

Artur Magnuszewski¹, Mariusz Porczek²

¹Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych,
Zakład Hydrologii

e-mail: asmagnus@uw.edu.pl

²Uniwersytet Warszawski, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych,
Pracownia Systemów Informacji Przestrzennej

WSKAŹNIK POTENCJAŁU POWODZIOWEGO I WZGLĘDNA EKSPOZYCJA NA NIEBEZPIECZEŃSTWO POWODZIOWE GMIN W POLSCE

Flood potential index and relative exposition to flood danger in Poland

Słowa kluczowe: powódź, potencjał powodziowy, ustrój hydrologiczny

Key words: flood, flood potential, hydrological regime, Poland

WSTĘP

Powodzie katastrofalne są to zjawiska, które w profilach wodowskazowych wyznaczają maksimum obserwowane, które w miarę wydłużania ciągów obserwacyjnych może zbliżać się do maksimum absolutnego. Zakładamy przy tym, że warunki fizycznogeograficzne zlewni i warunki klimatyczne są stacjonarne, a więc oscylują wokół wartości średniej i nie wykazują zjawiska trendu. W literaturze polskiej powstało kilka opracowań dotyczących potencjału powodziowego, przez jednych autorów nazywanego powodziowością, przez innych powodziogennością. W tym opracowaniu przyjęto termin wskaźnik potencjału powodziowego.

Powodzie mają swoją przyczynę w zjawiskach atmosferycznych, do których należą intensywne opady deszczu lub śniegu, a także przebieg temperatury sterującej procesem topnienia pokrywy śnieżnej. Porównanie najwyższych sum opadu atmosferycznego w Polsce z wartościami rejestrowanymi na świecie wskazuje, że krajowe maksima są znacznie mniejsze (Ozga-Zielińska, Ozga-Zieliński 2003). Ta mniejsza wydajność opadów w Polsce wynika z cech przejściowego klimatu umiarkowanego i nizinnego charakteru ukształtowania powierzchni kraju.

Cechą szczególną zlewni nizinnych, jest możliwość uwolnienia wysokich warstw odpływu rzecznej w czasie wezbrań roztopowych. W okresie zimy

nieduże sumy opadu dobowego ulegają kumulacji w warstwie śniegu, a nagromadzony zapas wody w pokrywie śnieżnej może być gwałtownie uwolniony w czasie roztopów. W przypadku wezbrań roztopowych w latach 1970 i 1979 największa warstwa odpływu była generowana przez zlewnie nizinne o powierzchni rzędu 103 km² (Skrwa – 144 mm, Wkra – 123 mm). W zlewniach mniejszych i większych od 103 km² wysokość odpływu ulegała niewielkiemu zmniejszeniu. Wezbrania roztopowe w górach nie przekraczały 80 mm, co oznacza że są one 3 razy mniejsze od wezbrań opadowych w tym samym regionie (Stachy i in., 1996a).

W literaturze znanych jest kilka miar powodziowości, jedną z pierwszych krajowych prac na ten temat opublikował Balcerski (1951), wykonując obliczenia dla głównych rzek dorzecza Wisły. Zastosował następujący wskaźnik powodziowości w_p :

$$w_p = \frac{WWQ - Q_{brz}}{SQ} \sqrt{A} \quad (1)$$

gdzie WWQ – najwyższy przepływ obserwowany, Q_{brz} – przepływ brzegowy, SQ – średni przepływ w wieloleciu, A – powierzchnia zlewni w km².

Z wzoru wynika, że powodziowość rzeki jest tym mniejsza, im mniejsza jest różnica między wodą brzegową i katastrofalną. Pierwiastek z powierzchni zlewni jest współczynnikiem skali zgodnie z założeniem, że przepływy są wprost proporcjonalne do wielkości zlewni (Balcerski 1951).

Badaniem przepływów maksymalnych w różnych zlewniach zajmowała się także M. Gutry-Korycka i in. (2009). Jako jedną z miar pozwalających wykryć regionalne uwarunkowania powodziowości zastosowano wskaźnik w_q – najwyższego przepływu przypadającego na pierwiastek powierzchni zlewni, obliczany z wzoru:

$$k = 10 \cdot \left(1 - \frac{\log WWQ - 6}{\log A - 8}\right) \quad (2)$$

gdzie, WWQ – najwyższy przepływ obserwowany, A – powierzchnia zlewni w km².

W zlewniach nizinnych wartość wskaźnika w_q jest mniejsza niż 5,6, w zlewniach górskich przekracza wartość 6, a w skrajnym przypadku sięga 20. Wskaźnik ten pozwala na normalizację danych i uszeregowanie zlewni w kolejności rosnącego potencjału powodziowego. Nadaje się on szczególnie do porównań małych zlewni o powierzchni poniżej 500 km².

Wskaźnikiem względnym, który pozwala porównywać potencjał powodziowy rzek o różnej powierzchni zlewni jest indeks k , zaproponowany przez J. Franço (Rodier, Roche 1984). Jego popularyzację w warunkach Polski zawdzięczamy pracom A. Bartnika i P. Jokiela (2008, 2010, 2012 a, b). Im większą wartość przyjmuje wskaźnik potencjału powodziowego k , tym większa jest zdolność zlewni do tworzenia powodzi. W celu normalizacji wartości w równaniu przyjęto maksymalny

przepływ graniczny 10^6 m³/s i maksymalną powierzchnię graniczną dorzecza 108 km² dla rzek świata. Wzór na wskaźnik k ma postać:

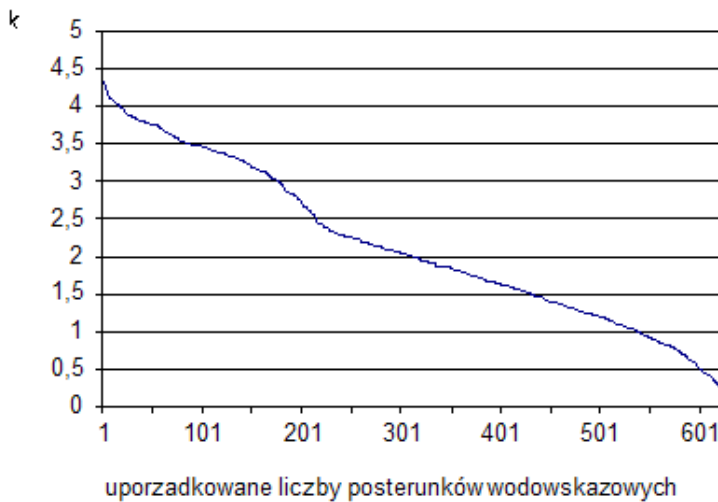
$$k = 10 \cdot \left(1 - \frac{\log WWQ - 6}{\log A - 8}\right) \quad (3)$$

gdzie, WWQ – najwyższy przepływ obserwowany, A – powierzchnia zlewni w km².

METODA I ŹRÓDŁA DANYCH

W celu obliczenia wskaźnika potencjału powodziowego k dla rzek Polski wykorzystano wartości WWQ i A zestawione w *Atlasie...* (1996), który zawiera wartości przepływów charakterystycznych w głównych posterunkach wodowskazowych IMGW wchodzących do sieci monitoringu Państwowej Inspekcji Środowiska. W celu aktualizacji danych o wartości przepływu zarejestrowane na Wiśle w czasie powodzi 2010 r., uzupełniono je na podstawie publikacji *Dorzecze Wisły...* (2011). Ogółem dysponowano danymi z 624 posterunków wodowskazowych, których nazwy i położenie geograficzne wzięto z warstwy tematycznej *Mapy Podziału Hydrograficznego Polski* opracowanej przez IMGW.

Uzyskane wartości wskaźnika powodziowego k mieszczą się w zakresie 4,31-0,03, ich rozkład w uporządkowanym malejąco ciągu obrazuje ryc. 1.



Ryc. 1. Wartości wskaźnika potencjału powodziowego rzek w Polsce obliczone na podstawie danych *Atlas...* (1996)

Fig. 1. Flood potential index of the rivers in Poland calculated from the data published in *Atlas...* (1996)

Według A. Bartnika i P. Jokiela (2008) wskaźnik k w przypadku rzek polskich nie przekracza wartości 5,0. W zbiorze danych rzek europejskich obejmujących także zlewnie regionu śródziemnomorskiego nie przekracza on wartości 5,65. Obliczone wg danych z *Atlasu...* (1996) największe w Polsce wartość wskaźnika k pokazano w Tabeli 1. Według A. Bartnika i P. Jokiela (2010) w grupie małych zlewni indeksy k były następujące: Łopuszanka (profil Piaski) – 4,64; Kamienica (Łabowa) – 4,26; Miechówka (Miechów) – 4,42; Dunajec (Nowy Sącz) – 4,31.

Tabela 1. Posterunki wodowskazowe na rzekach o największym potencjale powodziowym k w Polsce obliczonym na podstawie *Atlasu...* (1996) i *Dorzecze Wisły...* (2011).

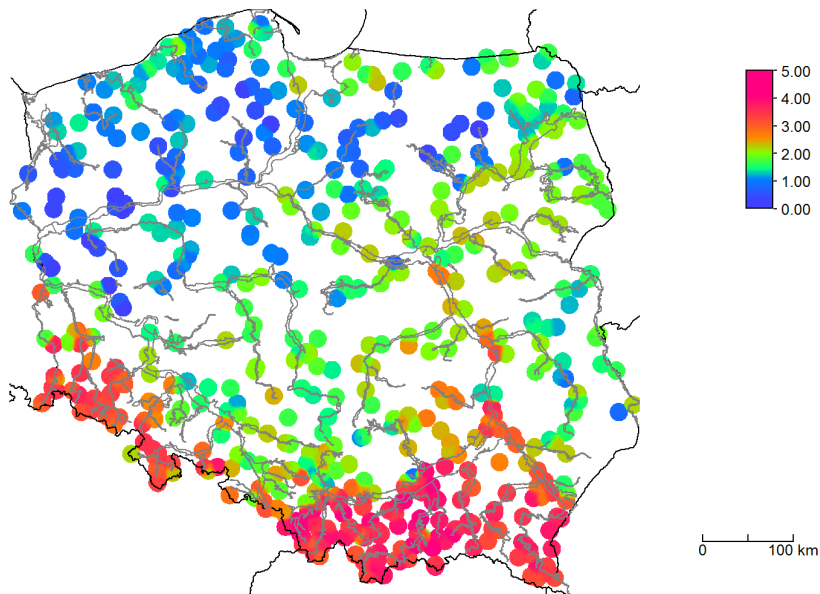
Table 1. River gauging posts at the rivers with the highest flood potential index in Poland calculated from the data published in *Atlas...*(1996) and *Dorzecze Wisły...* (2011)

Rzeka	Posterunek wodowskazowy	A (km ²)	k
Soła	Żywiec	784,8	4,31
Dunajec	Nowy Sącz	4341	4,31
Kamienica	Łabowa	65	4,26
Wisła	Skoczów	296,7	4,23
Sękówka	Gorlice	121,2	4,2
Brennica	Górki Wielkie	82,2	4,15
Dunajec	Czechów	5316,4	4,13
Dunajec	Żabno	6735	4,11

Wartości wskaźnika potencjału powodziowego z przypisanymi im współrzędnymi geograficznymi poddano interpolacji metodą odwrotnych odległości przyjmując promień poszukiwania danych równy 10 km. Uzyskany obraz przestrzennego rozkładu wskaźnika potencjału powodziowego w Polsce, przedstawia ryc. 2. Pokazano go na tle zasięgu obszarów zagrożenia powodziowego, które wyznaczono przez kompilację map wstępnej oceny ryzyka powodziowego (WORP 2011) oraz mapy obszarów zagrożonych podtopieniami w Polsce (PIG 2007). Zasięg terenów zagrożonych powodzią wg WORP ustalono na podstawie analizy danych historycznych, a także wyników modelowania hydrodynamicznego. Mapa obrazująca podtopienia powstała zaś na podstawie analizy zasięgu holocenijskich utworów aluwialnych w dolinach rzecznych. Połączenie obydwu źródeł danych daje obraz największego zasięgu powodzi w dolinach rzecznych w czasach holocenu.

WŁAŚCIWOŚCI WSKAŹNIKA POTENCJAŁU POWODZIOWEGO

Uzyskany obraz rozkładu wskaźnika k wskazuje na najwyższe wartości potencjału powodziowego w dorzeczu górnej Wisły oraz zlewniach sudeckich dopływów Odry. Jest to zgodne z badaniami J. Stachy i in. (1996 b), prowadzonymi na danych z lat 1951-1990, z których wynika, że najwyższe warstwy odpływu



Ryc. 2. Zróżnicowanie regionalne wskaźnika potencjału powodziowego rzek k w Polsce
Fig. 2. Spatial distribution of the flood potential index k in Poland

pochodzenia opadowego powstają w zlewniach górskich o powierzchni poniżej 300 km².

Na podstawie danych z polskich rzek Fal (2004) ustaliła dwa równania zależności przepływu maksymalnego w funkcji powierzchni zlewni:

$$WWQ=326 A^{0,28} \quad (4)$$

dla zlewni $1600 < A < 194000$ km²

$$WWQ=11,1 A^{0,72} \quad (5)$$

dla zlewni $10 < A < 1600$ km².

W pracy *World Catalogue...* (2003) zamieszczono natomiast równania obliczone dla rzek różnych regionów świata, które mają postać:

$$WWQ=500 A^{0,43} \quad (6)$$

dla zlewni $A > 90$ km²

$$WWQ=100 A^{0,8} \quad (7)$$

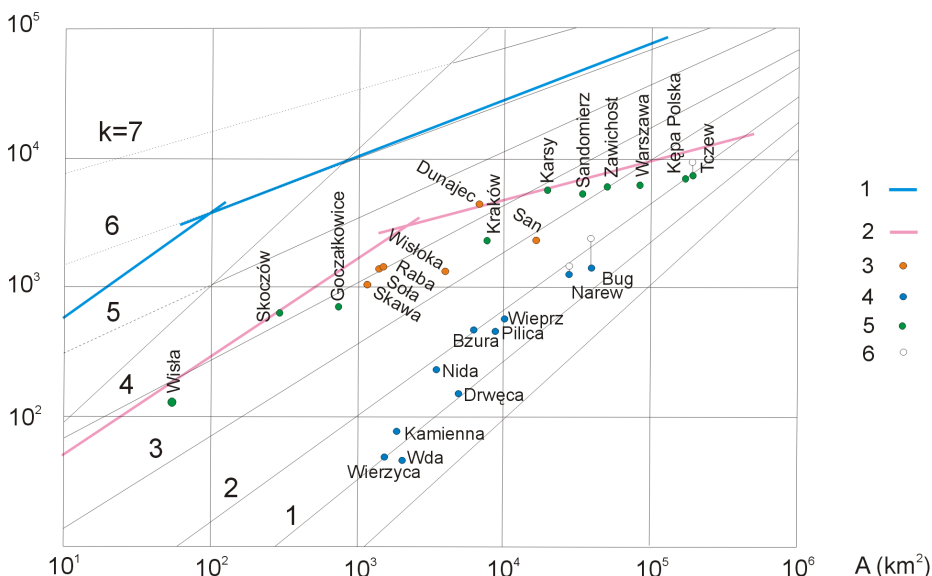
dla zlewni $A < 90$ km².

Fal (2004) posługując się powyższymi równaniami obliczyła, że małe polskie zlewnie o powierzchni 10-100 km² generują przepływy wezbraniowe 10,8-12,2 razy mniejsze niż podobnej wielkości zlewnie na świecie. Odpowiednio dorzecza o powierzchni 100000-190000 km² w Polsce są 8,6-9,5 razy mniej wydajne w generowaniu wezbrań niż dorzecza na świecie.

Wysokość odpływu wezbrań opadowych maleje wraz ze wzrostem powierzchni zlewni, co jest widoczne na rzekach tranzytowych, na których dochodzi do transformacji fal powodziowych wygenerowanych w górnej części zlewni. Taka

prawidłowość może być wyjaśniona faktem zmniejszania się intensywności zasilania opadowego wraz ze wzrostem powierzchni nim objętej, a także obniżaniem przepływu w kulminacji fali powodziowej, w miarę jej spłaszczania z biegiem rzeki. Zjawisko to można prześledzić na ryc. 3., która przedstawia wykres zależności $WWQ(A)$ dla wybranych profili wodowskazowych Wisły i jej dopływów.

Q (m^3/s)



Ryc. 3. Wielkość przepływów maksymalnych w funkcji powierzchni zlewni Wisły i jej wybranych dopływów na skali wskaźnika powodziowości k wg J. Franço u oraz funkcje $WWQ(A)$: 1- rzek świata wg *World Catalogue...* (2003) i 2 – rzek Polski wg Fal (2004), 3 – górskie dopływy Wisły, 4 – nizinne dopływy Wisły, 5 – profile wodowskazowe na Wiśle, 6 – wskaźnik k obliczony dla powodzi roztopowej z 1979 r.

Fig. 3. Relationship between maximum discharge and catchment area of the Vistula and its tributaries shown at the scale of flood potential index k by J. Franço u and a function of $WWQ(A)$: 1- rivers of the world after *World Catalogue...*(2003), 2 – rivers in Poland after Fal (2004), 3 – mountain tributaries of the Vistula River, 4 – lowland tributaries of the Vistula River, 5 – gauging profiles at the Vistula River, 6 – flood potential index k calculated for a snowmelt flood of 1979

Zaznaczono na nim graniczne wartości wskaźnika k ustalone przez A.M. Daganowskiego i W.N. Malinik (2004). Na rysunku naniesiono także graficzną postać równań górnych obwiedni zależności $WWQ(A)$ dla rzek świata i Polski.

W dorzeczu Wisły spośród dużych rzek największy potencjał powodziowy mają Dunajec, Soła, Skawa, Raba. Ta cecha utrzymuje się wzdłuż Wisły do profilu Zawichost zamykającego górną część dorzecza. Wyrażna jest odmienność nizinnych dopływów, które charakteryzują się małym wskaźnikiem powodziowości. Szczególnie niski wskaźnik powodziowości wykazują rzeki pojezierne, gdzie dużą rolę

odgrywa retencja jeziorna. Na ryc. 3 (punkty bez wypełnienia barwą) pokazano, że wartość wskaźnika powodziowości reprezentująca powódź roztopową w 1979 r. na Narwi i Bugu jest wyższa niż w przypadku powodzi opadowych. A. Bartnik i P. Jokieli (2012) nie oddzielają jednak wezbrania roztopowego z 1979 r. od grupy wezbrań opadowych i piszą, że rok ten należy uznać za najbardziej powodziowy. Takie założenie jest dyskusyjne, ze względu na krańcowo różną genezę zjawisk.

Interesującym zagadnieniem jest zmiana czasowa wskaźnika powodziowości. W pracy Stachy i in. (1996 a) analizowano na podstawie danych z lat 1921-1991, czy istnieje czasowa tendencja zmian w pojawianiu się wód wielkich w Polsce. Uzyskany wynik wskazywał, że we wszystkich analizowanych profilach, za wyjątkiem Soły w Żywcu, notowano malejącą tendencję w przebiegu największych rocznych przepływów. Także w pracy A. Bartnika i P. Jokieli (2012), analiza nowszych danych z lat 1951-2006 wskazuje na brak trendu w częstotliwości i wielkości wezbrań.

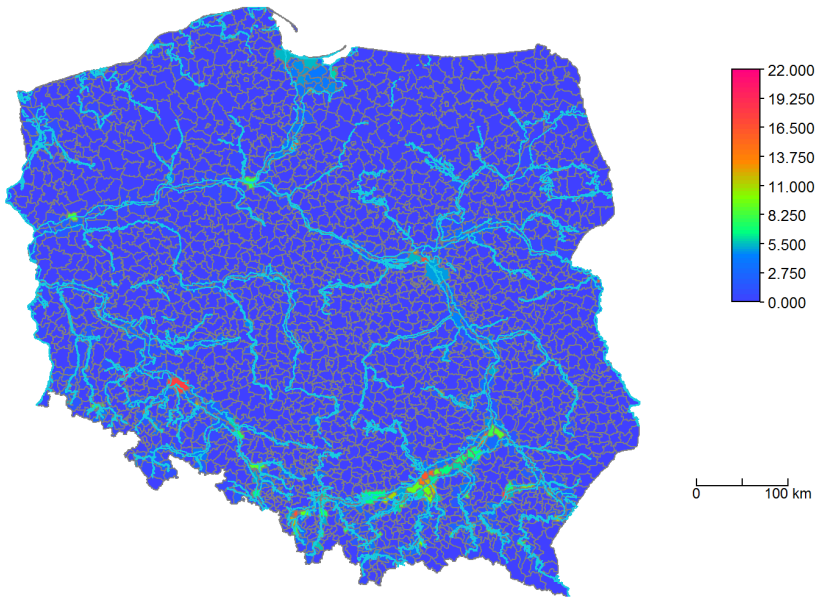
Z badań E. Żmudzkiej (2007, 2010), która analizowała rodzaje zachmurzenia nad Polską w latach 1966-2000, wynika natomiast, że istotnie zmieniła się częstość pojawiania się konwekcyjnych chmur opadowych. Jest to skutek zarówno ewolucji warunków cyrkulacyjnych jak i wzrostu temperatury. Ze zmianami w składzie rodzajowym chmur może wiązać się wzrost częstości pojawiania się opadów burzowych, zmniejszenie natomiast przypadków opadów długotrwałych, towarzyszących głównie chmurom warstwowym piętra średniego.

Analiza powodziowości rzek w dorzeczu Wisły wskazuje na odmienność reakcji na opad zlewni górskich od nizinnych, a także zmianę wskaźnika powodziowości z biegiem Wisły. Ustalenie jednego równania dla wszystkich rzek w Polsce jest więc uproszczeniem, które może być stosowane np. w celu porównań regionalnych, między zlewniami z różnych częściach świata.

Górna obwiednia punktów $WWQ(A)$ może być uznana za przybliżenie maksymalnego wiarygodnego wezbrania, jednak tylko w przypadku wezbrań opadowych. Na przykładzie zlewni nizinnych pokazano, że wezbrania roztopowe dają zawyżone wartości WWQ , które ze względu na swoją genezę powinny być traktowane osobno.

EKSPOZYCJA GMIN NA ZAGROŻENIE POWODZIOWE

Interesujące jest porównanie potencjału powodziowego rzek Polski z ekspozycją na zagrożenie powodziowe. W celu pokazania ekspozycji obliczono procentowy udział obszarów zabudowanych leżących w zasięgu powodzi w powierzchni gmin. W ten sposób uzyskano względny wskaźnik obciążenia gmin zagrożeniem powodziowym. Powierzchnię obszarów zabudowanych znajdujących się w strefach zalewowych obliczono z przecięcia warstwy zabudowy pokazanej na mapach BDO z mapą zasięgu powodzi powstałą z połączenia map wstępnej oceny ryzyka powodziowego (WORP 2011) oraz mapy obszarów zagrożonych podtopieniami



Ryc. 4. Procentowy udział powierzchni zabudowy zlokalizowanej w strefach zagrożenia powodziowego w powierzchni gmin w Polsce

Fig. 4. Ratio of the settlement located within the flood range area to the area of municipalities in Poland

w Polsce, (PIG 2007). Wynik połączenia informacji z tych warstw tematycznych pokazano na ryc. 4.

Analiza mapy wykazuje, że szczególnie eksponowanym na zagrożenie powodziowe są obszary położone w dolinach dużych rzek w ich górnym biegu, a duży potencjał powodziowy przenosi się też wzdłuż rzek tranzytowych, wstępuje także w delcie Wisły. Podejmowanie decyzji dotyczących redukcji ryzyka powodziowego powinno zatem uwzględniać nie tylko potencjał powodziowy, lecz także częstość występowania powodzi i ekspozycję na zagrożenie powodziowe.

PODSUMOWANIE

Przedstawione w tekście miary potencjału powodziowego i względnej ekspozycji gmin na niebezpieczeństwo powodziowe mogą znaleźć zastosowanie przy konstrukcji bardziej złożonych wskaźników. Potencjał powodziowy jest związany z parametrem powierzchni zlewni, a więc nie może być w prosty sposób interpolowany. Podobne ograniczenie dotyczy wskaźnika względnej ekspozycji gmin na niebezpieczeństwo powodziowe, wartość wskaźnika jest przywiązana do analizowanej jednostki terytorialnej. Obydwie miary mogą być jednak integrowane w granicach większych jednostek, np. regionów wodnych, co umożliwi ich porównywanie i podejmowanie decyzji w zarządzaniu ryzykiem powodziowym.

Podziękowanie

Wyniki prezentowane w tym opracowaniu zostały uzyskane dzięki wsparciu finansowemu z Narodowego Centrum Nauki w ramach projektu badawczego „Zróżnicowanie przestrzenne wrażliwości społeczeństwa informacyjnego na zagrożenia naturalne w Polsce” (DEC – 2011/03/B/HS4/04933).

Literatura

- Atlas posterunków wodowskazowych dla potrzeb Państwowego Monitoringu Środowiska, 1996, Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa.
- Balcerski W., 1951, Zagadnienie powodziowe dorzecza Wisły oraz koncepcja rozwiązania tego zagadnienia za pomocą zbiorników, *Gospodarka Wodna*, 10, 367-412.
- Bartnik A., Jokiel P., 2008, Odplywy maksymalne i indeksy powodziowości rzek półkuli północnej, *Przegląd Geograficzny*, T. 80, z. 3, 361-383.
- Bartnik A., Jokiel P., 2010, Maksymalne przepływy i odpływy w Polsce w latach 1951-2006, [w:] A. Magnuszewski (red.) Hydrologia w ochronie i kształtowaniu środowiska, *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska*, PAN, nr. 69, 43-53.
- Bartnik A., Jokiel P., 2012a, Indeksy powodziowości (Francou-Rodiera) i indeksy wysokiej wody w Karpatach i na nizinach, w przekroju wieloletnim, *Gospodarka Wodna*, 5, 204-208.
- Bartnik A., Jokiel P., 2012b, Geografia wezbrań i powodzi rzecznych, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Byczkowski A., 1999, Hydrologia, T. 2, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Chomicz K., 1971, Struktura opadów atmosferycznych w Polsce, *Prace PIHM*, 1.
- Daganowski A. M., Malinik V. N., 2004, Gidrosfera Zemli. Gidrometeoizdat, Sankt-Petersburg.
- Dębski K., 1959, Hydrologia kontynentalna, Wyd. Kom., Warszawa.
- Dobrowolski A., Ostrowski J., Kondzielski A., Zaniewska M., 2007, Historyczne i współczesne regiony występowania katastrofalnych powodzi w Polsce, [w:] J. Szkutnicki, U. Kossowska-Cezak, E. Bogdanowicz, M. Ceran (red.) Cywilizacja i żywy świat, Monografie IMGW, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, Warszawa, 147-156.
- Dorzecze Wisły – monografia powodzi maj-czerwiec 2010, 2011, M. Maciejewski, M. Ostojski, T. Walczykiewicz. (red.), IMGW, Warszawa.
- Fał B., 2004, Maksymalne przepływy rzek polskich na tle wartości zaobserwowanych w różnych rzekach świata, *Gospodarka Wodna*, 5, 188-192.
- Gutry-Korycka M., Woronko D., Suchożębski J., 2009, Uwarunkowanie regionalne maksymalnych prawdopodobnych przepływów rzek polskich, *Prace i Studia Geograficzne*, 43, 25-48.
- Kupczyk E., Suligowski R., 1997, Statystyczny opis struktury czasowej opadów atmosferycznych jako elementu wejścia do modeli hydrologicznych, [w:] *Przewidywanie opadów i wezbrań o zadanym okresie powtarzalności*, U. Soczyńska (red.), Wyd. UW, Warszawa, 17-82.
- Kupczyk E., Suligowski R., Kasprzyk A., 2005, Typowe warunki meteorologiczne pojawiania się wysokich opadów i wezbrań rzek zachodnich Beskidów i środkowych Sudeków, [w:] *Efemerydalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, E. Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki (red.), Ser. Monografie, IMGW, Warszawa, 131-152.

- Kupczyk E., Suligowski R., 2011, Typy opadów deszczu w terminologii hydrologicznej, *Przegląd Geofizyczny*, 3-4, 235-245.
- Lambor J., 1971, *Hydrologia inżynierska*, Arkady, Warszawa.
- Lenart W., 1993, Opad atmosferyczny, [w:] U. Soczyńska (red.) *Podstawy hydrologii dynamicznej*, Wyd. UW, Warszawa, 101-116.
- Mapa obszarów zagrożonych podtopieniami w Polsce, 2007, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Ozga-Zielińska M., Ozga-Zieliński B., 2003, Powodziogenność rzek jako miara zagrożenia obiektów hydrotechnicznych i ustalania stref przeciwpowodziowych, *Gospodarka Wodna*, 1, 10-17.
- Ozga-Zieliński B., Szkutnicki J., Kadłubowski A., Chudy Ł., 2010, Wisła w Warszawie – wybrane problemy hydrologiczne, *Gospodarka Wodna*, 12, 490-493.
- Rodier J.A., Roche M., 1984, World Catalogue of Maximum Observed Floods, IAHS Publ., no. 143.
- Sivapalan M., 2005, Pattern, Process and Function: Elements of a Unified Theory of Hydrology at the Catchment Scale, [w:] M.G. Anderson (red.) *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, John Wiley & Sons. Ltd., 193-219.
- Stachy J., Fal B., Dobrzyńska I., Hołdakowska J., 1996 a, Wezbrania rzek polskich w latach 1951-1990, cz. I., *Gospodarka Wodna*, 9, 261-268.
- Stachy J., Fal B., Dobrzyńska I., Hołdakowska J., 1996 b, Wezbrania rzek polskich w latach 1951-1990, cz. II., *Gospodarka Wodna*, 10, 296-301.
- Suligowski R., 2004, Struktura czasowa i przestrzenna opadów atmosferycznych w Polsce. Próba regionalizacji, *Prace IG AŚ Kielce*, nr 12.
- World Catalogue of Maximum Observed Floods, 2003, Hershy R. (red.) IAHS Publ., 284, Wallingford.
- WORLD 2011, Wstępna ocena ryzyka powodziowego, IMGW, Warszawa
- Żmudzka E., 2007, Zmienność zachmurzenia nad Polską i jej uwarunkowania cyrkulacyjne (1951-2000), Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Żmudzka E., 2010, Zmiany częstości występowania chmur opadowych w Polsce (1966-2000), [w:] A. Magnuszewski (red.) *Hydrologia w ochronie i kształtowaniu środowiska, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, nr. 69, 71-80.

Summary

In the paper it has been proposed application of the flood potential index to show regional differences of the flood danger in Poland. The flood potential index k has been calculated according to J. Françou. The highest values of the k index have been found in the mountain tributaries of Vistula River and Oder. This corresponds to previous studies performed by Stachy et al. (1996 b), based on data from the period 1951-1990. In the Vistula catchment the highest flood potential index have Dunajec, Soła Skawa, Raba rivers. High flood potential index continues down the upper Vistula River until the Zawichost gauge. Generally Polish rivers have lower flood potential than the most of the rivers of the world. In the context of flood potential index it has been shown exposition to the flood calculated as a per-

centage of settlement located in the flood range to the total area of municipalities (gmina). Analysis of the map shows that the highest exposition to the flood danger is characteristic for the upper parts of the river valleys, it continues down the transit reaches of the major rivers, and occurs also in the delta of the Vistula River. Proposed metrics of the flood potential and relative exposition of the municipalities to a flood danger can be used for creation of more complex indices, they can be also integrated in a bigger spatial units and used in a plans of the flood risk reduction.