

Wojciech Pokojski

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

ZAGROŻENIE SUSZĄ W POLSCE A KLIMATYCZNY BILANS WODNY

Drought hazard in Poland and the climatic water balance

Słowa kluczowe: susze, zagrożenia naturalne, prognoza, zróżnicowanie przestrzenne, klimatyczny bilans wodny

Key words: droughts, natural hazards, prognosis, spatial differentiation, climatic water balance

WPROWADZENIE

Zauważalne nasilenie się anomalii pogodowych i hydrologicznych, skłania do podejmowania badań poświęconych skrajnym zjawiskom hydrologicznym, w tym niżówkom i suszom hydrologicznym. Susze pomimo tego, że nie są zjawiskami pojawiającymi się gwałtownie, powodują znaczące szkody. Utrzymywanie się suszy jest utożsamiane z długotrwałym okresem, w którym opady atmosferyczne nie występują lub są niższe od średnich wartości wieloletnich. W Polsce najczęstszą przyczyną wystąpienia suszy atmosferycznej jest układ globalnej cyrkulacji atmosferycznej, polegający na dominacji cyrkulacji antycyklonalnej (Bobiński, Mayer 1992).

W ostatnim 50-leciu susze na obszarze Polski występowały wielokrotnie. W II połowie XX wieku okresy suszy wystąpiły pod koniec lat 60., w połowie lat 70., na początku lat 80., a także w pierwszej połowie lat 90. Lata 90. charakteryzowały się dużymi anomaliami klimatycznymi i hydrologicznymi, czego dowodem było wystąpienie na obszarze Polski dotkliwych susz w pierwszej połowie tego dziesięciolecia i wielkich powodzi w drugiej jego połowie. Kolejny okres susz obejmujących prawie całe terytorium Polski wystąpił w latach 2000-2002, 2005-2006 i w roku 2012.

W pracy zaprezentowano definicje różnych typów susz, dokonano przeglądu polskich badań poświęconych tej tematyce oraz omówiono klimatyczny bilans

wodny, który jest wykorzystywany jako miara suszy w Systemie Monitoringu Suszy Rolniczej w Polsce.

Celem pracy było wykorzystanie klimatycznego bilansu wodnego oraz narzędzi GIS do wyznaczenia rozkładu terytorialnego obszarów najczęściej zagrożonych suszą w ujęciu wieloletnim a także w latach, które uznano za skrajnie suche. Analizy przestrzenne przeprowadzono dla terytorium Polski w odniesieniu do powiatów.

RODZAJE SUSZ

W literaturze wyróżniane są trzy typy suszy: atmosferyczna (meteorologiczna), glebowa i hydrologiczna.

Susza atmosferyczna, w wyniku intensywnego procesu parowania powoduje wyczerpywanie się retencji glebowej w strefie aeracji. Następstwem suszy atmosferycznej jest susza glebowa spowodowana wyczerpywaniem się zasobów wody wolnej występującej w gruncie i zmniejszenie się zasobów wilgoci glebowej (Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 1993). Zarówno susza atmosferyczna jak i będąca jej następstwem susza glebowa, odczuwalne są głównie w rolnictwie (Żelaziński i in. 1998). W wyniku zmniejszania się retencji wód podziemnych, wpływającej na zasilanie gruntowe rzeki oraz wskutek parowania, następuje obniżanie się poziomu wód podziemnych. Susza glebowa przechodzi w suszę hydrologiczną, objawiającą się zmniejszeniem przepływu w rzekach do wartości, zwanych po przekroczeniu ustalonych wartości progowych, niżówkami. Terminem tym ogólnie określa się okres niskich stanów wód powierzchniowych, zaistniałych w wyniku znacznego wyczerpania się zasobów wodnych w dorzeczu. Problem niedoboru wody dotyczy głównie rolnictwa, a w dużo mniejszym stopniu także przemysłu i zaopatrzenia komunalnego w wodę.

W Polsce do produkcji roślinnej wykorzystuje się przede wszystkim wody opadowe i retencję glebową i wód podziemnych, a nawadnianych jest tylko 0,4% powierzchni użytków rolnych - dla obszary nawadnianie stanowią od 5 do 20% powierzchni takich krajów jak Niemcy, Dania i Francja (*Diagnoza...* 2010).

MIARY SUSZ ATMOSFERYCZNYCH

Natężenie suszy atmosferycznej może być określane za pomocą różnych miar. Do określenia wielkości suszy atmosferycznej na obszarze Polski stosuje się m.in. takie miary jak: deficyt opadów w danym przedziale czasowym w stosunku do wartości średnich z wielolecia, klimatyczny bilans wodny, wskaźnik uwilgotnienia atmosfery i liczbę dni bez opadów (Kowalczak i in. 1997). Z. Kaczorowska (1962) zaproponowała jako kryterium oceny rozmiarów suszy atmosferycznej odchylenie opadów atmosferycznych od sumy średniej wieloletniej. Innym wskaźnikiem „wysuszenia” środowiska jest współczynnik hydrotermiczny Sielanianowa (Suchorab

1998), uwzględniający sumę opadów P (mm) oraz sumę wartości temperatury powietrza t ($^{\circ}\text{C}$) w danym przedziale czasowym. Innym wskaźnikiem jest wskaźnik standaryzowanego opadu (SPI), który jest ilościową oceną deficytu opadu. Stanowi on standaryzowaną wartość odchylenia sumy miesięcznej opadów od normy wieloletniej obliczaną w kroku miesięcznym. Wskaźnik ten zastosowano w badaniach prowadzonych we wrocławskim oddziale IMGW (Tokarczyk i in. 2012).

Klimatyczny bilans wodny

Charakteryzując suchość klimatu w Polsce, A. Schmuck (1969) zastosował jako wskaźnik stopnia suchości klimatu miarę zwaną klimatycznym bilansem wodnym. Klimatyczny bilans wodny jest miarą niedoboru zasilania atmosferycznego zlewni i jest obliczany jako różnica opadów atmosferycznych i ewapotranspiracji potencjalnej. Klimatyczny bilans wodny przyjmuje wartości dodatnie.

$$KBW = -(P - E_p) \quad [\text{mm}]$$

gdzie: P – opad atmosferyczny, E_p – ewapotranspiracja potencjalna.

Definicja suszy pojawia się także w *Ustawie o ubezpieczeniach upraw rolnych i zwierząt gospodarskich* [Ustawa 2005], w postaci zapisu: „Susze oznaczają szkody spowodowane wystąpieniem w dowolnym sześciodekadowym okresie od dnia 1 kwietnia do dnia 30 września spadku klimatycznego bilansu wodnego poniżej wartości określonej dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb”. Zgodnie z *Ustawą z dnia 7 lipca 2005 r. o ubezpieczeniach upraw rolnych i zwierząt gospodarskich* Minister Rolnictwa i Rozwoju Wsi określił w drodze rozporządzenia (*Rozporządzenie*, 2009) wartości progowe klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb (Dz. U. z dnia 10 czerwca 2009 r.). Narzędziem informatycznym służącym do oceny wartości KBW i wyznaczenia obszarów, na których potencjalnie wystąpiły straty spowodowane suszą¹ jest System Monitoringu Suszy Rolniczej (SMSR), opracowany przez Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy (IUNG-PIB) w Puławach.

Klimatyczny bilans wody w celu określenia wskaźnika suszy meteorologicznej stosowano w Polsce wielokrotnie. W opracowaniu dotyczącym potrzeb obszarowych dla małej retencji (Kowalczak i in. 1997) jako podstawową miarę obszarów najbardziej zagrożonych występowaniem suszy wykorzystano klimatyczny bilans wodny. KBW jako kompleksowy wskaźnik agrometeorologiczny szeroko wykorzystywał w badaniach Rojek (1987, 1994); KBW jako wskaźnik suszy został wykorzystany także w badaniach B. Olechnowicz-Bobrowskiej (1978), F. Kaneckiej-Geszke i K. Smarzyńskiej (2007)², J. Szajdy i in. (2007), L. Łabędzkiego i B. Bąka (2004) oraz T. Tokarczyk (2010).

¹ <http://www.susza.iung.pulawy.pl/glowna/>

² <http://www.aqua.ar.wroc.pl/acta/pl/full/15/2007/000150200700006000020004100050.pdf>

W kilku opracowaniach badawczych zostały przeanalizowane dotkliwe susze występujące w Polsce na początku lat 80. i 90. A. Kasprzyk (1998) badał rozkład przestrzenny występowania susz hydrologicznych w wybranych zlewniach rzecznych w latach 1963-1992, rozpatrując wpływ warunków fizycznogeograficznych na kształtowanie się susz hydrologicznych. Jako obszary o największym zagrożeniu niżówkami letnimi wymienił Nizinę Szczecińską, Nizinę Wielkopolską, Pojezierze Wielkopolskie i Nizinę Mazowiecką.

Badaniami nad kształtowaniem się niżówek i procesu wysychania wybranych zlewni na Niżu Polskim – obszarze wskazywanego wielokrotnie w literaturze jako najbardziej zagrożonego suszami atmosferycznymi, zajmował się także autor niniejszej pracy (Pokojski 2002). Badania A. Kasprzyka (1998) i autora (Pokojski 2002) były wkładem strony polskiej do projektu FRIEND – Międzynarodowego Programu Hydrologicznego UNESCO. Jak wynika z tych badań (Kasprzyk 1998), klimatyczny bilans wodny obliczony dla obszaru Polski jest wysoce skorelowany z wieloma charakterystykami susz hydrologicznych, zwłaszcza w półroczu letnim.

METODOLOGIA

Krótkookresowe (dwumiesięczne) ujęcia rozkładu przestrzennego klimatycznego bilansu wodnego, opracowywane przez IUNG w systemie *Monitoringu suszy rolniczej*, mają znaczenie dla wyznaczenia niedoboru wody dla wybranej uprawy rolniczej w krótkich przedziałach czasu, a kolejne ujęcia przestrzenne rozkładu przestrzennego KBW często różnią się od poprzednich.

Biorąc to pod uwagę, w niniejszym opracowaniu w celu oceny zagrożenia suszą zastosowano: średni skumulowany klimatyczny bilans wodny w półroczu letnim w wieloleciu 1963-1992, skumulowany klimatyczny bilans wodny w półroczu letnim roku 1969, uznanego w opracowaniu P. Kowalczyka (1997) za rok o największym zasięgu przestrzennym suszy (95% kraju) i w półroczu letnim roku 1992 roku, uznanego w wyniku badań wielu autorów (Kasprzyk 2000, Pokojski 2002, *Susza w Polsce 2012 - Informacje klimatologiczne*) za najsuchszy w 40-leciu. Wykorzystano dostępne dane meteorologiczne zestawione w wymienionych powyżej okresach z 23 stacji meteorologicznych.

Następnie, wykorzystując techniki GIS, opracowano rozkład przestrzenny wartości KBW w Polsce w siatce punktów *grid* o wymiarach oczka siatki 5 km/5 km, wykorzystując metodę interpolacji. W kolejnym kroku, wykorzystując narzędzia analiz przestrzennych, na regularną siatkę punktów *grid* nałożono mapę podziału administracyjnego Polski i obliczono średnią wartość KBW w poszczególnych powiatach (funkcja *Point in Polygon*). Analiza w odniesieniu do powiatów była podyktowana potrzebami dalszych badań w projekcie NCN. Analizy przestrzenne wykonano w Państwowym Układzie Współrzędnych Geodezyjnych 1992, wykorzystując oprogramowanie Surfer 8.0, MapInfo 10.0 i Quantum GIS 1.8.

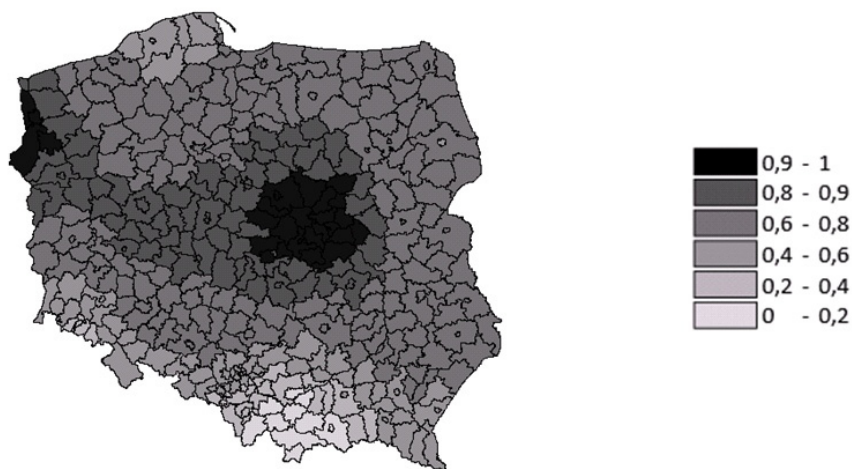
Na potrzeby dalszych badań nad zagrożeniami naturalnymi w Polsce, uzyskane wartości klimatycznego bilansu wodnego dla powiatów znormalizowano i wyra-

żono w skali 0 - 1. Wartościom ujemnym (reprezentującym nadmiar opadu) przypisano na mapie wartość 0, wartościom maksymalnym KBW przypisano wartość 1, a wartości dla pozostałego zakresu obliczono według wzoru:

$$k = k_x / k_{max}$$

gdzie: k – wskaźnik KBW w skali 0-1, k_x – obliczona wartość KBW dla danego powiatu (mm), k_{max} – najwyższa wartość KBW dla powiatu w skali kraju.

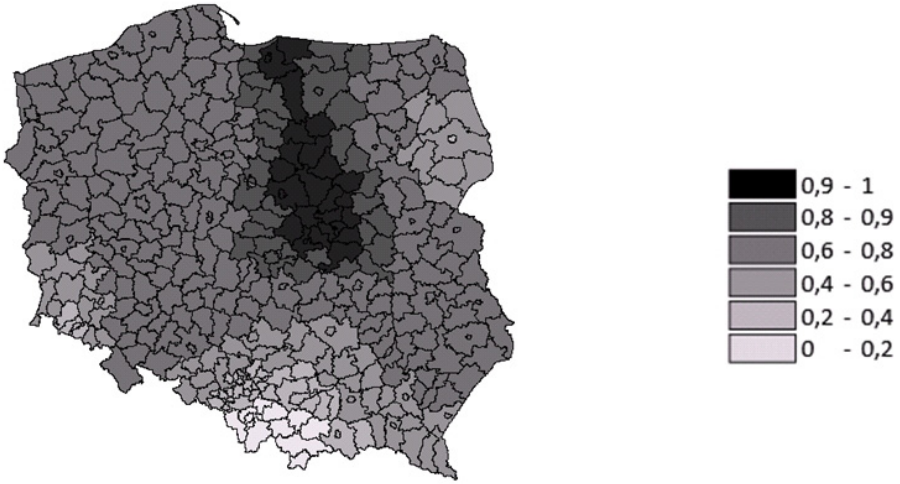
W wyniku przeprowadzonych obliczeń wartości KBW, interpolacji i zastosowania funkcji analiz przestrzennych, uzyskano mapy rozkładu przestrzennego suszy atmosferycznej w Polsce, wyrażonej wartościami wskaźnika k dla różnych przedziałów czasowych. Na mapie przedstawiono wartości wskaźnika k dla wielolecia 1963-1992 (ryc. 1), dwie kolejne mapy odnoszą się do lat 1969 i 1992 (ryc. 2 i 3), w których zaistniały skrajne susze atmosferyczne.



Ryc. 1. Znormalizowane wartości skumulowanego klimatycznego bilansu wodnego w półroczu letnim w wieloleciu 1963-1992

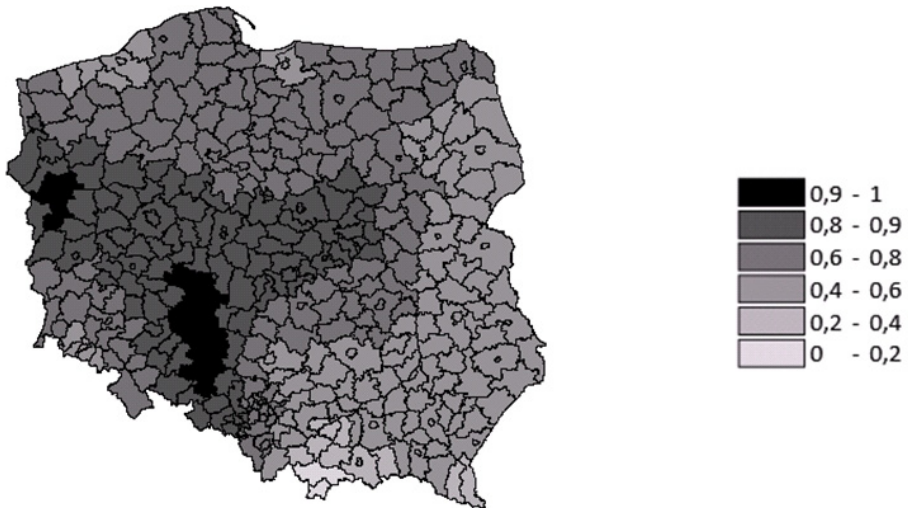
Fig. 1. Normalized values of cumulated climatic water balance in summer half-year (V-X) 1963-1992

Jak wynika z opracowanych map, skrajne susze w 1969 roku wystąpiły głównie w powiatach położonych w północnej części województwa mazowieckiego, a w 1992 roku najbardziej dotkliwe susze wystąpiły w kilku powiatach położonych w województwach dolnośląskim i opolskim. W wieloleciu 1963-1992 największe zagrożenie suszą atmosferyczną, mające znaczenie dla rolnictwa, wystąpiło głównie w powiatach położonych w północnej części województwa łódzkiego, północno-zachodniej części województwa mazowieckiego, północnej części województwa wielkopolskiego i zachodniej części województwa zachodniopomorskiego. W dużo mniejszym stopniu na susze są narażone obszary górskie i podgórskie; zagrożenie suszą nie występuje także w województwie małopolskim w powiatach tatrzańskim, nowotarskim, suskim limanowskim i myślenickim.



Ryc. 2. Znormalizowane wartości skumulowanego klimatycznego bilansu wodnego w półroczu letnim w roku 1969

Fig. 2. *Normalized values of cumulated climatic water balance in summer half-year in 1969*



Ryc. 3 Znormalizowane wartości skumulowanego klimatycznego bilansu wodnego w półroczu letnim w roku 1992

Fig. 3. *Normalized values of cumulated climatic water balance in summer half-year in 1992*

PODSUMOWANIE

Według scenariuszy emisyjnych opracowanych w projekcie KLIMAT (*Susza w Polsce 2012*), w ciągu najbliższych 20 lat nastąpi wzrost temperatury powietrza w Polsce o 0,5-0,7 °C. W tym samym czasie, zgodnie z prognozami, opady atmosferyczne zwiększą się w bardzo małym stopniu. Wobec wzrostu temperatury powietrza, przy nie zmieniających się średnich wartościach opadów, należy spodziewać się częstszych i bardziej dotkliwych susz atmosferycznych.

W badaniach wykorzystano klimatyczny bilans wodny i opracowano na jego podstawie zróżnicowanie przestrzenne suszy atmosferycznej w Polsce - jednego z istotnych zagrożeń naturalnych, występujących na terytorium Polski. Mapy powstały na podstawie danych meteorologicznych z 23 stacji klimatologicznych, dla których obliczono w trzech przedziałach czasowych skumulowane wartości KBW. Następnie obliczono wartości KBW w geometrycznej siatce punktów wykorzystując interpolację i wyznaczono jego średnie wartości dla poszczególnych powiatów, po czym je znormalizowano do wartości 0-1.

Uzyskane wyniki zostały wykorzystane w dalszych badaniach w ramach projektu pt. Zróżnicowanie przestrzenne wrażliwości społeczeństwa informacyjnego na wybrane zagrożenia naturalne w Polsce, finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki (DEC- 2011/03/B/HS4/04933).

Literatura

- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 1993, Hydrologia ogólna. Warszawa, Wyd. Nauk. PWN.
- Bobiński E., Mayer W., 1992, Susza hydrologiczna w Polsce w latach 1989-1992 na tle wielolecia 1982-1992. *Gosp. Wodna*, z.12, 267-272.
- Diagnoza aktualnego stanu gospodarki wodnej, 2010, Załącznik 1 do Projektu Polityki wodnej państwa 2030 (z uwzględnieniem etapu 2016), Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej.
- Kanecka-Geszke E., Smarzyńska K., 2007, Ocena suszy meteorologicznej w wybranych regionach agroklimatycznych Polski przy użyciu różnych wskaźników. *Acta Scientiarum Polonorum*. Nr 6. Z. 2, 41-50.
- Kaczorowska Z., 1962, Najsuchsze i najwilgotniejsze pory roku w Polsce w okresie 1900-1959. *Prz. Geof.* z. 3.
- Kasprzyk A., 1998, Fizycznogeograficzne uwarunkowania susz hydrologicznych w Polsce. Rozpr. dokt., Kielce WGRS UW.
- Kowalczak P., Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Kuźnicka M., Mager P., 1997, Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji. Seria *Gosp. Wodna i Ochrona Wód*, 19, IMGW Warszawa.
- Łabędzki L., Bąk B., 2004, Standaryzowany klimatyczny bilans wodny jako wskaźnik suszy. *Acta Agrophysica*. Vol. 3. Nr 1, s. 117-124.
- Olechnowicz-Bobrowska B., 1978, Parowanie potencjalne w okresie wegetacyjnym w Polsce. AR Kraków, Rozp. hab. Nr 67.

- Pokojski W., Kasprzyk A., 1997, Changes of water balance and hydrological drought occurrence in Poland. *Acta Univ. Carolinae. Geographica*, Suppl., 127-134.
- Pokojski W., 2002, Wpływ warunków fizycznogeograficznych na kształtowanie się przepływów nizinnych rzek nizinnych w Polsce. Rozprawa doktorska WGiSR UW.
- Rojek M., 1987, Rozkład czasowy i przestrzenny klimatycznych i rolniczo-klimatycznych bilansów wodnych na terenie Polski. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu*, Rozpr. nr 42.
- Rojek M., 1994, Rozkład przestrzenny klimatycznych bilansów wodnych na terenie Polski w okresie 1951-1990. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Inż Środ.*, VI, nr. 243, s. 9-21.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 9 czerwca 2009 r. w sprawie wartości klimatycznego bilansu wodnego dla poszczególnych gatunków roślin uprawnych i gleb. *Dz. U. z dnia 10 czerwca 2009 r.*
- Suchorab J., 1998, Dni posuszne w Lublinie w okresie wegetacyjnym w świetle współczynnika hydrotermicznego Sielianałowa. [w:] *Problemy współczesnej klimatologii i agrometeorologii regionu lubelskiego*, M. Nowosad (red.), Lublin, Wyd. UMCS.
- Susza w Polsce, 2012, Raport Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2012.
- Szajda J., Czerwiński M., Jakimiuk J., 2007, Ocena suszy meteorologicznej w okresie wegetacyjnym na Polesiu Lubelskim za pomocą wybranych wskaźników. *Woda-środowisko-obszary wiejskie. z. 2a*, 313-326.
- Schmuck A., 1969. *Meteorologia i klimatologia dla WSR*. Warszawa, PWN.
- Tokarczyk T., 2010, Nizówka jako wskaźnik suszy hydrologicznej. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa (raport IMGW).
- Tokarczyk T., Szalińska W., Otop I., 2012, Ocena zagrożenia suszą w Polsce i prognoza jej rozwoju. [w:] *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju* (red. Lorenc H.), Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB, Raport-seria Monografie IMGW-PIB.
- Ustawa z dnia 7 lipca 2005 r. o ubezpieczeniach upraw rolnych i zwierząt gospodarskich.

Summary

In the study applied climatic water balance (CBW) for the development of spatial diversity atmospheric drought in Poland - one of the most important environmental hazards present on the Polish territory. In the next stage, using the method of interpolation CWB in the grid were calculated, then using GIS tools CBW values obtained for the counties. The results were used in 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).