Łukasz KUŹMIŃSKI

SIEĆ BAYESOWSKA JAKO NARZĘDZIE WSPIERAJĄCE PROCES ZARZĄDZANIA RYZYKIEM POWODZIOWYM NA PRZYKŁADZIE OCHRONY DZIEDZICTWA KULTUROWEGO

Łukasz Kuźmiński, dr inż. – Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu

adres korespondencyjny:
Katedra Metod Ilościowych w Ekonomii
ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław
e-mail: lukasz.kuzminski@ue.wroc.pl

THE BAYESIAN NETWORK AS A TOOL SUPPORTED THE FLOOD RISK MANAGEMENT ON THE EXAMPLE OF CULTURAL HERITAGE

SUMMARY: The article is dedicated to the subject of the support of the process of flood danger management. The main aim of this study is a presentation of the Bayesian network as a tool for supporting the process of flood risk management. To present how the Bayesian network works the example of the risk assessment for cultural heritage was analysed. In the initial part of this research paper, the following issues are presented: flood, flood risk, risk flood management and financing the fight with the effects of a natural disasters. The second part is dedicated to the presentation of Bayesian network for the assessment of the flood risk for the cultural heritage with the detailed description of its nodes.

KEYWORDS: flood risk, risk flood management, Bayesian network, cultural heritage

Wstęp

Od lat dziewięćdziesiątych XX wieku do 2016 roku Polskę nawiedziły trzy powodzie mające charakter klęsk żywiołowych. Wydarzenia te miały miejsce w latach 1997, 2001 oraz 2010 roku. Jednym z wielu regionów Polski, który najbardziej ucierpiał podczas tych zjawisk był Dolny Śląsk oraz jego stolica, czyli historyczny Wrocław.

Mimo szybkich i nagłych działań podjętych przez władze lokalne, służby reagowania kryzysowego oraz wszystkie inne jednostki, powodzie wyrządziły bardzo duże straty dla środowiska, działalności gospodarczej, infrastruktury państwowej i prywatnej, dziedzictwa kulturowego, a co najważniejsze dla zdrowia i życia ludzkiego. W historycznym Wrocławiu podczas powodzi w 1997 roku zalane zostały struktury historyczne (kościoły, mosty oraz inne), budynki publiczne (szkoły, urzędy, budynki biurowe oraz hotele) oraz mieszkalne. Jednym z najbardziej tragicznych przykładów z powodzi w 1997 roku jest osiedle Kozanów we Wrocławiu, którego budynki mieszkalne z powodu swojej niefortunnej lokalizacji i niewystarczających zabezpieczeń przeciwpowodziowych zalane były aż do poziomu kilku pierwszych pięter.

Obecnie powodzie rzeczne zostały uznane za jedno z głównych niebezpieczeństw w regionie Europy Środkowej[1]. W celu efektywnej ochrony przed skutkami kolejnych powodzi potrzebne są zabiegi planowania i przygotowania, które będą uwzględniały wszystkie czynniki mające w jakimkolwiek stopniu wpływ na wystąpienie ewentualnego zagrożenia powodziowego oraz niekorzystnych skutków powodzi. Do tych czynników należą między innymi klimat, ukształtowanie terenu, zaludnienie i zabudowa terenów zagrożonych powodzią i jej skutkami, zabezpieczenia przeciwpowodziowe naturalne i sztuczne lub ich brak i wiele innych[2].

Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, zwana Dyrektywą Powodziową[3] weszła w życie 26 listopada 2007 roku. Nadrzędnym jej celem było ustanowienie ram dla oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim w celu ograniczania negatywnych konsekwencji dla zdrowia ludzkiego, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej związanych z powodziami na terytorium państw Unii Europejskiej (UE).

---

1 Z. Kundzewicz, U. Ulbrich, T. Brucher, M. Szwed, *Summer floods in central Europe. Climate change track?*, "Natural Hazards" 2005 nr 36(1), s. 165-189.

2 H. Stovel, *Risk preparedness: A management manual for world cultural heritage*, Roma 1998.

3 (Dz.U. UE L 288/27 z 6.11.2007).

Zgodnie z Dyrektywą Powodziową na potrzeby ograniczenia wystąpienia ryzyka powodziowego należy wprowadzić w życie proces planowania i zarządzania ryzykiem na wypadek wystąpienia powodzi na danym terenie. Proces ten ma być trzy etapowy. Państwa należące do UE miały obowiązek sporządzenia wstępnej oceny ryzyka powodziowego do grudnia 2011 roku, map zagrożenia i map ryzyka powodziowego do grudnia 2013 roku, a do grudnia 2015 roku planów zarządzania ryzykiem powodziowym.

Celem niniejszej publikacji jest modyfikacja i dostosowanie Bayesowskiej sieci przyczynowej na potrzeby opisu struktury i szacowania ryzyka zagrożenia powodziowego dla struktur dziedzictwa kulturowego.

Zmodyfikowana Bayesowska sieć ma stanowić uzupełnienie i wsparcie planów zarządzaniem ryzykiem powodziowym, o których stanowi Dyrektywa Powodziowa.

Uwagi ogólne

Powódź w 1997 roku miała bardzo niekorzystny na struktury dziedzictwa kulturowego we Wrocławiu i innych miastach historycznych Polski. Powodzie w 2001 i 2010 roku również wyrządziły dużo szkód w strukturach dziedzictwa kulturowego. Dlatego należy podjąć odpowiednie działania, które uchronią lub zredukują negatywne oddziaływanie skutków przyszłych powodzi na struktury dziedzictwa kulturowego. Oczywiście opisywane działania w tej pracy tyczą się również ochrony pozostałej infrastruktury miast, środowiska, zdrowia i życia ludzkiego oraz pozostałych sfer i obszarów funkcjonowania terenów objętych działaniami ochronnymi.

Organizacja Narodów Zjednoczonych do pomocy przy katastrofach (ang. *United Nations Disaster Relief Organization*) wyemitowała ogólne wytyczne do oceny ryzyka związanego z katastrofami naturalnymi[4]. W roku 2007 Parlament Europejski ustanowił Dyrektywę Powodziową, która określa strukturę szacowania i zarządzania ryzykiem powodziowym[5]. Należy w tym miejscu podkreślić, że spośród wszystkich dokumentów stanowiących o zarządzaniu i szacowaniu ryzyka zjawisk katastroficznych jedynie Dyrektywa Powodziowa ustanowiona przez Parlament Europejski zawiera informacje dotyczące ochrony struktur dziedzictwa kulturowego[6]. Raport UNESCO–UNDRO z 1979 roku zaleca, aby ryzyka wyrażać w terminach finansowych, co może być

4 UNESCO-UNDRO. *Natural disasters and vulnerability analysis,* Geneva 1979.

5 T.E. Cauncil, *Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks,* Brussels 2007.

6 M. Drdacky i in., *Protecting the cultural heritage from natural disasters. Study of the Europen Parliament IP/B/CULT/IC/2006_163, PE 369.029,* Brussels 2007.

zadaniem bardzo trudnym zwłaszcza w kontekście szacowania ryzyka dla struktur dziedzictwa kulturowego. Dlatego, oszacowanie ryzyka aktywów dziedzictwa kulturowego jest obecnie oparte na kombinacji ilościowych i jakościowych kryteriów gdzie prawdopodobieństwo niekorzystnych zdarzeń i oczekiwane konsekwencje są oszacowane w macierzach oceny ryzyka.

Do stworzenia ogólnej struktury ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego proponuje się włączyć dodatkowo modele probabilistyczne, które są tworzone na podstawie dostępnych danych hydrologicznych. Do podstawowych parametrów hydrometrycznych wykorzystywanych w procesie zarządzania ryzykiem powodziowym należą przepływ rzeczny oraz stan wody w określonym punkcie rzeki. Definicje tych parametrów znajdują się np. w pracy Byczkowskiego[7]. Szczegółowy opis i zastosowanie metod probabilistycznych do oceny zagrożenia powodziowego dla wybranych terenów Dolnego Śląska można znaleźć w innych pracach autora tego opracowania[8].

Ogólnie ujmując, analiza ryzyka dąży do rozważenia wszystkich możliwych zdarzeń w połączeniu z ich niekorzystnymi konsekwencjami. Takie zdarzenia są często spowodowane przez ekstremalne zagrożenia, w tym powodziowe. Odpowiednie niebezpieczne scenariusze i odpowiadające im prawdopodobieństwa wystąpienia potrzeba estymować, często na podstawie ocen eksperckich[9]. Ryzyko różnych technicznych systemów w niebezpiecznych sytuacjach może być również analizowane przy użyciu takich technik, jak drzewa zdarzeń, drzewa defektów, metoda przyczyn i konsekwencji oraz Bayesowska sieć przyczynowo-skutkowa[10]. Wcześniejsze badania wskazują, że szczególnie Bayesowska sieć przyczynowo – skutkowa uzupełniona węzłami przydatności i decyzji jest efektywnym narzędziem dla analizy ryzyka i zarządzania nim[11]. W tej pracy podjęta zostanie próba implementacji sieci Bayesowskiej do procesu szacowania i zarządzania ryzykiem powodziowym w kontekście struktur dziedzictwa kulturowego.

---

7 A. Byczkowski, *Hydrologia,* t. 1, Warszawa 1996.

8 Ł. Kuźmiński, *Zastosowanie teorii wartości ekstremalnych w prognozowaniu ostrzegawczym dla ciągu niezależnych zmiennych o rozkładzie normalnym*, w: S. Forlicz (red.), *Zastosowanie metod ilościowych w ekonomii i zarządzaniu,* „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu" 2013 nr 2(34); Ł. Kuźmiński, *Funkcje nadmiaru i hazardu jako narzędzia w analizie ryzyka zagrożenia powodziowego na Dolnym Śląsku*, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu" 2014 nr 7(45); Ł. Kuźmiński, *Rozkłady graniczne ekstremów w prognozach ostrzegawczych stanów wód*, „Zarządzanie i Finanse" 2013 nr 3 cz. 2, s. 147-161.

9 M. Stewart, R. Melchers, *Probabilistic risk assessment of engineering systems,* Berlin 1997; R. Melchers, *Structural reliability analysis and prediction,* Chichester 2001.

10 M. Stewart, R. Melchers, op. cit.

11 M. Holicky, *Risk assessment in advanced engineering design*, "Acta Polytechnica" 2003 nr 43(3), s. 10-16; M. Holicky, *Probabilistic risk optimization of road tunnels*, "Structural Safety" 2009 nr 31(3), s. 260-266.

Zarządzanie ryzykiem powodziowym – wybrane zagadnienia i aspekty

W rozdziale tym przedstawione zostaną podstawowe definicje i pojęcia związane z ryzykiem powodziowym.

Powódź należy do zjawiska określanego mianem katastrofy naturalnej, czyli zjawiska przyrodniczego, które wywołuje szkody materialne i niematerialne[12]. Definiowana jest jako czasowe pokrycie wodą terenu, który normalnie nie jest pokryty wodą. Definicja ta obejmuje powodzie wywołane przez rzeki, potoki górskie, śródziemnomorskie okresowe cieki wodne oraz powodzie sztormowe na obszarach przybrzeżnych, ale nie uwzględnia powodzi wywołanych przez systemy kanalizacyjne[13]. W przypadku, gdy skutki powodzi zagrażają życiu lub zdrowiu dużej liczby osób, mienia w wielkich rozmiarach albo środowisku na znacznych obszarach, a pomoc i ochrona mogą być skutecznie podjęte tylko przy zastosowaniu nadzwyczajnych środków, we współdziałaniu różnych organów i instytucji oraz specjalistycznych służb i formacji działających pod jednolitym kierownictwem, to wtedy taka powódź jest klasyfikowana jako klęska żywiołowa[14].

Kontynent europejski „boryka" się w obecnych czasach z różnymi katastrofami naturalnymi, do których w dużej mierze należą powodzie rzeczne. Organizacja Narodów Zjednoczonych uruchomiła efektywną platformę dla dyskusji nad problemem katastrof pod nazwą Międzynarodowa Strategia dla Redukcji Katastrof, a publikacja *Living with Risk* przyczyniła się do lepszego zrozumienia tych zjawisk[15]. Okres 1990-2000 uważany był za Międzynarodową Dekadę Zapobiegania Katastrofom Naturalnym. Po kilku latach po zakończeniu można ocenić jej rezultaty w postaci zwiększonych wysiłków naukowych i praktycznych w celu ograniczenia skutków katastrof naturalnych, między innym powodzi. Zaważa się wzrost zainteresowania ekonomistów metodami szacowania i oceny wpływu katastrof naturalnych, w tym powodzi, na poziom dobrobytu oraz na gospodarkę planów odbudowy.

Ryzyko jest często definiowane na potrzeby zagadnień aktuarialnych jako możliwość lub prawdopodobieństwo zaistnienia straty i jako takie może być przyjęte do zagadnień katastrof naturalnych w postaci powodzi[16]. Alternatywna definicja ryzyka, która również pasuje do analizy zagadnień zagrożenia powodziowego, określa je jako prawdopodobieństwo awarii systemu

12 UNDRO, *Mitigating Natural Disasters Phenomena, Effects and Options,* New York 1991.

13 T.E. Cauncil, *Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks,* Brussels 2007.

14 (Dz. U. z 2002 roku nr 62, poz. 558, nr 74, poz. 676)

15 ISDR, *Living with Risk. A global Review of Disaster Reduction Initiatives,* Geneva 2002.

16 H. Kunreuther, R. Roth, *Paying the Price,* Washington 1998.

lub jego elementu p_f, która traktowana może być, jako prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi[17]

$$RY = p_f. \quad (1)$$

Bardzo często obecnie ryzyko definiuje się już, jako iloczyn prawdopodobieństwa i skutków powodzi (awarii systemu), które oznaczono symbolem *S*. Przy tej definicji ryzyka można je obliczyć z następującej równości

$$RY = pf * S. \quad (2)$$

Zastosowanie tej definicji daje możliwość liczbowo oszacować ekonomiczne skutki powodzi i wyrazić ryzyko jej wystąpienia.

Na ryzyko wpływają takie czynniki, jak: niebezpieczeństwo określane, jako cechy przedmiotu ryzyka mające względnie obiektywny charakter oraz hazard – zespół warunków, które w istotny sposób sprzyjają realizacji niebezpieczeństwa, czyli w tym przypadku powodzi. Niebezpieczeństwo (określane często również, jako wrażliwość lub podatność) może być definiowane, jako „stopień, w jakim jednostka/obiekt jest podatny na zniszczenia wynikające z ekspozycji na zagrożenie i zdolności lub jej braku do radzenia sobie, odzyskiwania sprawności lub przystosowania się"[18].

Finansowanie katastrof naturalnych takich jak powódź wymaga wielu różnych instrumentów w zależności od konieczności na każdym etapie działania. Jednym z obszarów finansowania jest likwidacja szkód po wystąpieniu powodzi. Drugim obszarem jest finansowanie systemu zapobiegania potencjalnym zagrożeniom powodziowym, który obejmuje nakłady w okresie poprzedzającym ewentualną powódź, których celem jest przygotowanie się na nadejście powodzi, czyli zabezpieczenie przed jej skutkami lub ich całkowite uniknięcie. Trzecim obszarem jest finansowanie ograniczania skutków powodzi i ochrona ludności i ich dobytku w trakcie akcji powodziowej. Każdy z prezentowanych obszarów wymaga olbrzymich nakładów finansowych na terenie całego kraju. Dlatego tak ważnym zagadnieniem jest odpowiednie (optymalne) zarządzanie ryzykiem powodziowym.

Zarządzanie ryzykiem powodziowym jest procesem, na który składa się szacowanie i analiza ryzyka powodziowego oraz wdrożenie zrównoważonych metod dla zmniejszenia prawdopodobieństwa lub konsekwencji skutków powodzi.

Można wyróżnić trzy główne cele zarządzania ryzykiem powodziowym. Są to:

1) zahamowanie wzrostu ryzyka powodziowego;
2) minimalizacja istniejącego zagrożenia powodziowego;

---

17 B. Yen, *Stochastic methods and reliability analysis in water resources*, "Advances Water Resources" 1988 t. 11.

18 P. Jedynak, *Ubezpieczenia gospodarcze,* Kraków 2001.

3) poprawa systemu zarządzania ryzykiem powodziowym.

Na realizację głównych celów zarządzania ryzykiem powodziowym składają się następujące działania podejmowane przed, w trakcie i po wystąpieniu powodzi:

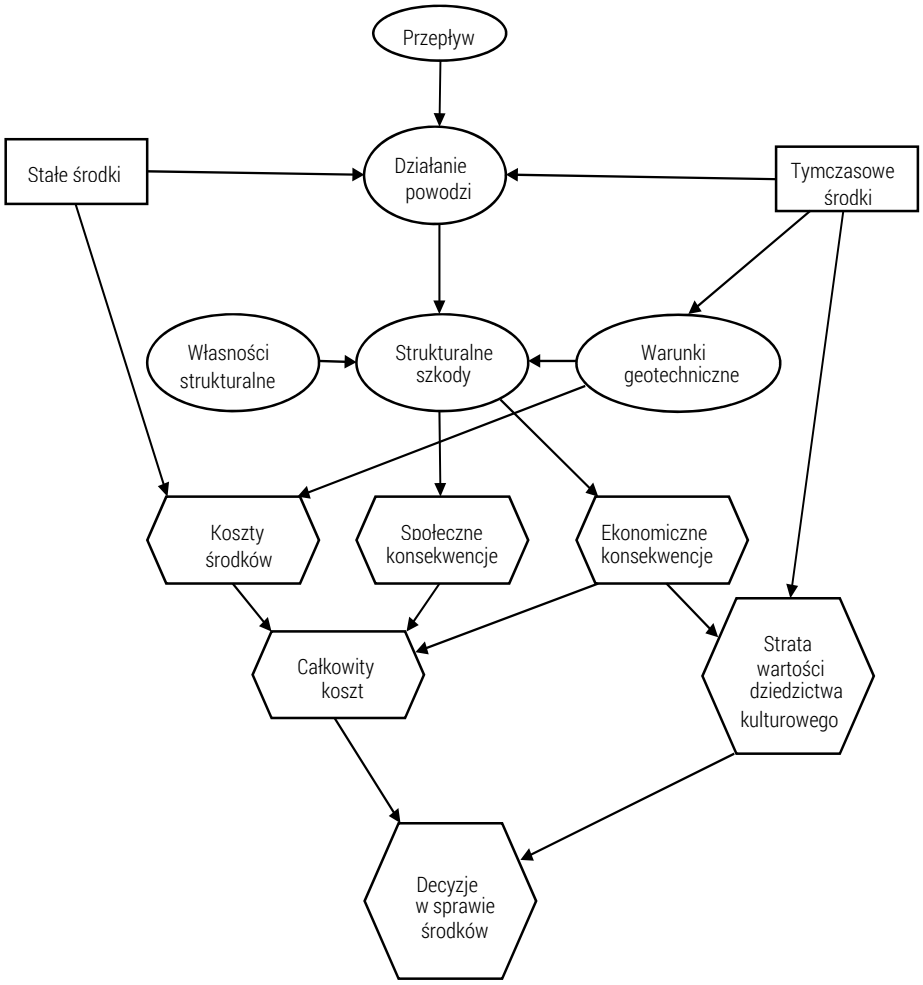
- zapobieganie (prewencja i ochrona), które jest redukcją lub eliminacją prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi lub/i jej skutków poprzez metody strukturalne i niestrukturalne;
- przygotowanie, na które składa się: przewidywanie i systemy wczesnego ostrzegania podnoszące świadomość mieszkańców i właściwych organów, przygotowanie i utrzymanie planów zarządzania kryzysowego, powiększenie zasobów sił i środków niezbędnych do efektywnego reagowania;
- reagowanie na wypadek wystąpienia sytuacji kryzysowej, które polega na wdrożeniu planów zarządzania kryzysowego, dostarczeniu pomocy poszkodowanym, zahamowaniu rozwoju występujących zagrożeń oraz ograniczeniu strat i zniszczeń;
- odbudowa, czyli usuwanie skutków katastrofy poprzez: przywracanie majątku do stanu sprzed katastrofy (powodzi), pomoc w powrocie do normalnych warunków, odtworzenie infrastruktury telekomunikacyjnej, energetycznej, paliwowej, transportowej, usuwanie negatywnych skutków społecznych i ekonomicznych dotykających ludzi, mienie i środowisko naturalne; przeglądy i doskonalenia procedur zarządzania ryzykiem.

Bayesowska sieć przyczynowo – skutkowa, której poświęcony jest kolejny podrozdział ma być efektywnym narzędziem wspierającym działania przy realizacji wymienionych głównych celów procesu zarządzania ryzykiem powodziowym.

Bayesowska sieć przyczynowo-skutkowa do oceny ryzyka powodziowego

Proponowana Bayesowska sieć (diagram odziaływań) na potrzeby procesu zarządzania i szacowania ryzyka zagrożenia powodziowego dla struktur dziedzictwa kulturowego jest przedstawiona na rysunku 1. Składa się ona z następujących części:

- węzły zdarzeń przepływu, działania powodzi, szkody strukturalne, geotechniczne warunki i własności strukturalne;
- węzły decyzji stałych i tymczasowych środków;
- węzły użyteczności kosztu środków zastosowanych, społeczne i ekonomiczne konsekwencje, całkowity koszt i strata wartości dziedzictwa kulturowego.



Rysunek 1. Bayesowska sieć przyczynowo-skutkowa

Bezpośrednie strzałki, które łączą wszystkie węzły oznaczają związki przyczynowo – skutkowe między rodzicem a węzłami dzieci. Należy zauważyć, że sieć jest bardzo uproszczona. W praktyce każdy węzeł może reprezentować osobny podsystem, w którym mogą być zawarte dodatkowo kolejne węzły użyteczności.

Węzeł zdarzenia przepływu opisuje ekstremalne przepływy dla odpowiednich typów powodzi (rzecznych, nagłych, miejskich, powodzi pochodzących z morza na przybrzeżnych obszarach) oszacowanych przy zastosowaniu odpowiednich statystycznych procedur na podstawie dostępnych danych. Zastosowanie probabilistycznych modeli do przewidywania ekstremalnych

przepływów może być kluczowym elementem w procesie szacowania i zarządzania ryzkiem powodziowym.

Węzeł zdarzenia działania powodzi opisuje różne zdarzenia, które mogą się pojawić podczas trwania powodzi, w tym hydrostatyczne (boczny napór i kapilarny przyrost), hydrodynamiczne (związane z prędkością lub falami), erozja i podmycia, wypór hydrostatyczny i nie fizyczne (chemiczne i biologiczne) wydarzenia, więcej szczegółów na ten temat można znaleźć w pracy Kelmana i Spenca[19]. Działanie powodzi zależne jest od dwóch węzłów decyzji – stałych i tymczasowych środków zapobiegawczych.

Do środków stałych należeć mogą wały przeciwpowodziowe, działanie związane z zarządzaniem rzeką (zmiany kierunku, utrzymanie i/lub renowacja obszarów zalewowych i modyfikacja głębokości, szerokości i nierówności kanałów rzecznych), które wpływają na oddziaływanie powodzi. Bariery ochronne, relokacja dobytku, natychmiastowe usunięcie pływających rumowisk z podpór mostów, przemieszczenie ludności i ruchomych własności dziedzictwa kulturowego z zagrożonych obszarów mogą być również traktowane, jako środki tymczasowe. Koszt środków jest węzłem użyteczności, który opisuje oczekiwane nakłady na stałe i tymczasowe działania ochronne.

Działanie powodzi może wprost doprowadzić do strat wartości dziedzictwa kulturowego, które mogą występować nawet podczas niewielkich powodzi. Na przykład, zwiększona wilgoć może spowodować szkody wyposażenia, armatury, kolekcji, bibliotek, archiwalnych zapisów[20]. Stosowne tymczasowe środki mogą jednak zapobiec lub zredukować te straty.

Działania powodzi mogą przynieść strukturalną niewydolność spowodowaną szkodami, lokalnymi awariami i częściowymi lub całkowitymi zawaleniami struktur, umieszczone w sieci Bayesowskiej przez losowy węzeł szkód strukturalnych. Prawdopodobieństwo wystąpienia strukturalnej szkody i jej rozmiar zależy od warunków geotechnicznych (podłoże, poziom i przepływy wód podziemnych) i strukturalnych własności (czystość strukturalna, wrażliwość materiałów konstrukcyjnych na zwiększoną wilgoć). Podstawą niezawodności analizy struktur dziedzictwa kulturowego jest dostarczenie aneksu do międzynarodowego standardu na oszacowanie istniejących struktur dziedzictwa kulturowego (ISO 13822 2008). Ten aneks będzie głównie oparty na fundamentalnych regułach dostarczonych w dokumentach Międzynarodowej Rady Zabytków i Miejsc[21].

---

19 I. Kelman, R. Spence, *An overview of flood actions on buildings*, "Engineering Geology" 2004 t. 73, nr 3-4, s. 297–309.

20 H. Stovel, *Risk preparendness: A management manual for world cultural heritage*, Roma 1998.

21 ICOMOS, *Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage,* Paris 2003.

Szkody strukturalne mogą być przyczyną społecznych i ekonomicznych konsekwencji oraz strat w strukturach dziedzictwa kulturowego. Węzeł użyteczności społecznych konsekwencji opisuje oczekiwane społeczne konsekwencje zależne od oczekiwanej liczby ofiar śmiertelnych na rok z powodu strukturalnego załamania spowodowanego przez powódź i akceptowany koszt odszkodowania dla ofiary śmiertelnej, który może być oszacowany przez tak zwany społeczną wartość statystycznego życia[22].

Strata wartości dziedzictwa kulturowego opisuje proporcje wartości dziedzictwa kulturowego analizowanej struktury utracone podczas powodzi do całkowitej wartości tej struktury. Ta proporcja jest zwykle szacowana na podstawie eksperckich opinii. Oszacowanie wartości dziedzictwa kulturowego jest jednak zadaniem trudnym.

Zauważyć należy również, że straty wartości dziedzictwa kulturowego doprowadzają do znaczących społecznych i ekonomicznych konsekwencji. Jednak, to może być właściwe, żeby rozważyć wartość dziedzictwa kulturowego i ekonomicznych oraz społecznych konsekwencji osobno, szczególnie kiedy wartość dziedzictwa kulturowego jest szacowana tylko jakościowo.

Decyzje w sprawie stałych i tymczasowych środków powinny być oparte na optymalizacji całkowitego kosztu i minimalizacji straty wartości dziedzictwa kulturowego. Kiedy wartość dziedzictwa kulturowego jest szacowana jakościowo, strata wartości dziedzictwa kulturowego i koszt całkowity jest szacowany osobno.

Współpraca różnych profesjonalistów pracujących przy budowie przemysłu i ekspertów od aktywów dziedzictwa zawierających inżynierów, architektów, geodetów, archeologów i historyków z odpowiedzialnymi miejskimi i międzynarodowymi autorytetami mogą być wysoce korzystne w tym względzie.

Wnioski

Powodzie są częścią świata naturalnego, w jakim żyjemy i będą występowały z pewnością w przyszłości. Strategia działań przeciwpowodziowych powinna obejmować całe dorzecza i składać się z dwóch części: ogólnokrajowej i regionalnej. Pewne działania główne powinny być wspólne dla całego kraju, ale dla każdego z regionów strategia regionalna działań przeciwpowodziowych powinna mieć odmienny charakter, dopasowany do charakterystyki obszaru w kontekście charakteryzującego go ryzyka zagrożenia powodziowego.

Konieczna jest zmiana paradygmatu polegająca na przejściu od akcji defensywnych do zarządzania ryzykiem i funkcjonowaniu w obliczu zagroże-

22 M. Holicky, *Probabilistic risk ...*, s. 260-266.

nia. Ważną kwestią jest również sprawne współdziałanie wszystkich organów, które biorą udział w procesie zarządzania ryzykiem powodziowym na wszystkich szczeblach.

Prezentowana w pracy Bayesowska sieć przyczynowo – skutkowa ma stanowić narzędzie usprawniające funkcjonowanie systemu zarządzania ryzykiem powodziowym na szczeblu krajowym oraz lokalnym.

Wartość dziedzictwa kulturowego miasta Wrocław, dla którego została stworzona sięć Bayesowska w niniejszym opracowaniu jest tylko przykładem obrazującym jej możliwości. W miejscu tego obszaru w procesie zarządzania ryzykiem powodziowym może znaleźć się dowolna sfera życia społeczno-gospodarczego.

Literatura

Byczkowski A., *Hydrologia,* t. 1, Warszawa 1996

Cauncil T.E., *Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks,* Brussels 2007

Drdacky M. i in., *Protecting the cultural heritage from natural disasters. Study of the Europen Parliament IP/B/CULT/IC/2006_163, PE 369.029,* Brussels 2007

Dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (DZ.U. UE L 288/27 z 6.11.2007).

Holicky M., *Probabilistic risk optimization of road tunnels*, "Structural Safety" 2009 nr 31(3), s. 260-266

Holicky M., *Risk assessment in advanced engineering design*, "Acta Polytechnica" 2003 nr 43(3), s. 10-16

ICOMOS, *Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage,* Paris 2003

ISDR, *Living with Risk. A global Review of Disaster Reduction Initiatives,* Geneva 2002

Jedynak P., *Ubezpieczenia gospodarcze,* Kraków 2001

Kelman I., Spence R., *An overview of flood actions on buildings*, "Engineering Geology" 2004 t. 73, nr 3-4, s. 297–309

Kundzewicz Z., Ulbrich U., Brucher T., Szwed M., *Summer floods in central Europe. Climate change track?*, "Natural Hazards" 2005 nr 36(1), s. 165-189

Kunreuther H., Roth R., *Paying the Price,* Washington 1998

Kuźmiński Ł., *Funkcje nadmiaru i hazardu jako narzędzia w analizie ryzyka zagrożenia powodziowego na Dolnym Śląsku*, „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu" 2014 nr 7(45)

Kuźmiński Ł., *Rozkłady graniczne ekstremów w prognozach ostrzegawczych stanów wód*, „Zarządzanie i Finanse" 2013 nr 3 cz. 2, s. 147-161

Kuźmiński Ł., *Zastosowanie teorii wartości ekstremalnych w prognozowaniu ostrzegawczym dla ciągu niezależnych zmiennych o rozkładzie normalnym*, w: S. Forlicz (red.), *Zastosowanie metod ilościowych w ekonomii i zarządzaniu,* „Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu" 2013 nr 2(34)

Melchers R., *Structural reliability analysis and prediction,* Chichester 2001

Stewart M., Melchers R., *Probabilistic risk assessment of engineering systems,* Berlin 1997

Stovel H., *Risk preparedness: A management manual for world cultural heritage*, Roma 1998

UNDRO, *Mitigating Natural Disasters Phenomena, Effects and Options,* New York 1991

UNESCO-UNDRO, *Natural disasters and vulnerability analysis,* Geneva 1979

Ustawa z dnia 18 kwietnia 2002 r. o stanie klęski żywiołowej (Dz. U. z 2002 roku nr 62, poz. 558, nr 74, poz. 676)

Yen B., *Stochastic methods and reliability analysis in water resources*, "Advances Water Resources" 1988 t. 11