

Piotr Werner¹, Michał Kowalewski²

¹Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych,
Pracownia Systemów Informacji Przestrzennej
e-mail: peter@uw.edu.pl

²Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa
e-mail: michal.kowalewski@imgw.pl

ZINTEGROWANA OCENA ZRÓŻNICOWANIA PRZESTRZENNEGO WRAŻLIWOŚCI SPOŁECZNEJ NA WYBRANE ZAGROŻENIA POGODOWE W POLSCE

Integrated assessment of social vulnerability to defined weather hazards in Poland

Słowa kluczowe: wrażliwość społeczna, podatność społeczna, zjawiska pogodowe, zagrożenia naturalne

Key words: social vulnerability, susceptibility, weather, natural hazards

WPROWADZENIE

Społeczeństwo powinno być przygotowane i funkcjonować w każdych warunkach pogodowych. Związane z nimi zagrożenia są często wynikiem przekroczenia przez dane epizody pogodowe wartości typowych dla danego miejsca i raczej nie są związane z ich bezwzględnym natężeniem. Dzieje się tak, gdyż zarówno przyroda ożywiona, jak i społeczeństwo i cywilizacja rozwija się w warunkach narzuconych przez klimat z jego naturalną zmiennością pogody. Cywilizacyjne próby pokonania lub kontroli klimatu poprzez wprowadzenie rozwiązań technicznych lub agrotechnicznych, niedobrych do warunków klimatycznych, kończą się zwykle niepowodzeniem. Najbardziej dobitnym (i medialnym) przykładem takich wieloletnich działań jest wysychające Jezioro Aralskie. Inna sytuacja dotyczy epizodów pogodowych występujących nieregularnie bądź cyklicznie ale losowo z punktu widzenia człowieka (np. zamiecie śnieżne, huragany i fale upałów w Ameryce Północnej). Niekiedy większe zagrożenie może spowodować jeden dzień mrozu w miejscu, gdzie zjawisko takie występuje raz na kilkanaście lat, niż mroźna zima w rejonie, gdzie jest to zjawisko coroczne. Z kolei fale upałów oddziałują nie tylko bezpośrednio ale i pośrednio na człowieka (Korzeniecki 2014),

tj. na funkcjonowanie grup ludzi i ich działalność. Ta prawidłowość dotyczy pozostałych epizodów pogodowych.

Dodatkowo zagrożenie może potęgować współwystępowanie zjawisk. W analitycznym podejściu do zjawisk pogodowych wyróżnia się takie elementy, jak ciśnienie atmosferyczne, temperatura powietrza, opady, wilgotność i inne. Ale na roślinność, na człowieka i infrastrukturę oddziałuje pogoda, a nie jej elementy. Analizując poszczególne czynniki, często nie uwzględnia się ich współwystępowania, zarówno z innymi elementami pogody, jak i z pozapogodowymi elementami przyrody czy też cywilizacji.

Oceny wrażliwości społecznej na ekstremalne lub bliskie ekstremalnym zjawiska pogodowe w Polsce dokonano indywidualnie w odniesieniu do zagrożeń: falami upałów, falami mrozów, obfitym śniegiem, gradem i silnym wiatrem. Do oceny ekspozycji na fale upałów wykorzystano zmodyfikowaną metodykę oceny zagrożeń i dane wg Korzenieckiego (2014). Dla pozostałych zagrożeń wykorzystano opracowanie autorskie¹ i dane pozyskane z IMGW w Warszawie, wykorzystując metodykę zaproponowaną przez Wenera i in. (2014a), zarówno do oceny ekspozycji na zagrożenia wspomnianymi zjawiskami meteorologicznymi jak i oceny podatności społecznej (Werner i in. 2014b).

Celem było zastosowanie jednolitego (w warstwie metodycznej) podejścia do oceny ekspozycji – narażenia na różne ekstremalne zjawiska pogodowe, które pozwala na skonstruowanie odpowiednich, poszczególnych wskaźników ekspozycji w odniesieniu do indywidualnych zjawisk meteorologicznych przy wykorzystaniu metodyki logiki rozmytej (Werner i in. 2014b).

Z drugiej strony wykorzystano dobrane i skonstruowane mierniki podatności społecznej wykorzystując lokalny wskaźnik rozwoju społecznego w Polsce (Arak i in. 2012, Werner i in. 2014a) oraz dodatkowo wyniki autorskich badań analizy czynnikowej 14 wybranych zmiennych społeczno-ekonomicznych w układzie powiatów (Werner i in. 2014b).

Dysponując wskaźnikami ekspozycji na poszczególne zagrożenia i konfrontując je indywidualnie z miernikami podatności społecznej w układzie powiatów, można w ten sposób ocenić zmienność przestrzenną wrażliwości społecznej na indywidualne zagrożenia epizodami pogodowymi stwarzającymi zagrożenie, jak również skonstruować zbiorcze wskaźniki wrażliwości społecznej na zagrożenia meteorologiczne w ciepłym i chłodnym okresie roku oraz dokonać ich wizualizacji kartograficznej. W tym celu wykorzystano scenariusze wrażliwości społecznej na zagrożenia naturalne (Werner i in. 2014a), łącząc ze sobą miary ekspozycji (narażenia) z podatnością społeczną jako: średnie, relacje (iloczyn), potęgowanie (intensyfikację) ekspozycji przez podatność, różnicę (maskowanie) ekspozycji i podatności oraz ich iloraz (ujawnianie ekspozycji przez podatność). Przedstawione scenariusze poddano analizie indywidualnie w odniesieniu do wymienionych

¹ Kowalewski M., (2013), Zagrożenie mrozem, śniegiem, gradem i silnym wiatrem, maszynopis i opracowanie numeryczne danych. Autorskie opracowanie wykonane i złożone na potrzeby grantu badawczego 2011/03/B/HS4/04933

zagrożeń, jak również podjęto próbę skonstruowania złożonych mierników wrażliwości społecznej osobno dotyczących zjawisk pogodowych w ciepłym i chłodnym okresie roku, wg występowania wymienionych zjawisk pogodowych.

EKSPOZYCJA NA ZJAWISKA POGODOWE

Ekspozycja na fale upałów (*Physical EHEVI – Extreme Heat Events Vulnerability Index*)

Kartograficzne przedstawienie zagrożenia falami upałów obejmuje nałożenie dwóch map obrazujących omawiane zagrożenie. Pierwszą jest mapa częstości występowania fal upałów na obszarze Polski, drugą zaś mapa natężenia (intensywności) fal upałów. Mapa częstości występowania fal upałów powstała w wyniku interpolacji wartości obliczonych na podstawie wskaźnika częstości upałów na 16 stacjach meteorologicznych, sąsiadujących najbliższej z wybranymi miastami w Polsce (Korzeniecki 2014). Dane oszacowano w siatce (grid) o rozdzielczości 1km (761 rzędów na 761 kolumn).

Wskaźnik częstości fal upałów (P_i) uwzględnia liczbę fal upałów w miesiące najbliższej sąsiadującym ze stacją meteorologiczną (R_i) dla każdej z lokalizacji stacji (i) i długość badanego okresu w latach (S): $P_i = R_i / S$. Natężenie (intensywność) oszacowano jako iloraz:

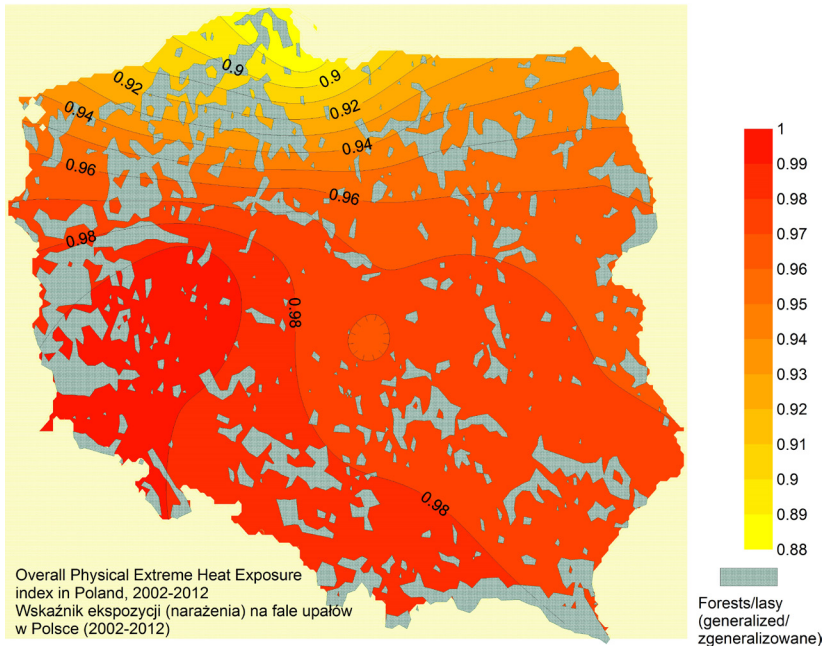
$$K_i = (\sum_{f=1}^n L_{if} M_{if}) / \sum_{f=1}^n L_{if},$$

gdzie K_i – intensywność fal upałów notowana na każdej stacji meteorologicznej i , L_{if} – długość trwania fali upałów f na stacji meteorologicznej i , M_{if} – średnia wartość maksymalnej temperatury powietrza w trakcie trwania fali upałów f na stacji meteorologicznej i , i – indeks stacji meteorologicznej, f – indeks kolejnej fali obserwowanych upałów (Korzeniecki 2014).

Wizualizację zmienności przestrzennej zagrożenia falami upałów w Polsce zaprezentowano w siatce pokrywającej cały obszar Polski, biorąc także pod uwagę obszary zalesione (które w oczywisty sposób osłabiają efekt upałów). Oszacowane wartości częstości i intensywności znormalizowano (odrębnie) przedstawiając w skali od 0 do 1 i skonstruowano zmienną lingwistyczną (zgodnie z metodyką logiki rozmytej) stwierdzającą, że: częstość występowania intensyfikuje fale upałów, a występowanie obszarów zalesionych obniża ich efekt (arbitralnie założono, że oddziałuje obniżając efekt fali upałów w 50%). Na tej podstawie skonstruowano formułę, a wartości oszacowano dla:

$$Physical\ EHEVI = \begin{cases} \frac{1}{2} P_i^{K_i} & (\text{dla obszarów zalesionych}) \\ P_i^{K_i} & (\text{dla obszarów bezleśnych}) \end{cases}$$

gdzie: P_i – częstość fal upałów, K_i – intensywność fal upałów, i – indeks stacji meteorologicznej sąsiadującej najbliższej z wybranym miastem.



Ryc. 1. Wskaźnik ekspozycji na fale upałów w Polsce

Fig. 1. Exposure to heat waves in Poland

Mapa zróżnicowania przestrzennego ekspozycji (narażenia) na fale upałów (w siatce – grid) ujawnia gradient zmienności przestrzennej (ryc.1) i może służyć do oceny całościowej wrażliwości społecznej na to zagrożenie.

W dalszych etapach badań wykorzystywana jest przekształcona mapa wskaźnika ekspozycji na fale upałów, którą przedstawiono w postaci zagregowanej w układzie powiatów (wartości uśredniono w granicach powiatów).

Zagrożenie gradem w Polsce. Ekspozycja na grad (*Physical HEVI - Hail Events Vulnerability Index*)

Grad jako zjawisko został potraktowany odmiennie niż pozostałe pogodowe czynniki zagrożeń. Wiąże się to z bardzo lokalnym zasięgiem gradu o szczególnie niszczycielskiej sile, a co za tym idzie innym sposobem zbierania i dokumentowania tego zjawiska.

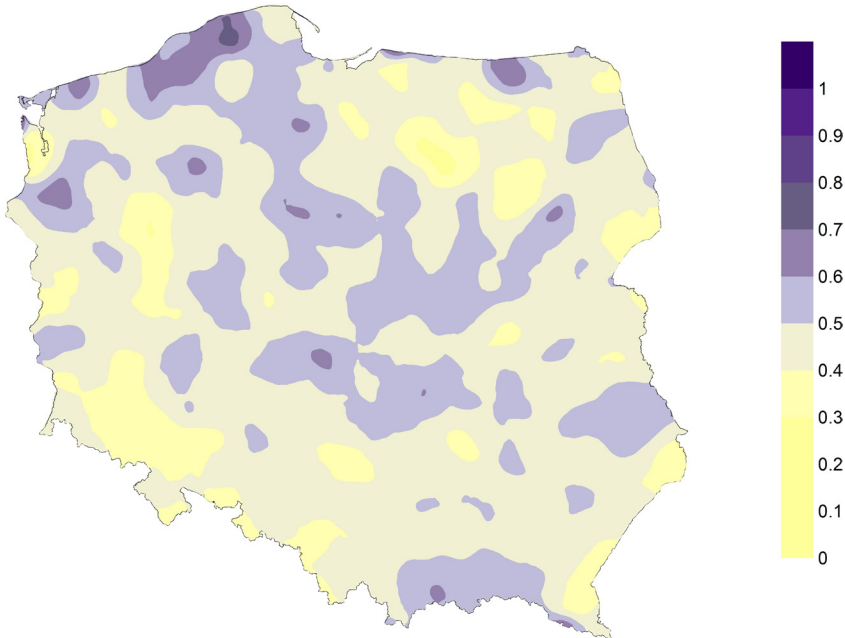
Dostępne informacje o gradobiciach pochodziły z różnych źródeł, ale żadne z nich nie były kompletne. Oceniano potencjalne ryzyko wystąpienia gradu – warunki meteorologiczne: powietrze o dużej chwiejności, dużej wilgotności, dogodne warunki do powstawania rozbudowanych chmur kłębiastych i burz – zarówno wewnątrzmasowych, jak i związanych z frontami chłodnymi. Drugim elementem brany pod uwagę było wystąpienie opadu gradu udokumentowane w postaci zapisu przez obserwatora, notatki prasowej, zdjęcia telemetrycznego lub w dowolny inny wiarygodny sposób. Przyjęto, że każda informacja o opadzie gradu jest wiarygodna w promieniu 25 km.

Następnie policzono stosunek liczby rzeczywistych, udokumentowanych przypadków wystąpienia gradu do sytuacji potencjalnych, kiedy były warunki

sprzyjające powstaniu tego zjawiska². To była forma zdaniowa zmiennej lingwistycznej, która stanowiła podstawę oceny możliwości wystąpienia i zagrożenia gradem i punkt wyjścia do konstrukcji formuły oraz wizualizacji w siatce (grid, ryc. 2):

$$H_{exposure} = H_d / H_p.$$

gdzie $H_{exposure}$ – zagrożenie gradem, H_d – liczba udokumentowanych przypadków gradu, H_p – liczba sytuacji potencjalnych, kiedy wystąpiły warunki sprzyjające powstaniu zjawiska gradu.



Ryc. 2. Zagrożenie gradem w Polsce

Fig. 2. Exposure to hails hazards in Poland

Przyjęto próg 50% dla miejsc, gdzie ponad połowa sytuacji sprzyjających powstawaniu gradu kończyła się rzeczywiście (w promieniu 25 km) opadem gradu i które uznano za zagrożone gradem (ryc. 2). Wydaje się, że mapę potencjalnego zagrożenia gradem na obszarze Polski powinno cechować małe zróżnicowanie (poza obszarami górskimi³). Tak nie jest, ale w opinii autorów wynika to ze braku dokumentacji tych zjawisk w okresie ostatnich 10 lat. Z tego względu, wobec braku jednorodnego i wiarygodnego źródła informacji, zrezygnowano z analizy wskaźników takich, jak liczba dni z gradem czy też liczba przypadków gradobicia.

² Oszacowane wartości częstości znormalizowano (odrębnie) przedstawiając w skali od 0 do 1.

³ „Cechą charakterystyczną burz jest występowanie błyskawic, grzmotów, szkwałów, silnych i krótkotrwałych opadów (przelotnych), czasami wypadanie gradu (Schmidt 1972). Zaobserwowano również (na przykładzie Polski), że oddziaływanie podłoża i rzeźby terenu ma większe znaczenie na obszarach górskich i wyżynnych, na nizinach natomiast w powstawaniu burzy większą rolę odgrywa ogólna cyrkulacja atmosferyczna i związane z nią napływające masy powietrzne” (Grabowska 2011, 2002).

Zagrożenie mrozem w Polsce. Ekspozycja na mróz (*Physical Extreme Frost Events Vulnerability Index – Physical EFEVI*)

W strefie klimatycznej Polski mróz jest zjawiskiem sezonowym i, z wyjątkiem gór, ograniczonym czasowo do miesięcy zimowych. W ostatnich kilkunastu latach liczba dni mroźnych spadała, zwłaszcza w północno-zachodniej części kraju, w niektórych sezonach lokalnie takie dni nie wystąpiły. Nie oznacza to jednak malejącego zagrożenia tym elementem pogody, a jedynie zmianę jego charakteru. Dni przymrozkowe, mroźne i bardzo mroźne nazywane są dniami charakterystycznymi (Kossowska-Cezak 2014)⁴.

Następujące cechy zjawiska zagrożenia mrozem wzięto pod uwagę i poddano analizie: minimalna temperatura powietrza (T_{min}), średni czas trwania okresu mroźnego (łącznie z przerwami w nim występującymi, F_{avg}), daty końca okresu mroźnego (H_D) i ich zmienność czasowa (z roku na rok, H_V) oraz różnice między średnią liczbą dni mroźnych a przymrozkowych (H_{avg}). Minimalne (bardzo niskie) temperatury powietrza narażają środowisko na szok, powodują duży stres dla przyrody i narażają społeczeństwo na straty związane z koniecznością przeciwdziałania im (ogrzewanie, większe zużycie energii). Długi okres trwania mrozu - od pierwszego do ostatniego dnia mroźnego jest niekorzystny z punktu widzenia społeczeństwa, gdyż przez cały okres konieczne jest funkcjonowanie infrastruktury oraz życie ludzi w warunkach termicznie nieoptymalnych, co powoduje wzrost kosztów materialnych i pozamaterialnych (w celu zapewnienia komfortu i bezpieczeństwa). Data końca okresu przymrozkowego jest też istotna, gdyż występowanie przymrozków ogranicza możliwości prowadzenia działalności człowieka w wielu dziedzinach zależnych od pogody, w tym w tak ważnych, jak rolnictwo i budownictwo. Ryzyko wystąpienia mrozu lub przymrozków przy obecnym stopniu rozwoju gospodarczego nie jest dyskwalifikujące dla większości dziedzin działalności, jednak pogarsza warunki i podnosi koszty funkcjonowania. Wyróżnienie zmienności z roku na rok daty końca okresu przymrozkowego natomiast oznacza możliwość lub brak możliwości przewidywania w skali wieloletniej daty, od której drastycznie spada ryzyko powrotu przymrozków.

Różnica między średnią liczbą dni mroźnych a przymrozkowych pozwala w przybliżeniu oszacować liczebność przejść temperatury powietrza przez wartość 0°C, która jest o tyle istotna, że można ją uznać za próg wskazujący na zagrożenie niszczycielskim działaniem zamarzającej wody dla elementów infrastruktury.

Założono następujące relacje między wymienionymi okresów mrozów i przymrozków⁵:

- i. Długość okresu mroźnego i wartość minimalnych temperatur powietrza wiążą się ze sobą w przypadku silnych mrozów ($T_{min} F_{avg}$),
- ii. częstość i różnicowanie długości okresu mroźnego i przymrozkowego wiążą się ze sobą ($H_V H_{avg}$),

⁴ „Najczęściej, tradycyjnie już stosowanymi, są dni z temperaturą minimalną poniżej 0°C, z temperaturą maksymalną poniżej 0°C i z temperaturą maksymalną poniżej -10,0°C oraz z temperaturą maksymalną powyżej 25,0 °C i powyżej 30,0°C. Są one zwykle nazywane odpowiednio : przymrozkowe, mroźne i bardzo mroźne oraz gorące i upalne. Taka też terminologia (z wyjątkiem nieuwzględnionego dnia bardzo mroźnego) jest podana w Słowniku meteorologicznym (2003).” (Kossowska-Cezak 2014)

⁵ Oszacowane wartości każdej zmiennej znormalizowano (odrębnie) przedstawiając w skali od 0 do 1.

iii. późniejszy koniec okresu mroźnego i/lub przymrozkowego pogarsza warunki działania człowieka (H_D).

Forma zdaniowa zmiennej lingwistycznej przyjęła następującą konstrukcję: zarówno silne mrozy (i) jak ich częstość (ii) wzmacniają wzajemne oddziaływanie i związane są z późniejszym zakończeniem okresu mroźnego i/lub przymrozkowego (iii).

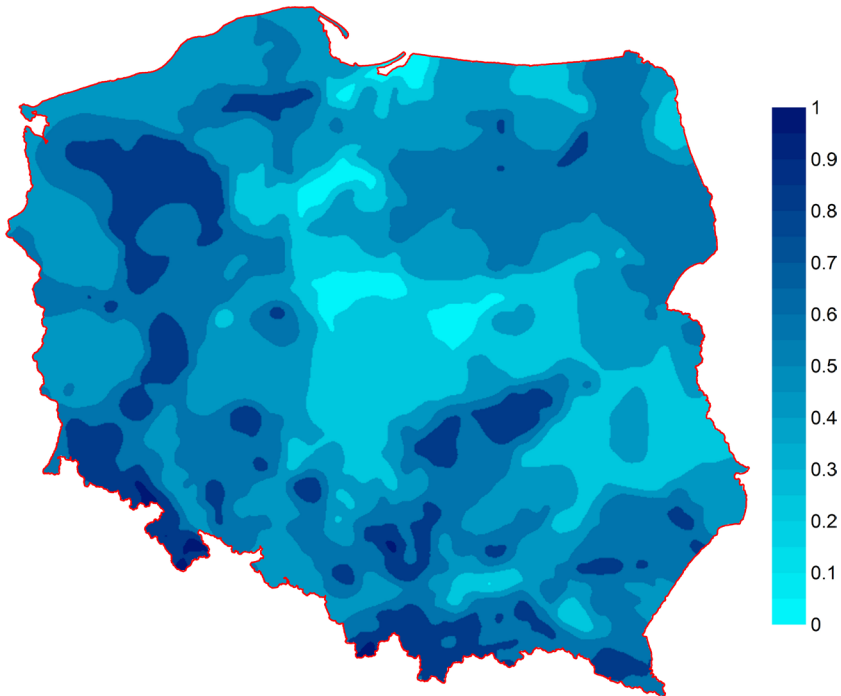
$$\text{Physical EFEVI} = \left(\frac{\min(T_{\min F}, (H_V H_{\text{avg}}))}{\max(T_{\min F}, (H_V H_{\text{avg}}))} \right) H_D$$

Zmienność przestrzenną tak skonstruowanego wskaźnika zagrożenia mrozem (ekspozycji na mróz i przymrozki) przedstawiono na mapie (ryc. 3).

Wartości wskaźnika zagrożenia mrozem wykorzystano w dalszych etapach badań, przedstawiając je w postaci zagregowanej w układzie powiatów (wartości uśredniono w granicach powiatów).

Zagrożenie opadami śniegu. Ekspozycja względem pokrywy śnieżnej (*Physical Snow Cover Exposure Vulnerability Index - Physical SCEVI*).

Rozpatrując zagrożenie związane ze śniegiem, należy wziąć pod uwagę opad śniegu i utrzymywanie się pokrywy śnieżnej. Przy tym, o ile śnieg jako opad niesie ze sobą stosunkowo krótkotrwałe zagrożenia związane z ograniczeniem widzialności i pogorszeniem warunków transportu, o tyle pokrywa śnieżna pociąga za sobą mniej spektakularne, ale nie mniej istotne zagrożenia.



Ryc. 3. Zagrożenie mrozem i przymrozkami w Polsce (2011-2012)

Fig. 3. Exposure to severe frosts and hoarfrosts in Poland (2011-2012)

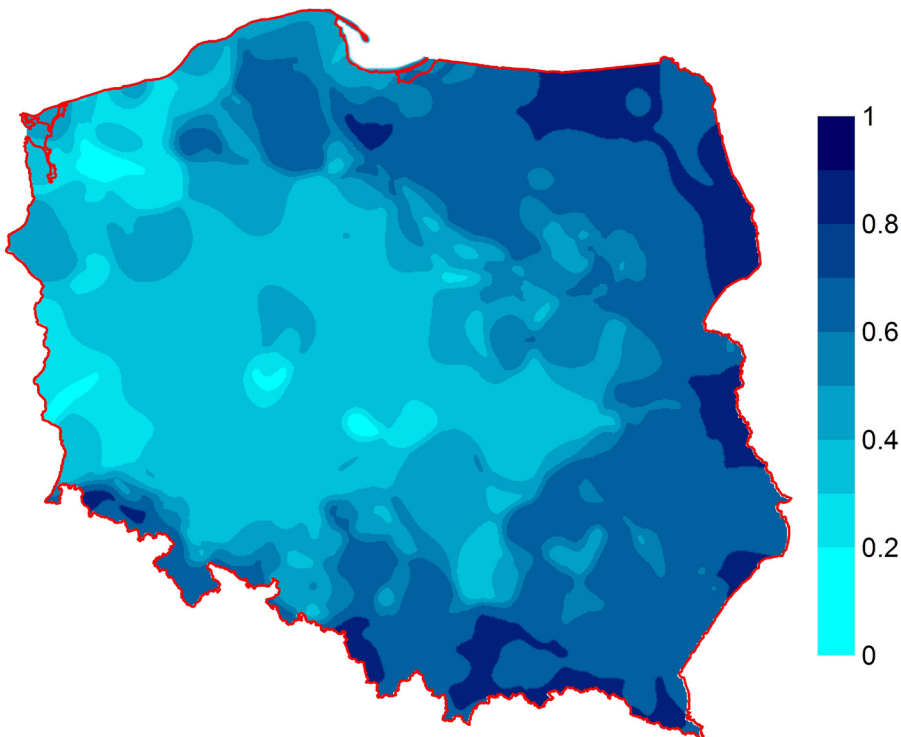
Konstruując mapę zagrożenia opadami i zalegania śniegu brano pod uwagę następujące czynniki: średnią i maksymalną grubość pokrywy śnieżnej (V_1, V_2), zróżnicowanie średniej grubości pokrywy śnieżnej w kolejnych latach (V_3), średni i maksymalny czas zalegania pokrywy śnieżnej (V_4, V_5), zmienność czasu zalegania pokrywy śnieżnej w kolejnych latach (V_6), średnie i maksymalne tempo przyrostu pokrywy śnieżnej (przyrost z dnia na dzień, V_7, V_8), średnie i maksymalne tempo ustępowania pokrywy śnieżnej z dnia na dzień (V_9, V_{10}). Wartości każdej zmiennej znormalizowano (odrębnie) przedstawiając w skali od 0 do 1.

W przypadku pokrywy śnieżnej zachodzi słaba korelacja między wartościami średnimi i maksymalnymi. Z tego względu zdecydowano się te elementy rozpatrywać niezależnie.

Przyjęto następujące założenie (forma zadaniowa zmiennej lingwistycznej): wartość średnia rozpatrywanych zmiennych obrazuje zagrożenie opadem i zaleganiem śniegu.

$$\text{Physical SCEVI} = 1/n \sum_1^n V_i \quad (n=10)$$

Zmienność przestrzenną zagrożeń opadami i zaleganiem śniegu zaprezentowano na ryc. 4, a ich wartości wykorzystano w dalszych etapach badań, przedstawiając je w postaci zagregowanej w układzie powiatów (wartości uśredniono w granicach powiatów).



Ryc. 4. Zagrożenie opadami i zaleganiem śniegu w Polsce

Fig. 4. Exposure to snow cover in Poland

Zagrożenie silnymi wiatrami. Ekspozycja względem silnych wiatrów (*Physical Strong Winds Events Vulnerability Index - Physical SWEVI*).

Wiatr jest elementem wektorowym, a czynnikiem kluczowym jest jego energia, będąca funkcją prędkości, zatem rozważany jest jedynie jako element skalarny – prędkość wiatru. Wiatr bardzo silnie zmienia się na wysokości kilkunastu metrów od powierzchni Ziemi. Często na otwartej przestrzeni przy powierzchni gruntu panuje słaby wiatr, a już w koronach drzew (np. 20 metrów wyżej) warunki są zupełnie inne. W analizie starano się brać pod uwagę wiatr na wysokości 10-15 m, jest to strefa, którą jako ludzie bardzo odczuwamy, ale w której znajduje się przeważająca część infrastruktury (budynki, słupy, maszty), a równocześnie którą już można rozpatrywać w skali kraju, choć czynniki lokalne wywierają na nią wciąż ogromny wpływ. Zgodnie z powszechnie stosowaną metodyką, starano się, w miarę dostępnych danych o terenie, przeliczyć warunki wiatrowe na wysokość 10 m i klasę szorstkości w skali od 0 do 1.

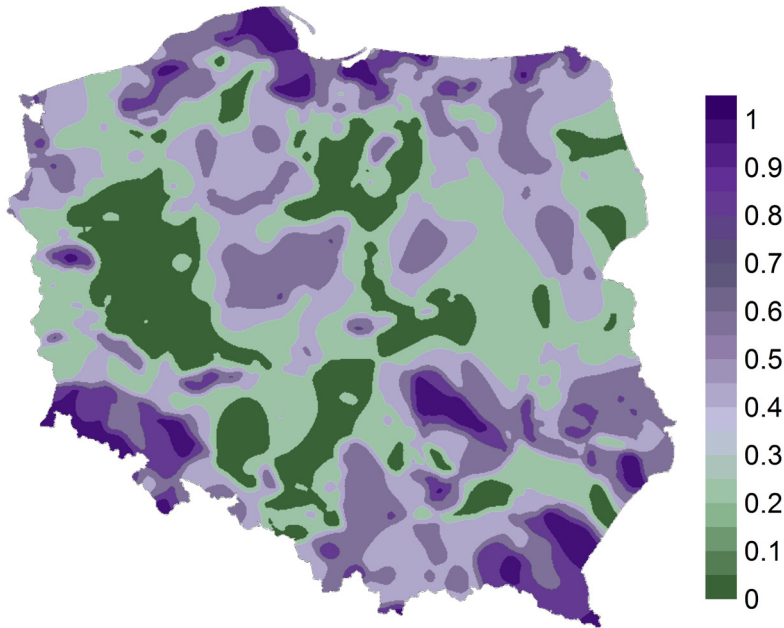
Pod uwagę brano następujące cechy wiatru, stanowiące potencjalne zagrożenia:

- prędkość (V_1); wprawdzie średnia prędkość wiatru zwykle nie jest elementem wywołującym spektakularne, intensywne zagrożenia, ale powoduje długotrwałe obciążenia, wiążące się z kolei z modyfikacją warunków środowiskowych i wielokrotnie z koniecznością kosztownego dostosowania się do nich lub też przeciwdziałania i ograniczania strat związanych z ciągłą lub częstą ekspozycją na czynnik o względnie małym natężeniu.
- prawdopodobieństwo przekroczenia przez wiatr progu 10 m/s (V_2); zastosowany model rozkładu prędkości wiatru spowoduje, że w przyjętej metodzie mapa dotycząca dowolnego innego progu będzie identyczna – wartości prawdopodobieństwa prędkości 5 m/s, 10 m/s, 20 m/s będą się przestrzennie rozkładały identycznie względem wartości średniej w kraju. Zatem realnie analizowanym czynnikiem jest tutaj ryzyko wystąpienia dużych prędkości wiatru.
- zróżnicowanie prędkości wiatru (V_3); rozkład częstości prędkości wiatru jest asymetryczny i mocno zróżnicowany przestrzennie. Dwa punkty o podobnej średniej prędkości wiatru mogą mieć zupełnie inny udział dużych i małych prędkości. Im bardziej asymetryczny jest rozkład prędkości wiatru, tym częstszych jego zmian należy się spodziewać.
- warunki terenowe sprzyjające rozwojowi wiatrów lokalnych (V_4); nie jest to cecha zjawiska, jakim jest wiatr, ale zespół cech terenu. Nie ma jednak innej metody na realne uwzględnienie wiatrów lokalnych, występujących z dużą regularnością w konkretnych miejscach, o niedużym zasięgu przestrzennym.
- zjawisko wiatrów niszczycielskich, związanych z trąbami powietrznymi i wiatrami szkwałowymi (V_5); są to zjawiska nieczęste w Polsce i z bardzo słabą dokumentacją naukową, gdyż wymykają się pomiarom wykonywanym przez sieć stacji meteorologicznych. Dopiero ostatnie

kilkanaście lat, w związku z rozwojem społeczeństwa informacyjnego, powszechnym dostępem do aparatów cyfrowych i stworzonemu na bazie Internetu polu wymiany informacji to okres, z którego można uzyskać dużą, choć amatorską i bardzo niejednorodną dokumentację takich zjawisk. Brak jest możliwości obiektywnego wykreślenia map obszarów narażonych na takie zjawiska, gdyż materiał pomiarowy jest na tyle niskiej jakości, że uzyskane wyniki nie będą istotne statystycznie. Z tego względu uznano za zagrożone tereny położone w promieniu 25 km od regionów dotkniętych przez tego typu zjawiska w ciągu ostatnich lat.

Przyjęto formułę zdaniową (zmiennej lingwistycznej) jako alternatywę. Zagrożenie niszczycielskie silnymi wiatrami uznano za pewne (tzn. uznano za pewne prawdopodobieństwo wystąpienia) w sąsiedztwie miejsc, gdzie udokumentowano w przeszłości podobne epizody pogodowe. W innych miejscach zagrożenie niszczycielskie silnymi wiatrami rośnie proporcjonalnie do iloczynu średniej prędkości wiatru, którą intensyfikuje prawdopodobieństwo przekroczenia progu 10 m/s i większego zagrożenia z powodu występowania wiatrów lokalnych (warunków terenowych) bądź zróżnicowania prędkości wiatru. Wartości każdej zmiennej znormalizowano (odrębnie) przedstawiając w skali od 0 do 1.

$$\text{Physical SWEVI} = \begin{cases} 1 & \text{for } (V_5 = 1) \\ (\max(V_3, V_4))(V_1^{V_2}) & \text{for } (V_5 = 0) \end{cases}$$



Ryc. 5. Zagrożenie silnymi wiatrami w Polsce
Fig.5. Exposure to strong winds in Poland

WRAŻLIWOŚĆ SPOŁECZNA NA ZAGROŻENIA POGODOWE W POLSCE

Traktując wymienione wyżej wskaźniki jako ocenę ekspozycji – narażenia na poszczególne epizody pogodowe, skonfrontowano oszacowane wielkości wg powiatów z miernikami podatności społecznej na podstawie dopełnienia lokalnego wskaźnika rozwoju społecznego (*I-LHDI*, Arak i in. 2012, Werner i in. 2014a) oraz na podstawie analizy czynnikowej zmiennych społeczno-ekonomicznych (Werner i in. 2014b).

Skonstruowano modele dotyczące okresu chłodnego (mrozy, śnieg, wiatr), okresu ciepłego (upał, grad, wiatr) oraz całego roku (wszystkie zagrożenia).

Konfrontacja oszacowanych w granicach powiatów wskaźników ekspozycji na zagrożenie ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi 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 Pearsona⁶) między obliczonymi wskaźnikami wrażliwości społecznej a sumaryczną wielkością wydatków na usuwanie skutków klęsk żywiołowych w pięcioleciu 2008-2013 w układzie powiatów. Następnie eliminowano te scenariusze, które cechowały najniższe wartości współczynników korelacji.

Najwyższe wartości współczynników korelacji zaobserwowano w przypadku modeli opisujących wrażliwość społeczną na zagrożenia wymienionymi badanymi zjawiskami meteorologicznymi w ciągu całego roku, zagrożeń okresu ciepłego i chłodnego względem sumarycznych wydatków na usuwanie skutków klęsk żywiołowych w pięcioleciu 2008-2013. Były to równocześnie scenariusze opisujące wrażliwość społeczną jako iloczyn ekspozycji na zjawiska meteorologiczne i podatności społecznej (relacja ekspozycji i podatności, por. tab. 1).

PODSUMOWANIE

Wrażliwość społeczną na zagrożenia ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi oszacowano jako funkcję dwóch złożonych zmiennych: ekspozycji – narażenia na epizody pogodowe (fale upałów, burze gradowe, silne wiatry, mrozy, opady śniegu) oraz podatności społecznej w układzie powiatów w Polsce.

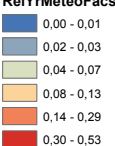
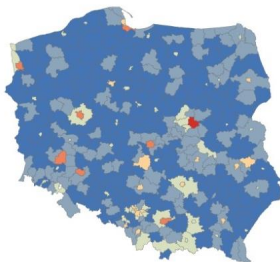
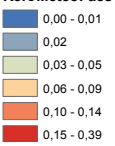
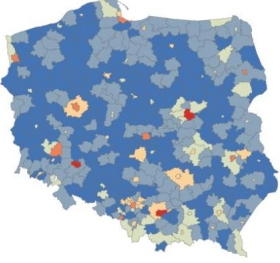
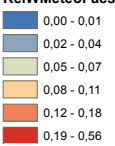
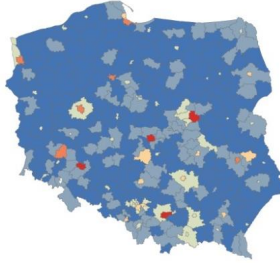
Ekspozycję reprezentowały oszacowane w granicach powiatów wskaźniki możliwego zagrożenia ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi (*fuzzy possibilities*), natomiast podatność społeczną – wartości dopełniania lokalnego wskaźnika rozwoju społecznego w Polsce oraz alternatywnie średnia kwadratowa (RMS) wartości czynnikowych uzyskanych na podstawie analizy czynnikowej zmiennych społeczno-ekonomicznych opisujących powiaty. Na tej podstawie skonstruowano i zanalizowano szereg wariantów scenariuszy zróżnicowania

⁶ Oprogramowanie SPSS 21, Miary podobieństwa dla danych interwałowych: korelacja Pearsona

przestrzennego wrażliwości społecznej na zagrożenia pogodowe, 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.

Tabela 1. Miary podobieństwa dla danych interwałowych: korelacja Pearsona pomiędzy wybranymi modelami (scenariuszami) wrażliwości społecznej a sumarycznymi wydatkami na usuwanie klęsk żywiołowych w pięcioleciu 2008-2013

Table 1. Similarity coefficients: Pearson's correlation coefficients between models of social vulnerability and expenditures for removing the effects of natural disasters 2008-2013

Model	Wartość współczynnika korelacji Pearson'a	Uwagi
RelYrMeteoFAC Legend powiaty RelYrMeteoFacs 	$r=+0,640$ 	<p>Iloczyn ekspozycji i wartości średnich komponentów analizy czynnikowej zagrożeń w całym roku</p>
RelColdMeteoFAC Legend powiaty RelCMeteoFacs 	$r=+0,632$ 	<p>Iloczyn ekspozycji i wartości średnich komponentów analizy czynnikowej zagrożeń w chłodnym okresie</p>
RelWarmMeteoFAC Legend powiaty RelWMeteoFacs 	$r=+0,616$ 	<p>Iloczyn ekspozycji i wartości średnich komponentów analizy czynnikowej zagrożeń w ciepłym okresie</p>

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.
- Grabowska K., 2002, Burze w Polsce i ich uwarunkowania. Praca doktorska, maszynopis, Zakład Klimatologii WGSR UW, Warszawa.
- Grabowska K., 2011, Przebieg roczny i dobowy burz w klimacie umiarkowanym morskim, przejściowym i kontynentalnym (na przykładzie Londynu, Warszawy i Moskwy), *Prace i Studia Geograficzne*, T. 47, ss. 463–471.
- Kossowska-Cezak U., 2014. Zmiany wieloletnie liczby termicznych dni charakterystycznych w Warszawie (1951–2010), *Prace Geograficzne*, zeszyt 136, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ Kraków 2014, 9 – 30 doi: 10.4467/20833113PG.14.001.1639
- Korzeniecki P. 2014 Zagrożenie falami upałów w Polsce [w recenzji] *Prace i Studia Geograficzne*, (maszynopis - autorskie opracowanie wykonane i złożone na potrzeby grantu badawczego 2011/03/B/HS4/04933).
- 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).

Summary

The social vulnerability to extreme weather phenomena were evaluated as the convolution of two complex variables: physical exposure to extreme weather events (heat waves, hails, severe frosts, strong winds and snow cover) and social susceptibility. The base spatial units were administrative districts (counties). The exposure represented the fuzzy possibilities of extreme weather events and susceptibility – either values of complementary fraction of up to one for LHDI (which may represent social weakness) or RMS values of factor analysis components of socio-economic input variables in counties. The several social vulnerability models (scenarios of spatial differentiation) were analyzed and there were presented those which characterized themselves the highest convergence and correlation with reference variable i.e. expenditures for removing the effects of natural disasters.