). Aby zrealizować przedsięwzięcie w najkrótszym możliwym czasie, należy założyć, że  $T_n^w = T_n^p$ . To założenie ułatwia przeniesienie obliczonej wartości na prawą ćwiartkę zdarzenia końcowego i wskazanie terminu zakończenia przedsięwzięcia. Ta wartość jest wyjściową do obliczenia najpóźniejszych dopuszczalnych terminów zaistnienia danego zdarzenia (prawych ćwiartek zdarzenia) i rezerw czasu (dolnych ćwiartek zdarzenia). W tym przypadku może powstać sytuacja, w której do danego zdarzenia prowadzi więcej niż jedna czynność. W takiej sytuacji można wybrać następująco:

$$T_i^p = \min \{ T_i^p - T_i^p \},$$

czyli  $T_{1-2}^p = \{ 40-6; 40-3 \} = 34$  min.

Przykładowy, graficzny zapis dwóch następujących po sobie czynności przedstawiono na rysunku 2.

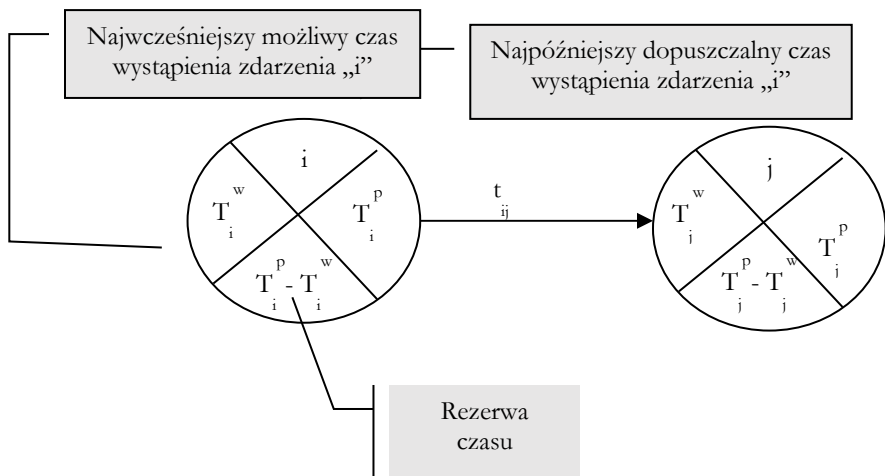
- Wyznaczenie terminu zakończenia przedsięwzięcia i ścieżki krytycznej [Jędrzejczyk, Kukula, Skrzypek, Walkosz, 2011, s. 189-190].

Kluczowym i jednocześnie kończącym elementem CPM jest ścieżka krytyczna, którą definiuje się jako najdłuższą drogę łączącą część leżących na niej działań (równa się ona ogólnej sumie tych działań) w diagramie sieci i kończącą się wraz z datą zakończenia projektu. Czynności leżące na niej mają zerowy zapas czasu, a ich opóźnienie powoduje przesunięcie w czasie terminu zakończenia przedsięwzięcia. Tak więc ścieżka krytyczna powinna być szczególnym obiektem zainteresowania kierownictwa, zwłaszcza w sytuacji gdy jest konieczne dotrzymanie terminu realizacji danego przedsięwzięcia. Znajomość czynności krytycznych pomaga w planowaniu zasobów niezbędnych do wykonania danej czynności, a także w kierowaniu nimi. Sieć zależności pokazuje, które działania powinny być ze sobą skoordynowane, aby zrealizować przedsięwzięcie w wyznaczonym terminie. Czynności, które nie leżą na ścieżce krytycznej, mają z reguły większą bądź mniejszą rezerwę czasu, która pokazuje, o ile maksymalnie mogą być opóźnione czynności. Oznacza to, że zwłaszcza te czynności, które mają minimalny zapas czasu, powinny podlegać kontroli. Bowiern opóźnienia przekraczające zapas czasu zmieniają przebieg ścieżki krytycznej i wpłyną na termin zakończenia danego przedsięwzięcia.



## RYSUNEK 2.

## Graficzny zapis następujących po sobie czynności



Objaśnienia do obliczenia wartości:  $T_j^w; T_j^p$ :  $T_j^w = T_i^p + t_{ij}$ , a  $T_i^p = T_j^p - t_{ij}$ .

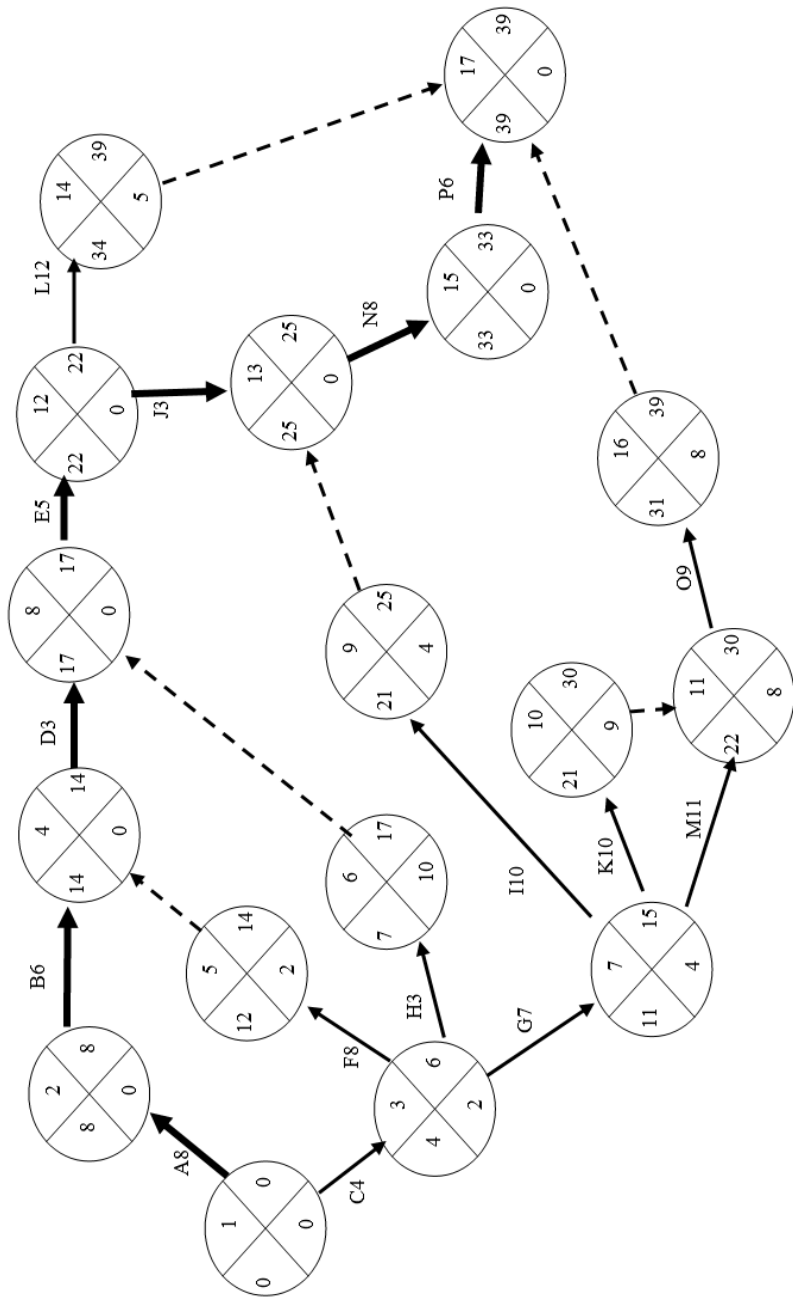
Źródło: [Bieniok, 2004].

W literaturze przedmiotu można znaleźć przykład analizy procesu zamontowania silnika do samochodu za pomocą CPM z wykorzystaniem oznaczeń powyżej przedstawionych [Jędrzejczyk, Kukula, Skrzypek, Walkosz, 2011, s. 191-192]. Z punktu widzenia wymienionych powyżej reguł można stwierdzić, że schemat jest stosunkowo czytelny, choć wątpliwości budzi graficzne przedstawienie czynności pozornych, prowadzących od zdarzenia 5 (oznaczającego koniec czynności F) do zdarzenia 6 (oznaczającego koniec czynności E). Należy zaznaczyć, że zgodnie z regułami konstrukcji sieci powinno być narysowane dokładnie odwrotnie, czyli kierunek przebiegu czynności pozornej powinien być przeciwny. Taka sama uwaga dotyczy czynności H i G prowadzących do zdarzeń numer 8 (koniec czynności H) i numer 9 (koniec czynności G). Reasumując, czynności G i H powinny rozpoczynać się po zakończeniu czynności F, gdyż ona później kończy się niż czynność E. Natomiast czynność I powinna zaczynać się od czynności H, a nie od czynności G. Podobnie jak w poprzedniej sytuacji, czynność H kończy się później niż czynność G. Pomimo powyższych uwag dotyczących prezentacji graficznej, autorzy wskazali prawidłowy przebieg ścieżki krytycznej w zapisie słownym.

W celu zobrazowania zasady działania metody CPM w niniejszym artykule posłużono się hipotetycznym zestawem czynności, ich czasów trwania i czynności poprzedzających, zawartym w tabeli 1., do którego w poprzedniej części został narysowany wykres Gantta. Stosując się do podanych powyżej oznaczeń i zasad obowiązujących przy konstrukcji sieci, został sporządzony wykres sieciowy danego przedsięwzięcia (rysunek 3.).

**RYSUNEK 3.**

**Wykres sieciowy CPM przykładowego projektu sporządzonego na podstawie tabeli 1.**



Źródło: opracowanie własne.

Najpierw zostały narysowane czynności i zdarzenia zgodnie z możliwą kolejnością, wynikającą z zależności pomiędzy czynnościami. Poruszając się od początku do końca wykresu sieciowego, została uzupełniona (zgodnie z omówioną powyżej procedurą postępowania): ćwiartka (górną) z numerem zdarzenia oraz ćwiartka lewa, oznaczająca najwcześniejszy możliwy czas rozpoczęcia określonej czynności. Na przykład: z opisu zdarzenia numer 8 można dowiedzieć się, że 17 dnia zakończyła się czynność D. Jest to zarazem najwcześniejszy możliwy moment rozpoczęcia czynności E. Jednocześnie analizując czynności można zauważyć, że do tego momentu oprócz czynności D, zakończyła się czynność F. Postępując według podanych zasad, dochodzimy do wyznaczenia najwcześniejszego możliwego i zarazem najpóźniejszego dopuszczalnego momentu zakończenia przedsięwzięcia, jak to ma miejsce przy zdarzeniu 17. Po narysowaniu wszystkich czynności okazuje się, że tworzą się trzy wierzchołki końcowe, a zgodnie z regułą konstrukcji sieci powinien być jeden wierzchołek końcowy. W takiej sytuacji niezbędne staje się połączenie dwóch zdarzeń: 14 i 16 czynnościami pozornymi z czynnością 17, aby było możliwe uzupełnienie pozostałych dwóch ćwiartek: prawej (najpóźniejszego możliwego czasu rozpoczęcia zadania) i dolnej, czyli rezerwy czasu. Poruszając się po sieci od końca do początku, należy zauważyć, że do zdarzeń: 12, 7, 3,1 dochodzi po kilka czynności i należy wybrać minimalną.

Na podstawie danych zawartych na wykresie sieciowym można zorientować się, że jest to przedsięwzięcie trwające 39 jednostek. Wyodrębnione w nim czynności tworzą sieć zależności, w której dominują zależności typu *finisz to start*, oznaczające, że działania poprzedzające muszą być zakończone, aby mogła rozpocząć się kolejna czynność lub czynności. Charakterystyczne dla tego wykresu jest to, że występują w nim różne związki pomiędzy czynnościami, takie jak:

- prosty związek następstwa czynności, np. między czynnościami A i B;
- związek następstwa kilku wychodzących z jednego zdarzenia czynności, np.: A i C; F, G, i H; I, K, M;
- związek następstwa czynności z połączeniem, np. czynność D i H (oznaczona pozorną). Czynności pozorne zostały wprowadzone, aby pokazać logiczne związki pomiędzy czynnościami i one występują przy wszystkich grafach (zdarzeniach), do których prowadzi więcej niż jedna czynność. Z wykresu można na przykład odczytać, że aby rozpoczęła się czynność D, powinny się zakończyć czynności: B i F.

Stosunkowo duże zróżnicowanie związków występujących pomiędzy czynnościami nie spowodowało utrudnień w wyznaczeniu ścieżki krytycznej, która składa się z następujących czynności: A-B-D-E-J-N-P. Porównując ścieżki krytyczne uzyskane metodami: CPM i Gantta, warto zauważyć, że tylko jedna potwierdziła się w metodzie CPM i właśnie ją należy uznać za właściwą. Natomiast w przypadku drugiej, wskazanej na wykresie Gantta, ścieżki: C-G-M-J-N-P wykres sieciowy wskazuje, że występują rezerwy czasowe, mówiące o tym, o ile maksymalnie dana czynność może zostać opóźniona w trakcie realizacji przedsięwzięcia bez konieczności wydłużania terminu jego zakończenia.

Analizując wykres, można dostrzec, że czynności leżące na ścieżce krytycznej mają zerowy zapas czasu. Wartość „0” jednoznacznie przedstawia, że tych czynności nie

można opóźnić, gdyż w przeciwnym razie nastąpi przesunięcie terminu zakończenia przedsięwzięcia. W tym miejscu uwidacznia się wyższość metody CPM nad wykresem Gantta, która pokazuje i potwierdza jednocześnie przebieg ścieżki krytycznej i brak rezerwy czasowej. Natomiast wszystkie czynności leżące poza ścieżką krytyczną wyznaczoną metodą CPM mają większą bądź mniejszą rezerwę czasową, która informuje, o ile maksymalnie może zostać opóźniona czynność prowadząca do zdarzenia, aby było możliwe dotrzymanie terminu zakończenia przedsięwzięcia. Na przykład przy zdarzeniu piątym widnieje rezerwa czasowa dwóch dni. Wartość ta oznacza, że w wyniku nieprzewidzianych zakłóceń, można maksymalnie o dwa dni opóźnić czynność F, by zakończyć przedsięwzięcie o czasie. W przypadku zakłócenia trwającego dłużej niż dwa dni dojdzie do wydłużenia terminu jego zakończenia i zmiany ścieżki krytycznej, a w konsekwencji zaburzy to proces planowania przebiegu prac. Zgodnie ze wspomnianym wskazaniem, czas czynności F powinien podlegać kontroli, a moment jej zakończenia być określonym jako kamień milowy.

Zatem z wykresu sieciowego stosunkowo łatwo jest odczytać, które czynności można opóźnić i o ile. Ma to istotne znaczenie dla osób kierujących projektem i dla realizujących, gdyż relatywnie szybko można podjąć działania zapobiegające bieżącym zakłóceniom, o ile się mieszczą one w ramach wykonywanych czynności. W metodzie ścieżki krytycznej nie przewiduje się dodatkowych czynności do realizacji. Podobnie jak wykres Gantta, nie pozwala ona na oszacowanie czasu realizacji poszczególnych czynności. Jednoznaczne ustalenie czasu trwania czynności ogranicza jej użyteczność w rzeczywistości, gdyż trudno jest przewidzieć na etapie planowania wszystkie czynniki wpływające na przebieg przedsięwzięcia. Z tego powodu jest ona stosowana częściej do mniejszych i krótszych projektów.

#### 4. Podsumowanie

Wykres Gantta i metoda ścieżki krytycznej są jednymi z wielu metod planowania przebiegu i kontroli prac i używanych zasobów. Obie metody dostarczają to samo rozwiązanie i uzupełniają się. Popularność zastosowania wykresu Gantta wynika z łatwości posługiwania się nim i jego przejrzystości, zaś CPM jest na pierwszy rzut oka nieco trudniejsza w odczytaniu informacji, ponieważ wymaga chociażby znajomości konstrukcji sieci. Dostarcza jednak bardzo ważnych informacji o planowanych rezerwach czasowych pozwalających szybko stwierdzić, czy gdy nastąpi opóźnienie prac, termin zakończenia danego przedsięwzięcia nie będzie zagrożony.

Ze względu na jednoznacznie określony czas trwania czynności składających się na dane przedsięwzięcie, obie metody: wykres Gantta i CPM nadają się do zastosowania przy planowaniu stosunkowo niezbyt dużych i przede wszystkim relatywnie krótko trwających przedsięwzięć. To ograniczenie pod względem długości czasu trwania całego przedsięwzięcia i poszczególnych czynności ma znaczenie w sytuacji, gdy organizacje działają w złożonym i niepewnym otoczeniu. Dłuższa perspektywa czasowa oznacza bowiem większą niepewność w działaniu i możliwe zmiany w realizacji przedsięwzięć, a coraz większa złożoność otoczenia, w którym działa organizacja, powo-

duje, że wykres Gantta i CPM mają ograniczone zastosowanie w planowaniu prac i ich przebiegu oraz kontroli. Uwzględniając powyższe uwagi, należy sądzić, że będą one jednak dalej wykorzystywane jako jedne z prostych metod planowania i kontroli przebiegu prac oraz zasobów przynajmniej na etapie wstępnym realizacji przedsięwzięcia.

Analiza przykładowego zestawu czynności przy ich wykorzystaniu pokazała, że z dwóch ścieżek krytycznych wyznaczonych na wykresie Gantta jedna potwierdziła się w CPM. Jest to związane z tym, że przy kilku jednocześnie trwających czynnościach, bardziej dokładna okazała się ta druga. Zależności pomiędzy czynnościami są także wyraźniej widoczne w CPM, niż na wykresie Gantta.

### Literatura

- Adamiecki K. 1909 *Metoda wykreślna organizowania pracy zbiorowej w walcowniach*, „Przegląd Techniczny”, nr 17, nr 18, nr 19, nr 20.
- Bieniok H. 2004 *Metody sprawnego zarządzania*, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa.
- Clark W. 1952 *The Gantt Chart A Working Tool for Management*, Pitman Publishing, New York.
- Durlik I, 1996 *Inżynieria zarządzania, cz.1*, Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa.
- Field M., Keller L. 1998 *Project Management*, Thomson Business Press/Open University, London.
- Gantt H.L. 1903 *A graphical daily balance in manufacture*, ASME Transactions 24.
- Geraldi J., Lechter T. 2012 *Gantt charts revisited. A critical analysis of its roots and implications to the management of projects today*, „International Journal of Managing Projects in Business”, vol. 5, Issue 4.
- Jędrzejczyk Z., Kukula K., Skrzypek J., Walkosz A. 2011 *Badania operacyjne w przykładach i zadaniach*, PWN, Warszawa.
- Kumar P.P. 2005 *Effective Use of Gantt Chart for Managing Large Scale Projects*, „Cost Engineering”, vol. 47.
- Levy F. K., Thomson G., Wiest J. 1963 *The ABCs of the Critical Path Method*, „Harvard Business Review” z 1 września.
- Lis S., Nizialek D., Wróblewski K.J. 1987 *Organizacja podstawowych procesów produkcyjnych i sterowanie produkcją, cz. I*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Mantel S. J., Meredith, J. R., Shafer S. M., Sutton M. M. 2011 *Project Management in Practice*, ed. 4<sup>th</sup>, John Wiley & Sons, New York.
- Meredith J. R., Mantel S. J. 1995 *Project Management*, John Wiley & Sons, New York.
- Nahmias S. 2001 *Gantt Charts*, [w:] *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, S. I. Gass, C. M. Harris (eds.), 2nd ed., Centennial Edition, LXXXIV.
- Nowoczesne zarządzanie projektami*, 2012, M. Trocki (red.), PWE, Warszawa.
- Pająk E. 2006 *Zarządzanie produkcją. Produkt, technologia, organizacja*, PWN, Warszawa.
- Wilson J.M. 2003 *Gantt charts: A centenary appreciation*, “European Journal of Operational Research”, 149.

- Wirkus M, Roszkowski H., Dostatni E., Gierulski W. 2014 *Zarządzanie projektem*, PWE, Warszawa.
- Wysocki R, McGary R. 2003 *Effective Project Management: Traditional, Adaptive, Extreme*, Third Edition, Wiley.
- Wysocki R., McGary R. 2005 *Efektywne zarządzanie projektami*, wyd. III, Helion One Press, Gliwice.