

IDENTYFIKACJA ROLI CZYNNIKÓW OPÓŹNIEŃ REALIZACJI ZŁOŻONYCH PRZEDSIĘWZIĘĆ BUDOWLANYCH

Mirosław DYTCZAK^{a*}, Grzegorz GINDA^a, Tomasz WOJTKIEWICZ^b

^a Wydział Budownictwa, Politechnika Opolska, ul. Katowicka 48, 45-061 Opole

^b WACETOB, ul. Olesińska 21, 02-548 Warszawa

Streszczenie: Opóźnienia realizacji przedsięwzięć budowlanych rodzą zwykle poważne konsekwencje dla uczestników i beneficjentów przedsięwzięć. Istotna jest więc właściwa identyfikacja przyczyn oraz skutków opóźnień. Pozwala ona na pozbawione subiektywizmu rozliczenie win oraz zaniedbań stron zaangażowanych w przedsięwzięcie. W pracy przedstawiono możliwość zastosowania metody DEMATEL do identyfikacji przyczyn opóźnień realizacji złożonych przedsięwzięć budowlanych. Zasady jej stosowania zilustrowano przykładem obliczeniowym dotyczącym ważnego przedsięwzięcia inwestycyjnego.

Słowa kluczowe: inwestycja, realizacja, opóźnienie, przyczyna, skutek, DEMATEL.

1. Wprowadzenie

Opóźnienia procesu inwestycyjnego rodzą liczne konsekwencje. Wiążą się one z przede wszystkim z groźbą uniemożliwienia terminowego rozpoczęcia eksploatacji obiektów. Konsekwencje te mają również zróżnicowany, zarówno łatwo, jaki trudno mierzalny charakter. W przypadku czynników łatwo mierzalnych na czoło wysuwa się aspekt ekonomiczny, zaś trudno mierzalne mogą przykładowo dotyczyć niekorzystnego wpływu na otoczenie społeczne i środowiskowe.

Waga konsekwencji opóźnień dla uczestników procesu inwestycyjnego uzasadnia poszukiwania wiarygodnych sposobów identyfikacji istotnych przyczyn i skutków opóźnień. Dzięki ich zastosowaniu staje się bowiem możliwe obiektywne rozliczenie uczestników z ich win i zaniedbań.

W pracy zilustrowano zastosowanie w tym celu, stosunkowo mało w Polsce znanej, metody Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL). Użyto przy tym przykładu związanego z jedną, z realizowanych obecnie w kraju, inwestycji strategicznych.

2. Rozważane zagadnienie

Przedmiotem analizy jest diagnoza przyczyn opóźnień robót budowlanych prowadzonych w ramach budowy Stadionu Narodowego w Warszawie w okresie jesienno-

zimowym 2009/2010. Przedsięwzięcie to jest wyjątkowo złożone. Jego złożoność wynika ze skali i charakteru robót oraz specyfiki realizacji inwestycji. Obowiązuje bowiem sztywny i nieodległy termin oddania obiektu do użytku, a operacje składowe są szczególnie wrażliwe na zimowe warunki klimatyczne.

Porównanie danych opisujących warunki klimatyczne w miejscu budowy w okresie jesienno zimowym w ciągu kilku wcześniejszych lat z danymi zanotowanymi w rozważanym okresie czasu, potwierdziło zwiększenie intensywności zmian pogodowych na przełomie 2009 i 2010 r. (Dytczak i in., 2010). Świadectwem tego było znaczne obniżenie temperatury zewnętrznej oraz występowanie obfitych i nagłych opadów śniegu.

Znacznie obniżona temperatura otoczenia, intensywne opady śniegu oraz zalegająca gruba pokrywa śnieżna powoduje znaczne utrudnienia dla prowadzenia, a w skrajnych przypadkach nawet zatrzymanie wykonywania robót budowlanych. Dotyczy to zwłaszcza robót ziemnych, fundamentowych oraz betonowych, a także konieczności stosowania zaostrzonych zasad bezpieczeństwa i dodatkowych zabezpieczeń pracowników. Przystoje robót z powodu niesprzyjających warunków atmosferycznych skutkują nie tylko bezpośrednio opóźnieniami, ale także uwarunkowaniami organizacyjnymi np. koniecznością usunięcia skutków oddziaływania czynników atmosferycznych, przygotowania wznowienia produkcji i dostaw oraz remobilizacji zasobów.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: m.dytczak@po.opole.pl

Na powstawanie opóźnień może bezpośrednio wpływać szereg czynników o klimatycznej, technicznej i organizacyjnej naturze. Na podstawie analizy specyfiki realizacji inwestycji, przyjęto następujący zestaw czynników modelu przyczynowo-skutkowego (Dytczak i in., 2010):

1. znacząco obniżona względem typowego poziomu, temperatura otoczenia (T),
2. temperaturowa bezwładność budowli (BT),
3. intensywne opady śniegu oraz długotrwałe zaleganie pokaźnej pokrywy śnieżnej (SO),
4. konieczność remobilizacji zasobów (O),
5. utrudnienia logistyczne (L),
6. mała elastyczność harmonogramu inwestycji, spowodowana zbyt sztywnym określeniem przebiegu robót (H),
7. opóźnienia realizacji przedsięwzięcia (OP).

3. Analiza przyczynowo-skutkowa

3.1. Użyta metoda

Do przeprowadzenia analizy użyto metody DEMATEL. Stanowi ona, do niedawna nieco zapomniane, a obecnie dynamicznie rozwijane, narzędzie identyfikacji obiektów łańcucha przyczynowo-skutkowego (Gabus i Fontela, 1972; 1973). Została ona zastosowana do rozwiązywania zagadnień decyzyjnych, związanych ze zróżnicowaną tematyką – od zarządzania i marketingu, aż po inżynierię produkcji. Przegląd jej zastosowań można przykładowo znaleźć w pracy (Dytczak i Ginda, 2009). Pośród zastosowań dziedzin zastosowań metody obecne jest także budownictwo (Dytczak, 2010).

Podstawą metody są porównania obiektów (czynników) parami w kontekście przyczynowości (bezpośredniego wpływu). Do wyrażania intensywności relacji bezpośredniego wpływu używa się przy tym dyskretnej skali ocen 0- N . Jej poszczególne poziomy odpowiadają stopniowemu zwiększaniu się intensywności relacji wpływu: od zera (brak wpływu pierwszego z porównywanych obiektów na drugi), przez 1 (niewielki wpływ pierwszego obiektu nad drugi) i poziomy pośrednie, aż po arbitralnie przyjmowany poziom N (skrajnie duży wpływ pierwszego obiektu).

Wyniki oceny relacji bezpośredniego wpływu, zachodzące między obiektami, wyraża graf bezpośredniego wpływu G oraz odpowiadająca mu kwadratowa macierz bezpośredniego wpływu A , złożona z wierszy i kolumn odpowiadających kolejno porównywanym obiektom. Dzięki zastosowaniu ciągu odpowiednich przekształceń, wykorzystujących macierz bezpośredniego wpływu, otrzymuje się informację na temat kierunku i intensywności relacji całkowitego wpływu między obiektami (macierz całkowitego wpływu T). Na jej podstawie można jednoznacznie zidentyfikować obiekty stanowiące przyczynę oraz obiekty będące skutkiem ich oddziaływania. Służą temu wartości wskaźników: prominencji (pozycji) s^+ i relacji s^- oraz diagram nazywany *mapą całkowitego wpływu*.

Wartość wskaźnika pozycji wyraża rolę obiektu w procesie ustalania charakteru obiektów, a wartość wskaźnika relacji świadczy o wpływie obiektu na pozostałe obiekty i stanowi podstawę rangowania obiektów. Szczegóły procedury wyznaczania macierzy T na podstawie macierzy bezpośredniego wpływu A można przykładowo znaleźć w pracy (Dytczak, 2010).

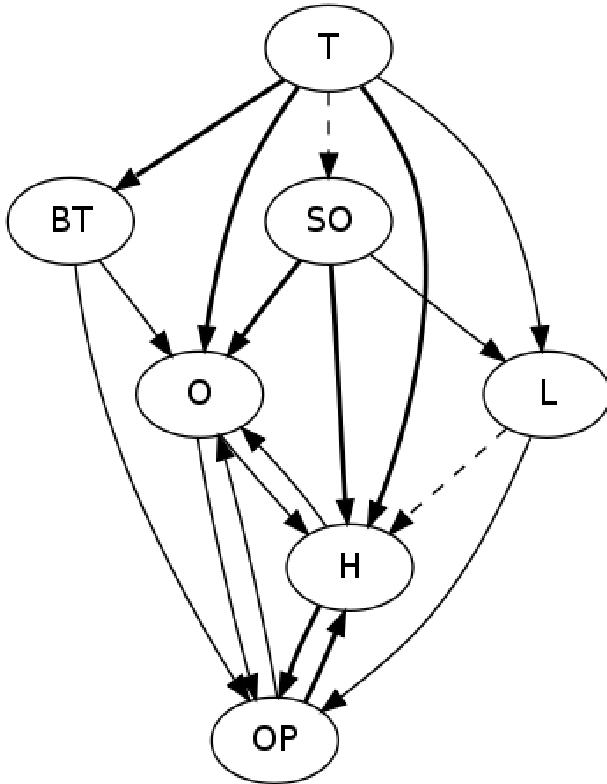
3.2. Obliczenia

Do oceny relacji bezpośredniego wpływu między wyróżnionymi uprzednio obiektami (czynnikami) wykorzystano skalę DEMATEL a o liczbie poziomów równej $N = 3$. Kolejne jej stopnie oznaczają: brak wpływu pierwszego, z porównywanych w ramach pary czynników, na pojawienie się drugiego z nich (0), niewielki wpływ pierwszego obiektu (1), znaczący wpływ pierwszego czynnika (2), skrajnie wysoki wpływ pierwszego czynnika (3).

W odniesieniu do poszczególnych czynników uznano, że:

1. Znaczące obniżenie temperatury otoczenia T : w skrajnie wysokim stopniu powoduje ujawnienie się czynnika bezwładności cieplnej budowli BT , konieczności remobilizacji zasobów O i małej elastyczności harmonogramu H (oceny równe 3), w niewielkim stopniu wpływa na występowanie i zaleganie dużych ilości śniegu SO (ocena 1), a w stopniu umiarkowanym na wystąpienie utrudnień logistycznych L (ocena 2).
2. Temperaturowa bezwładność budowli znacząco przyczynia się do pojawienia się konieczności remobilizacji zasobów i opóźnia realizację robót (oceny równe 2).
3. Intensywne opady i zaleganie pokrywy śniegu w skrajnie wysokim stopniu przyczyniają się do występowania konieczności remobilizacji zasobów i uwydatnienia wpływu niskiego stopnia elastyczności harmonogramu inwestycji (oceny równe 3) oraz w znaczącym stopniu powodują utrudnienia logistyczne (ocena 2).
4. Remobilizacja zasobów w znaczącym stopniu wpływa na ujawnianie się niskiej elastyczności harmonogramu oraz pojawianie się i zwiększanie opóźnień realizacji inwestycji (ocena 2).
5. Utrudnienia logistyczne w znaczącym stopniu powodują pojawianie się i zwiększanie opóźnień realizacji przedsięwzięcia (ocena 2) oraz jedynie nieco pogłębiają skutki małej elastyczności harmonogramu (ocena 1).
6. Niski stopień elastyczności harmonogramu znacząco wpływa na pojawianie się konieczności remobilizacji zasobów (ocena 2), zaś w skrajnie dużym stopniu na pojawianie się i zwiększanie opóźnień realizacji przedsięwzięcia (ocena 3).
7. Opóźnienia w wysokim stopniu wpływają na konieczność remobilizacji zasobów (ocena 2), a w skrajnie wysokim stopniu uwydatniają wpływ małej elastyczności harmonogramu (ocena 3).

Na podstawie powyższych ocen zbudowano graf bezpośredniego wpływu, przedstawiony na rysunku 1. Różnym stopniom intensywności relacji wpływu występującej między obiektami przyporządkowano zróżnicowane kroje linii. Gruba linia ciągła odpowiada ocenie relacji 3, zwykła linia ciągła ocenie 2, natomiast linia przerywana ocenie 1. Na rysunku 1 nie ujęto relacji, którym odpowiada brak wpływu żadnego z dwóch porównywanych obiektów na drugi z nich.



Rys. 1. Graf bezpośredniego wpływu czynników

Graf z rysunku 1 wyraża macierz bezpośredniego wpływu (1). Jej poszczególne wiersze zawierają wartości ocen, odpowiadające kolejno wpływowi czynników: T, BT, SO, O, L, H, OP na czynniki, którym poświęcono poszczególne kolumny w takiej samej kolejności:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 1 & 3 & 2 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 2 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 3 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Dzięki podzieleniu macierzy (1) przez maksymalną wartość sum wierszowych i kolumnowych (wynoszącej 12 i osiąganą dla pierwszego wiersza oraz trzeciej i szóstej kolumny) otrzymuje się znormalizowaną postać macierzy bezpośredniego wpływu \mathbf{X} (2), niezbędną do dalszych obliczeń:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 0 & 1/4 & 1/12 & 1/4 & 1/6 & 1/4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/6 & 0 & 0 & 1/6 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 & 1/6 & 1/4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/6 & 1/6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/12 & 1/6 \\ 0 & 0 & 0 & 1/6 & 0 & 0 & 1/4 \\ 0 & 0 & 0 & 1/6 & 0 & 1/4 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Macierz całkowitego (zarówno bezpośredniego, jak i pośredniego) wpływu \mathbf{T} otrzymano dzięki zastosowaniu formuły (3):

$$\mathbf{T} = \mathbf{X} (\mathbf{I} - \mathbf{X})^{-1}, \quad (3)$$

gdzie \mathbf{I} oznacza jednostkową macierz kwadratową o takim samym rozmiarze jak macierz \mathbf{A} .

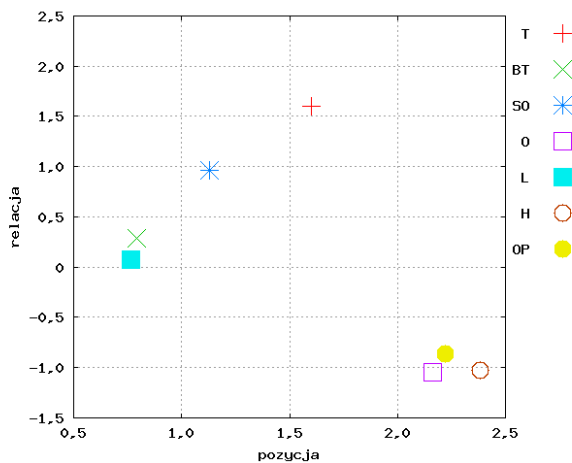
Uzyskaną ostatecznie postać macierzy \mathbf{T} przedstawia formuła (4):

$$\mathbf{T} = [t_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 0,250 & 0,083 & 0,423 & 0,181 & 0,418 & 0,247 \\ 0 & 0 & 0 & 0,220 & 0 & 0,093 & 0,227 \\ 0 & 0 & 0 & 0,340 & 0,167 & 0,364 & 0,176 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,060 & 0 & 0,147 & 0,213 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Na jej podstawie można już wyznaczyć dla każdego z porównywanych czynników wartości wskaźników pozycji s^+ i relacji s^- . Wartość wskaźnika pozycji otrzymuje się na podstawie sumy wartości wierszy i kolumn macierzy \mathbf{T} , a wskaźnika relacji – na podstawie różnicy między sumą wiersza i sumą kolumny odpowiadającej danemu czynnikowi. Otrzymane wartości wskaźników zestawiono w tabeli 1. Na rysunku 2 przedstawiono punkty reprezentujące poszczególne czynniki w układzie wartości obu wskaźników.

Tab. 1. Wartości wskaźników pozycji i relacji otrzymane dla poszczególnych czynników

Czynnik	Pozycja, s^+	Relacja, s^-
T	+1,602	+1,602
BT	+0,790	+0,290
SO	+1,130	+0,963
O	+2,163	-1,043
L	+0,767	+0,073
H	+2,383	-1,023
OP	+2,222	-0,862



Rys. 2. Wyniki odpowiadające całkowitemu wpływowi czynników

Jak widać, największe wartości wskaźnika pozycji osiąga odpowiadają czynnikom O, H i OP. Świadczy to o ich centralnej roli w procesie ustalania całkowitego wpływu czynników. Z pozostałych czynników tylko T i SO pełnią przeciętną, pod tym względem, rolę. Rola pozostałych 2 czynników jest marginalna.

Dodatknie wartości wskaźnika relacji wykazują 4 czynniki: T, SO, BT i L. Pośród nich wyraźnie największą wartością wskaźnika legitymuje się czynnik T, stąd można go uznać za najbardziej wpływający na inne czynniki. Następną pozycję okupuje pod tym względem czynnik SO, notujący wyraźną przewagę nad czynnikiem BT. W przypadku czwartego z powyższych czynników L odnotowujemy wartość wskaźnika jedynie nieco przekraczającą wartość zerową. Trzy pozostałe czynniki: O, H, OP charakteryzują wyraźnie ujemne wartości wskaźnika.

Dodatknie wartości wskaźnika świadczą o ogólnie przyczynowej roli czynnika, natomiast wartości ujemne o skutkowej roli czynnika. W przypadku wartości wskaźnika zbliżonej do zera można mówić o pośredniej, tzn. częściowo przyczynowej, a częściowo skutkowej roli czynnika. Na podstawie otrzymanych rezultatów, do grupy niewątpliwych przyczyn można więc zaliczyć czynniki T i SO, zaś do grupy skutków: O, H, OP. Pozostałe czynniki BT i L pełnią podwójną rolę, choć, wobec dodatniej wartości wskaźnika, w nieco większym stopniu przyczyny niż skutku.

O intensywności przyczynowej roli i-tego czynnika względem pozostałych świadczy wartość jego wpływu netto. W przypadku wpływu na j-ty czynnik (n_{ij}) wyraża go nieujemna wartość różnicy elementów macierzy \mathbf{T} odpowiadających całkowitemu wpływowi i-tego obiektu na j-ty obiekt (t_{ij}) oraz obiektu j-tego na i-ty obiekt (t_{ji}):

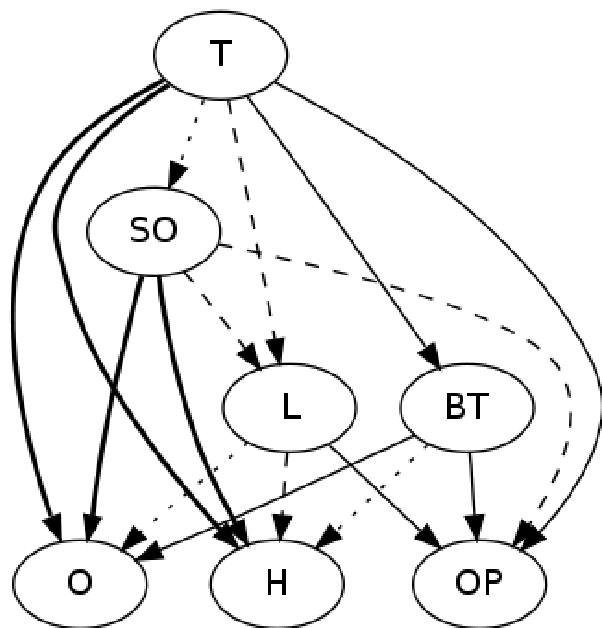
$$n_{ij} = \begin{cases} t_{ij} - t_{ji} & \text{dla } t_{ij} - t_{ji} > 0, \\ 0 & \text{dla } t_{ij} - t_{ji} \leq 0. \end{cases} \quad (5)$$

Na tej podstawie można uzyskać macierz całkowitego wpływu netto dla rozważanej grupy czynników (6):

$$\mathbf{n} = [n_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 0,250 & 0,083 & 0,423 & 0,181 & 0,418 & 0,247 \\ 0 & 0 & 0 & 0,220 & 0 & 0,093 & 0,227 \\ 0 & 0 & 0 & 0,340 & 0,167 & 0,364 & 0,176 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,060 & 0 & 0,147 & 0,213 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Na podstawie całkowitego wpływu netto można zbudować specjalny acykliczny i niesymetryczny graf skierowany – mapę całkowitego wpływu, którą przedstawia rysunek 3. Łuki grafu wskazują na czynnik znajdujący się pod wpływem drugiego z czynników. Dla zachowania czytelności grafu, zróżnicowanie intensywność całkowitego wpływu wyrażono rodzajami linii. W tym celu niezerowe wartości wpływu netto n_{ij} podzielono na 4 grupy, kojarząc z nimi odpowiednie rodzaje linii:

- $n_{ij} > 0,300$ (gruba linia ciągła),
- $0,300 \geq n_{ij} > 0,200$ (cienka linia ciągła),
- $0,200 \geq n_{ij} > 0,100$ (linia przerywana),
- $0,100 \geq n_{ij} > 0$ (linia kropkowa).



Rys. 3. Mapa całkowitego wpływu czynników

Otrzymana postać mapy całkowitego wpływu czynników potwierdza przyczynową rolę czynnika obniżonej temperatury zewnętrznej T oraz intensywnych opadów i zalegającej pokrywy śniegu SO. Na jej podstawie można także niewątpliwie stwierdzić skutkowy charakter czynników: remobilizacji zasobów O, mało elastycznego harmonogramu H oraz powstawania i pogłębiania opóźnień w realizacji przedsięwzięcia OP. Potwierdza ona także mieszany charakter dwóch pozostałych czynników: bezwładności termicznej budowl i BT oraz utrudnień logistycznych L.

4. Podsumowanie

Działalność budowlana ma specyficzny i złożony charakter. Wynika on z szeregu czynników, obejmujących przede wszystkim kosztowność i czasochłonność produkcji, oddziaływanie na otoczenie i wrażliwość na oddziaływanie otoczenia, szeroki zakres prac, złożoność operacji technologicznych, zaangażowanie zróżnicowanych podmiotów i konieczność koordynacji ich działań w czasie i przestrzeni.

Powyższe czynniki sprawiają, że realizacja robót budowlanych jest podatna na występowanie nieprawidłowości. Egzekwowanie odpowiedzialności od uczestników procesów realizacyjnych oraz skuteczne zapobieganie nieprawidłowościom i przeciwdziałanie ich skutkom w przyszłości sprawia, że szczególnego znaczenia nabiera skuteczna identyfikacja roli poszczególnych czynników w powstawaniu takich nieprawidłowości. Z uwagi na złożoność działalności budowlanej, konieczne staje się w tym celu zastosowanie specjalnych podejść, uwzględniających jej specyfikę.

Jedną z nich jest mało znana metoda DEMATEL. Dzięki jej użyciu można w stosunkowo prosty i czytelny sposób identyfikować rolę składników łańcucha przyczynowo-skutkowego. Przedstawiony przykład analizy, dotyczącej złożonej inwestycji potwierdza jej przydatność. Pozwala to mieć nadzieję na pełniejsze wykorzystanie jej potencjału do wspomagania decyzji budownictwie w przyszłości.

Literatura

- Dytczak M. (2010). Wybrane metody rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych w budownictwie. *Politechnika Opolska*, Opole.
- Dytczak M., Ginda G. (2009). Identyfikacja potencjalnych źródeł problemów we wdrażaniu oprogramowania. W: *Zastosowanie technologii informatycznych w zarządzaniu wiedzą*. Orłowski C., Kowalczyk Z., Szczerbicki E. (red.). *PWNT*, Gdańsk, 189-196.

Dytczak M., Ginda G. i in. (2010). Ocena ekspercka. Wpływ warunków zewnętrznych (atmosferycznych) na realizację wybranych operacji technologicznych podczas budowy Stadionu Narodowego (zamawiający: Narodowe Centrum Sportu Sp. z o.o.). *Infrasystem. Centrum Rozwoju i Modernizacji*, Warszawa.

Gabus A., Fontela E. (1972). World Problems an Invitation to Further Thought within the Framework of DEMATEL. *Battelle Geneva Research Centre*, Switzerland Geneva.

Gabus A., Fontela E. (1973). Perceptions of the World Problématique: Communication Procedure, Communicating with those Bearing Collective Responsibility (DEMATEL Report No. 1). *Battelle Geneva Research Centre*, Switzerland Geneva.

IDENTIFICATION OF THE IMPACT DELAY FACTORS DURING REALISATION OF COMPLEX CONSTRUCTION PROJECTS

Abstract: Punctuality of construction projects influences not only readiness of building objects for exploitation. Tangible economic and intangible e.g. social and environmental issues are also affected. Thus, delays in a construction project usually result in severe consequences for involved stakeholders. Reliable identification of causes and effects of delays is therefore important for discovering of role of objective factors and the stakeholders with regard to emerging delays. Such identification proves helpful for indication and assessment of stakeholders' faults and settlement of a fair punishment. Application of DEMATEL method with this regard is discussed. Included sample analysis deals with a vital construction project.