

Seweryn TCHÓRZEWSKI  
Politechnika Śląska w Gliwicach  
Wydział Organizacji i Zarządzania  
Instytut Zarządzania, Administracji i Logistyki  
seweryn.tchorzewski@polsl.pl

## O MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA METODY DROGI KRYTYCZNEJ (CPM) W PLANOWANIU ROBOT GÓRNICZYCH ORAZ PRZEBRAJANIU ŚCIAN

**Streszczenie.** Roboty górnicze w kopalni węgla kamiennego obejmują dużą liczbę zróżnicowanych prac. Na szczególną uwagę zasługują prace związane z przygotowaniem do eksploatacji nowej ściany – wykonanie wyrobisk oraz prace zbrojeniowe. W artykule przedstawiono zasady stosowania metody drogi krytycznej w procesie planowania robót górniczych w kopalni oraz zaprezentowano, na wybranych przykładach, efekty stosowania tej metody do planowania takich prac.

**Słowa kluczowe:** zarządzanie projektami, metody sieciowe, CPM, roboty górnicze

## THE APPLICABILITY OF THE CRITICAL PATH METHOD (CPM) IN THE PLANNING OF MINING WORKS AND ASSEMBLY AND DISASSEMBLY OF LONGWALLS

**Abstract.** Mining works in the coal mine include a large number of different activities. Particularly noteworthy are the works related to the preparation of a new longwall – excavation making and reinforcement works. This article presents the rules for applying the Critical Path Method in the process of planning mining operations in the mine. It also shows, on selected examples, the effects of applying this method to plan such works.

**Keywords:** project management, network diagram, CPM, mining works

## 1. Wprowadzenie

W trakcie oraz po drugiej wojnie światowej dał się zauważyć wzrost zainteresowania problemami organizacji w obszarze tzw. procesów nieregularnych, czyli przedsięwzięć o nietypowej strukturze i sposobie wykonywania. Procesy te, generalnie, charakteryzuje tendencja do wzrostu skali, a także stosowanie coraz bardziej złożonych rozwiązań technologicznych. W konsekwencji powoduje to wydłużenie się horyzontu realizacji przedsięwzięć. Równocześnie z tym procesem następuje szybkie skracanie cyklu realizacji przedsięwzięć. W świetle powyższych faktów szczególnego znaczenia nabiera postulat efektywnego gospodarowania jedynym zasobem, na jaki nie mamy wpływu – czasem. W związku z tym czynnik czasu staje się istotnym elementem rachunku ekonomicznego, przydziału zasobów i środków (zob. Trocki<sup>1</sup>). Urzeczywistnienie tego postulatu wymaga stosowania, opracowanych już na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych, narzędzi wspierających proces zarządzania (np. Habuda<sup>2</sup>, Idzikiewicz<sup>3</sup>, Ignasiak<sup>4</sup> czy Kapliński<sup>5</sup>). Wykorzystując metody matematyczne oraz istniejące narzędzia informatyczne można w taki sposób kierować działaniami organizacji, aby uzyskany efekt był najlepszy (mierzony czasem realizacji czy też kosztem wykonywanych prac).

Ustalenie kolejności zadań i przygotowanie dla nich harmonogramu jest działaniem pozwalającym na określeniu terminów ich rozpoczęcia i zakończenia, a także sposobów monitorowania oraz sterowania przebiegiem prac. Celem planowania jest uporządkowanie i przedstawienie kolejności przebiegu procesów oraz zadań (Chmiela i Przybyła<sup>6</sup>). Spośród całej grupy różnych metod, najczęściej stosowanym narzędziem – pozwalającym na wsparcie procesów harmonogramowania i planowania przebiegu prac – jest metoda ścieżki krytycznej (Critical Path Method – CPM), która została opracowana pod koniec lat pięćdziesiątych, niemal jednocześnie z Techniką Szacowania i Analizy Programu (Program Evaluation and Review Technique – PERT).

W artykule zaprezentowane zostały możliwości wykorzystania metody drogi krytycznej w planowaniu robót górniczych w kopalni węgla kamiennego, które zostaną zilustrowane wybranymi przykładami zastosowania tego rozwiązania.

---

<sup>1</sup> Trocki M.: Zarządzanie projektami. PWE, Warszawa 2009.

<sup>2</sup> Habuda T.: Technika analizy sieciowej. TNOIK, Katowice 1975.

<sup>3</sup> Idzikiewicz A.Z.: PERT Metody analizy sieciowej. PWN, Warszawa 1966.

<sup>4</sup> Ignasiak E.: Programowanie sieciowe. PWE, Warszawa 1972.

<sup>5</sup> Kapliński O., Stefański A.: Metody sieciowe w organizacji i planowaniu budowy. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1978.

<sup>6</sup> Chmiela A., Przybyła H.: Technika i organizacja w robotach przygotowawczych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.

## 2. Główne założenia technik sieciowych

Techniki sieciowe należą do najczęściej stosowanych technik planowania i kontroli realizacji złożonych przedsięwzięć. Ich fundamenty sięgają teorii grafów, pozwalającej opisać realizowany zbiór działań jako sieć powiązanych ze sobą działań, mających tylko jedno rozpoczęcie (wejście) oraz tylko jedno zakończenie (wyjście).

Metody programowania sieciowego to techniki planowania przedsięwzięć, pozwalające na zwiększenie efektywności całości procesu planowania przedsięwzięć, ale i procesu monitorowania wykonania oraz oceny możliwości realizacji w założonych parametrach czasowych. Przez przedsięwzięcie rozumie się ciąg czynności wzajemnie ze sobą powiązanych. Czynności te muszą być wykonywane w określonej kolejności, wystąpienie jednych musi być poprzedzone zrobieniem innych, jakkolwiek są i takie czynności, które mogą być wykonywane równocześnie (zob. np. Frame<sup>7</sup> i Jones<sup>8</sup>).

Zależności pomiędzy czynnościami określają strukturę logiczną modelu sieciowego, która może być zdeterminowana, jeśli w trakcie realizacji przedsięwzięcia wszystkie czynności przedstawione w sieci są zrealizowane, lub stochastyczna, jeśli w trakcie realizacji przedsięwzięcia bierze udział tylko część czynności przedstawiona w sieci, z określonym, większym od zera, prawdopodobieństwem. W praktyce najczęściej stosowane są sieci, w których zależności między czynnościami mogą być jednoznacznie określone.

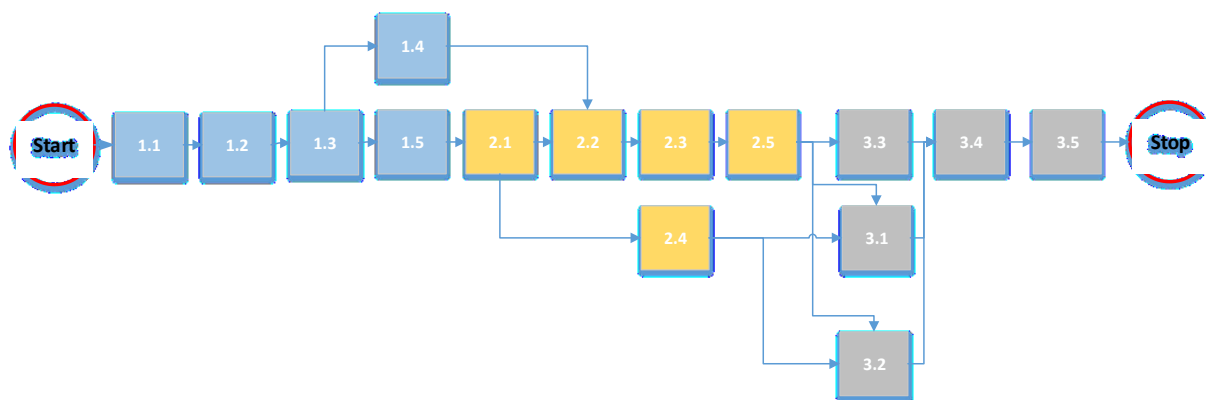
Punktem wyjścia metod sieciowych jest sporządzenie listy czynności (zadań cząstkowych) składających się na przedsięwzięcie, ustalenie zależności pomiędzy nimi (kolejności ich wykonywania) i czasów ich trwania. Następnie przedsięwzięcie przedstawia się w postaci wykresu sieciowego (sieci zależności, sieci czynności). Ta część w praktyce sprawia zwykle najwięcej problemów, gdyż należy w tym miejscu podejmować decyzje dotyczące samej kolejności realizowanych zadań, jak też ich ewentualnego podziału na mniejsze części, pozwalające na odpowiednie zaplanowanie całości przedsięwzięcia.

Na rys. 1 zaprezentowano przykład sieci czynności dla prostego zbioru realizowanych prac.

---

<sup>7</sup> Frame J.D.: Zarządzanie projektem w organizacji. Wig-Press, Warszawa 2001.

<sup>8</sup> Jones R.: Zarządzanie projektami. Biznesola, Warszawa 2009.



Rys . 1. Przykładowy diagram sieciowy dla realizowanego przedsięwzięcia  
 Źródło: Opracowanie własne.

Dzięki przygotowaniu sieci możliwe jest wyznaczenie parametrów przedsięwzięcia, dotyczących zarówno poszczególnych czynności i zdarzeń, jak i całego projektu (najwcześniejszych możliwych i najpóźniejszych dopuszczalnych momentów zaistnienia zdarzeń, zapasów czasu dla zdarzeń i czynności), wyznaczenie terminu końcowego realizacji całego przedsięwzięcia oraz ścieżki krytycznej. Z uwagi na powszechną dostępność literatury (np. Heerkena<sup>9</sup>, Kukuły<sup>10</sup> czy Radzikowskiego<sup>11</sup>) opisującej techniczny aspekt wyznaczania drogi krytycznej w sieci element ten został w niniejszym artykule pominięty.

Do najważniejszych zalet stosowania CPM należy zaliczyć:

- pozwala dostrzec, z którymi zdarzeniami wiążą się rezerwy czasu, a które należy koniecznie przyspieszyć, aby terminowo zrealizować projekt,
- można rozpoznać wcześniej ewentualne odchylenia i „wąskie gardła”,
- technika ta daje kierownikowi projektu możliwość uzyskiwania na bieżąco informacji o jego przebiegu i umożliwia wymianę informacji z zespołem wykonawczym,
- dzięki wewnętrznej przejrzystości technika ta sprowadza dyskusje i wątpliwości dotyczące projektu do konkretów, ograniczając rozpiętość ocen, przez co pomaga w podejmowaniu powtarzalnych i bardziej skutecznych decyzji, wymaga to jednak dyscypliny samego zespołu projektowego,
- jest nieskomplikowana matematycznie i bardzo klarowna w swojej koncepcji, choć wymaga sporo uwagi na etapie przygotowywania informacji oraz budowania samej sieci.

<sup>9</sup> Heerkena G.R.: Jak zarządzać projektami. Wydawnictwo RM, Warszawa 2003.

<sup>10</sup> Kukuła K. (red.): Badania operacyjne w przykładach i zadaniach. PWN, Warszawa 2004.

<sup>11</sup> Radzikowski W.: Matematyczne techniki zarządzania. PWE, Warszawa 1980.

Oprócz zalet technika CPM ma również wady, mianowicie:

- ogranicza się do deterministycznie określonych zależności,
- czynności w sieci muszą być na czas trwania całego projektu z góry jednoznacznie określone oraz stabilne we wzajemnych relacjach organizacyjnych i technologicznych,
- może się zdarzyć, że szacunki czasów trwania czynności nie będą wystarczająco wiarygodne,
- istnieje niebezpieczeństwo skupienia się wyłącznie na ścieżce krytycznej i zaniedbanie monitorowania czynności podkrytycznych.

Z ostatnią z wymienionych wad koresponduje praktyka realizacji złożonych projektów, która wskazuje, że oprócz czynności krytycznych istotne znaczenie dla terminowości realizacji całego projektu ma także nadzór nad realizacją czynności podkrytycznych. Mianem tym określa się czynności łączące zdarzenia o niewiele większych niż minimalna rezerwach czasowych, przy czym wielkość taka w przypadku każdego projektu może być wartością indywidualną. Czynności podkrytyczne powinny być poddane nadzorowi na poziomie zbliżonym do nadzoru zadań krytycznych, przy tym nie wolno zapomnieć o nadzorze zadań leżących poza ścieżką krytyczną, gdyż spokój wynikający z samego faktu, że jest to zadanie niekrytyczne bywa złudny – zapas czasu powinien być świadomie wykorzystany do sterowania projektem. Tym ważnym aspektem zarządzania projektem poświęcił swoją publikację Goldratt<sup>12</sup>.

Opracowanie metod sieciowych (CPM oraz PERT) dało początek całemu zbiorowi narzędzi zarządczych, rozpoczynając od poszerzenia wymienionych powyżej technik o analizę kosztów przyspieszenia realizacji zadań (CPM-Cost, PERT-Cost), po techniki VERT lub GERT, o czym szerzej np. u Brzychcy<sup>13</sup>.

### 3. Automatyzacja procesu analizy drogi krytycznej

Początkowo wprowadzenie technik sieciowych, pomimo niezaprzeczalnego wsparcia procesu planowania, obarczone było problemem wynikającym z konieczności przeliczania dużej ilości danych. Dopiero wprowadzenie komputerów osobistych oraz różnego rodzaju aplikacji pozwoliło na uproszczenie i przyspieszenie tych działań. Typowymi przykładami są tutaj rozwiązania dwóch liderów oprogramowania wspierającego proces zarządzania projektami, a więc MS Project, firmy Microsoft oraz Primavera, firmy ORACLE. W obu przypadkach proces wskazania drogi krytycznej dla projektu jest realizowany niemal od

---

<sup>12</sup> Goldratt E.: Łańcuch krytyczny: projekty na czas. Mint Books, 2009.

<sup>13</sup> Brzychcy E.: O możliwościach wykorzystania techniki VERT w modelowaniu robót górniczych. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi”, t. 23, z. 3. Kraków 2007.



(zob. Tchórzewski i Stopa<sup>14</sup> oraz Tchórzewski i Wodarski<sup>15</sup>). Przesłanki do stosowania tego rozwiązania są następujące:

- roboty górnicze, polegające na wykonaniu wyrobisk, obejmują realizację wielu zależnych od siebie zadań,
- zadania te można powiązać w sieć czynności, w której możemy wyróżnić momenty rozpoczęcia oraz zakończenia,
- zadania te często są lub mogą być wykonywane równolegle,
- zadania te można opisać jednym istotnym parametrem – czasem wykonania.

Z kolei efekty, jakie możemy uzyskać stosując CPM to między innymi:

- określenie czasu niezbędnego do realizacji wybranego ciągu wyrobisk,
- wskazanie zadań krytycznych, od których zależy termin realizacji całego ciągu zdarzeń,
- ustalenie zapasów czasu, pozwalających na przesunięcie terminów rozpoczęcia lub zakończenia wykonywania poszczególnych prac.

Jak widać, są one identyczne z efektami możliwymi do uzyskania w innych przypadkach stosowania metody, co jednocześnie potwierdza celowość jej używania.

### **Przykład 1 – Przygotowanie do eksploatacji ściany w kopalni A**

Prezentowany przykład przedstawia typowe przedsięwzięcie, związane z uruchomieniem eksploatacji w ścianie. Charakterystyczny aspekt tego przykładu to procesy transportu oraz montażu kompleksu zmechanizowanego.

Wykonanie projektu obejmuje następujące (najważniejsze) działania:

- Realizację robót górniczych – przygotowawczych.
- Zabudowę transportu głównego (100 mb) i pomocniczego.
- Zbrojenie ściany (przenośnik Rybnik, obudowa zmechanizowana oraz kombajn ścianowy).
- Prace końcowe – zabudowa trasy transportu urobku, zabudowa i wzmocnienie skrzyżowań, demontaż zbędnego wyposażenia i prace porządkowe.
- Skrawy rozruchowe.

Na rys. 4 zaprezentowany został harmonogram prac wraz ze wskazaniem zadań krytycznych związanych z uruchomieniem ściany. Zakres prac obejmuje łącznie 50 zadań. Całkowity czas realizacji projektu wynosi 79 dni roboczych, obejmując okres 4 miesięcy kalendarzowych.

---

<sup>14</sup> Tchórzewski S., Stopa J.: Praktyczne doświadczenia w wykorzystaniu narzędzi informatycznych w planowaniu i harmonogramowaniu robót górniczych w KHW SA. „Wiadomości Górnicze”, nr 7/8, 2011.

<sup>15</sup> Tchórzewski S., Wodarski K.: Zastosowanie siatek czynności PERT do planowania rozwoju kopalni węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Zarządzanie, z. 4. Politechnika Śląska, Gliwice 1999.





Część z zadań realizowana jest równolegle i są to przede wszystkim zadania związane z transportem oraz montażem kompleksu ścianowego. Jednocześnie zadania te trwają około jednego miesiąca kalendarzowego, co stanowi ok. 25% czasu realizacji całego przedsięwzięcia. Z informacji zawartych na rys. 4 wynika, iż:

- większość z zadań realizowanych w ramach przedsięwzięcia leży na drodze krytycznej.
- Główne zadania związane z montażem obudowy zmechanizowanej są wykonywane równolegle oraz stanowią znaczącą część czasu poświęconego na realizację całego przedsięwzięcia.
- Duża kumulacja równoległych, krytycznych zadań powoduje konieczność uważnej realizacji każdego z nich, gdyż opóźnienie tylko jednego z nich może spowodować opóźnienie całego przedsięwzięcia.

### **Przykład 2 – Likwidacja ściany w kopalni B**

Przykład 2 to opis działań związanych z likwidacją ściany. Warto zwrócić uwagę na uwzględnienie aspektu formalnoprawnego w procesie zarządzania całym przedsięwzięciem. Projekt obejmuje nie tylko sferę techniczną, ale również otoczenie organizacyjne, niezbędne do prawidłowego przebiegu prac.

Wykonanie projektu obejmuje następujące (najważniejsze) działania:

- Przetarg na likwidację ściany.
- Przygotowanie i zatwierdzenie dokumentacji technicznej dla likwidacji ściany.
- Wybudowę kompleksu ścianowego.
- Likwidację (wybudowę) urządzeń transportowych.
- Prace porządkujące i izolacyjne.

Na rys. 5 zaprezentowany został harmonogram prac związanych z uruchomieniem ściany. Obejmuje on łącznie 56 zadań. Całkowity czas realizacji projektu wynosi 96 dni roboczych, obejmujących ponad 4 miesiące kalendarzowe.

Część z zadań realizowana jest linowo, część zaś równolegle. Z informacji zawartych na rys. 5 wynika, iż:

- W pierwszej części przedsięwzięcia (przygotowanie i rozstrzygnięcie przetargu) wszystkie zadania leżą na drodze krytycznej, co oznacza, że opóźnienie w realizacji dowolnego z nich może spowodować opóźnienie w realizacji całego przedsięwzięcia.
- W pozostałej części przedsięwzięcia zadania w znacznej mierze są realizowane równolegle, lecz największy zapas czasu wynosi dwa tygodnie, co w skali przedsięwzięcia jest wartością dość dużą, lecz w przypadku pozostałych, równoległych zadań zapas ten jest mniejszy i oznacza konieczność regularnego monitorowania postępów prac w projekcie.



**Przykład 3 – Przygotowanie do eksploatacji dwóch ścian w kopalni C**

Przykład 3 to projekt jednoczesnego przygotowania do eksploatacji dwóch ścian (wyzbrojenia ścian, które zakończyły już eksploatację i zazbrojenia dwóch nowych), zawierający charakterystyczne informacje dotyczące takich prac.

Wykonanie projektu obejmuje następujące (najważniejsze) główne działania:

- Prace przygotowawcze.
- Demontaż wyposażenia w ścianach, które zakończyły eksploatację.
- Montaż wyposażenia w ścianach, które są przygotowywane do eksploatacji.
- Prace końcowe.

Na rys. 6 zaprezentowany został harmonogram prac związanych z uruchomieniem ścian. Obejmuje on łącznie 45 zadań. Całkowity czas realizacji projektu wynosi 74 dni robocze. Zadania realizowane są w sposób mieszany – równoległe oraz liniowo, co pozwala na sterowanie całym procesem.

Z informacji zawartych na wykresie wynika, że w tym przypadku szczególną rolę odgrywają zadania związane z przezbrajaniem przenośników oraz obudowy, z uwagi na czas potrzebny do realizacji tych zadań.



## 5. Podsumowanie

- Sieci CPM są bardzo użyteczne w planowaniu projektu, ponieważ zmuszają do precyzyjnego definiowania zadań, które trzeba wykonać w jego ramach, oraz zależności pomiędzy poszczególnymi działaniami. Celem metod sieciowych jest m.in. ujawnianie czynności decydujących (krytycznych), ażeby umożliwić koncentrację dostępnych środków produkcji na czynnościach wchodzących w skład „drogi krytycznej”, lub nawet mobilizację środków dodatkowych, jeśli czas jest kryterium decydującym.
- Metody sieciowe pozwalają na przedstawienie bardzo złożonych procesów technologicznych w prostej formie za pomocą tylko dwóch symboli: czynności i zdarzeń. Sam problem matematyczny jest niezwykle prosty. Posługiwanie się tą metodą wymaga jedynie krótkiego przeszkolenia.
- Metody sieciowe jako instrument planowania i organizacji umożliwiają czy wręcz zmuszają do pełnego poznania struktury analizowanego przedsięwzięcia, kontroli toku wszystkich ujętych robót i prac, sprawnego zarządzania i koordynowania środków w celu terminowego osiągnięcia celu; są instrumentem dostarczającym danych ilościowych w procesie podejmowania decyzji. Stanowią one znaczny postęp w porównaniu z dotychczasowymi harmonogramami kreskowymi.
- W klasycznych harmonogramach trudno jest określić wzajemne zależności między czynnościami, np. wzajemne uwarunkowanie jednych czynności przez wykonanie drugich. Nie pozwalają również, przy dużej złożoności projektu, na szybkie i przejrzyste wydzielenie tych robót, które warunkują czas trwania realizacji przedsięwzięcia, chyba że do dyspozycji są informatyczne narzędzia wspierające planowanie oraz monitorowanie projektów.
- Biorąc pod uwagę zaprezentowane trzy przykłady prac realizowanych w kopalniach, ich powtarzalność, wynikającą z konieczności ciągłego odtwarzania frontu eksploatacyjnego, a co za tym idzie – pewną powtarzalność i podobieństwo wykonywanych czynności, można przyjąć, iż wykorzystanie metody CPM do planowania oraz monitorowania takich przedsięwzięć pozwoliłoby osiągnąć korzyść w postaci efektywnej realizacji zaplanowanych prac (prac realizowanych w terminie oraz zaplanowanym budżecie).

## Bibliografia

1. Brzychczy E.: O możliwościach wykorzystania techniki VERT w modelowaniu robót górniczych. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi”, t. 23, z. 3. Kraków 2007.
2. Chmiela A., Przybyła H.: Technika i organizacja w robotach przygotowawczych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
3. Frame J.D.: Zarządzanie projektem w organizacji. Wig-Press, Warszawa 2001.
4. Goldratt E.: Łańcuch krytyczny: projekty na czas. Mint Books, 2009.
5. Habuda T.: Technika analizy sieciowej. TNOIK, Katowice 1975.
6. Heerkens G.R.: Jak zarządzać projektami. Wydawnictwo RM, Warszawa 2003.
7. Idźkiewicz A.Z.: PERT Metody analizy sieciowej. PWN, Warszawa 1966.
8. Ignasiak E.: Programowanie sieciowe. PWE, Warszawa 1972.
9. Jones R.: Zarządzanie projektami. Biznesola, Warszawa 2009.
10. Kapliński O., Stefański A.: Metody sieciowe w organizacji i planowaniu budowy. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1978.
11. Kukula K. (red.): Badania operacyjne w przykładach i zadaniach. PWN, Warszawa 2004.
12. Radzikowski W.: Matematyczne techniki zarządzania. PWE, Warszawa 1980.
13. Tchórzewski S., Stopa J.: Praktyczne doświadczenia w wykorzystaniu narzędzi informatycznych w planowaniu i harmonogramowaniu robót górniczych w KHW SA. „Wiadomości Górnicze”, nr 7/8, 2011.
14. Tchórzewski S., Wodarski K.: Zastosowanie siatek czynności PERT do planowania rozwoju kopalni węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Zarządzanie, z. 4. Politechnika Śląska, Gliwice 1999.
15. Trocki M.: Zarządzanie projektami. PWE, Warszawa 2009.