

Dane bibliograficzne o artykule:

http://mieczyslaw_polonski.users.sggw.pl/mppublikacje

Mieczysław POŁOŃSKI¹

ALGORYTMY WYZNACZANIA ŚCIEŻKI KRYTYCZNEJ I ZAPASÓW CZASU W SIECIACH JEDNOPUNKTOWYCH O ROZSZERZONYCH TYPACH RELACJI MIĘDZY ZADANIAMI

1. WPROWADZENIE

Ścieżka krytyczna jest podstawowym pojęciem i elementem wyznaczanym w harmonogramach sieciowych. Bez jej znajomości nie sposób poprawnie interpretować wyniki obliczeń całego harmonogramu a następnie podejmować racjonalne decyzje w trakcie zarządzania realizacją planowanego przedsięwzięcia budowlanego. W związku z tym można by oczekiwać, że pojęcie to jest bardzo precyzyjnie zdefiniowane, a algorytmy obliczeniowe na podstawie których jest ona wyznaczana, są identyczne we wszystkich programach obliczeniowych służących do wspomagania planowania i zarządzania przedsięwzięciami. Niestety tak nie jest, na co zwrócił uwagę w swojej publikacji Marcinkowski [1]. Okazuje się, że używając do obliczeń tej samej sieci zależności dwóch różnych programów (MS Project i Pertmaster) można uzyskać dwa różne przebiegi ścieżki krytycznej. Powstaje pytanie skąd biorą się te różnice i czy jest to wynik błędnego działania jednego z tych programów czy też innego algorytmu obliczeniowego przyjętego przez twórców tych programów. Jeśli są to różne algorytmy, to co je różni oraz co legło u podstaw tych różnic oraz jaki ma to wpływ na sposób interpretacji wyników obliczeń? Próba odpowiedzi przynajmniej na część z tych ważnych pytań znajduje się w dalszej części artykułu.

2. WPLYW MODELU SIECI ZALEŻNOŚCI I STOSOWANYCH RELACJI MIĘDZY ZADANIAMI NA ICH TERMINY I ZAPASY CZASU

Istnieją dwa podstawowe typy budowy sieci zależności: historycznie starsze sieci dwupunktowe (zwane też modelami ADM – Arrow Diagramming Method) oraz nowsze, aktualnie zdecydowanie najpopularniejsze, tzw. sieci jednopunktowe (zwane też modelami PDM – Precedence Diagramming Method) [2].

Pojęcie ścieżki krytycznej oraz związane z nią pojęcia całkowitego i swobodnego zapasu czasu oraz sposób ich interpretacji wywodzą się z sieci dwupunktowych i w odniesieniu do tych modeli nie budziły wątpliwości (szczególnie bez wprowadzania terminów dyrektywnych). Z chwilą pojawienia się modeli jednopunktowych, przyjęte dotychczas terminy z sieci dwupunktowych zostały niejako automatycznie przeniesione i zastosowane do inter-

¹ Dr hab. inż., prof. nadzw. SGGW, Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska

pretacji tych właśnie sieci zależności. Należy jednak pamiętać, że zastosowanie modeli jednopunktowych nie polegało wyłącznie na odwróceniu notacji i założeniu, że teraz punkt (w graficznej formie prostokąt) obrazuje zadanie a strzałka reprezentuje relację między zadaniami, lecz również między innymi wprowadzono zupełnie nowe typy tych relacji. W sieciach dwupunktowych zakończenie zadania poprzedzającego (osiągnięcie zdarzenia następującego tego zadania) oznaczało możliwość rozpoczęcia zadania następującego (osiągnięcie zdarzenia poprzedzającego następnika), czyli następnik nigdy nie mógł się rozpocząć bez całkowitego zakończenia wszystkich poprzedników. Natomiast w sieciach jednopunktowych wprowadzono trzy dodatkowe typy relacji: relację RR (rozpocznij – rozpocznij), ZZ (zakończ – zakończ) oraz budzącą wiele kontrowersji i praktycznie nieużywaną relację RZ (rozpocznij – zakończ). Dodatkowo na każdej relacji (łącznie ze standardową ZR, czyli zakończ – rozpocznij) wprowadzono możliwość deklarowania tzw. zwłoki (dodatniej lub ujemnej), czyli dodatkowego czasu, o jaki zostanie opóźnione (zwłoka dodatnia) lub przyspieszone (zwłoka ujemna) wykonanie następnika. Ważne jest, w jaki sposób te nowe typy relacji zostały zdefiniowane. Otóż relacja typu RR oznacza, że następnik nie może się rozpocząć dopóki nie rozpocznie się poprzednik (czyli może się rozpocząć później). Relacja ZZ oznacza natomiast, że następnik nie może się zakończyć, dopóki nie zakończył się poprzednik (czyli również może się zakończyć później). Należy zauważyć, że w obu typach relacji następnik jest podporządkowany poprzednikowi. Niestety, w powszechnym rozumieniu relacje te najczęściej są interpretowane błędnie: relacja RR jako konieczność rozpoczęcia obu zadań równocześnie, a relację ZZ jako przymus zakończenia obu zadań razem. Trudno się temu dziwić, jeśli nawet na oficjalnych stronach pomocy firmy Microsoft można przeczytać błędne objaśnienie tego typu relacji [<http://office.microsoft.com/training/Training.aspx?AssetID=RP011369651045&CTT=6&Origin=RC011358691045>].

Wiedząc, jak są definiowane rozszerzone typy relacji warto zauważyć, że nie precyzują one jednoznacznie sposobu wyznaczania wszystkich wczesnych i późnych terminów zadań, które są połączone tą relacją. Na przykład, jeżeli zadania M i N są połączone relacją typu ZZ jak wyznaczyć termin najwcześniejszego rozpoczęcia zadania N? Można przyjąć dwa rozwiązania. Pierwsze, że najwcześniejsze rozpoczęcie zadania N wyliczamy jako najwcześniejsze zakończenie tego zadania minus czas jego trwania. Drugie, że ponieważ nie wynika ono z definicji relacji, najwcześniejsze rozpoczęcie zadania N należy przyjąć możliwie najwcześniejszemu a więc równe terminowi rozpoczęcia całego przedsięwzięcia. Podobny dylemat istnieje przy relacji RR przy obliczaniu najpóźniejszego końca zadania M. Można przyjąć termin zakończenia całego przedsięwzięcia lub najpóźniejszy początek plus czas trwania zadania.

Podobne wątpliwości pojawiają się przy obliczaniu zapasów czasu. Np. swobodny zapas czasu definiuje się, jako „możliwy czas opóźnienia zadania bez opóźnienia zadań następników” [*MS Project 2007: Pomoc; Kompendium; Opis pól; Zapas swobodny*]. Ale czy to znaczy, że nie zostanie opóźniony termin rozpoczęcia czy zakończenia następnika, lub inaczej mówiąc czy dopuszczamy opóźnienie rozpoczęcia następnika czy tylko zwiększenie czasu jego wykonania? Jeżeli następnik jest powiązany z kolejnymi zadaniami relacjami RR ma to zasadnicze znaczenie dla sposobu wyznaczenia ich terminów.

Jeszcze więcej niewiadomych kryją w sobie różne, spotykane w literaturze i opisach programów, definicje ścieżki krytycznej (ŚK) i bezpośrednio z nią związanego terminu zapasu całkowitego (ZC). Najczęściej spotkać można takie definicje:

- Zapas całkowity czasu - ilość czasu, o jaką data zakończenia zadania może zostać opóźniona bez opóźnienia daty zakończenia projektu [*MS Project 2007: Pomoc; Kompendium; Opis pól; Zapas całkowity*],
- Ścieżka krytyczna - seria zadań, które muszą być wykonane zgodnie z harmonogramem, aby projekt został zakończony zgodnie z harmonogramem. Każde zadanie na ścieżce krytycznej jest zadaniem krytycznym. [*MS Project 2007: Pomoc; Definicje*]

Niestety, trzeba stwierdzić, że obie definicje są wysoce nieprecyzyjne i mogą wprowadzać w błąd. Jak już zostało to pokazane w innej publikacji autora [3], można znaleźć przykład harmonogramu, w którym skrócenie zadania leżącego na ścieżce krytycznej i posiadającego zapas całkowity czasu równy zero nie prowadzi do skrócenia całego harmonogramu a czasami wręcz może wydłużyć całe przedsięwzięcie! Biorąc pod uwagę fakt istnienia różnych typów relacji w sieciach jednopunktowych wydaje się, że najbardziej prostą i precyzyjną definicją ścieżki krytycznej jest stwierdzenie, że jest to ciąg zadań o zapasach całkowitych równych zero, z zastrzeżeniem, że zmiana czasu zadania krytycznego może, ale nie musi, prowadzić do zmiany terminu całego przedsięwzięcia. Jednak, aby dopełnić tą definicję należy bezwzględnie podać, jakie wzory były stosowane do wyznaczenia tego zapasu. Niestety, twórcy programów opartych na modelach jednopunktowych, zdecydowanie unikają jasnego podania formuł obliczeniowych, które stosowali w obliczeniach, zadawalając się nieprecyzyjnymi opisami używanych terminów.

Biorąc pod uwagę fakt, że pomimo znacznej popularności jednopunktowych modeli harmonogramów sieciowych, w literaturze spotyka się algorytmy i opisy obliczeń w sieciach dwupunktowych bez uwzględnienia wpływu na wyniki obliczeń rozszerzonych typów relacji, autor postanowił opracować algorytmy stosowane w popularnych programach komputerowych. Z jednej strony, powinny one pomóc zrozumieć działanie tych programów i ułatwić poprawne konstruowanie sieci zależności obiektów budowlanych, a z drugiej, ułatwić interpretowanie wyników obliczeń i wyjaśnić powody występowania różnic w uzyskanych wynikach obliczeń tych samych harmonogramów przy użyciu różnych programów.

Opracowane algorytmy nie pochodzą z dokumentacji programów, gdyż ich autorzy takich nie publikują, a powstały na podstawie analiz autora artykułu. Ze względu na ograniczoną objętość publikacji w artykule znalazł się algorytm jednego z możliwych sposobów prowadzenia obliczeń, stosowany w programie Pertmaster.

Prowadząc obliczenia wg podanego algorytmu należy zwrócić uwagę, że:

- obliczając terminy najwcześniejsze przy połączeniu relacją ZZ, jako termin najwcześniejszego początku zadania wynikający z danej relacji przyjmuje się termin rozpoczęcia całego przedsięwzięcia,
- w pierwszej kolejności wyznacza się na podstawie wszystkich relacji z poprzednikami termin najwcześniejszego rozpoczęcia zadania a dopiero później termin jego najwcześniejszego końca (w innych algorytmach może być inaczej),
- przy wyznaczaniu terminów najpóźniejszych przy połączeniu relacją RR, jako termin najpóźniejszego końca poprzednika wynikający z danej relacji przyjmuje się termin zakończenia całego przedsięwzięcia,
- najpierw wyznacza się na podstawie wszystkich relacji z następnikami termin najpóźniejszego końca zadania a dopiero później najpóźniejszego początku.

Analizując wyniki obliczeń uzyskiwane w tym programie zwraca uwagę fakt, że twórcy programu wprowadzili dodatkowe pojęcia niestosowane wcześniej w innych programach

takie jak: preferowany start i preferowany koniec oraz zapas całkowity i swobodny zadania odnoszący się do preferowanego startu a nie terminu najwcześniejszego początku zadania. Co prawda w opisie programu można znaleźć informację, że preferowany start odpowiada terminowi najwcześniejszemu dopóki nie zostanie przeddefiniowany przez użytkownika [*Pertmaster Help; Preferred dates defined*], jednak przykłady obliczeniowe wskazują, że preferowany start i termin najwcześniejszy zadania mogą różnić się dla zadań, które z poprzednikami połączone są relacją ZZ. Co ciekawe, zadania oznaczane na rysunkach kolorem czerwonym jako krytyczne, kwalifikowane są nie na podstawie zapasu całkowitego a zapasu całkowitego odniesionego do preferowanego startu. W praktyce oznacza to dla użytkownika, że w przypadku stosowania w obliczeniach podanych tu algorytmów, właśnie wartości zapasów czasu odnoszące się do preferowanego startu powinny być podstawą zarządzania obiektem.

3. ALGORYTM OBLICZANIA TERMINÓW I ZAPASÓW CZASU WG ZAŁOŻEŃ PROGRAMU PERTMASTER

Poniżej opisano terminy i oznaczenia używane w prezentowanych algorytmach a dalej algorytm wyznaczania terminów najwcześniejszych, najpóźniejszych, preferowanego startu i zapasów czasu.

Oznaczenia:

i, j – numer zadania w sieci zależności,

t_i – czas zadania i ,

$zwłoka_{i,j}$ – dodatnia lub ujemna zwłoka na relacji $i-j$,

TRP – termin rozpoczęcia przedsięwzięcia przyjmowany z założenia,

TZP – termin zakończenia przedsięwzięcia przyjmowany z założenia jako $\max(NWK_j)$ wszystkich zadań w sieci,

NWP_j – najwcześniejszy początek zadania j ,

$NWP_{i,j}^*$ – najwcześniejszy początek zadania j wynikający wyłącznie z relacji tego zadania z jego poprzednikiem i ,

NWK_i – najwcześniejszy koniec zadania i ,

$NWK_{i,j}^*$ – najwcześniejszy koniec zadania j wynikający wyłącznie z relacji tego zadania z jego poprzednikiem i ,

$NPP_{i,j}^*$ – najpóźniejszy początek zadania i wynikający wyłącznie z relacji tego zadania z jego następnikami j ,

$NPK_{i,j}^*$ – najpóźniejszy koniec zadania i wynikający wyłącznie z relacji tego zadania z jego następnikami j ,

ZC_i – zapas całkowity zadania i ,

ZS_i – zapas swobodny zadania i ,

$ZS_{i,j}^*$ – zapas swobodny zadania i wynikający wyłącznie z relacji tego zadania z jego następnikiem j ,

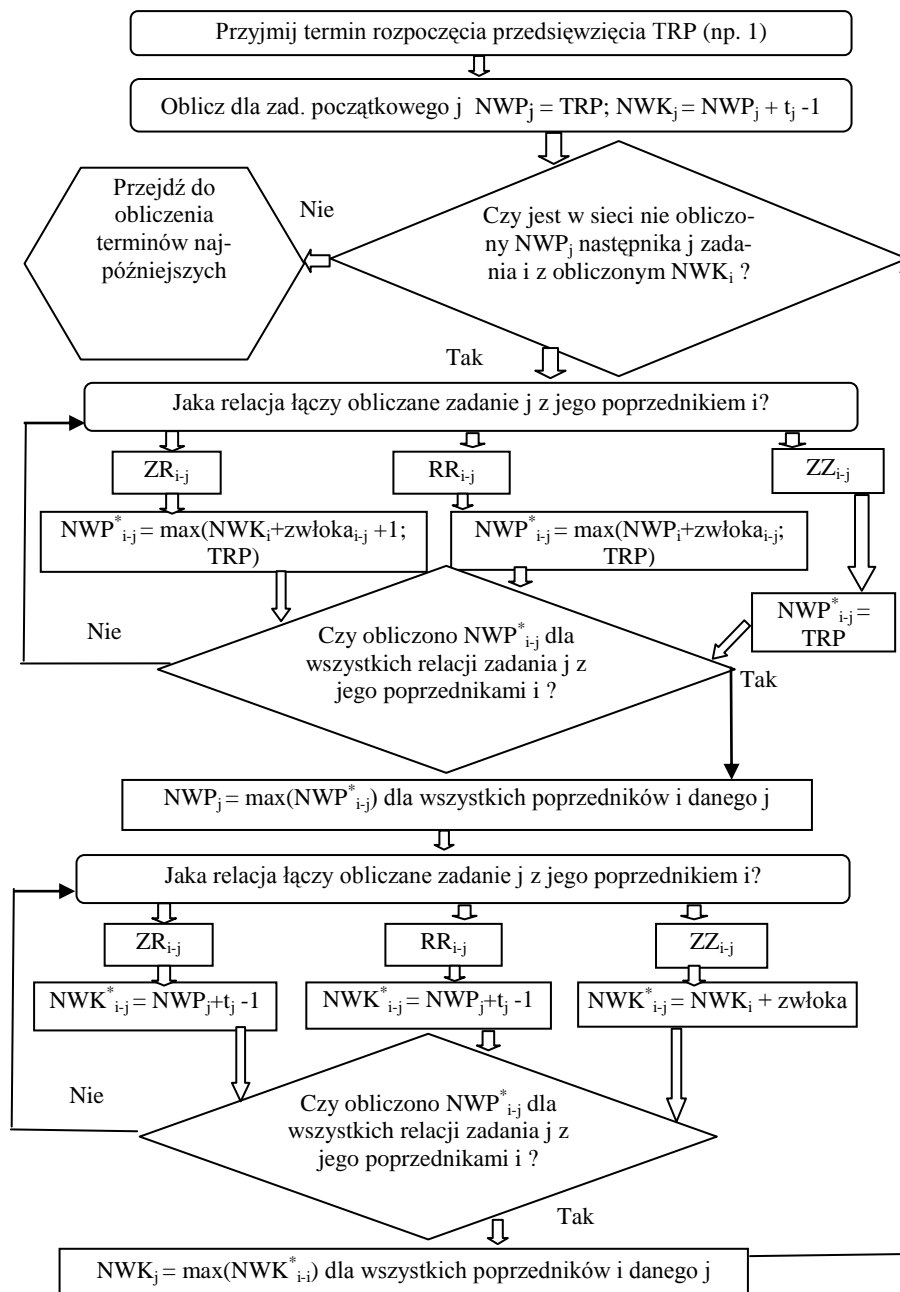
PS_i – preferowany start zadania i ,

$PS_{i,j}^*$ – preferowany start zadania i wynikający wyłącznie z relacji tego zadania z jego następnikami j ,

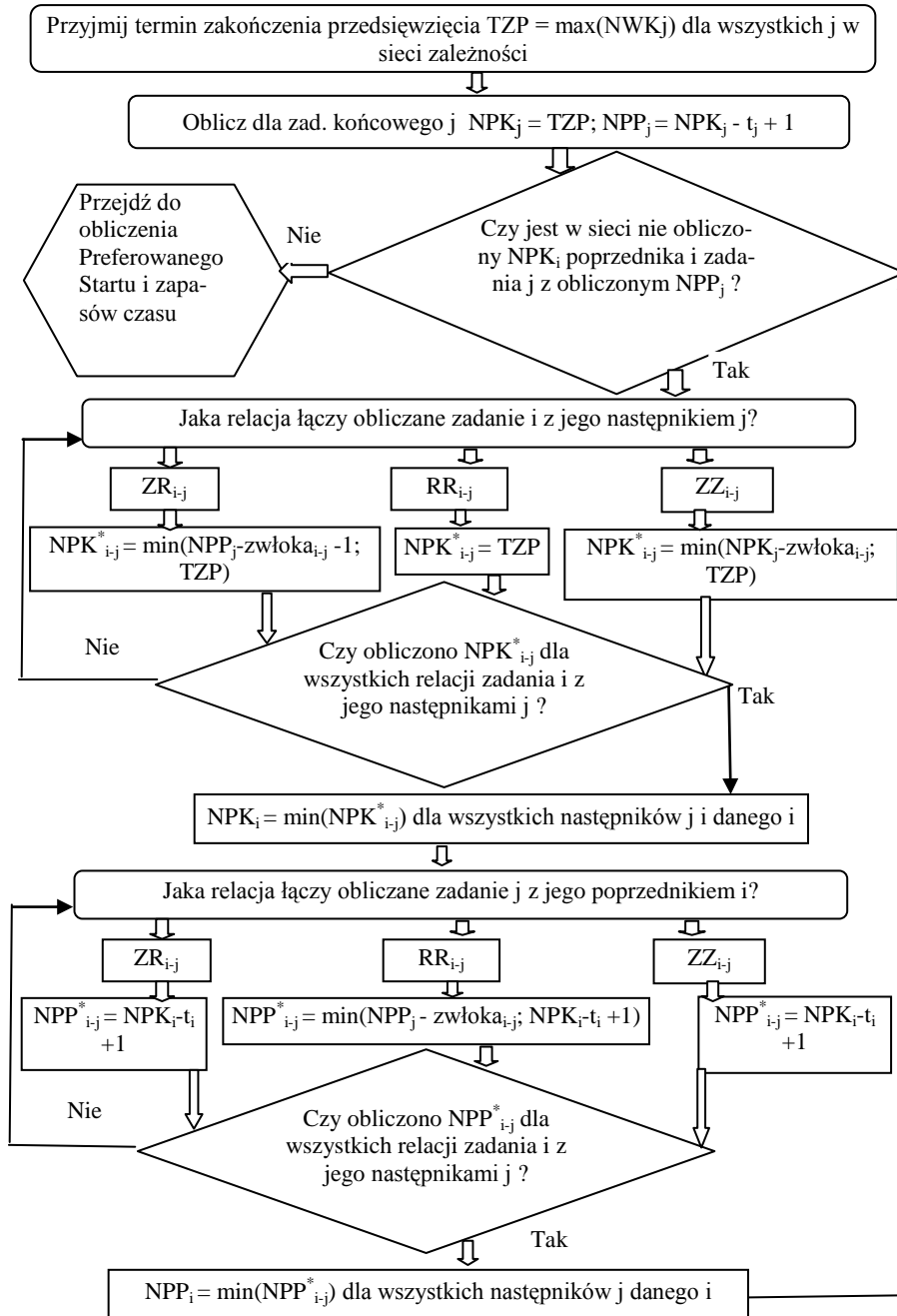
$ZC_i - strat$ – zapas całkowity zadania i wynikający z preferowanego startu,

$ZS_i - strat$ – zapas swobodny zadania i wynikający z preferowanego startu ; pokazuje o ile można opóźnić rozpoczęcie tego zadania,

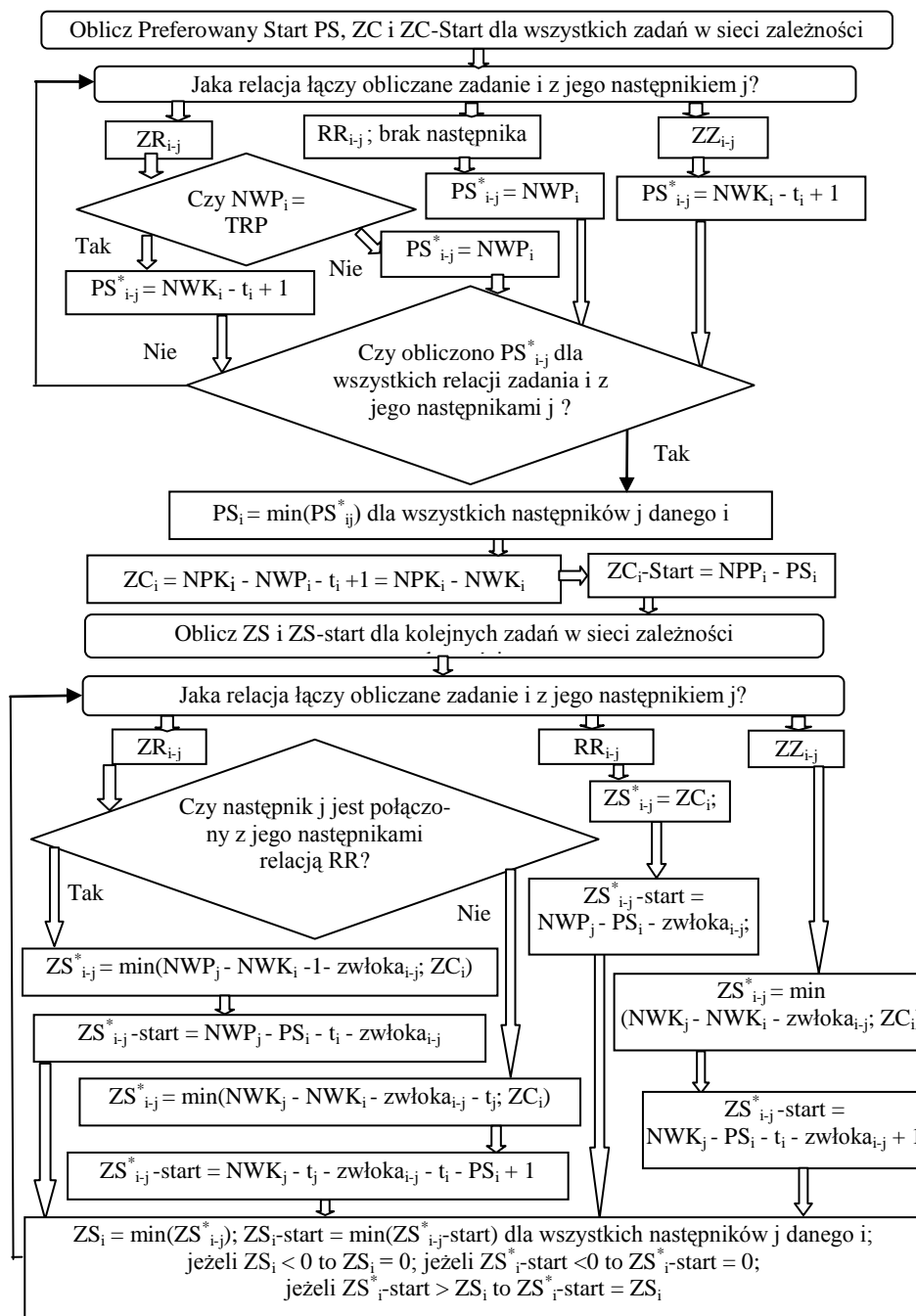
$ZS_{i,j}^* - strat$ – zapas swobodny zadania i wynikający z preferowanego startu oraz wynikający wyłącznie z relacji tego zadania z jego następnikami j .



Rys 1. Algorytm obliczania terminów najwcześniejszych wg założeń programu Pertmaster



Rys 2. Algorytm obliczania terminów najpóźniejszych wg założeń programu Pertmaster



Rys 3. Algorytm obliczania preferowanego startu i zapasów czasu wg założeń programu Pertmaster

4. PODSUMOWANIE

Wbrew powszechnej opinii, pojęcie ścieżki krytycznej oraz sposób wyznaczania zapasów czasu w sieciach jednopunktowych PDM nie jest jednoznacznie zdefiniowane. Świadczyć może o tym fakt, że w różnych programach obliczeniowych dla tej samej sieci zależności można uzyskać różny przebieg ścieżki krytycznej i wartości zapasów czasu. Zdaniem autora, różnice i brak precyzji w sposobie definiowania tych pojęć wynikają z mechanicznego przeniesienia stosowanych wcześniej w sieciach dwupunktowych pojęć na sieci jednopunktowe. Jednak wyznaczanie terminów i zapasów czasu w sieciach jednopunktowych wymaga uwzględnienia nowo wprowadzonych typów relacji między zadaniami: relacji typu RR i ZZ, które zmieniają w istotny sposób prowadzenia obliczeń. Dodatkowe zamieszanie w stosowaniu powszechnie używanych pojęć wprowadzają twórcy programów obliczeniowych, nie podając formuł obliczeniowych na podstawie których wyznaczane są omawiane wartości, ograniczając się jedynie do bardzo ogólnikowych i nieprecyzyjnych opisów, a w niektórych przypadkach wręcz wprowadzających użytkowników w błąd. Powyższe uwagi wskazują na konieczność jednoznacznego sprecyzowania szeroko używanych terminów oraz dostępność algorytmów, służących do ich wyznaczania. W przeciwnym razie menadżerowie zarządzający realizacją obiektów budowlanych będą mieli trudności z prawidłowym interpretowaniem wyników prowadzonych na podstawie harmonogramów sieciowych obliczeń i podejmowaniem racjonalnych decyzji[4].

Literatura

- [1] Marcinkiewicz R.: *Teoretyczne podstawy harmonogramowania realizacji zadań budowlanych*. Problemy przygotowania i realizacji inwestycji budowlanych : Warsztaty inżynierów budownictwa : Puławy 22-24 października 2008 r. - Warszawa, 2008.
- [2] Murray B. Woolf.: *Faster Construction Projects With CPM Scheduling*. Mcgraw-hill Professional Publishing, 2007
- [3] Połośki M.: *Stosowanie rozszerzonych typów relacji w harmonogramach przedsięwzięć budowlanych*. Problemy przygotowania i realizacji inwestycji budowlanych : Warsztaty inżynierów budownictwa : Puławy 22-24 października 2008 r. - Warszawa, 2008.
- [4] Korman R, Daniels S. H.: *Critics Can't Find the Logic in Many of Today's CPM Schedules*. ENR: Engineering News-Record; 5/26/2003, Vol. 250 Issue 20, 2003.

ALGORITHMS DETERMINING CRITICAL PATH AND TIME SLACKS IN NETWORKS WITH WIDENED RELATION TYPES BETWEEN TASKS

Critical path is the key word and element in network schedules. Therefore one might assume that such vital term is defined in a particularly precise way and that computational algorithms used to calculating it are identical in all of computational programs. Unfortunately, reality is quite different. Questions arise: where do those variations origin from, what is their essence and foundation and finally, how does it influence an interpretation of calculation. The paper outlines that many definitions and calculation methods were automatically transferred from older two-point system (ADM – Arrow Diagramming Method) onto the one-point system(PDM – Precedence Diagramming Method) without taking into account new types of relations existing between tasks. This study also presents one of the possible algorithms determining time duration and its supplies employed in Pertmaster software programs.