



Zastosowanie elementów teorii wartości ekstremalnych do oceny dynamiki ryzyka powodziowego w dorzeczu Odry na przykładzie stacji hydrologicznej w m. Trestno

Łukasz Szalata^{}, Łukasz Kuźmiński^{**}, Jerzy Zwoździak^{***}*

^{}Politechnika Wroclawska*

*^{**}Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu*

*^{***}IMGW-PIB Oddział Warszawa*

1. Wstęp

Od kilkunastu lat jesteśmy świadkami katastrofalnych powodzi nawiedzających Europę, a w tym Polskę. W istotny sposób przyczyniają się one do strat w zakresie społecznym, gospodarczym oraz kulturowym. Długookresowe prognozy zmuszają władze krajów Unii Europejskiej przygotować się do nasilania tych zjawisk. W odpowiedzi na to zagadnienie w okresie ostatnich kilku lat na poziomie Unii Europejskiej podjęto szereg działań mających na celu przygotowanie Państw Członkowskich do walki z klęskami powodziowymi.

W związku z powyższym działania prewencyjne mające swoje ekonomiczne i społeczne uzasadnienie zostały przeniesione do prawodawstwa unijnego w zakresie gospodarowania wodami (Dyrektywa 2000/60/WE) oraz Dyrektywy Zarządzania Ryzykiem Powodziowym (Dyrektywa 2007/60/WE) oraz transpozycja zapisów przedmiotowych Dyrektyw do Ustawy Prawo Wodne.

Należy nadmienić, iż jednym z regionów najbardziej poszkodowanych przez powódzie w okresie ostatnich kilkunastu lat jest obszar dorzecza Odry.

Nadrzędnym celem przedmiotowego artykułu jest określenie zastosowania elementów teorii wartości ekstremalnych do oceny dynamiki ryzyka w dorzeczu Odry na przykładzie charakterystyk hydrologicznych uzyskanych ze stacji hydrologicznej w m. Trestno. Dodatkowo autorzy postawili sobie za cel zbadanie zmienności ryzyka powodziowego z wykorzystaniem w/w metod na przykładzie wybranej lokalizacji na terenie Regionu Wodnego Środowej Odry.

2. Ogólna charakterystyka zdarzeń powodziowych w dorzeczu Odry ze szczególnym uwzględnieniem Regionu Wodnego Środowej Odry

Dorzecze Odry zajmuje łączną powierzchnię 118 861 km², z czego na terytorium Polski znajduje się 118 015 km², co stanowi 38% powierzchni kraju. Obszar dorzecza swoim zasięgiem obejmuje południowo-zachodnie, zachodnie oraz północno-zachodnie tereny Polski (KZGW, 2015).

Na podstawie analizy powodzi historycznych należy stwierdzić, że na obszarze dorzecza Odry powodzie występują przede wszystkim w półroczu letnim (od V do X). Główną przyczyną powodzi rzecznych na obszarze regionu wodnego Górnej Odry i Środkowej Odry były opady deszczu, często o charakterze rozlewnym, które powodowały największe powodzie. Znacznie częściej niż w regionie wodnym Górnej Odry i Środkowej Odry wezbrania powodziowe roztopowe występowały w obszarze regionu wodnego Warty oraz Dolnej Odry i Przymorza Zachodniego, w szczególności na dopływach największych rzek w regionie. Deszcze o charakterze nawalnym przyczyniały się do powstawania tzw. „szybkich powodzi”, szczególnie na górskich dopływach większych rzek, powodując wysokie straty i bardzo często ofiary śmiertelne. W regionach wodnych Warty i Środkowej Odry często pojawiały się powodzie roztopowe i zatorowe. W przypadku regionu wodnego Dolnej Odry i Przymorza Zachodniego często występują powodzie od strony morza (zjawisko cofki) oraz rzeczne zatorowe.

Jedne z największych powodzi w dorzeczu Odry wystąpiły w latach: 1903, 1979, 1997 oraz 2010.

W regionie wodnym Środkowej Odry wysoki poziom zintegrowanego ryzyka powodziowego wystąpił w zlewni Odry od Kanału Gliwickiego do Nysy Łużyckiej oraz zlewniach Bobru, Nysy Kłodzkiej i Kaczawy.

3. Zarządzanie ryzykiem powodziowym – narzędzie operacyjne w ograniczeniu konsekwencji społeczno–gospodarczych

W całym dorzeczu Odry problemem jest niedostateczny system osłony hydrologiczno-meteorologicznej, służący prognozowaniu i ostrzeżeniu społeczeństwa przed nadchodzącym zagrożeniem.

Istotnym problemem w skali całej Polski jest zbyt mała świadomość społeczna w zakresie zagrożenia powodziowego oraz niedostateczna znajomość metod ograniczania ryzyka powodziowego na etapie przygotowania, prowadzenia akcji przeciwpowodziowej i usuwania skutków powodzi.

W Ustawie Prawo Wodne w artykule 9 powódź rozumiana jest, jako wezbranie wody w ciekach naturalnych, zbiornikach wodnych, kanałach lub na morzu, podczas którego woda po przekroczeniu stanu brzegowego zalewa doliny rzeczne albo tereny depresyjne i powoduje zagrożenie dla ludności lub mienia, co stanowi bardzo istotny parametr w zakresie prewencji i metod zarządzania ryzykiem powodziowym. Opracowanie planów gospodarowania wodami w dorzeczach zgodnie z wymogami dyrektywy 2000/60/WE oraz planów zarządzania zagrożeniem powodziowym zgodnie z niniejszą dyrektywą stanowią elementy zintegrowanego systemu gospodarowania wodami w dorzeczach.

Celem wstępnej oceny ryzyka powodziowego jest wyznaczenie obszarów narażonych na niebezpieczeństwo powodzi, czyli obszarów, na których istnieje znaczące ryzyko powodziowe lub na których wystąpienie dużego ryzyka jest prawdopodobne. Należy podkreślić, iż ryzyko powodziowe rozumiane jest, jako kombinacja prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi i negatywnych skutków powodzi dla zdrowia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej (www.powodz.gov.pl 2016).

Wstępną ocenę wykonuje się w oparciu o dostępne lub łatwe do uzyskania informacje, natomiast cały system uwzględnia poza parametrami technologicznymi również działania w zakresie wzrostu świadomości ekologicznej oraz znajomości potencjalnej skali ryzyka na otoczenie zewnętrzne.

Głównym celem strategicznym zarządzania ryzykiem powodziowym jest zahamowanie wzrostu i ograniczenie negatywnych skutków

powodzi dla zdrowia i życia ludzi, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej, poprzez podjęcie w pierwszej kolejności szeregu działań nietechnicznych, ograniczających zagrożenie powodziowe, a także wrażliwość obszarów szczególnego zagrożenia powodzią oraz działań wzmacniających wszystkie elementy systemu zarządzania ryzykiem powodziowym.

Plan Zarządzania Ryzykiem Powodziowym (PZRP) dla obszaru dorzecza Odry tworzy podstawy skutecznego zarządzania ryzykiem powodziowym. Wnioski płynące z przygotowanego planu będą także podstawą dla stworzenia katalogu dobrych praktyk w dziedzinie ochrony przeciwpowodziowej i wpłyną na rozwój branży, przyszłą strukturę zarządzania majątkiem oraz metodykę priorytetyzacji działań inwestycyjnych i wspomagających w postaci katalogu instrumentów prawnych, ekonomicznych i edukacyjnych.

Zgodnie z art. 10 ust. 1 Dyrektywy 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23.10.2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim (Dz. Urz. UE L. 288/27 z 6.11.2007) państwa członkowskie podają do publicznej wiadomości wstępne oceny ryzyka powodziowego, mapy zagrożenia powodziowego, mapy ryzyka powodziowego oraz plany zarządzania ryzykiem powodziowym. Art. 10 ust. 2 Dyrektywy Powodziowej wymaga natomiast zachęcania zainteresowanych stron do aktywnego udziału w opracowaniu, przeglądzie i aktualizacji planów zarządzania ryzykiem powodziowym.

Do przeprowadzenia analiz rozkładu przestrzennego zagrożenia i ryzyka powodziowego oraz analiz strat wykorzystano numeryczną mapę zagrożenia powodziowego oraz mapę ryzyka powodziowego. Dla obszaru dorzecza Odry analizy prowadzono uwzględniając 94 rzeki, Cieśninę Świna, Zalew Szczeciński oraz 6 odcinków Przymorza.

W konsekwencji toku myślowego należy wyraźnie podkreślić, iż koszty społeczne, środowiskowe i gospodarcze wywoływane skutkami zdarzeń powodziowych są bardzo wysokie, a koszty przeciwdziałania potencjalnym skutkom powodzi są policzalnie mniejsze, zatem jedna z podstawowych zasad w ochronie środowiska, tj. zasada prewencji ma logiczne uzasadnienie nie tylko w realiach ekonomicznych, ale w szerokim zakresie zarządzania ryzykiem środowiskowym i wdrażaniu metod ograniczania jego.

Specyfika powstałych strat jest różnorodna i obejmuje m.in.: zniszczenia w zabudowie brzegowej, procesy erozyjne, wypłylenie (zamulenie) koryta Odry (ponad 140 tys. m³), zatory w korytach cieków, zniszczenia murów oporowych, uszkodzenia budowli hydrotechnicznych (instalacje: automatyka, elektryka, hydraulika na stopniach wodnych rzeki Odry), budynki i drogi dojazdowe, uszkodzenia obwałowania (w tym również budowli wałowych), zniszczenia na realizowanych zadaniach.

Reasumując przejście dwóch fal wezbraniowych na Odrze kosztowało dolnośląskie samorządy w sumie ponad 144 mln zł. Największe straty województwo poniosło w infrastrukturze. Według wstępnych szacunków koszt odbudowy dróg, naprawy kanalizacji i urządzeń hydrologicznych może wynieść nawet 132 mln zł.

Prezentowane w przedmiotowym artykule metody szacowania ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego stanowią aplikacyjne narzędzie wspomagające w sposób skuteczny proces zarządzania ryzykiem powodziowym oraz ograniczania jego potencjalnych skutków.

Przedmiotowe narzędzie szacowania zagrożenia powodziowego na badanych obszarach stanowi doskonale uzupełnienie dotychczas stosowanych metod prognostycznych, a przedstawione w dalszej części artykułu wyniki badań wskazują na dynamiczny charakter ryzyka powodziowego na przestrzeni przyjętego do badań horyzontu okresowego (1981-2013).

4. Teoria wartości ekstremalnych – wybrane zagadnienia

4.1. Maksima

Zakładamy, że obserwacje y_i są to maksima, tzn. że,

$$y_i = \max\{x_{i1}, \dots, x_{im}\}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

gdzie x_{ij} mogą nie być obserwowalne. W przypadku, kiedy x_{ij} są obserwowalne, wtedy wyselekcjonowanie maksimum z pewnych zbiorów m – elementowych jest jedną z form selekcji górnych wartości ekstremalnych ze zbioru danych. Metoda ta nazywana jest metodą blokowa lub metoda Gumbela (Thomas & Reiss 2007).

W przypadku danych w postaci parametrów hydrometrycznych stosuje się bloki o rozmiarach: roku, pół roku, kwartału lub miesiąca. Rozmiar bloku nie może być zbyt mały, żeby nie dopuścić do wystąpie-

nia zależności pomiędzy maksymalnymi wartościami z sąsiednich bloków czasowych. Za minimalną graniczną wartość rozmiaru bloku czasowego, dla którego można przyjąć niezależność sąsiadujących ze sobą wartości maksymalnych uznaje się 10 dni (England i in. 2004).

Można spotkać się również z przypadkiem, kiedy to w okresie długotrwałych wezbrań może pojawić się zagrożenie wystąpienia zależności nawet pomiędzy maksimami z sąsiednich bloków czasowych. W takich sytuacjach, kiedy pojawi się zależność pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi należy do analizy rozkładów wartości maksymalnych zastosować dystrybuanty wartości ekstremalnych dla zależnych ciągów zmiennych losowych (Kuźmiński 2013).

Na uwagę w tym miejscu zasługuje jeszcze jeden fakt, a mianowicie, że obserwacje y_i są realizacjami zmiennej losowej M_m określonej przez wzór:

$$M_m = \max\{X_1, \dots, X_m\} \quad (2)$$

4.2. Probabilistyczne modele wartości ekstremalnych

W analizie dotyczącej rozkładów maksimów danych hydrometrycznych sugeruje się stosować w pierwszej kolejności rozkład Gumbela, który jest jednym z trzech typów rozkładów wartości ekstremalnych (Yue i in. 1999). Raport [IACWD (U.S. Interagency Advisory Committee on Water Data – Hydrology Subcommittee) 1983] rekomenduje rozkład III Persona z logarytmiczno – normalną transformacją dla danych długookresowych do przewidywania zjawisk powodziowych oraz rozkład logarytmiczno-normalny.

Zgodnie z twierdzeniem dotyczącym typów rozkładów wartości ekstremalnych (Leadbetter i in. 1983) rozkłady wartości ekstremalnych mają jedną z trzech dystrybuant danych następującymi wzorami:

$$\begin{aligned} \text{Gumbel (EV0 lub Typ I): } & G_0(x) = \exp(-e^{-x}), \quad -\infty < x < \infty \\ \text{Frechet (EV1 lub Typ II): } & G_1(x) = \exp(-x^{-\alpha}), \quad \text{dla pewnego } \alpha > 0, \quad x > 0 \\ \text{Weibull (EV2 lub Typ III): } & G_2(x) = \exp(-(-x)^\alpha), \quad \text{dla pewnego } \alpha > 0, \quad x \leq 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Rodzinę dystrybuant granicznych rozkładów wartości maksymalnych wyszczególnioną we wzorze (3) można rozszerzyć wprowadzając

parametryzację do wzorów dystrybuant. Jako parametry wprowadza się parametr położenia μ i parametr skali σ . Przekształcenie polegające na dodaniu wymienionych wyżej parametrów odbywa się zgodnie z poniższym twierdzeniem.

Twierdzenie 1. Jeśli zmienna losowa X ma dystrybuantę F , wtedy zmienna losowa $(\mu + \sigma X)$ ma dystrybuantę $F_{\mu,\sigma}(x) = F((x - \mu) / \sigma)$ (Thomas & Reiss 2007).

Na mocy tego twierdzenia dystrybuanty dane w (3) po parametryzacji przyjmują postać:

$$\text{Model EV0: } G_{0,\mu,\sigma}(x) = \exp\left(-e^{-(x-\mu)/\sigma}\right) \quad (4)$$

$$\text{Modele EV1 i EV2: } G_{i,\alpha,\mu,\sigma}(x) = G_{i,\alpha}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right), \quad i = 1, 2.$$

Powyższa parametryzacja rodziny dystrybuant rozkładów wartości ekstremalnych w znaczący sposób rozszerza spektrum możliwości związanych z modelowaniem rozkładów wartości ekstremalnych różnorodnych zmiennych losowych. Wykorzystując parametryzowane dystrybuanty rozkładów wartości ekstremalnych można bardzo precyzyjnie wybrać teoretyczną dystrybuantę, która w zadowalającym stopniu opisuje rozkład wartości rozpatrywanej charakterystyki ekstremalnej.

Na potrzeby badań w tym artykule do graficznej prezentacji empirycznych rozkładów maksimów badanych charakterystyk hydrologicznych wykorzystane zostanie powszechnie znane narzędzie, jakim jest dystrybuanta empiryczna (Thomas & Reiss 2007).

4.3. Metody estymacji i testy istotności

Do estymacji parametrów rozkładów wartości ekstremalnych z rodziny rozkładów opisanych wzorem (3) zastosowana została metoda największej wiarygodności. Metoda ta daje efektywne rezultaty w określonych przypadkach. Przypadki te pokrywają się z przypadkami rozpatrywanymi w tej pracy (Kotz & Nadarajah 2005).

Do weryfikacji hipotezy o zgodności badanych rozkładów empirycznych z wybranymi rozkładami teoretycznymi zastosowane zostały następujące testy zgodności: test chi-kwadrat, test Kołmogorowa-Smirnowa oraz test Andersona-Darlinga.

5. Modelowanie ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego w dorzeczu Odry

5.1. Dane hydrometryczne

Do badań w tym opracowaniu wykorzystany został jeden z parametrów hydrometrycznych jakim jest **stan wody** (Bajkiewicz-Grabowska & Mikulski 2011). Zebrane zostały dobowe stany wód zmierzone w stacji hydrologicznej położonej w miejscowości Trestno z okresu od 01.01.1981 do 31.12.2013 r. co daje próbę o liczebności $n = 12\ 053$. Badany okres został podzielony na 3 okresy o długości 11 lat każdy. Okres I to lata 1981-1991, okres II to lata 1992-2002 i okres III to lata 2003-2013. Wykorzystując metodę Gumbela, przytoczoną w poprzednim rozdziale, dla każdego z trzech ustalonych okresów wyselekcjonowane zostały maksima kwartalne dobowych stanów wód zebranych w stacji hydrologicznej w Treźnie. Kolejne kwartały roku mają różną liczbę dni: 90, 91 i 92. Dla uproszczenia w pracy za „kwartał” przyjęto 91 dni. Zmiany wynikające z tego uproszczenia są statystycznie nieistotne dla otrzymanych wyników.

Drugim parametrem hydrometrycznym wykorzystywanym w badaniach dotyczących ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego jest **natężenie przepływu** nazywanym w skrócie **przepływem** i oznaczanym przez Q (Bajkiewicz-Grabowska & Mikulski 2011). Jest to nawet parametr hydrometryczny częściej wykorzystywany do tego typu analiz jaka prowadzona jest w tej pracy. Z uwagi na fakt, iż **stany wody** w rozpatrywanym profilu rzeki (punkt pomiaru, profil wodowskazowy) zależą od przepływów i od wielkości i kształtu przekroju poprzecznego, mocno podatnego na zmiany (rozmywanie lub osadzanie rumowiska, prace regulacyjne zarówno w przekroju jak i na odcinku poniżej) chcąc wykorzystać do badań **stan wody** należy sprawdzić czy stosunek obu parametrów hydrometrycznych w badanym horyzoncie czasowym nie zmienia się w sposób istotny. W niniejszym artykule przyjęto z góry, z powodu braku danych dotyczących wartości dobowych przepływów w badanym punkcie rzeki, że w badanym horyzoncie czasowym stosunek maksimów stanu wody oraz maksimów przepływu w odpowiednich blokach czasowych nie zmienia się w sposób istotny statystycznie.

5.2. Empiryczne i teoretyczne rozkłady prawdopodobieństwa maksimów kwartalnych stanów wód

Wykorzystując empiryczną funkcję dystrybuanty przedstawione zostały wykresy empirycznych dystrybuant dla kwartalnych maksimów dobowych stanów wód dla okresów I, II oraz III (rysunki 1-3).

Przy użyciu metody największej wiarygodności wyestymowane zostały parametry teoretycznych rozkładów z rodziny danej wzorami (3) i (4) optymalnie dopasowanych do empirycznych rozkładów kwartalnych maksimów dobowych stanów wód dla każdego z trzech badanych okresów. Wartości estymatorów parametrów położenia μ , skali σ oraz parametru α zawarte są w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości estymatorów parametrów μ , σ i α optymalnych teoretycznych rozkładów maksimów dla badanych okresów

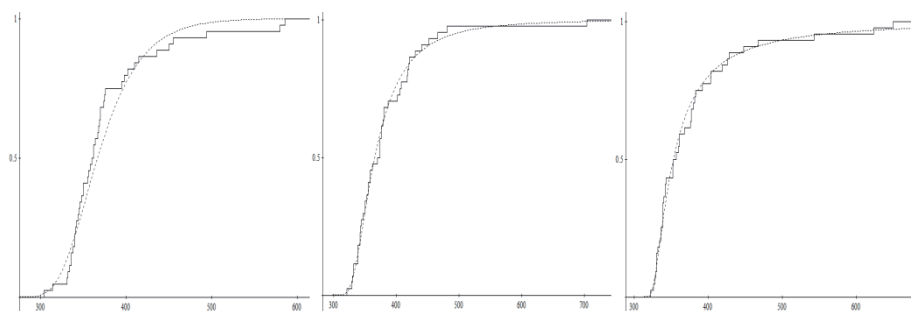
Table 1. The values of the parameter estimates of μ and σ theoretical maxima distribution for the studied periods

Okresy	Wartości estymatorów
1981-1991	$\hat{\mu}_I = 200.91$ $\hat{\sigma}_I = 149.72$ $\hat{\alpha} = 4.87$
1992-2002	$\hat{\mu}_{II} = 270.92$ $\hat{\sigma}_{II} = 83.78$ $\hat{\alpha} = 3.01$
2003-2013	$\hat{\mu}_{III} = 309.89$ $\hat{\sigma}_{III} = 33.84$ $\hat{\alpha} = 1.53$

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunkach 1-3 przedstawione są w kolejności wykresy empirycznych dystrybuant kwartalnych maksimów dobowych stanów wód wraz z teoretycznymi dystrybuantami dla trzech badanych okresów.

Na wykresach empirycznych dystrybuant wraz z optymalnie dopasowanymi funkcjami dystrybuant odpowiednich rozkładów teoretycznych (rys. 1-3) na podstawie oceny wzrokowej widać bardzo dobre dopasowanie wybranych rozkładów teoretycznych do rozkładów empirycznych. W celu potwierdzenia zgodności rozkładów wynikającej z wzrokowej oceny ich wykresów wykonane zostały trzy powszechnie stosowane test zgodności: test zgodności chi-kwadrat, Kołmogorowa-Smirnowa oraz test Andersona-Darlinga. Wyniki testów dla rozkładów z trzech badanych okresów w postaci *p-value* przedstawione w tabeli 2 potwierdzają bardzo wysoką zgodność rozkładów empirycznych z optymalnie dopasowanymi rozkładami teoretycznymi.



Rys. 1-3. Dystrybuanty empiryczne rozkładów kwartalnych maksimów kolejno dla okresów I-III – linia ciągła i dystrybuanty teoretyczne – linia przerywana

Fig. 1-3. The distribution functions of the quarterly maximum for the periods I-III – continuous lines and theoretical distribution functions – the dotted lines

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 2. Wartości p- value trzech testów zgodności dla rozkładów prawdopodobieństwa kwartalnych maksimów dobowych stanów wód w badanych okresach

Table 2. Values of p-value of the three tests for the coherence of the probability distributions for quarterly daily water level maxima

Okres \ Test	Chi-kwadrat	K-S	A - D
1981-1991	$p_v = 0.289$	$p_v = 0.483$	$p_v = 0.675$
1992-2002	$p_v = 0.379$	$p_v = 0.877$	$p_v = 0.983$
2003-2013	$p_v = 0.483$	$p_v = 0.875$	$p_v = 0.978$

Źródło: Opracowanie własne

6. Miary ryzyka zagrożenia powodziowego w dorzeczu Odry – obliczenia

W tym rozdziale wzory dystrybuant teoretycznych optymalnie dopasowanych do rozkładów empirycznych zostaną wykorzystane do oszacowania ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego w trzech badanych okresach.

Miara ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego na danym obszarze zdefiniowana została, jako prawdopodobieństwo przekroczenia określonego poziomu stanu wody (u) przez maksymalny dobowy stan z ustalonego w badaniu horyzontu czasowego. W tym badaniu horyzont czasowy, z którego obliczone zostały maksima dobowych stanów wód

ma długość „kwartału”, a dokładnie 91. Poziom stanu wody, dla którego obliczane będą miary ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego, jest stanem alarmowym dla stacji hydrologicznej w miejscowości Trestno i wynosi $u_A = 450$ cm. W tabeli 4 przedstawione są wyniki obliczeń prawdopodobieństwa przekroczenia stanu alarmowego przez zmienną losową M_{91} będącą maksymalnym kwartalnym dobowych stanem wody dla trzech badanych okresów.

Analizując otrzymane wyniki miar ryzyka w postaci prawdopodobieństw wyraźnie widać tendencję wzrostową zagrożenia powodziowego na badanym obszarze na przełomie przyjętego w badaniu horyzontu czasowego. Ryzyko wystąpienia zagrożenia powodziowego mierzone prawdopodobieństwem przekroczenia stanu alarmowego w latach 1992-2002 jest o 20,1% wyższe aniżeli w poprzednim okresie poddanym badaniu, czyli w latach 1981-1991. Natomiast ryzyko wystąpienia zagrożenia powodziowego w latach 2003-2013 jest wyższe o 11,2% aniżeli w latach 1992-2002.

Tabela 3. Miary ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego w trzech badanych okresach

Table 3. Measure of flood risk occurrence in the three studied periods

Okres	Miara ryzyka	$P(M_{91} > u_A)$
1981-1991		0.0804
1992-2002		0.0966
2003-2013		0.1075

Źródło: Opracowanie własne

Wyniki badań potwierdzają główną hipotezę badawczą tej pracy, że na przełomie ostatnich kilkudziesięciu lat mamy do czynienia z bardzo dynamicznymi zmianami ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego w wybranych częściach dorzecza Odry.

7. Zakończenie

Autorzy opracowania mając na uwadze zagrożenia powodziowe, których byli naocznymi świadkami i rozumiejąc skalę i społeczne oraz gospodarcze konsekwencje katastrof powodziowych podjęli próbę przygotowania narzędzia wspierające prewencyjny system działań przeciwpowodziowych.

Nadrzędnym celem przedmiotowego artykułu polegający na przedstawieniu metod szacowania ryzyka powodziowego opartych na ekstremalnych rozkładach wybranych charakterystyk hydrologicznych został zrealizowany na przykładzie dobowych danych hydrologicznych pochodzących z horyzontu czasowego 1981-2013 zebranych w stacji hydrologicznej w miejscowości Trestno w 242,1 km rzeki Odry. Otrzymane wyniki badań wskazują na wyraźny wzrost ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego na badanym obszarze.

Przedmiotowe ryzyko mierzone prawdopodobieństwem przekroczenia stanu alarmowego w latach 1992-2002 jest o 20,1% wyższe, aniżeli w latach 1981-1991, natomiast ryzyko to w latach 2003-2013 jest wyższe o 11,2% od ryzyka z poprzednich jedenastu lat. Wyniki te wskazują na bardzo dynamiczny charakter ryzyka powodziowego na badanym obszarze. Wskazują one również na skuteczną rolę prezentowanych w pracy metod szacowania ryzyka powodziowego w szeroko rozumianym procesie zarządzania ryzykiem powodziowym.

Autorzy na podstawie uzyskanych wyników wykazali, iż zastosowanie rozkładów maksimów do ryzyka powodziowego stanowić będzie efektywne narzędzie wspierające trzy etapowy proces planowania na wypadek wystąpienia powodzi zgodnie z założeniami Dyrektywy 2007/60/WE poprzez:

- możliwość prostego i szybkiego oszacowania ryzyka powodziowego dla wybranych obszarów,
- aktualizację map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego,
- klasyfikacji obszarów pod kątem wielkości ryzyka powodziowego,
- możliwość implementacji prezentowanych narzędzi na skalę krajową oraz międzynarodową.

Badania nad przedmiotowym zagadnieniem ze względu na rangę społeczno-gospodarczą oraz uzyskane zadowalające wyniki przedmiotowej pracy będą kontynuowane przez autorów w kolejnym cyklu badań.

Autorzy mają świadomość, że w celu uzyskania kompleksowości w wynikach prowadzonych badaniach nad oceną ryzyka powodziowego z wykorzystaniem rozkładów maksimów charakterystyk hydrologicznych należy dodatkowo oprócz stanów wód mierzonych w *cm* wykorzystać w badaniach również drugą z charakterystyk hydrologicznych, jaką jest

przepływ mierzony w m^3/s . Wykorzystanie w badaniach dodatkowo danych w postaci przepływów pozwoli na ocenę ryzyka powodziowego nie tylko opartego na wysokości wskazań, ale również uwzględniającego obszary otoczenia punktu, z którego pochodzą dane hydrologiczne. Badania z uwzględnieniem danych w postaci przepływów pojawią się w kolejnych pracach z tego cyklu.

Literatura

- Bajkiewicz-Grabowska, E. i Mikulski, Z. (2011). *Hydrologia ogólna*. Warszawa: PWN.
- Bednarczyk, S., Jarzębińska, T., Mackiewicz, S. i Wołoszyn, E. (2006). *Vademecum Ochrony Przeciwpowodziowej*. Gdańsk: KZGW.
- England, K., Frigessi, A. i Hidsal, H. (2005). Practical Extreme Value Modelling of Hydrological Floods and Droughts: A Case Study. *Extremes*, 7(1), 5-30.
- England, K., Hidsal, H. i Frigessi, A. (2004). Practical Extreme Value Modeling of Hydrological Floods and Droughts: A Case Study. *Extremes*, 5-30.
- Gramm-Szatkiwicz, K. (2015). Wdrożenie Dyrektywy Powodziowej w Unii Europejskiej. *Przegląd komunalny*.
- Hosking, J. (1984). Testing whether the shape is zero in the generalized extreme value distribution. *Biometrika*, 71, 367-374.
- Kotz, S. i Nadarajah, S. (2005). *Extreme value distributions. Theory and Applications*. London: Imperial College Press.
- Kuźmiński, Ł. (2013). Graniczne dystrybuanty wartości ekstremalnych dla zależnych ciągów zmiennych losowych. *Ekonometria*, 2(29). *Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*.
- Kuźmiński, Ł. (2013). The applications of the kernel densities to the modeling the generalized Pareto distributions. *Ekonometria* 3(41), 55-64.
- KZGW. (2015). *Plan zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszaru dorzecza Odry*. Warszawa.
- Leadbetter, M., Lindgren, G. i Rootzen, H. (1983). *Extremes and related properties of random sequences and processes*. New York : Springer-Verlag.
- Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej. (2000, Październik 23). Parlament Europejski i Rada.
- Smith, R. (1985). Maximum likelihood estimation in a class of nonregular cases. *Biometrika*, 69-90.

- Thomas, M. i Reiss, R. (2007). *Statistical Analysis of Extreme Value with Applications to Insurance, Finance, Hydrology and Other Fields*. Basel: Birkhauser.
- www.powodz.gov.pl. (2016, Marzec).
- www.wroclaw.rzgw.gov.pl. (2016, Marzec).
- Yue, S., Bobe, B., Legendre, P. i Bruneau, P. (1999). The Gumbel mixed model for flood frequency analysis. *J. Hydrol.*, 88-100.
- Zwoździak, J. (1995). *Metody prognozy i analizy stężeń zanieczyszczeń w powietrzu w Regionie Czarnego Trójkąta*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- Zwoździak, J. (2015, Luty). Plany zarządzania ryzykiem powodziowym. *Przegląd komunalny*.

Application of the Extreme Values Theory to Assess the Dynamics of Flood Risk in the River Odra Basin on the Example of the Hydrological Station in Town Trestno

Abstract

The aim of the article is to assess the variability of the floods' risk with the use of maximal values distribution. In the authors' researches, the hydrometric data in the form of daily water levels from the period of years 1981-2013 will be used. The collected data come from the hydrological station in town Trestno, located in the 242.1 km of Odra River (in southern-west Poland). For the purpose of estimating the flood risk, quarterly highs from the collected data have been selected. Authors have taken the probability of exceeding the alarm states for the analyzed section of the river as a measure of the risk of appearing floods. This risk has been calculated by using the theoretical cumulative distribution of quarterly highs of the water levels. The Frechet distribution was used in the studies as well.

At the same time, the article has paid significant attention to the possibility of adapting the shown solutions for the integrated flood risk management process in accordance with the current National and European legislations.

Słowa kluczowe:

ryzyko powodziowe, stany wód, rozkłady wartości maksymalnych, rozkład Frecheta

Key words:

flood risk, water levels, extreme value distributions, Frechet distribution