

2.3.2. Planowanie czasu przy użyciu metod sieciowych

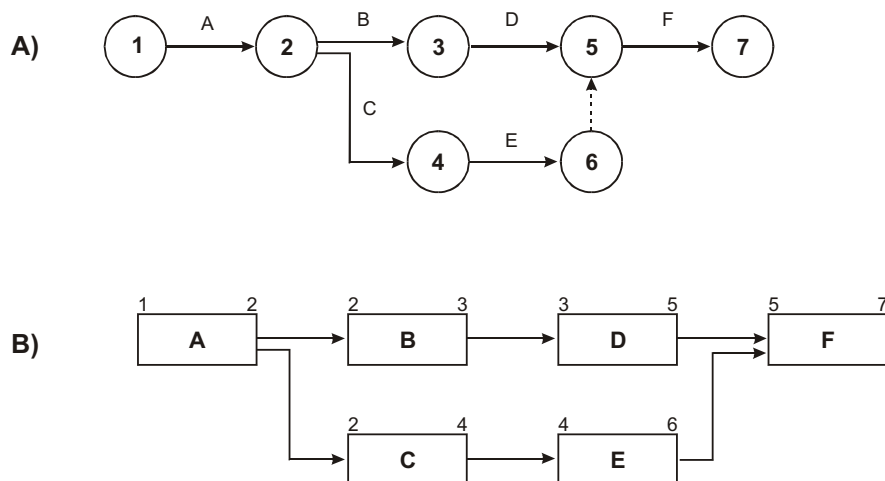
Każde przedsięwzięcie składa się z rozmaitych działań, które mogą i powinny być uporządkowane w logicznej kolejności. Niektóre czynności mogą być wykonywane w tym samym czasie lub po sobie w dowolnej kolejności, w przypadku innych konieczne jest zachowanie ściśle określonego następstwa. Dla przykładu: po przybyciu na biwak można równocześnie (o ile oczywiście jest do dyspozycji wystarczająca liczba osób) przyrządzać posiłek i rozbijać namioty, natomiast przygotowanie posłań dla uczestników biwaku jest możliwe tylko po wcześniejszym rozbiciu namiotów.

Przygotowanie harmonogramu przy użyciu metod sieciowych prowadzi się w czterech głównych krokach:

1. stworzenie SPP z wyodrębnieniem pakietów pracch,
2. powiązanie pakietów pracch w jeden plan wykorzystując logikę zależności pomiędzy zdarzeniami „początek” i koniec” każdego z pakietów,
3. oszacowanie czasu trwania każdego z pakietów prac,
4. obliczenie terminów realizacji każdego z pakietów prac a tym samym całego procesu projektowego,
5. optymalizacja planu.

W przypadku realizacji pakietów prac „jeden po drugim” całe przedsięwzięcie trwa tyle, ile suma czasów potrzebnych do wykonania poszczególnych pakietów. W przypadku równoległego wykonywania kilku pakietów, czas trwania całego projektu jest sumą logiczną czasów trwania pakietów czyli równy czasowi trwania najdłużej trwającego pakietu. W takim wypadku czas trwania całego projektu będzie równy sumie czasów trwania najdłuższego ciągu sekwencyjnie wykonywanych pakietów. Taki ciąg zadań nazywa się **ścieżką krytyczną projektu**.

Najprostszym sposobem na zbudowanie planu czasowego oraz wyznaczenie czynności tworzących ścieżkę krytyczną, jest wykorzystanie metod sieciowych. Polegają one na graficznym wyznaczeniu zależności pomiędzy wszystkimi zadaniami tworzącymi planowane przedsięwzięcie. Istnieją dwie podstawowe metody konstrukcji sieci czynności. Pierwsza polega na oznaczeniu zadań (czynności) w formie strzałek (krawędzi sieci), które łączą zdarzenia (np. początek zadania i koniec zadania). W drugiej metodzie zadania są przedstawiane w węzłach, a nie na krawędziach sieci. Przykłady sieci czynności projektu, wykonanych obiema metodami przedstawia poniższy rysunek.



A) - węzły sieci (okręgi) oznaczają zdarzenia, a krawędzie sieci (strzałki) czynności; linią przerywaną oznaczono czynność pozorną
 B) - węzły sieci (prostokąty) oznaczają czynności, a krawędzie sieci (strzałki) - zdarzenia

Rysunek 14. Przykładowe sieci czynności.

Źródło: opracowanie własne.

Najczęściej w sieci typu A zdarzenia są numerowane od 1 do n, a czynności oznaczane są symbolami oznaczającymi węzły, które łączą. Na przykład czynność rozpoczynająca się zdarzeniem 1 i kończąca zdarzeniem 2 ma symbol (1-2). W drugim typie sieci czynności są numerowane alfanumerycznie (A, B, C, ...). Na przedstawionym rysunku, dla zwrócenia uwagi na konstrukcję obu sieci, zostały one oznaczone obydwojma sposobami. Należy zwrócić uwagę, że czynność (6-5) w pierwszym typie sieci, jest czynnością pozorną, tzn. zdarzenie 6 musi nastąpić aby rozpocząć czynność (5-7) lecz czas trwania czynności (6-5) jest równy 0.

W dalszej części zostanie przedstawiona metoda konstrukcji planu czasowego w oparciu o sieć czynności typu B. Ten sposób budowy sieci jest podstawą konstrukcji PDM (ang. *Precedence Diagramming Method*). PDM jest to plan sieciowy, w którym proces początkowy i końcowy opisywany jest za pomocą węzłów (rysunek 15), na którym opisuje się siedem zasadniczych dla planu czasowego informacji:

- czas trwania (CzTrw),
- najwcześniejszy możliwy termin rozpoczęcia zadania (WS),
- najwcześniejszy możliwy termin zakończenia zadania (WK),
- najpóźniejszy dopuszczalny termin rozpoczęcia zadania (PS),
- najpóźniejszy dopuszczalny termin zakończenia zadania (PK),
- zapas całkowity na zadaniu (ZC),
- zapas swobodny (ZS).

Technika tworzenia diagramów sieciowych PDM, wykorzystuje metodę ścieżki krytycznej.

Wczesny start zadania	Całkowity zapas czasu	Wczesny koniec zadania
Czas trwania	Nazwa zadania	
Późny start zadania	Swobodny zapas czasu	Późny koniec zadania

Rysunek 15. Opis zadania/czynności w metodzie PDM

Źródło: opracowanie własne.

Pierwszy etap opracowania harmonogramu projektu obejmuje:

- zdefiniowanie zadań,
- sekwencjonowanie czyli ustalanie zależności logicznych pomiędzy zadaniami,
- szacowanie czasu trwania każdej z nich.

Efekty tych działań w formie tabelarycznej, zostały przedstawione w tabeli poniżej.

Tabela 11. Sposób prezentacji danych wyjściowych

Nazwa	Czas trwania [dni]	Poprzednik
A	5	–
B	4	A
C	3	A
D	5	B
E	3	C
F	7	D, E

Źródło: opracowanie własne.

Warto zwrócić uwagę, że te same informacje można przedstawić posługując się pojęciem następników, a więc czynności które występują bezpośrednio w następstwie analizowanej czynności. W takim wypadku powyższa tabela zawierałaby następujące dane:

Tabela 12. Alternatywny sposób prezentacji danych wyjściowych do przygotowania planu czasowego

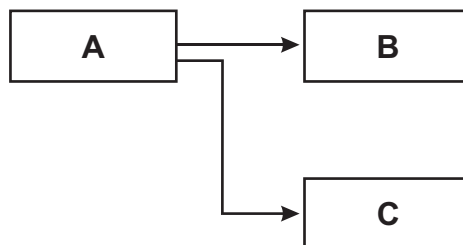
Nazwa	Czas trwania [dni]	Poprzednik
A	5	B, C

B	4	D
C	3	E
D	5	F
E	3	F
F	7	-

Źródło: opracowanie własne.

Nie ma zasadniczych różnic w logice pomiędzy oboma sposobami prezentacji zależności. Przygotowując plan projektu wybiera się jedną z nich, nie można stosować ich jednocześnie ponieważ jest to bardzo mylące, chociaż warto jest sprawdzić poprawność przygotowanych zależności sprawdzając je alternatywną metodą do tej wykorzystywanej przy planowaniu.

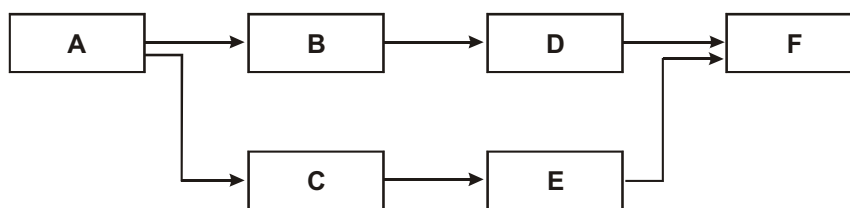
W **drugim etapie** należy narysować sieć czynności, posługując się danymi zawartymi w kolumnie „Poprzedniki”. Analizując przedstawiony przykład widać wprost, że pierwszym zadaniem, które powinno być wykonane w projekcie jest zadanie A. Nie ma ono żadnych poprzedników. Zakładając, że zadania oznaczone są w węzłach sieci, można narysować pierwszy prostokąt, oznaczony literą A. Po zakończeniu jego wykonywania przystępuje się do wykonania zadań B i C. Mogą one rozpoczynać się równolegle, co graficznie można zaznaczyć jako dwa prostokąty położone równolegle do siebie. Ponieważ oba zadania zaczynają się po dopiero gdy zakończy się zadanie A, należy poprowadzić dwie strzałki rozpoczynające się od zakończenia zadania A, a kończące się na rozpoczęciu B i C (odpowiednio od prawego boku prostokąta A do lewych boków prostokątów B i C).



Rysunek 16. Wyznaczanie sieci czynności

Źródło: opracowanie własne.

Analizując dalej dane z powyższej tabeli należy wykreślić zadania D i E, które zaczynają się po wykonaniu odpowiednio zadań B i C. Postępując analogicznie jak w poprzednim kroku, należy narysować strzałkę rozpoczynającą się od prawego boku zadania B, prowadzącą do lewego boku zadania D, a następnie strzałkę rozpoczynającą się od prawego boku zadania C i prowadzącą do lewego boku zadania E. Zadanie F jest ostatnie w projekcie i rozpoczyna się z chwilą zakończenia dwóch zadań: D i E. A zatem strzałki wychodzące z zadań D i E powinny prowadzić do lewego boku zadania F. Ostateczny kształt sieci przedstawia rysunek poniżej.



Rysunek 17. Przykładowa sieć czynności

Źródło: opracowanie własne.

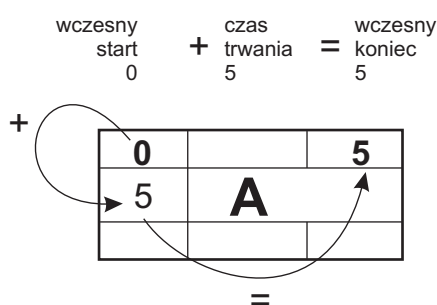
Oczywiście jest to przypadek trywialny, w rzeczywistych projektach stopień złożoności jest znacznie większy, jak również powiązania pomiędzy zadaniami mogą być innego rodzaju. W przykładzie pokazano jedynie powiązanie typu Zakończenie-Rozpoczęcie, tzn. np. po zdarzeniu Zakończenie dla zadania B może nastąpić zdarzenie Rozpoczęcie zadania D. Inne możliwe powiązania pomiędzy zadaniami to Zakończenie – Zakończenie, Rozpoczęcie – Rozpoczęcie i Rozpoczęcie – Zakończenie. Więcej na ten temat w [17, 33, 42].

Kontynuując omawiany przypadek, po wyznaczeniu sieci należy na każdym z węzłów zaznaczyć czas trwania zadania oraz przygotować miejsce na wpisanie danych dotyczących czasów rozpoczęcia i zakończenia.

Trzeci etap to wyznaczenie najwcześniejszych terminów rozpoczęcia i zakończenia każdego z zadań (wczesnego startu i wczesnego końca). Wyznaczenie tych wartości należy rozpocząć się od przyjęcia jednego z dwóch założeń:

- pierwsze zadanie rozpoczyna się w terminie zerowym – w efekcie „przejścia” przez podany niżej algorytm otrzymuje się czas trwania projektu lub
- pierwsze zadanie zaczyna się w wyznaczonym terminie (dacie) – w efekcie otrzymuje się ostateczny termin/datę zakończenia projektu.

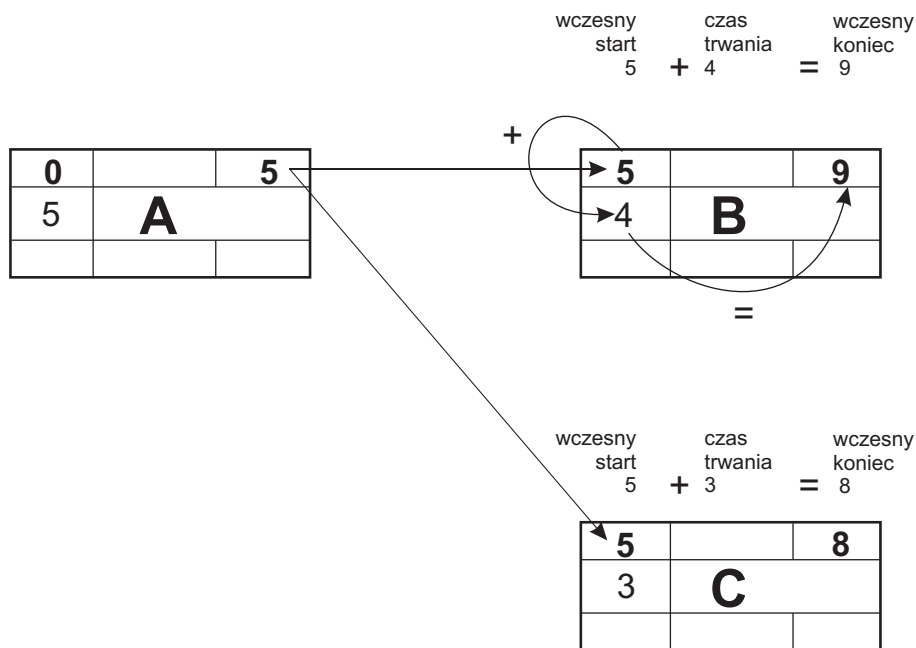
W dalszej części zostanie przedstawiony pierwszy sposób wyznaczenia czasu trwania projektu, warto jednak zwrócić uwagę, że wyznaczenie terminów/dat wykonuje się analogicznie. Rysunek poniżej przedstawia obliczenie czasu trwania zadania.



Rysunek 18. Obliczanie czasu trwania zadania

Źródło: opracowanie własne.

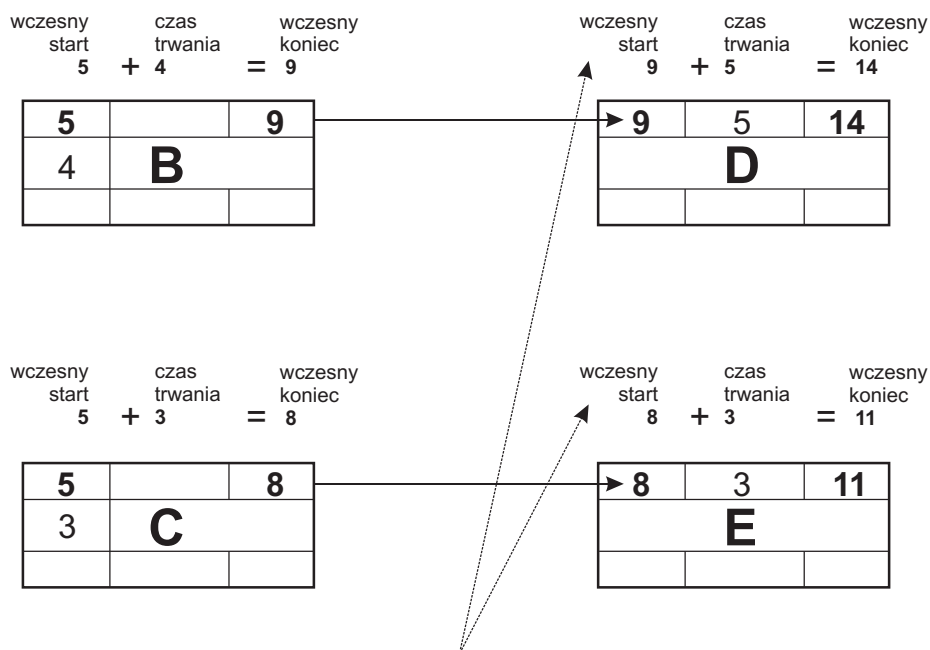
Jak wcześniej zostało już rozrysowane, po wykonaniu zadania A następują zadania B i C. Oznacza to, że każde z tych zadań najwcześniej może się rozpocząć w chwili zakończenia zadania A, tj. po piątej jednostce czasu czyli po piątym dniu. Wartość 5 „przenosi się do pozycji „wczesny start” zadań B i C (rysunek 19).



Rysunek 19. Obliczanie czasów trwania zadań rozpoczynanych jednocześnie

Źródło: opracowanie własne.

W dalszej kolejności wyznacza się wczesny start i wczesny koniec zadań wykonywanych sekwencyjnie, a więc D (rozpoczynającego się po zakończeniu B) oraz E (rozpoczynającego się po zakończeniu C). Postępując analogicznie do przykładu przedstawionego na rysunku 19, otrzymuje się wczesny start zadania D – 9 jednostka czasu, a następnie dodając jego czas trwania wynoszący 5, otrzymuje się wczesny koniec zadania D przypadający na 14 jednostkę czasu. Podobnie postąpić należy przy zadaniu E, które może rozpocząć się najwcześniej w 8 jednostce czasu, a jej planowy czas trwania wynosi 3 jednostki. Tak więc wczesny koniec zadania E to 11 dzień.



zadanie następujące może rozpocząć się najwcześniej na koniec terminu "wczesnego końca" swojego poprzednika, a więc w praktyce na początku następnego jednostki czasu, jednak aby zachować matematyczną poprawność w metodzie "przenosi się" wartość "wczesnego końca"

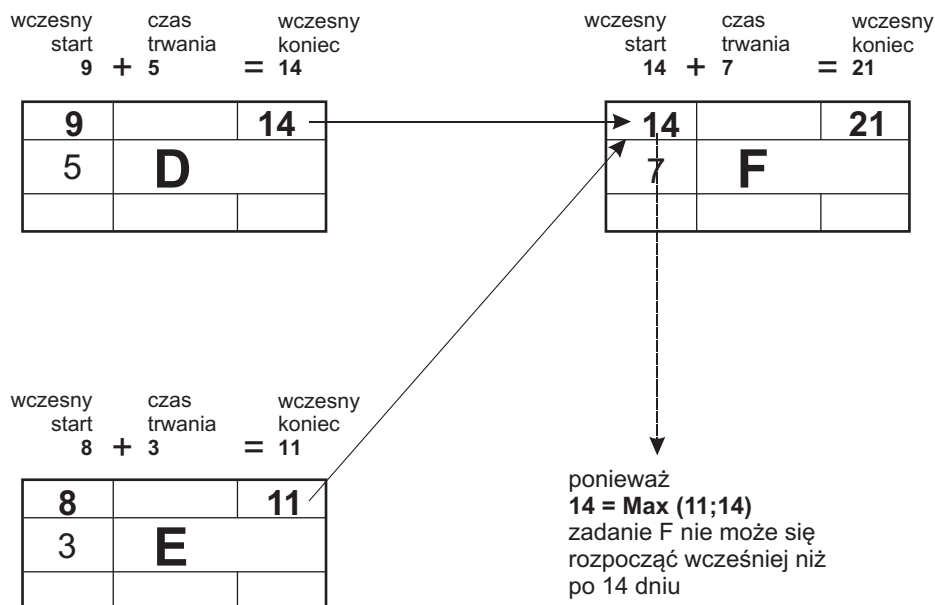
Rysunek 20. Obliczanie czasów trwania zadania wykonywanych sekwencyjnie

Źródło: opracowanie własne.

Wyznaczając wczesny start zadania F należy wziąć pod uwagę, że aby mógł on nastąpić muszą być spełnione dwa warunki: zakończy się zarówno zadanie D, jak i zadanie E. Zadanie D najwcześniej skończyć się może się w 14 dniu, natomiast zadanie E w 11. Ponieważ obydwa zadania muszą być zakończone aby rozpocząć zadanie F, najwcześniejszym terminem rozpoczęcia F jest 14 jednostka czasu. Uogólniając, **zadanie którego termin rozpoczęcia może nastąpić po zakończeniu większej liczby zadań poprzedzających, rozpoczyna się w terminie równym najpóźniejszemu z tzw. wczesnych końców zadań poprzedzających**. Sposób wyznaczenia wczesnego zadania F przedstawia rysunek 21.

Jak wynika z obliczeń, wczesny ostatniego z zadań (a co za tym idzie całego projektu) to 21 dzień. Najwcześniejsze terminy rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych zadań to tylko jedno z kilku zestawu danych jakie można uzyskać po analizie sieci czynności. Dla efektywnej realizacji projektu ważna jest możliwość wyznaczenia ostatecznych terminów rozpoczęcia i zakończenia (tzw. późnych startów i późnych końców zadań), a dalej zapasów na zadaniach i wreszcie w konsekwencji – ścieżki krytycznej.

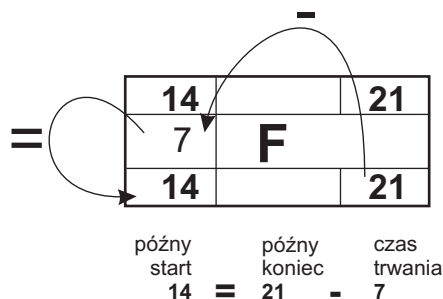
Czwartym etapem opracowania planu czasowego przy wykorzystaniu metod sieciowych, jest określenie późnych startów i późnych końców zadań. W tym celu należy przeanalizować sieć rozpoczynając od ostatniego zadania i zmiierzając w kierunku zadania pierwszego. Proces ten nazywany jest niekiedy kalkulacją wsteczną.



Rysunek 21. Wyliczenie czasu trwania zadania zależnego od większej liczby zadań

Źródło: opracowanie własne.

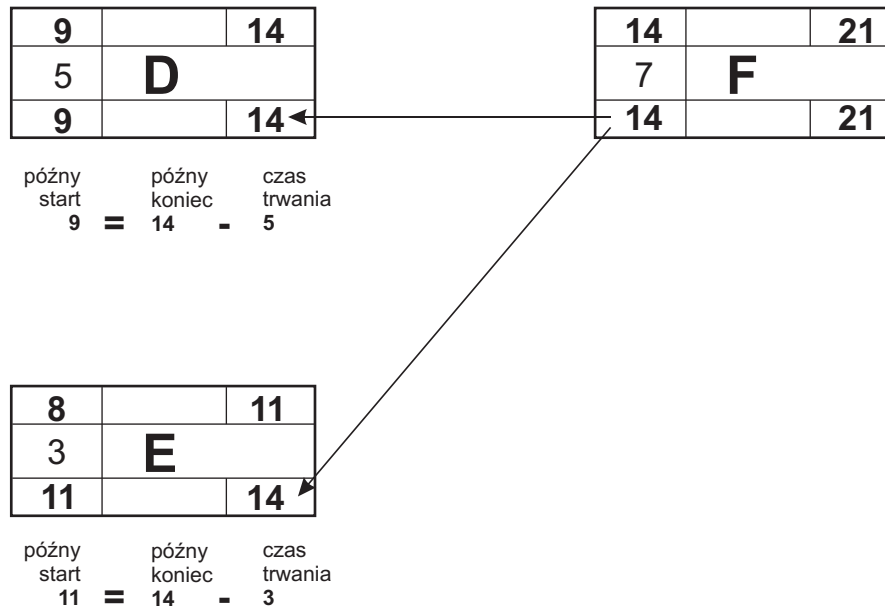
Rozpoczynając przyjmuje się założenie, że późny koniec zadań niemających już swoich następników jest równy najpóźniejszemu z wczesnych końców wszystkich zadań, które nie mają już swoich następników. Sytuacji takiej nie widać na przykładzie, ponieważ jest tylko jedno zadanie kończące projekt. Najpóźniejszy termin rozpoczęcia zadania wylicza się odejmując od późnego końca zadania, jego czas trwania.



Rysunek 22. Wyznaczenie najpóźniejszego dopuszczalnego terminu rozpoczęcia zadania

Źródło: opracowanie własne.

Kalkulacja wsteczna prowadzi następnie do zadań D i E. Ponieważ najpóźniejszym terminem rozpoczęcia zadania F jest 14 jednostka czasu, poprzedzające go zadania D i E, muszą się najpóźniej zakończyć w 14 jednostce czasu, inaczej opóźnią rozpoczęcie F a tym samym cały projekt.



Rysunek 23. Wyznaczanie najpóźniejszych dopuszczalnych terminów zakończenia zadań

Źródło: opracowanie własne.

Następnie postępuje się analogicznie, jak w przypadku wyliczania terminów najwcześniejszych (oczywiście odejmując a nie dodając od odpowiednich terminów, czasy trwania zadań). Zadanie A, mające dwa następniki B i C, może sprawić trudności przy wyznaczeniu najpóźniejszego terminu jego zakończenia. Najpóźniejszy dopuszczalny termin zakończenia zadania A będzie równy temu terminowi, w którym musi się najpóźniej rozpocząć jego następnik, w tym wypadku zadanie B, czyli w 5 jednostce czasu (rysunek 24). Zadanie A kończąc się później opóźniłoby zadanie B, a w konsekwencji cały projekt.

Piątym etapem harmonogramowania opartego o sieć czynności jest wyznaczenie zapasów czasu na poszczególnych zadaniach. Metoda ścieżki krytycznej pozwala na wyznaczenie dwóch rodzajów zapasów: całkowitego (ZC) i swobodnego (ZS). Zapas całkowity to czas, o który można wydłużyć przebieg zadania bez wpływu na termin ukończenia całego projektu. Z kolei zapas swobodny to czas o jaki można wydłużyć przebieg zadania bez wpływu na termin rozpoczęcia jego następnika. Zapasy całkowity i swobodny wyznacza się w sposób pokazany poniżej.

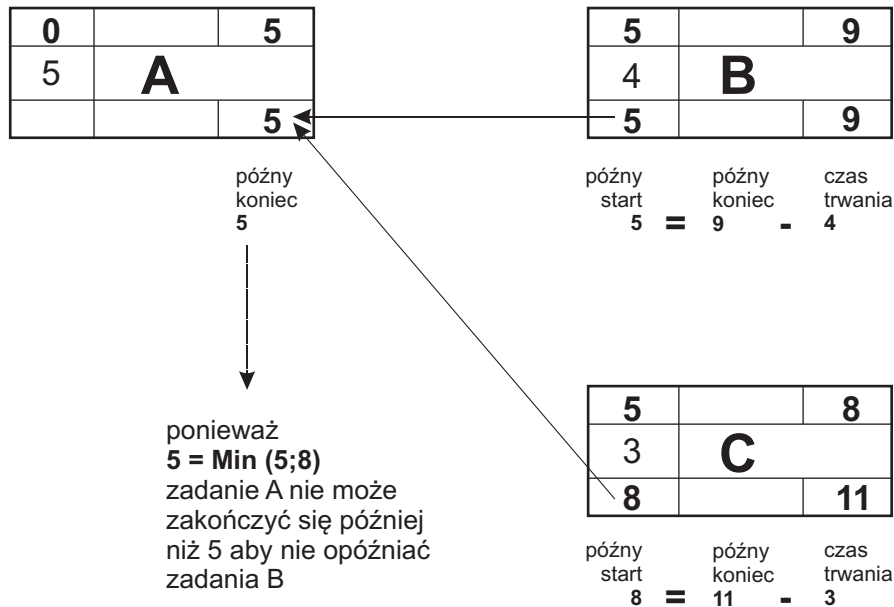
$$\text{Zapas całkowity} = \text{Późny start danego zadania} - \text{Wczesny start danego zadania}$$

$$\text{Zapas swobodny} = \text{Wczesny start najwcześniejszego następnika} - \text{Wczesny koniec danego zadania}$$

W analizowanym przykładzie dla zadania C:

- ZC = 8 (późny start zadania C) - 5 (wczesny start zadania C) = 3
- ZS = 8 (wczesny start zadania E) - 8 (wczesny koniec zadania C) = 0

Oznacza to, że zadanie C może być opóźnione o 3 dni bez wpływu na planowany termin zakończenia projektu 21-go dnia. Jednak każdy dzień opóźnienia w realizacji zadania C opóźni rozpoczęcie zadania E.



Rysunek 24. Wyznaczenie pesymistycznego czasu zakończenia zadania

Źródło: opracowanie własne.

Z kolei zapasy czasu na zadaniu E będą odpowiednio wynosiły:

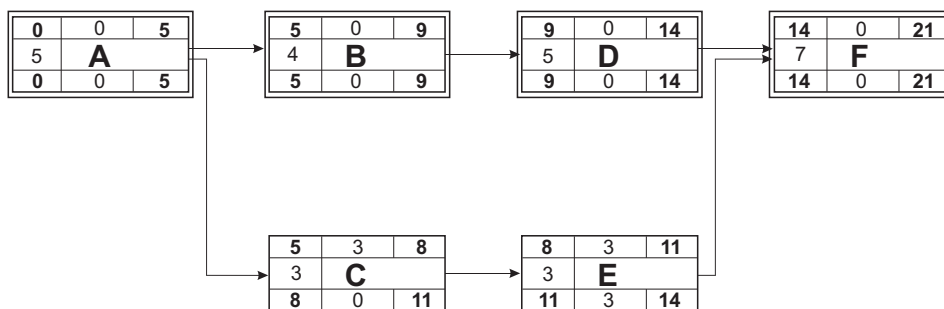
- $ZC = 11$ (późny start E) – 8 (wczesny start E) = 3
- $ZS = 14$ (wczesny start zadania F) – 11 (wczesny koniec E) = 3

Tak więc, zadanie E może opóźnić się o 3 dni bez wpływania na planowany termin zakończenia projektu, jednak również opóźnienie ukończenia zadania E o 3 dni nie wpłynie na termin uruchomienia zadania F.

Wiedza o tym jaki zapas swobodny występuje na danym zadaniu jest bardzo ważną informacją, szczególnie przy planowaniu zasobów. Często okazuje się, że przesunięcie w czasie zadania posiadającego zapas swobodny tylko pozornie nie wpłynie na termin ukończenia projektu. Jednak przesuując zadania następujące po nim, może się okazać, że zasoby niezbędne do realizacji zadań są w tym „nowym” terminie niedostępne (np. ze względu na urlop, udział w innych projektach, służbowy wyjazd, brak miejsca do składowania materiałów, czy brak możliwości dostarczenia materiałów w „nowym” terminie). Planując zadania i określając zapasy czasu, należy analizować nie tylko na projekt jako wyodrębniony obiekt, lecz na organizację jako złożony system, w skład którego wchodzi ludzie, system organizacji pracy, powiązania z jednostkami zewnętrznymi itp.

Ostatnim, **szóstym** etapem jest wyznaczenie ścieżki krytycznej. Tworzą ją zadania których zapas całkowity jest równy zero.

Poniższy rysunek przedstawia pełen diagram sieciowy ze wskazaniem na wczesne i późne starty oraz zakończenia poszczególnych zadań oraz ich zapasy całkowite i swobodne. Zadania tworzące ścieżkę krytyczną zostały tutaj oznaczone podwójnym obramowaniem.

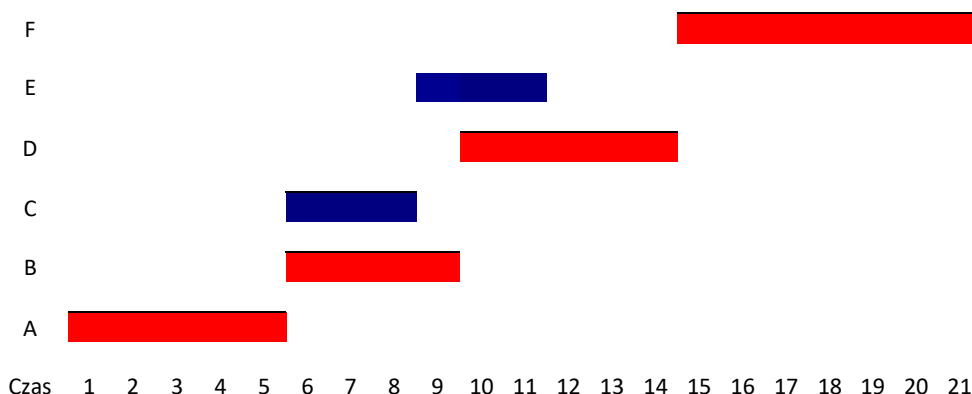


Rysunek 25. Plan czasowy dla przykładowego projektu wykonany przy pomocy diagramu sieciowego

Źródło: opracowanie własne.

Omówiona sieć czynności nie jest skomplikowana. Często w projektach zdarzają się przypadki występowania więcej niż jednej ścieżki krytycznej. W projektach liczba zadań jest znacznie większa niż w przedstawionym przykładzie, co sprawia, że ręczne wykreślenie sieci czynności jest czasochłonne. Do tego celu używa się aplikacje komputerowe, których na rynku jest bardzo wiele, zarówno odpłatnych jak i freeware’owych (np. MS Project czy ProjectLibre).

Na podstawie diagramu sieciowego można również stworzyć wykres Gantt’a, który dla przedstawionego przykładu wygląda następująco:



Na przedstawionym wykresie kolorem czerwonym została zaznaczona ścieżka krytyczna projektu. Jak już wcześniej wspomniano w poprzednim podrozdziale, samo narzędzie jakim jest wykres Gantt’a nie służy do wyliczania ścieżki krytycznej w projekcie, a jedynie do prezentacji harmonogramu. Chociaż na przykład program MS Project na widoku, który nazywa się właśnie „Wykres Gantta” pokazuje zarówno paski zadań, jak i powiązania logiczne między nimi.