



POLITECHNIKA WARSZAWSKA
WYDZIAŁ BUDOWNICTWA, MECHANIKI I PETROCHEMII
INSTYTUT INŻYNIERII MECHANICZNEJ



ORGANIZACJA I ZARZĄDZANIE

Planowanie przedsięwzięcia metodą CPM

Instrukcja do ćwiczeń projektowych

Opracował: dr inż. Cezary Wiśniewski

Materiały dydaktyczne opracowane na podstawie: Bałuk J., Lenard W.: „Organizacja procesów produkcyjnych – materiały pomocnicze do ćwiczeń”, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1991

Płock, 2012

CEL PROJEKTU

Celem projektu jest uzyskanie przez studentów elementarnej wiedzy w zakresie teoretycznych podstaw i praktycznych zastosowań metod planowania przedsięwzięć. Opracowany projekt planu przedsięwzięcia metodą CPM umożliwi nabycie umiejętności logicznego porządkowania, analizy i syntezy zadań, które wchodzi w skład przedsięwzięcia. Projekt ma też na celu wykształcenie umiejętności czytelnego i poprawnego pod względem merytorycznym i metodycznym przedstawiania planu przedsięwzięcia oraz optymalizacji tego planu pod względem czasowym.

ZAKRES PROJEKTU

W tabeli w Załączniku 1 przedstawione są zadania wchodzące w skład przedsięwzięcia polegające go na wprowadzeniu na rynek nowego wyrobu. Tabela zawiera nazwy zadań, czasy normalne wykonania poszczególnych zadań oraz listę zadań bezpośrednio poprzedzających poszczególne zadania. Na podstawie tych informacji należy:

1. opracować schemat sieci przedsięwzięcia,
2. policzyć: najwcześniejsze i najpóźniejsze terminy rozpoczęcia i zakończenia kolejnych zadań, luzy czasowe dla zadań, zapasy czasów (całkowity, dyspozycyjny swobodny i warunkowy oraz niezależny) dla zadań, czas realizacji przedsięwzięcia w czasie normalnym,
3. określić ścieżkę krytyczną dla tego przedsięwzięcia,
4. przyjmując podaną przez prowadzącego na zajęciach datę rozpoczęcia przedsięwzięcia, narysować dla niego wykres Gantta w układzie kalendarzowym oraz określić daty zakończenia realizacji każdego z etapów przedsięwzięcia. (Uwaga. Uwzględnić fakt występowania dni wolnych od pracy zaznaczając je na wykresie Gantta. Przyjąć system pracy 24 godzinny bez przerw w dni wolne od pracy).

Uwaga!

Dane do projektu znajdują się w Załączniku 1 na końcu instrukcji.

1. POJĘCIE PRZEDSIĘWZIĘCIA

Przedsięwzięciem (zadaniem, programem, projektem) nazywamy zespół działań związanych z realizacją celów przekraczających (ze względu na rozmiar i stopień złożoności) możliwości wykonawcze jednej jednostki organizacyjnej. Działania mogą się pokrywać czasowo, zająć lub przebiegać równolegle. Przedsięwzięcie ma zawsze ustalony początek i koniec, zarówno pod, względem działań, jak i czasu trwania (moment rozpoczęcia i zakończenia). Złożone przedsięwzięcia z zakresu szeroko rozumianych działań gospodarczych wymagają opracowania szczegółowego planu realizacji i ciągłej wnikliwej kontroli przebiegu. Obecnie często do planowania i kontroli prowadzonych przedsięwzięć stosujemy metody sieciowe.

2. METODY PLANOWANIA PRZEDSIĘWZIĘĆ

Jedną z najczęściej używanych metod analizy sieciowej przedsięwzięć jest metoda drogi krytycznej - CPM (Critical Path Method). Metoda ta pozwala na planowanie i kontrolę realizacji przedsięwzięcia z określeniem czasu jego trwania i możliwości przewidywania skutków zmian w przebiegu czynności. Celem jest więc określenie najkrótszego czasu, w jakim przedsięwzięcie może być wykonane, jednocześnie zaś ułatwienie i zapewnienie jego prawidłowej realizacji. W przypadku tej metody zakłada się, że czas trwania poszczególnych działań (czynności) przedsięwzięcia jest zdeterminowany, tj. ściśle ustalony.

Inną, także rozpowszechnioną metodą, jest metodą techniki oceny i kontroli programu działania - PERT (Program Evaluation and Review Technique). Metoda ta również pozwala na planowanie i kontrolę realizacji przedsięwzięcia, jednak w przypadkach gdy czasy trwania czynności niepowtarzalnych lub nietypowych (np. w pracach badawczych lub rozwojowych, eksperymentalnych) nie są ustalone deterministycznie. Czasy te są ustalane na podstawie oceny prawdopodobieństwa ich trwania.

Wyniki osiągane za pomocą obu metod są podobne, choć oprócz sposobu ustalania czasów trwania czynności różnią się one sposobem budowania wykresu sieciowego. W warunkach polskich przyjętą się sposób zapisu metodą CPM. Przy obu metodach zasoby finansowe, materiałowe oraz środki produkcji - maszyny, urządzenia, jak również potencjał ludzki traktuje się jako ilości niezmiennie w czasie realizacji przedsięwzięcia. Istotną cechą tych metod jest wyznaczanie ciągu czynności (działań) limitujących czas trwania przedsięwzięcia. Ciąg taki na sporządzonej w projektowaniu tymi metodami sieci czynności nosi nazwę drogi krytycznej (ścieżki krytycznej).

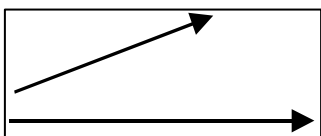
Metoda CPM, jak również PERT, ma odmianę pozwalającą na optymalizację kosztu całkowitego przedsięwzięcia, przy uprzednio obliczonym czasie jego trwania, lub w innych przypadkach przy ustalonym koszcie na optymalizację czasu wykonania. Odmiana ta nosi nazwę CPM-Cost (podobnie PERT-Cost).

Oprócz powyższych stosuje się szereg innych metod analizy przedsięwzięć, jak CPA, ADK, LESS, RAMPS, mających bardziej ograniczone zastosowanie. Często nazwa metody odnosi się do nazwy programu sporządzonego na elektroniczną maszynę cyfrową.

3. PODSTAWOWE POJĘCIA I ZASADY BUDOWY SIECI

W metodach sieciowych podstawową formą przedstawienia przedsięwzięcia jest wykreślona graficznie siatka powiązań (sieć czynności). Do jej budowy używane są symbole graficzne obrazujące umowne pojęcia: czynności i zdarzenia.

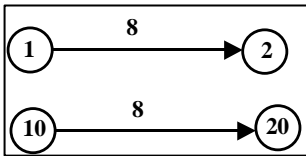
Czynność jest to pewne działanie cząstkowe przedsięwzięcia zużywające czas i środki (pracę ludzką, pracę maszyn, energię, materiały, środki finansowe, itp.). Zależnie od stopnia szczegółowości planowania czynność może być prosta, np. opracowanie konstrukcji wału korbowego, lub złożona, np. opracowanie konstrukcji silnika spalinowego.



Czynność przedstawiamy graficznie za pomocą strzałki (tzw. łuk w sieci) o dowolnej długości. W zasadzie nie ma reguł kierunkowania strzałek, jednak staramy się, aby rysować je zgodnie z układem normalnego pisma, tj. w prawo i w dół rysunku. Czas trwania czynności wpisujemy nad strzałką, tam również

niekiedy podaje się nazwę czynności, a pod strzałką wykonawcę.

Moment, kiedy czynność może się rozpocząć, uwarunkowany jest ukończeniem czynności poprzedniej (jednej lub kilku). Moment ten nazywamy zdarzeniem. Wyjątkiem jest pierwsza czynność w sieci, która nie musi być poprzedzona ukończeniem jakiegokolwiek czynności poprzedniej.

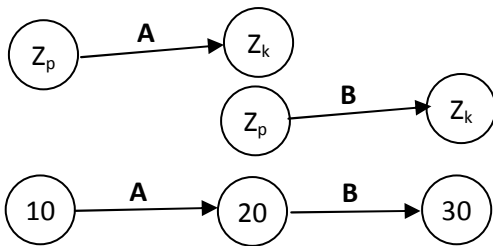


Zdarzenie jest to więc moment zakończenia lub rozpoczęcia czynności. Zdarzenie jako moment czasowy nie zużywa czasu ani środków. Zdarzenie oznacza się najczęściej symbolem kółka, rzadziej kwadratu lub elipsy (jest to tzw. węzeł sieci) i numeruje liczbami naturalnymi dążąc do zachowania kolejności numerów (ale nie jest to warunek konieczny); niekiedy pozostawia się rezerwę numerów.

W przedstawionej powyżej konwencji budowy sieci czynność jest oznaczana łukiem (strzałką), natomiast zdarzenie węzłem (np. kołem).

Oprócz tego istnieje też inna konwencja, w której czynność przypisana jest do węzła sieci, a zdarzenie oznaczane jest strzałką (łukiem sieci). Tę konwencję często wykorzystują programy wspomagające analizę przedsięwzięć (np. MS Projekt, Open Projekt) do graficznego przedstawiania sieci powiązań między zadaniami w przedsięwzięciu.

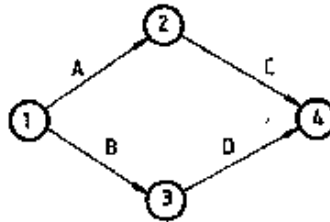
4. ZASADY BUDOWY SIECI POWIĄZAŃ



Dla dwóch czynności następujących po sobie, zdarzenie końcowe pierwszej czynności jest jednocześnie początkowym drugiej i oznacza się je jako wspólne zdarzenie. Tak zatem można rysować sekwencje czynności i wskazywać ich powiązania.

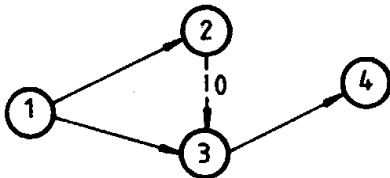
Porównując zapis przebiegu czynności za pomocą tzw. wykresu Gantta i sieci powiązań, można spostrzec, że ta ostatnia daje obraz wyraźniejszy zwłaszcza przy dużej liczbie

Czynność	1	2	3	4	5	6
A	█					
B				█		
C				█		
D				█		



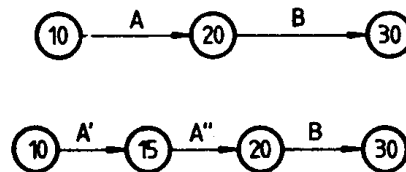
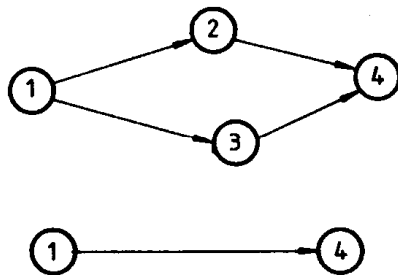
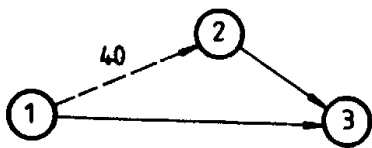
czynności zależnych od siebie. Można tu zauważyć także zdarzenia rozpoczynające lub kończące więcej niż jedną czynność; nazywamy je węzłami. Istnieje jednak zasada, że między dwoma zdarzeniami może występować tylko jedna czynność w sieci powiązań.

Z analizy przedsięwzięć wynika często, że dwie lub więcej czynności przebiegają równolegle. Do zapisu takiego stanu używa się tzw. czynności pozornej, tj. takiej, która w rzeczywistości nie występuje, czas jej wynosi zero i nie zużywa ona żadnych środków. Czynność pozorna często jest też używana do zaznaczenia, że dwa zdarzenia występują w tym samym momencie. Czynność pozorną oznacza się linią przerywaną. Ten sam symbol, z określonym czasem trwania, oznacza przerwy w realizacji przedsięwzięcia, np. oczekiwanie na zatwierdzenie projektu technicznego. Taką czynność nazywa się zwłoką konieczną.



Często występuje potrzeba stosowania czynności złożonych zamiast czynności prostych lub konieczność podziału czynności złożonych.

Przypadki takie można ujmować w sieci w sposób przedstawiony na poniższych rysunkach.



5. BUDOWA SIECI ZALEŻNOŚCI

Przystępując do budowy sieci dla dowolnego przedsięwzięcia należy uprzednio:

1. opracować wykaz wszystkich czynności występujących w danym przedsięwzięciu z określeniem ich nazwy, czasu trwania, komórek lub osób, które tę czynność będą realizowały,
2. określić okoliczności warunkujące wykonanie czynności,
3. ustalić czynność pierwszą rozpoczynającą wykonanie przedsięwzięcia.

Do wykreślenia sieci czynności dla dowolnego projektu niezbędne są informacje dotyczące czynności wchodzących w skład przedsięwzięcia oraz ustalenie kolejności ich występowania. Ponadto w trakcie wykreślenia sieci powinny być przestrzegane następujące zasady:

1. zdarzenie początkowe nie ma czynności poprzedzających,
2. zdarzenie końcowe nie ma czynności następujących,
3. dwa kolejne zdarzenia mogą być połączone tylko jedną czynnością,
4. wszystkie zdarzenia w sieci, z wyjątkiem początkowego lub końcowego, powinny być początkiem i końcem co najmniej jednej czynności.

Można wyróżnić następujące etapy konstruowania sieci:

1. ustalenie listy czynności,
2. ustalenie zdarzenia początkowego i końcowego przedsięwzięcia,
3. określenie kolejności wykonywania czynności,
4. numerowanie wierzchołków.

PRZYKŁAD

Opisane powyżej postępowanie zilustrujemy przykładem budowy sieci przedsięwzięcia dotyczącego przygotowania wystawy.

1. Ustalenie listy czynności. W zadaniu można wyodrębnić następujące czynności:

- A — wybór lokalizacji wystawy,
- B — przygotowanie eksponatów,
- C — przygotowanie terenu wystawy,
- D — przygotowanie stoisk,
- E — dostawa eksponatów,
- F — przygotowanie obsługi stoisk (ustalenie składu osobowego i przeszkolenie),
- G — urządzenie stoisk wystawowych,
- H — otwarcie wystawy.

2. Ustalenie zdarzenia początkowego i końcowego przedsięwzięcia. Zdarzeniem początkowym jest „podjęcie decyzji o urządzeniu wystawy”, a zdarzeniem końcowym „otwarcie wystawy”.

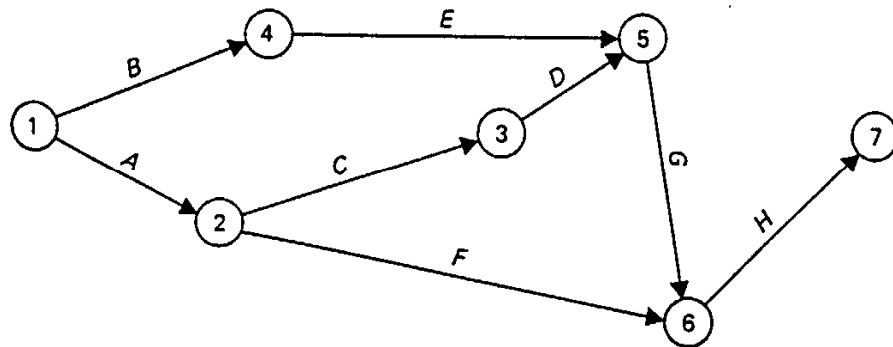
3. Określenie kolejności wykonywania czynności. Należy tu dla każdej czynności ustalić:

- czynności poprzedzające, czyli te, które powinny być zakończone przed rozpoczęciem danej czynności,
- czynności równoległe, tzn. te, które mogą być wykonywane jednocześnie z czynnością rozpatrywaną,
- czynności następujące, tzn. te, które powinny się rozpocząć po rozpatrywanej czynności.

Powiązania między czynnościami dla rozpatrywanego przedsięwzięcia przedstawiono w tablicy.

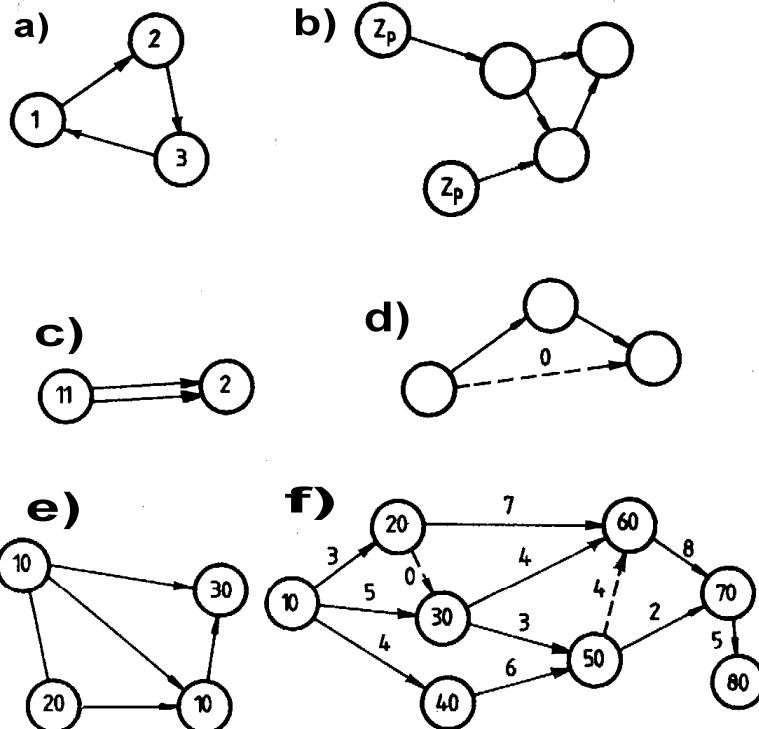
Czynności	Czynności bezpośrednio:	
	poprzedzające	następujące
A	-	C, F
B	-	E
C	A	D
D	C	G
E	B	G
F	A	H
G	E, D	H
H	F, G	-

5. Numerowanie wierzchołków. Przy numerowaniu wierzchołków sieci (zdarzeń) należy uwzględnić, że następują one w określonej kolejności oraz to, że zdarzenie będące początkiem czynności powinno mieć numer mniejszy niż zdarzenie, które jest końcem tej czynności. Strzałka wskazująca kolejność wykonywania



czynności powinna więc prowadzić od zdarzenia o numerze mniejszym do zdarzenia o numerze większym. Sieć czynności rozpatrywanego przedsięwzięcia można przedstawić jak na poniższym rysunku.

6. BŁĘDY WYSTĘPUJĄCE W SIECIACH



Typowe błędy popełniane w czasie budowy sieci: a) pętla, b) dwa zdarzenia początkowe, c) czynności równoległe, d) czynności zbędne, e) błędna numeracja zdarzeń, f) sieć poprawna

7. METODYKA OBLICZANIA TERMINÓW ZDARZEŃ I LUZÓW

Po wykonaniu sieci powiązań danego przedsięwzięcia z wpisanymi numerami zdarzeń i podanymi czasami trwania czynności, można przystąpić do wykonania obliczeń czasu trwania przedsięwzięcia i ustalenia tych czynności, które będą decydowały o dotrzymaniu terminu zakończenia. Konieczne jest tutaj wprowadzenie szeregu dodatkowych pojęć. Należą do nich:

Czasy zdarzeń (terminy zdarzeń). Definicja zdarzenia jako momentu rozpoczęcia lub zakończenia czynności jest słuszna, jednak ten moment może nastąpić w określonym przedziale czasowym. Można tu wyróżnić „najwcześniejszy możliwy termin zdarzenia” oznaczany T_i^0 oraz „najpóźniejszy dopuszczalny termin zdarzenia” oznaczany T_i^1 . Indeks „i” oznacza, że jest to zdarzenie początkowe dla rozpatrywanej czynności,

„0” – termin najwcześniejszy możliwy, „1” – termin najpóźniejszy dopuszczalny. Podobnie oznaczamy: T_j^0 - najwcześniejszy możliwy termin zdarzenia końcowego, T_j^1 - najpóźniejszy dopuszczalny termin zdarzenia końcowego.

Czas trwania czynności oznaczamy przez t_{ij} .

Luz jest to okres (przedział czasowy), w czasie którego może nastąpić moment zdarzenia. Określa się go wzorem:

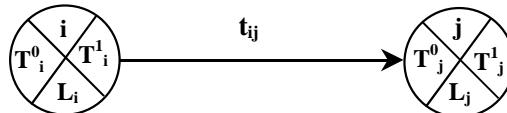
$$L_i = T_i^1 - T_i^0 \text{ oraz } L_j = T_j^1 - T_j^0$$

gdzie:

L_i – luz zdarzenia początkowego dla danej czynności,

L_j - luz zdarzenia końcowego dla danej czynności.

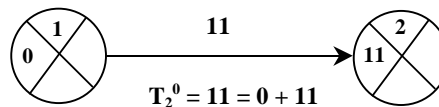
Graficznie symbolikę czynności można przedstawić w sposób pokazany poniżej.



8. METODYKA OBLICZANIA SIECI ZALEŻNOŚCI

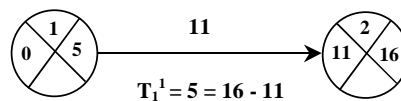
Przystępując do obliczenia sieci zależności należy ustalić najwcześniejszy możliwy termin zdarzenia początkowego, które rozpoczyna całe przedsięwzięcie. Przeważnie przy wykonywaniu obliczeń przyjmuje się ten termin umownie jako zerowy, zaś w chwili rozpoczęcia przedsięwzięcia (lub wcześniej) można pod termin zerowy podstawić rzeczywistą datę kalendarzową.

Analizę sieci powiązań przeprowadza się od początkowego zdarzenia przesuwając się w prawo, obliczając najpierw wszystkie najwcześniejsze terminy zdarzeń T_j^0 według wzoru: $T_j^0 = \max (T_i^0 + t_{ij})$.



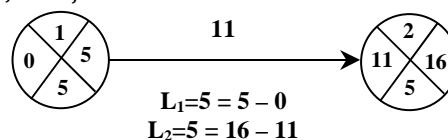
Wartość maksymalną wybieramy spośród wszystkich możliwych wartości w przypadku gdy zdarzenie jest węzłem z dochodzącymi czynnościami. Postępując w ten sposób dla kolejnych czynności, otrzymamy najwcześniejszy możliwy termin zdarzenia końcowego, tj. termin zakończenia całego przedsięwzięcia. Termin ten określa jednoznacznie koniec planowanego przedsięwzięcia i może być przedstawiony decydentowi, który może go zatwierdzić lub zmienić przedłużając lub skracając czas.

Termin ustalony przez decydenta, zwany dyrektywnym, jest obowiązujący i wpisujemy go jako najpóźniejszy dopuszczalny termin zdarzenia kończącego przedsięwzięcie T_j^1 . Dalsze obliczenia najpóźniejszych dopuszczalnych terminów poszczególnych zdarzeń przeprowadzamy przesuwając się w lewo wzdłuż sieci. Korzystamy przy tym ze wzoru: $T_i^1 = \min (T_j^1 - t_{ij})$.



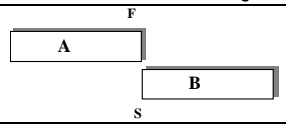

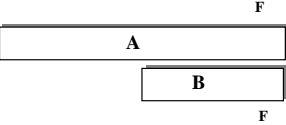
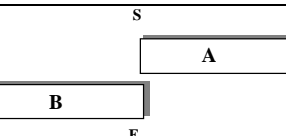
Podobnie jak poprzednio, w przypadku kilku czynności wychodzących z jednego węzła przy obliczeniu przyjmujemy jedną wartość tym razem minimalną.

Pozostał do obliczenia jeszcze luz, jaki występuje w poszczególnych zdarzeniach. Skorzystamy przy tym ze wzoru: $L_i = T_i^1 - T_i^0$ oraz $L_j = T_j^1 - T_j^0$.



W przypadku sieci zadań, wartości wymienionych wyżej terminów rozpoczęcia i zakończenia czynności (zadań) zależą od typu powiązań między zadaniami w sieci. Najprostszym i najczęściej spotykanym powiązaniem dwóch zadań w sieci jest powiązanie typu koniec-początek, ale mogą też wystąpić relacje innego typu.

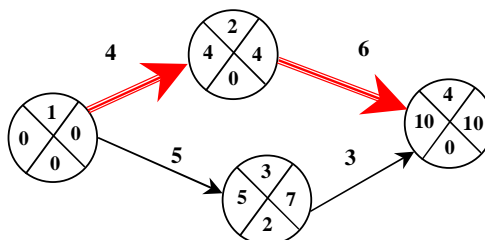
9. TYPY RELACJI MIĘDZY ZADANIAMI

	FINISH-TO-START (koniec-początek) – zadanie B nie może się rozpocząć, dopóki nie zakończy się zadanie A
	START-TO-START (początek-początek) – zadanie B może się rozpocząć dopiero gdy zadanie A zostanie rozpoczęte
	FINISH-TO-FINISH (koniec-koniec) – zadanie B nie może się zakończyć dopóki zadanie A nie zostanie zakończone
	START-TO-FINISH (początek-koniec) – zadanie B nie może się zakończyć dopóki zadanie A nie rozpocznie się

Typ relacji między zadaniami w sieci w pewnym stopniu determinuje niektóre terminy zdarzeń rozpoczęcia i zakończenia czynności. Na przykład w relacji koniec-koniec najwcześniejszy termin zakończenia zadania B pokrywa się z najwcześniejszym terminem zakończenia zadania A.

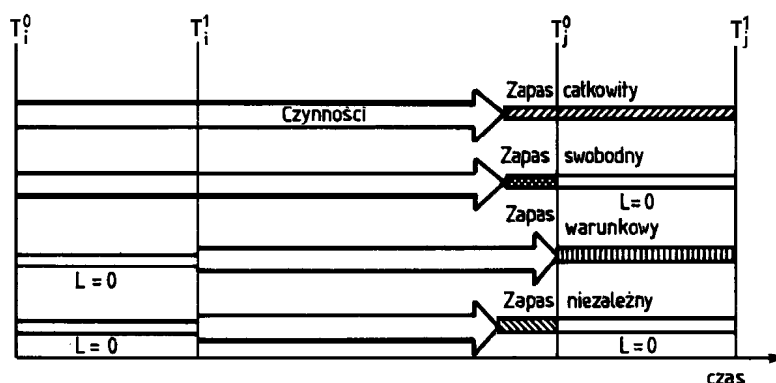
10. WYZNACZANIE DROGI KRYTYCZNEJ

Analizując obliczoną sieć można zauważyć, że występuje w niej szereg zdarzeń mających jednakową i najmniejszą liczbowo wartość luzów. Oznacza to, że czynności łączące te zdarzenia mają w sumie najdłuższe czasy wykonania i wobec tego one wpływają decydująco na termin ukończenia przedsięwzięcia. Sekwencja tych czynności nosi nazwę drogi (ścieżki) krytycznej, a czynności leżące na tej ścieżce nazywane są czynnościami krytycznymi. Cechą charakterystyczną tych czynności jest to, że ich przedłużenie (każdej z czynności) może spowodować zwiększenie czasu wykonania przedsięwzięcia, czyli opóźnienie terminu zakończenia. Przykładowe rozwiązanie prostej sieci powiązań przedstawiono na poniższym rysunku.



11. POJĘCIE ZAPASÓW CZASU CZYNNOŚCI

Przy omawianiu drogi krytycznej podano, że zdarzenia leżące na niej mają najmniejsze luzy, a czynności - najdłuższy czas wykonania. Można z tego wysnuć wniosek, że pozostałe czynności, nie leżące na drodze krytycznej, trwające krócej niż czynności krytyczne, mają pewne zapasy czasu. Zapasy te różnią się między sobą. Można wydzielić 3 podstawowe grupy zapasów:



Zapas całkowity (Z_C) - jest to zapas czasu, jaki ma każda czynność nie leżąca na ścieżce krytycznej. Zapas ten czynność ma wspólnie z sąsiadującymi przed nią i za nią czynnościami w sieci powiązań. Ta cecha zapasu sprawia, że w niedostatecznym stopniu informuje on o możliwościach jego wykorzystania. Zapas całkowity obliczamy dla czynności i-j ze wzoru:

$$Z_C = T_j^1 - T_i^0 - t_{ij}$$

Zapas dyspozycyjny - wywodzi, swą nazwę od możliwości dysponowania nim przez osobę planującą lub realizującą przedsięwzięcie. Ze względu na pewne ograniczenia rozróżnia się zapasy: dyspozycyjny swobodny oraz warunkowy.

Zapas swobodny (Z_S) - jest to zapas czasu, który może być przez dysponenta wykorzystany wtedy, gdy wszystkie poprzedzające go czynności zostały zakończone w obliczonym terminie, czyli jest to rezerwa nie wpływająca na zapasy jakie mają następne czynności. Wynika z tego wniosek, że zapas ten można wykorzystać dopiero w czasie realizacji przedsięwzięcia; przy pracach planistycznych ma on tylko znaczenie informacyjne. Zapas swobodny występuje głównie w czynnościach dochodzących do zdarzeń leżących na ścieżce krytycznej. Zapas swobodny wylicza się ze wzoru:

$$Z_S = T_j^0 - T_i^0 - t_{ij}$$

Zapas warunkowy (Z_W) - jest to zapas czasu, który może być przez dysponenta wykorzystany pod warunkiem, że następujące po nim czynności rozpoczną się w najpóźniejszym dopuszczalnym terminie, czyli jest to rezerwa bez wpływu na zapasy jakie mają poprzednie czynności. Znajomość tego zapasu może być przydatna zarówno w okresie planowania jak i realizacji przedsięwzięcia. Zapas warunkowy występuje głównie w czynnościach odchodzących od zdarzeń leżących na ścieżce krytycznej. Zapas warunkowy wylicza się ze wzoru:

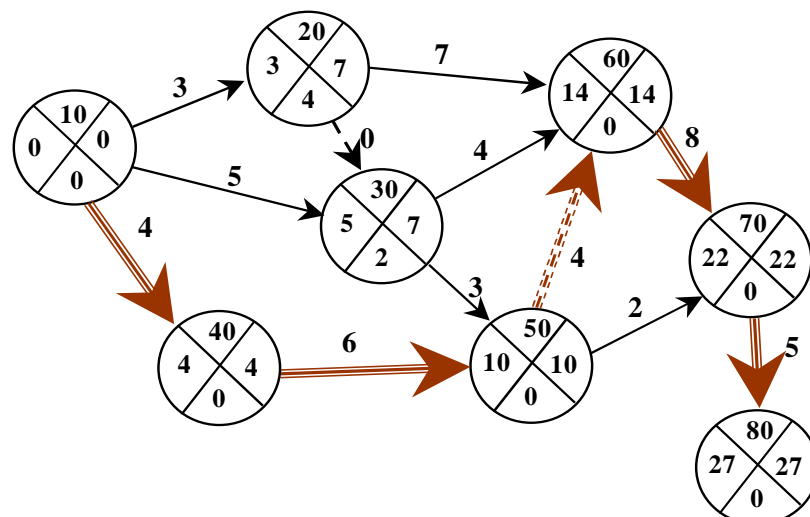
$$Z_W = T_j^1 - T_i^1 - t_{ij}$$

Zapas niezależny (Z_N) - jest to zapas czasu, który może być wykorzystany przez dysponenta zawsze, jest on bowiem niezależny od innych czynności (czynności te nie mogą korzystać z zapasu i nie mogą się przedłużyć, leżą bowiem na drodze krytycznej). Czynność mająca zapas niezależny spina zdarzenia leżące na drodze krytycznej. Zapas ten jest najcenniejszy dla projektanta-planisty, ponieważ może nim dysponować jeszcze przed rozpoczęciem przedsięwzięcia. Inaczej mówiąc jest to rezerwa możliwa do wykorzystania bez wpływu na zapasy innej czynności. Zapas niezależny wylicza się ze wzoru:

$$Z_N = T_j^0 - T_i^1 - t_{ij}$$

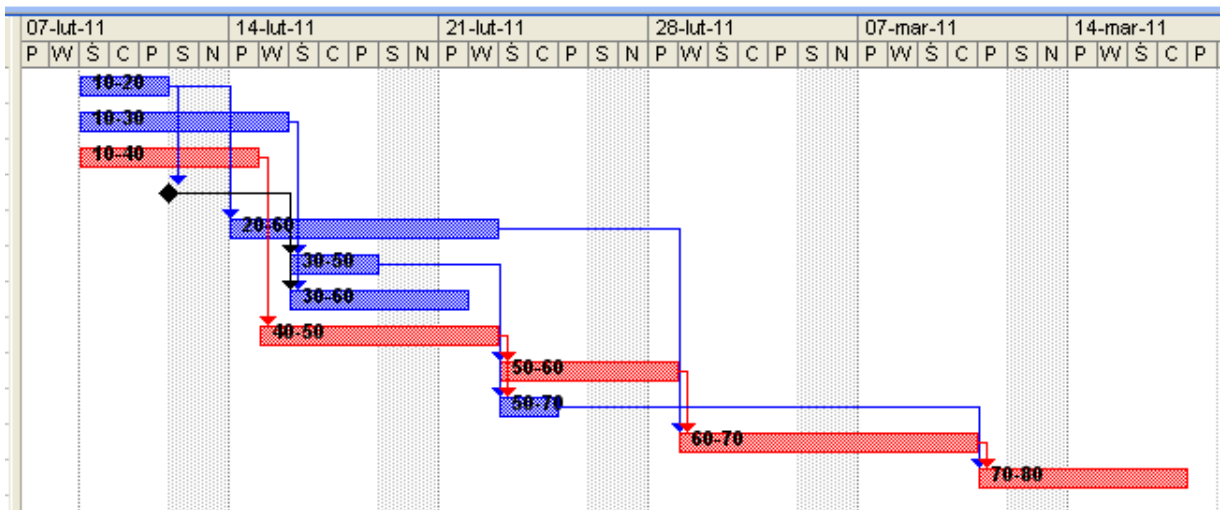
Aby ułatwić wykonywanie obliczeń zapasów czasu, poszczególnych czynności, jak również prowadzenie kontroli terminów realizacji przedsięwzięcia, należy wszystkie podstawowe dane dotyczące czynności i wyniki obliczeń, tj. oznaczenie czynności, czas jej trwania, najwcześniejsze i najpóźniejsze terminy rozpoczęcia i zakończenia czynności oraz zapasy czasu i wyznaczoną drogę (ścieżkę) krytyczną ująć w jednej tablicy.

Przykład:



Zestawienie czasów czynności i terminów zdarzeń oraz zapasów czasu dla sieci czynności z rysunku

Oznaczenie czynności	Czas trwania [dni]	Początek		Koniec		Zapasy czasów [dni]				Ścieżka krytyczna
		najwcześniej	najpóźniej	najwcześniej	najpóźniej	Z _C	Z _S	Z _W	Z _N	
i-j	t _{ij}	T ₁ ⁰	T ₁ ¹	T _j ⁰	T _j ¹	Z _C	Z _S	Z _W	Z _N	
10-20	3	0	0	3	7	4	0	4	0	-
10-30	5	0	0	5	7	2	0	2	0	-
10-40	4	0	0	4	4	0	0	0	0	tak
20-30	0	3	7	5	7	4	2	0	-2	-
20-60	7	3	7	14	14	4	4	0	0	-
30-50	3	5	7	10	10	2	2	0	0	-
30-60	4	5	7	14	14	5	5	3	3	-
40-50	6	4	4	10	10	0	0	0	0	tak
50-60	4	10	10	14	14	0	0	0	0	tak
50-70	2	10	10	22	22	10	10	10	10	-
60-70	8	14	14	22	22	0	0	0	0	tak
70-80	5	22	22	27	27	0	0	0	0	tak



Literatura:

1. Bałuk J., Lenard W.: „Organizacja procesów produkcyjnych – materiały pomocnicze do ćwiczeń”, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1991
2. Lenard W., Bałuk J., Gąsioriewicz L.: „Organizacja i zarządzanie – ćwiczenia” Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1979
3. Muhlemann A. P., Oakllland J. S., Lockyer K. G.: „Zarządzanie. Produkcja i usługi”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997

Załącznik 1.

Oznaczenie zadania	Treść zadania	Zadania poprzedzające	czas [h]				
			A	B	C	D	E
Etap I							
A	badania wstępne i studia	-	80	70	75	60	64
B	opracowanie założeń	A	40	30	38	20	35
C	zatwierdzenie założeń	B	16	12	14	11	18
D	opracowanie i zatwierdzenie projektu wstępnego	C	160	150	140	120	165
E	zamówienie i sprowadzenie materiałów na budowę modeli	C	112	100	110	100	115
F	wykonanie modeli w dziale budowy prototypów	D, E	40	30	35	24	45
G	przeprowadzenie badań i prób modeli	F	80	90	85	70	75
H	odbiór i zatwierdzenie modeli	G	32	30	25	35	30
Etap II							
I	opracowanie projektu technicznego oraz specyfikacji materiałowej, przekazywanej następnie do zaopatrzenia	H	40	30	35	24	45
J	opracowanie kart reklamacyjnych prototypu	I	16	14	12	18	15
K	opracowanie kalkulacji prototypu przez dział technologiczny i księgowość	I	56	50	40	60	55
L	opracowanie karty reklamacji przez zaopatrzenie	I	24	20	18	22	30
M	wprowadzenie poprawek do dokumentacji przez dział konstrukcyjny	J	64	60	55	70	65
N	zatwierdzenie projektu technicznego	M	16	12	15	10	18
O	opracowanie dokumentacji oprzyrządowania prototypów przez dział technologiczny (na zlecenie działu konstrukcyjnego)	K, N	80	90	72	75	85
P	zamówienie i sprowadzenie materiałów na budowę prototypów (do czynności tej przystępuje się po zatwierdzeniu dokumentacji)	L	40	30	35	24	45
Q	wykonanie oprzyrządowania przez dział narzędziowni	O	64	60	55	70	75
R	wykonanie prototypów w dziale budowy prototypów	P, Q	80	76	79	68	88
S	przeprowadzenie badań i prób prototypów	R	72	70	75	65	60
T	zatwierdzenie prototypów	S	16	12	14	15	18
Etap III							
U	opracowanie dokumentacji konstrukcyjnej w oparciu o karty reklamacyjne prototypu oraz odpowiednie wnioski zainteresowanych służb	T	120	100	115	130	125
V	opracowanie kart materiałowych	U	40	35	33	45	48
W	opracowanie dokumentacji oprzyrządowania	U	80	80	78	82	75
X	opracowanie kart technologicznych	U	80	75	88	82	80
Y	opracowanie norm czasowych	U	40	32	35	36	44
Z	zamówienie i sprowadzenie materiałów dla serii pilotowej i produkcji seryjnej	V	56	50	52	60	58
A1	wykonanie oprzyrządowania	W	80	72	76	78	88
B1	opracowanie kalkulacji wstępnej	Y	32	30	28	25	36
C1	zatwierdzenie dokumentacji dla serii pilotowej	X	24	20	22	28	25
D1	opracowanie dokumentacji warsztatowej dla serii pilotowej	B1, C1	80	72	75	76	82
E1	wykonanie serii pilotowej (10 szt.)	Z, A1, D1	80	90	72	76	74
F1	zatwierdzenie dokumentacji po wykonaniu serii pilotowej	E1	8	6	8	12	8
G1	ostateczna korekta dokumentacji	F1	16	12	12	8	8
H1	uzupełnienie oprzyrządowania oraz poprawki w już istniejącym	F1	88	80	72	76	72
I1	korekta zapotrzebowania materiałowego	F1	16	12	8	8	8
J1	ostateczne zatwierdzenie dokumentacji dla produkcji seryjnej i przekazanie jej do wykorzystania zainteresowanym komórkom	G1	16	8	8	8	8