

Piotr Werner, Artur Magnuszewski, Dorota Rucińska, Mariusz Porczek

¹Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych,
e-mail: peter@uw.edu.pl, asmagnus@uw.edu.pl, dmrucin@w.edu.pl,
mtporczek@uw.edu.pl

ZRÓŻNICOWANIE PRZESTRZENNE WRAŻLIWOŚCI SPOŁECZNEJ NA ZAGROŻENIA POWODZIOWE W POLSCE

Spatial differentiation of social vulnerability to flood hazards in Poland

Słowa kluczowe: wrażliwość, podatność społeczna, ekspozycja, zagrożenie powodziowe, powiaty

Key words: social vulnerability, susceptibility, exposure, flood hazard, counties, Poland

WPROWADZENIE

Jednym z częściej analizowanych problemów w kontekście zagrożeń naturalnych jest podatność na powódź (Ciurean i in. 2013, Wu i in. 2002, Sorrensen i in. 2006, Pistrica i in. 2007, Fekete 2009, Balica i in. 2012, Jeffers 2013, Li i in. 2013). W ocenie podatności na powódź wyróżnia się dwa główne podejścia: pierwsze skupia się na skutkach powodzi i jest faktycznie szacowaniem szkód (spodziewanych i istniejących); drugie, dotyczy podatności poszczególnych struktur oraz opiera się na oszacowaniu prawdopodobieństwa wystąpienia szkód fizycznych lub zniszczeń elementów infrastruktury (np. budynków). Stosuje się metody empiryczne oparte na: obserwacjach (związanych ze zniszczeniami po powodzi), danych zgromadzonych poprzez wywiady, ankiety, kartowanie (które prezentują dane rzeczywiste, choć w dużym stopniu zależne od percepcji społecznej) oraz metody analityczne: gdzie obserwowane są takie zmienne jak czas, prędkość, ciśnienie przepływu - kontrolowane laboratoryjnie, a ich wpływ jest określany ilościowo. Ich wynikiem najczęściej są modele cyfrowe i symulacje weryfikujące, stosowane np. do obliczeń awarii infrastruktury przeciwpowodziowej - ten typ badań wymaga nakładów finansowych i czasu (Ciurean i in. 2013).

Podatność i wrażliwość na powódź badali w Polsce m.in. M. Sowiński (2009) oraz I. Biedroń i R. Bogdańska-Warmuz (2010). I. Biedroń wskaźnik podatności na straty powodziowe szacował jako iloczyn zmiennych: zagrożeń meteorologicznych i wrażliwości na zagrożenia meteorologiczne, stosując metody taksonomicz-

ne w celu klasyfikacji i hierarchizacji jednostek przestrzennych. Zmienne poddano standaryzacji aby wyeliminować jednostki miar. Zastosowany wskaźnik jest wypadkową wszystkich zmiennych. Zmienne podzielono na stymulanty (stymulujący, dodatni wpływ) i destymulanty (hamujący, ujemny wpływ). W wyniku analizy otrzymano 3 wskaźniki: zagrożenia meteorologicznego, wrażliwości na zagrożenia meteorologiczne oraz na straty powodziowe, które przedstawiono na mapach (Biedroń 2010).

W skali globalnej do oceny podatności na powódź w powiązaniu z cyklonami tropikalnymi i zmianami klimatu określono strefy ryzyka powodziowego, wykorzystując dane o burzach tropikalnych oraz model SLOSH¹ uwzględniający skalę Saffira-Simpsona od 1 do 4 i inne burze o podobnej sile (Wu i in. 2002).

Dyrektywa powodziowa UE (*Directive on the assessment and management of floods* 2006) była punktem wyjścia do sformułowania kierunków analizy podatności na zagrożenia powodziowe uwzględniając aspekty: ekonomiczny, społeczny oraz kulturowy. W kontekście oceny podatności społecznej i dziedzictwa kulturowego jako właściwą wskazuje się analizę jakościową. Biorąc pod uwagę wszystkie wymiary analizy zdefiniowano następujące czynniki zagrożenia powodziowego:

1. ekspozycja systemu (E),
2. samoadaptacja tj. zdolność początkowego radzenia sobie (dostępności zasobów) systemu (S),
3. wielkość i intensywność niebezpiecznego zdarzenia (Q_{max}),
4. społeczna reakcja systemu (wczesne ostrzeżenia, rodzime doświadczenie, świadomość społeczna, itp., SF),
5. brak wyrazistego powiązania ze sobą aspektów podatności (zdolności radzenia sobie) oraz ekspozycji (I).

Całkowita podatność określona została jako funkcja wyżej wymienionych czynników (Pistrca i in. 2007:5):

$$V=f(E,S,SF,Q_{max}, I)$$

Werner i in. (2014a), początkowo dokonali oceny ekspozycji na zagrożenia powodziowe (w skali całego kraju) biorąc pod uwagę zasięg obszaru zagrożonego powodzią (na podstawie danych historycznych, zmienna V_1). Pozostałym obszarom przypisano odpowiednio mniejsze wartości prawdopodobieństwa zagrożenia powodziowego biorąc pod uwagę średnią liczbę powodzi w lecie (opadowe, zm. V_2) i roztopowych (na wiosnę, zm. V_3), biorąc także pod uwagę występowanie zatorów rzecznych. Na tej podstawie skonstruowano tzw. zmienną lingwistyczną (element metodyki logiki rozmytej, *ibid.*), która przyjęła następującą formę zdaniową: zróżnicowanie przestrzenne powodzi obejmuje pewność ich występowania w granicach obszaru, na którym w przeszłości występowały powodzie lub obszary

¹ "The Sea, Lake and Overland Surges from Hurricanes (SLOSH) model is a computerized numerical model developed by the National Weather Service (NWS) to estimate storm surge heights resulting from historical, hypothetical, or predicted hurricanes by taking into account the atmospheric pressure, size, forward speed, and track data. These parameters are used to create a model of the wind field which drives the storm surge" (dostęp 12/28/14, <http://www.nhc.noaa.gov/surge/slosh.php>)

narażone na powódzie letnie (opadowe), których ekspozycje intensyfikuje także zagrożenie powodziami roztopowymi. Zmienna lingwistyczna posłużyła do skonstruowania funkcji, na podstawie której oszacowano wskaźnik ekspozycji – podatności fizycznej na zagrożenie powodziowe w Polsce (wyrażony w skali od 0 do 1), który przedstawiono w granicach powiatów (wybranych jako jednostki przestrzenne badania).

$$\text{Physical FEVI} = \begin{cases} 1 & (V_1 = 1) \\ V_2^{V_3} & \end{cases}$$

gdzie: *Physical FEVI* – wskaźnik fizycznej ekspozycji – podatności na zagrożenia powodziowe, V_1 – zasięg obszaru zagrożonego powodziami, V_2 , V_3 – średnia liczba powodzi opadowych (2) i roztopowych (3).

Tak skonstruowany i oszacowany wskaźnik ekspozycji na zagrożenia skonfrontowano z kolei z oszacowanym wskaźnikiem podatności społecznej uzyskując w rezultacie wskaźnik wrażliwości na zagrożenia naturalne (ibid.).

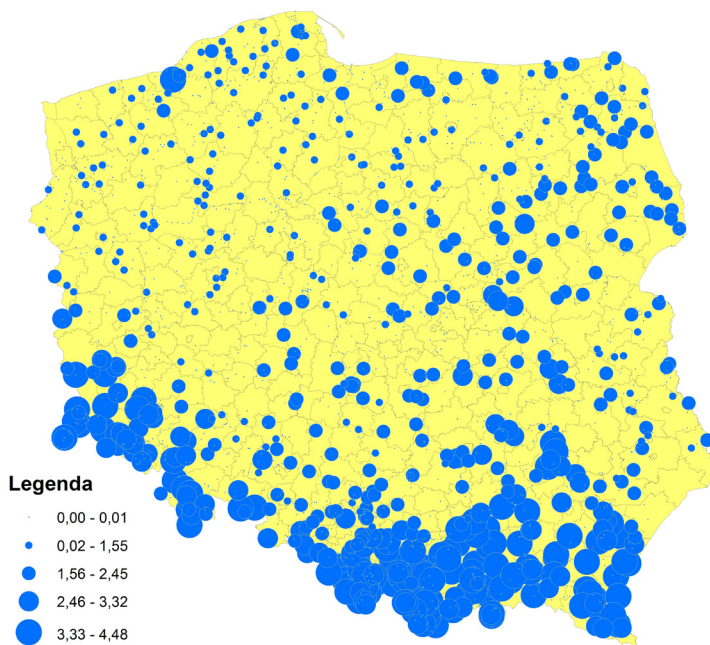
POTENCJAŁ POWODZIOWY RZEK A EKSPOZYCJA NA ZAGROŻENIE POWODZIOWE W POLSCE

Doceniając znaczenie powodziowości jako elementu stroju hydrologicznego (indeks k , Magnuszewski 2014) i jej oddziaływania na ludność i infrastrukturę, w kolejnym badaniu obliczono wartości wskaźnika potencjału powodziowości traktując go jako element decydujący o ekspozycji na zagrożenia powodziowe. Analiza przestrzenna pozwoliła na oszacowanie obliczonych indeksów k dla podzbioru profili wodowskazowych w Polsce (Magnuszewski 2014, ryc.1). Na tej podstawie oszacowano średnie i maksymalne wartości wskaźnika powodziowości w granicach powiatów (metodą *spatial join*), które znormalizowano (w granicach przedziału 0-1).

Wstępna weryfikacja polegała na korelacji średnich i maksymalnych wskaźników powodziowości z rocznymi i dla całego okresu, w latach 2008-2013, wydatkami poniesionymi w rozdziałach ***78 na usuwanie skutków klęsk żywiołowych wg powiatów. Największe wartości wskaźników korelacji pomiędzy obserwowanymi zmiennymi dotyczyły związków pomiędzy potencjałem powodziowym a sumarycznymi wydatkami na usuwanie szkód w całym pięcioleciu i wynosiły odpowiednio: dla średniego wskaźnika powodziowości wg powiatów $r=+0.366$, a dla maksymalnych potencjałów powodziowości $r=+0.467$. Najmniejsze korelacje zanotowano: w 2013 roku odpowiednio dla średniego ($r=+0.271$) i dla maksymalnego potencjału powodziowego ($r=+0.365$).

WRAŻLIWOŚĆ SPOŁECZNA NA ZAGROŻENIE POWODZIOWE W POLSCE

Traktując potencjał powodziowy rzek jako ocenę ekspozycji – narażenia na zagrożenia powodziowe, skonfrontowano oszacowane wielkości wg powiatów z miernikami podatności społecznej na podstawie dopełnienia lokalnego wskaź-



Ryc. 1. Potencjał powodziowy rzek w Polsce (wskaźnik powodziowości, źródło: opr. własne, Magnuszewski 2014)

Fig. 1. Floodability potential of rivers in Poland

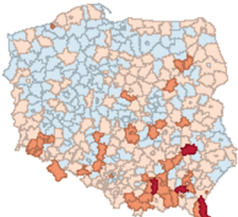
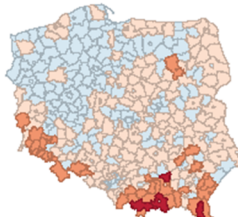
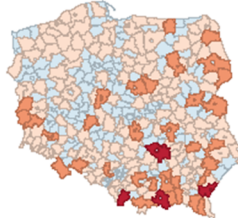
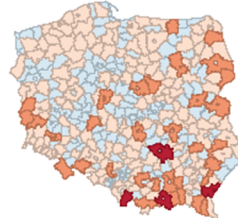
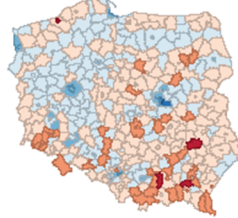
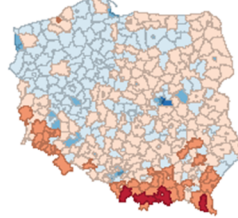
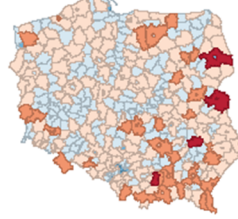
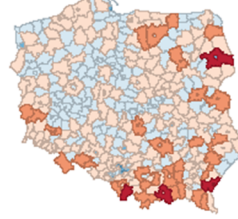
nika rozwoju społecznego (*I-LHDI*, Arak i in. 2012, Werner i in. 2014a) oraz na podstawie analizy czynnikowej zmiennych społeczno-ekonomicznych (Werner i in. 2014b).

Konfrontacja oszacowanego w granicach powiatów średniego i maksymalnego potencjału powodziowego rzek Polski ze wskaźnikami podatności społecznej polegała na konstrukcji wskaźników wrażliwości społecznej wg założonych scenariuszy teoretycznych (Werner i in. 2014a) w układzie powiatów (jako podstawowych jednostek przestrzennych badania). Weryfikacja wyników polegała ponownie na ocenie miar odległości (za pomocą wskaźników korelacji liniowej Pearson'a) pomiędzy obliczonymi wskaźnikami wrażliwości społecznej a sumaryczną wielkością wydatków na usuwanie skutków klęsk żywiołowych w pięcioleciu 2008-2013 w układzie powiatów. Następnie eliminowane te scenariusze, które cechowały najniższe wartości współczynników korelacji.

Najwyższe wartości współczynników korelacji zaobserwowano dla dwóch scenariuszy opisujących wrażliwość społeczną na zagrożenia powodziowe jako średnią ekspozycji i podatności społecznej lub ich iloczynu (relacja ekspozycji i podatności, por. tab. 1).

Tabela 1. Współczynniki korelacji liniowej pomiędzy wartościami wskaźników wrażliwości społecznej a sumarycznymi wydatkami na usuwanie skutków klęsk żywiołowych w rozdziałach ***78 wg powiatów w latach 2008-2013; warianty ekspozycji oszacowane na podstawie średniego i maksymalnego potencjału powodziowego; warianty scenariuszy oszacowane na podstawie dopełnienia lokalnego wskaźnika wrażliwości społecznej i wyników analizy czynnikowej zmiennych społeczno-ekonomicznych (opis w tekście)

Table 1. Correlation coefficients between social vulnerability indices and expenditures for removing the effects of natural disasters 2008-2013 by counties. The assessment of exposure based on average and maximum flood potential. Scenarios of social vulnerability evaluated based on complementary fraction of Local HDI up to one or root mean square (RMS) values of the results of factor analysis (description in text)

Scenariusze wrażliwości społecznej Percentyle	<i>E</i> ekspozycja oszacowana na podstawie średniego potencjału powodziowości	<i>E</i> ekspozycja oszacowana na podstawie maksymalnego potencjału powodziowości
Relacja podatności i ekspozycji: $SoVI = E * S$ (na podstawie LHDI) <ul style="list-style-type: none"> < 1% (0) 1% - 10% (0) 10% - 50% (190) 50% - 90% (152) 90% - 99% (34) > 99% (4) 	 [relLHDlavg01] r=+0.402	 [relLHDlmax01] r=+0.496
Relacja podatności i ekspozycji: $SoVI = E * S$ (na podstawie analizy czynnikowej) <ul style="list-style-type: none"> < 1% (0) 1% - 10% (0) 10% - 50% (190) 50% - 90% (152) 90% - 99% (34) > 99% (4) 	 [relFAavg01] r=+0.455	 [relFAMax01] r=+0.455
Średnia ekspozycji i podatności: $SoVI = (E + S) / 2$ (na podstawie LHDI) <ul style="list-style-type: none"> < 1% (4) 1% - 10% (34) 10% - 50% (152) 50% - 90% (152) 90% - 99% (34) > 99% (4) 	 [avgLHDlavg01] r=+0.373	 [avgLHDlmax01] r=+0.467
Średnia ekspozycji i podatności: $SoVI = (E + S) / 2$ (na podstawie analizy czynnikowej) <ul style="list-style-type: none"> < 1% (0) 1% - 10% (35) 10% - 50% (155) 50% - 90% (152) 90% - 99% (34) > 99% (4) 	 [avgFAavg01] r=+0.342	 [avgFAMax01] r=+0.428

PODSUMOWANIE

Wrażliwość społeczną na zagrożenia powodziowe oszacowano jako funkcję dwóch złożonych zmiennych: ekspozycji – narażenia na powódź oraz podatności społecznej w układzie powiatów w Polsce. Ekspozycję reprezentowały oszacowane w granicach powiatów wskaźniki średniego i maksymalnego potencjału powodziowego, natomiast podatność społeczną – wartości dopełniania lokalnego wskaźnika rozwoju społecznego w Polsce oraz alternatywnie średnia kwadratowa wartości czynnikowych uzyskanych na podstawie analizy czynnikowej zmiennych społeczno-ekonomicznych opisujących powiaty. Na tej podstawie skonstruowano i zanalizowano szereg wariantów scenariuszy zróżnicowania przestrzennego wrażliwości społecznej na zagrożenia powodziowe wybierając te, które cechowały się największą zbieżnością ze zmienną referencyjną, tj. wielkością sumarycznych wydatków na usuwanie skutków klęsk żywiołowych w powiatach w latach 2008-2013. Wybrano i przedstawiono te warianty scenariuszy wrażliwości społecznej, które oceniono jako najwyżej skorelowane ze zmienną referencyjną.

Spośród ostatecznie zweryfikowanych scenariuszy wrażliwości społecznej na zagrożenia powodziowe wybrano dwie kategorie: opisujące relację (iloczyn) oraz średnie ekspozycji i podatności społecznej. Scenariusz oparty na relacji obserwowanych zjawisk dla maksymalnych wartości potencjału powodziowego jest najbardziej dopasowany i najwyżej skorelowany z sumarycznymi wydatkami na usuwanie skutków klęsk żywiołowych w latach 2008-2012.

Trzeba jednak zaznaczyć, że zjawiska powodziowe w Polsce, choć mają charakter powtarzalny, są jednak zjawiskami losowymi i trudno przewidywalnymi w długim okresie czasu, natomiast podatność społeczna cechuje się zmiennością czasowo-przestrzenną. Dlatego rozpatrując wrażliwość społeczną na zagrożenia powodziowe w innym okresie czasu (post factum) należy ponownie weryfikować przydatność wszystkich zaproponowanych scenariuszy w celu wyboru najbardziej adekwatnego dla przewidywanych w przyszłości zagrożeń powodzią.

Podziękowanie

Badania zrealizowano w ramach projektu badawczego pt. Zróżnicowanie przestrzenne wrażliwości społeczeństwa informacyjnego na wybrane zagrożenia naturalne w Polsce, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (DEC- 2011/03/B/HS4/04933).

Literatura

Arak P., Ivanov A., Peleah M., Płoszaj A., Rakocy K., Rok J., Wyszowski K., 2013, National Human Development Report, Poland 2012 Local and Regional Development, UNDP, <http://hdr.undp.org/en/content/local-and-regional-development-poland-2012>. Accessed 15 Dec. 2013.

- Balica S.F., Wright N.G., van der Meulen F., 2012, A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts, *Natural Hazards*, Vol. 52, Springer Publisher, ISSN 0921-030X
- Biedroń I., Bogdańska-Warmuz R., 2012, Powódź 2010 - analiza strat i szkód powodziowych w Polsce, *Gospodarka Wodna*, Nr 4, 147–153.
- Ciurean R. L., Schröter D., Glade T., 2013, Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction, [w:] J. Tiefenbacher, D. Brand, Approaches to disaster management: examining the implications of hazards, emergencies and disasters, Rijeka: Intech.
- Fekete A., 2009, Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany, United Nations University, Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), UN Campus, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 393–403, 2009.
- Jeffers J.M., 2013, Integrating Vulnerability Analysis and Risk Assessment in Flood Loss Mitigation: An evaluation of barriers and challenges based on evidence from Ireland, *Applied Geography*, 37: 44-51.
- Li C.-H., Li N., Wu L.-C., Hu A.-J., 2013, A relative vulnerability estimation of flood disaster using data envelopment analysis in the Dongting Lake region of Hunan, *Natural Hazards and Earth System Science*, 13(7), 1723–1734, doi:10.5194/nhess-13-1723-2013
- Magnuszewski A., 2014, Powodziowość jako element ustroju hydrologicznego, w trakcie recenzji, *Prace i Studia Geograficzne*, WGiSR UW, Warszawa.
- Pistrica A., Tsakiris G., 2007, Flood Risk Assessment: A Methodological Framework., Water Resources Management: New Approaches and Technologies, European Water Resources Association, Chania, Crete – Greece.
- Sorrensen C.L., Polsky C., Neff R., 2006, The HERO REU Experience: Undergraduate Research on Vulnerability to Climate Change in Local Places, Gamma Theta Upsilon, *The Geographical Bulletin*, 47(2), 65-72.
- Sowiński M., 2008, Szkody powodziowe jako element wyznaczania ryzyka, Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, Nr 7/2008, Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi, PAN, Oddział w Krakowie, 121–130.
- Werner P., Magnuszewski A., Pokojska P., Pokojski W., Korzeniecki P., Kowalewski M., 2014a, Integrated fuzzy approach to spatial differentiation and modeling of vulnerability to natural hazards in Poland, w trakcie recenzji, *Natural Hazards*, Springer.
- Werner P., Rucińska D., Iwańczak B., 2014b, Zróżnicowanie przestrzenne wrażliwości społecznej na wybrane zagrożenia naturalne w Polsce, Materiały konferencji: “Społeczno – gospodarcze aspekty bezpieczeństwa Polski. Wyzwania i zagrożenia”, Szkoła Wyższa im. B. Jańskiego, Warszawa, 18.10.2014, Warszawa (w druku).
- Wu Shuang-Ye, Yarnal B., Fisher A., 2002, Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May County, New Jersey, USA, *Clim Res*, Vol. 22, 255–270, 2002.

Summary

Social vulnerability to floods has been estimated as the convolution of two complex variables i.e. exposure to floods and susceptibility (representing social weakness). Spatial extent concerned Poland and the basic statistical spatial units were NUTS 4 (counties). Average and maximum measures of floodability potential

represented exposure. Susceptibility was represented in turn by complementary fraction of up to one for LHDI and, alternatively by root mean square (RMS) of components which were obtained during factor analysis of socio-economic variables of counties. The different models of social vulnerability to floods were construed and verified i.e. compared to expenditures for removing the effects of natural disasters using Pearson's correlation coefficients. These models, which have been evaluated as most correlated to reference variable were chosen and presented cartographically.

Acknowledgments

The research project, 'Spatial Differentiation of Information Society Vulnerability to Defined Environmental Hazards in Poland' is supported by the Polish National Science Centre (DEC-2011/03/B/HS4/04933, 2012-2015).