

mgr inż. Magdalena Apollo<sup>1)</sup>dr inż. Marian W. Kembłowski, prof. nadzw. PG<sup>1)</sup>

# Modelowanie ryzyka inwestycyjnego przy użyciu sieci Bayesa zorientowanych obiektowo

## *Modeling investment risk with OOBN*

DOI: 10.15199/33.2016.06.

(Doniesienie naukowe)

**Streszczenie.** Celem artykułu jest przedstawienie sieci Bayesa zorientowanych obiektowo (ang. Object Oriented Bayesian Networks – OOBN). Umożliwiają one dekompozycję złożonego modelu na pojedyncze obiekty, które reprezentują nie tylko różne grupy zagadnień, ale także pozwalają na modelowanie zależności czasowych między obiektami. Wykorzystanie obiektowych sieci Bayesa zaprezentowano na przykładzie projektu rewitalizacji. Na bazie przedsięwzięcia odznaczającego się istotną złożonością, przedstawiono zarówno wady, jak i zalety OOBN w zakresie skuteczności diagnostycznej oraz prognostycznej.

**Słowa kluczowe:** sieci Bayesa, rewitalizacja, ryzyko inwestycyjne.

**Abstract.** The aim of this article is to present an object-oriented Bayesian network (OOBN) which not only allows decomposition of a complex model into individual objects reflecting different groups of issues but also allows modeling time dependencies between objects. The use of OOBN was presented on the example of urban regeneration project. On the basis of a complex project the authors present both disadvantages and advantages of OOBN in terms of diagnostic and prognostic efficiency.

**Keywords:** Bayesian Networks, urban regeneration, investment risk.

Zarządzanie ryzykiem, będące integralną częścią działalności inwestycyjnej, nabiera szczególnego znaczenia w wielowymiarowym procesie przygotowania i realizacji inwestycji budowlanej. Pomocą w modelowaniu ryzyka inwestycyjnego są sieci Bayesa (szerzej opisane w publikacjach [2, 4, 8], które pomagają w opisanu i zrozumieniu określonego zjawiska oraz stanowią wizualną reprezentację jego elementów i ich powiązań. Istnieją jednak dwa rodzaje sytuacji, w których korzystanie z prostej sieci (tzn. bezpośrednio reprezentacji wszystkich elementów) jest niepraktyczne lub wręcz nieskuteczne. Są to kompleksowe zagadnienia, w których model zawiera zbyt wiele węzłów oraz sytuacje, gdy niezbędne okazuje się odzworowanie sekwencji czasowej. W celu wyeliminowania tych trudności stosuje się dekompozycję złożonego modelu na pojedyncze obiekty, które stanowią odzwierciedlenie nie tylko różnych grup zagadnień, ale także zależności czasowych między obiektami [5].

### Aplikacja OOBN do analizy ryzyka inwestycyjnego rewitalizacji

Zagadnienie modelowania ryzyka inwestycyjnego za pomocą sieci Bayesa zorientowanej obiektowo może okazać się szczegól-

nie pomocne m.in. na etapie podejmowania decyzji i przygotowania projektu rewitalizacji. Specyfika zagrożeń tego przedsięwzięcia (szczegółowo opisana w publikacjach [1, 2, 3] sprawia bowiem, że ryzyko inwestycyjne rewitalizacji jest niezwykle trudne do oszacowania. W jego ocenie niewystarczające wydają się powszechnie stosowane wskaźniki efektywności (np. NPV, IRR), gdyż jak wskazują przeprowadzone badania, przedsięwzięcie to może okazać się pod względem finansowym z punktu widzenia inwestora nieopłacalne, a zatem bardzo ryzykowne (wniosek postawiony na podstawie analizy studiów wykonalności projektu rewitalizacji Letnicy [9]), a mimo to władze miast nie rezygnują z realizacji tego typu działań [3]. Wynika z tego, że w procesie podejmowania decyzji brane są pod uwagę inne czynniki oraz wskaźniki efektywności.

W przypadku tak złożonych projektów konieczne jest podejście holistyczne, pozwalające oszacować poziom ryzyka, biorąc pod uwagę wzajemne relacje między poszczególnymi elementami procesu (czynnikami ryzyka) i tworząc swoistą sieć współoddziaływań. Podejście takie umożliwia właśnie sieci Bayesa. Ich zastosowanie pozwala na efektywne użycie istniejącej bazy wiedzy (w postaci wiedzy eksperckiej) do budowania struktury sieci (tzn. wyodrębnienia istotnych elementów i ich powiązań), a także jej parametryzacji (tzn. określenie siły powiązań) na podstawie tablic prawdopodobieństw warunkowych. Sieci

Bayes'a umożliwiają uaktualnianie prawdopodobieństw wstępnych wszystkich elementów sieci przez wprowadzanie nowej informacji pochodzącej z testów i obserwacji. Aktualizacja taka prowadzi do redukcji niepewności danych oraz budowy uaktualnionych scenariuszy ryzyka, umożliwiając tym samym podejmowanie bardziej zasadnych decyzji.

Prosta, bezpośrednia reprezentacja wszystkich czynników ryzyka w tego typu złożonych zagadnieniach nie jest jednak rozwiązaniem optymalnym, dlatego w ramach prowadzonych badań podjęto się budowy sieci Bayesa zorientowanej obiektowo.

### Model badawczy

Model sieci Bayesa, stanowiący odzworowanie zagrożeń oraz grup zagrożeń generujących ryzyko inwestycyjne rewitalizacji, zbudowano w specjalistycznej aplikacji AgenaRisk [7]. Model ten uwzględnia czynniki ryzyka uznane podczas przeprowadzonej ankiety eksperckiej za mające największy wpływ na potencjalny wzrost kosztów w wyniku wystąpienia prac dodatkowych w projekcie (całkowitą liczbę czynników ryzyka ograniczono tym samym z 98 do 42). Poza czynnikami ryzyka, zgodnie z metodą budowy sieci Bayesa, uwzględniono w niej węzły obrazujące następujące zmienne: środowiskowe (odzworowanie uwarunkowań projektu); symptomów; problemowe oraz pośrednie. Zarówno zmienne środowisko-

<sup>1)</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

<sup>\*</sup> Adres do korespondencji; e-mail: magdalena.apollo@wilis.pg.gda.pl

we, jak i zmienne symptomów pozwalają na aktualizację oszacowania rzeczywistego poziomu ryzyka związanego z konkretnym projektem. Dane niezbędne do analizy ilościowej sieci (prawdopodobieństwo a priori, tablice prawdopodobieństwa warunkowego) uzyskano podczas konsultacji eksperckich.

Mając na uwadze ideę budowania sieci Bayesa, zorientowanej obiektowo [6], zidentyfikowane czynniki ryzyka pogrupowano na 8 odrębnych obiektów (tematycznych substruktur), obrazujących obszary ryzyka inwestycyjnego rewitalizacji. Należą do nich:

- obiekt I – stan techniczny;
- obiekt II – uwarunkowania diagnostyczne;
- obiekt III – uwarunkowania historyczne;
- obiekt IV – logistyka oraz koordynacja projektu;
- obiekt V – warunki realizacji prac na budowie;
- obiekt VI – procedury przetargowe;
- obiekt VII – regulacje ustawowe oraz finansowanie;
- obiekt VIII – ryzyko pochodzące od dostawcy.

Zależności pomiędzy poszczególnymi obiektami, ustalone podczas konsultacji z ekspertami oraz na podstawie własnej wiedzy autorów, zaprezentowano na rysunku. Co istotne, łączenie poszczególnych obiektów wymaga uprzedniego zdefiniowania w każdym z nich węzłów wejściowych oraz wyjściowych, które w modelu globalnym można połączyć relacjami.

Postać modelu, uwzględniająca poza obiektami także elementy sterowania ryzykiem, umożliwia nie tylko na oszacowanie poziomu ryzyka inwestycyjnego związanego z projektem rewitalizacji, ale także ocenę wpływu oddziaływania metod stero-

wania ryzykiem na obniżenie jego poziomu. Model zorientowany obiektowo pozwala zatem na analizę wpływu poszczególnych substruktur na ogólny poziom ryzyka w projekcie, a ponadto pozwala na prowadzenie indywidualnych, niezależnych analiz w ramach każdego z obiektów.

### Podsumowanie

Rozważane w artykule sieci Bayesa określane są mianem zorientowanych obiektowo, gdyż charakteryzują się niektórymi cechami tego typu modelowania. Podstawową zaletą OOBN jest modelowanie obiektów, które są bardziej uniwersalne oraz wewnętrznie spójne, co daje bardzo duże możliwości w analizie różnorodnych scenariuszy ryzyka. Korzystając z aplikacji AgenaRisk, można ponadto tworzyć obiekty zarówno w jednym pliku (substruktury modelu globalnego), jak i importować do aktualnego modelu uprzednio utworzony obiekt/sieć znajdujący się w innej lokalizacji.

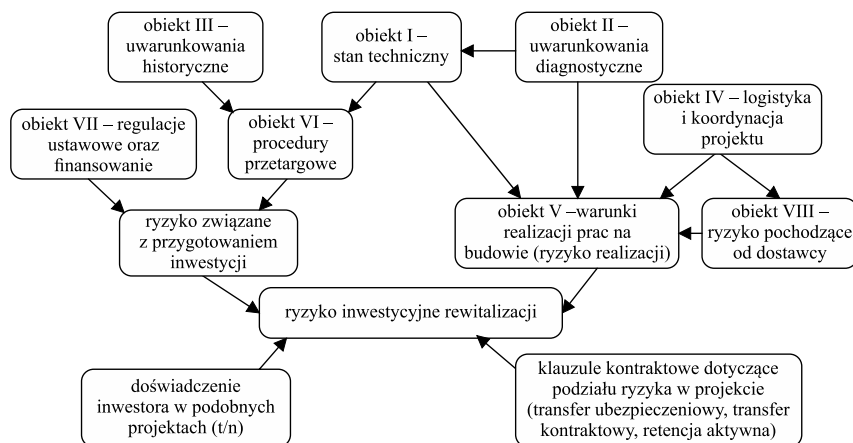
Badania symulacyjne, dotyczące zaprezentowanego modelu, są w toku. Planuje się wykonać bardziej szczegółowe analizy, takie m.in. jak analiza wrażliwości, niemniej już na tym etapie można wysunąć pewne wnioski oraz opisać spostrzeżenia dotyczące modelowania sieci zorientowanych obiektowo. Podczas budowy dużych sieci niezwykle pomocne jest automatyczne generowanie tablic prawdopodobieństwa warunkowego, co znacznie przyspiesza budowę modelu. Po przyjęciu odpowiedniej funkcji matematycznej lub funkcji rozkładu prawdopodobieństwa i ustaleniu jej parametrów możliwe jest automatyczne wygenerowanie tablic. W celu weryfikacji powstałych w ten sposób prawdopodobieństw warunkowych należy jednak przejść w programie w tryb manualny

wprowadzania danych, aby „wyostrzyć” skrajne przypadki prawdopodobieństwa warunkowego. Korzystanie z automatycznego generatora niesie za sobą także inne zagrożenia. Wprowadzając parametry funkcji matematycznych, definiuje się m.in. wariancję, będącą odzwierciedleniem naszych przekonań co do wartości średniej rozkładu (w programie AgenaRisk wartość wariancji odnoszona jest do poziomu pewności, przy czym można ją także interpretować jako dokładność/precyzję wprowadzanej informacji). Definicja tego parametru na niskim poziomie pewności (np. 0,5 czy 0,2) powoduje, że rezultaty prowadzonych obserwacji są bardzo mało wyraziste lub wręcz znikome. Z tego powodu w dużych modelach konieczne jest ustalenie parametru wariancji na poziomie bliskim zeru, co zapewnia większą wrażliwość modelu na przeprowadzane symulacje. Obserwacja ta jest tym istotniejsza, że sieci Bayesa zorientowane obiektowo mają problem z propagacją informacji. Łączenie obiektów w większą sieć powoduje, że istotne informacje wprowadzane na obrzeżach OOBN mogą mieć znikomą wpływ na końcowy wynik.

Kluczowym zagadnieniem jest istotne ograniczenie OOBN. Wykorzystanie sieci Bayesa zorientowanej obiektowo umożliwia przeprowadzenie pełnej kalkulacji jedynie w kontekście obliczeń prognostycznych, gdyż informacja przekazywana jest tylko od obiektu poprzedniego do obiektu następnego. Obliczenia diagnostyczne nie są możliwe, gdyż obiekt poprzedni nie podlega wpływom obserwacji wprowadzonym w obiekcie następnym. Zatem informacja wprowadzona do sieci przekazywana jest tylko „w przód”, co daje obraz obliczeń prognostycznych. Możliwość wykorzystania mechanizmu propagacji wstecznej jest jednak nadal możliwa w ujęciu lokalnym każdego z obiektów.

### Literatura

- [1] Apollo Magdalena, Beata Grzyl. 2013. „Problemy koordynacji realizacji robót budowlanych na przykładzie rewitalizacji dzielnicy Gdańsk-Letnica”. *Inżynieria Morska i Geotechnika* (5): 345 – 348.
- [2] Apollo Magdalena, Emilia Miszewska-Urbańska. 2014. „Podejmowanie decyzji w warunkach niepewności przy użyciu sieci Bayesa – przykład zastosowania”. *Logistyka* (6): 1496 – 1504.
- [3] Apollo Magdalena, Justyna Brzezicka. 2014. „Sources of investment risk in urban regeneration projects”. *Czasopismo Techniczne* nr 1-B (5): 167 – 174.
- [4] Costa Constantinou Anthony, Norman Fenton, William Marsh, Łukasz. 2016. „From complex questionnaire and interviewing data to intelligent Bay-



**Model sieci Bayesa zorientowanej obiektowo do oceny ryzyka inwestycyjnego rewitalizacji – struktura zależności uwzględniająca obiekty OOBN for urban regeneration investment risk assessment – dependency structure including objects**

esian Network models for medical decision support”. Artificial Intelligence in Medicine (in press).

[5] Fenton Neil, Martin Neil. 2013. „Risk Assessment and Decision Analysis with Bayesian Networks”. CRC Press, Taylor & Francis Group.

[6] Kjaerulff Uffe B., Anders L. Madsen. 2008. „Bayesian Networks and Influence Diagrams. A Guide to Construction and Analysis. Springer Science+Business Media, LLC.

[7] Oprogramowanie AgenaRisk. Bayesian Network and Simulation Software for Risk Analysis and Decision Support.

[8] Radliński Łukasz. 2010. „A survey of BN models for software development effort prediction”. *International Journal of Software Engineering and Computing* (2): 95 – 109.

[9] Studium Wykonalności dla Projektu „Rewitalizacja Letnicy w Gdańsku”. Gdańsk, 2009.

*Przyjęto do druku: 13.04.2016 r.*