

PRACE NAUKOWE

Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

Nr 454

**Ekonomika ochrony środowiska
i ekoinnowacje**



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2016

Redakcja wydawnicza: Elżbieta Kożuchowska
Redakcja techniczna i korekta: Barbara Łopusiewicz
Łamanie: Małgorzata Myszkowska
Projekt okładki: Beata Dębska

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania
znajdują się na stronach internetowych
www.pracnaukowe.ue.wroc.pl
www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Publikacja udostępniona na licencji Creative Commons
Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 3.0 Polska
(CC BY-NC-ND 3.0 PL)



© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2016

ISSN 1899-3192
e-ISSN 2392-0041
ISBN 978-83-7695-621-3

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Zamówienia na opublikowane prace należy składać na adres:
Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
ul. Komandorska 118/120, 53-345 Wrocław
tel./fax 71 36 80 602; e-mail: econbook@ue.wroc.pl
www.ksiegarnia.ue.wroc.pl

Druk i oprawa: TOTEM

Spis treści

Wstęp.....	9
------------	---

Część 1. Współczesne problemy ekonomiki ochrony środowiska

Anna Bisaga: Zarządzanie funkcją środowiskową w rolnictwie – źródło nowych rent gospodarstw rolnych / The management of the environmental function in agriculture – the source of new pensions of agricultural households.....	13
Zbigniew Brodziński, Katarzyna Brodzińska: Uwarunkowania rozwoju rynku zielonych miejsc pracy na przykładzie podmiotów zajmujących się przetwórstwem biomasy na cele energetyczne / Conditions of green jobs market development based on the example of businesses processing biomass for energy purposes.....	22
Agnieszka Ciechelska: Analiza skuteczności i zrównoważenia polskiego systemu gospodarki odpadami komunalnymi / Analysis of the effectiveness and sustainability of the Polish municipal waste management system.....	31
Ilisio Manuel de Jesus, Natalia Sławińska: Kształtowanie się cen gruntów rolnych w Polsce na tle wybranych krajów Unii Europejskiej / Price formation of agricultural land in Poland on the background of selected countries of the European Union.....	45
Anna Dubel: Efektywność ekonomiczna inwestycji na obszarach szczególnego zagrożenia powodzią / Economic efficiency of investment on areas of special flood-related hazards.....	52
Piotr Jeżowski: Techniczne uwarunkowania rozwoju gospodarki niskoemisyjnej w Polsce / Technical conditions for development of the low emission economy.....	63
Waldemar Kozłowski: Ocena wskaźnikowa inwestycji infrastruktury wodno-kanalizacyjnej w aspekcie zrównoważonego rozwoju / Evaluation of investment ratio water supply and sewerage infrastructure in the context of sustainable development.....	79
Barbara Kryk: Rachunek korzyści ekologicznych z inwestycji termomodernizacyjnych na przykładzie spółdzielni mieszkaniowych województwa zachodniopomorskiego / Account of environmental benefits from thermo-modernization investment on the example of cooperative housing of West Pomeranian Voivodeship.....	92

Łukasz Kuźmiński, Łukasz Szalata, Bogusław Fiedor, Jerzy Zwoździak: Ocena zmienności ryzyka zagrożenia powodziowego w dorzeczu Odry na podstawie rozkładów półrocznych maksimum stanów wód / The rating of volatility of flood hazard risk in the basin of the Oder River based on biannual distributions of maximums of water levels.....	102
Romuald Ogrodnik: Wskaźniki efektywności działalności środowiskowej kopalń węgla kamiennego / Environmental performance indicators of hard coal mines.....	117
Jarosław Pawłowski: Zasadność ekoratingu samochodów osobowych / Appropriateness of eco-rating of passenger cars.....	131
Anna Śliwińska: Metodyka poszerzenia systemu i alokacji w ocenie cyklu życia procesów wielofunkcyjnych / System expansion and allocation methodology in a life cycle assessment of multi-functional processes.....	141

Część 2. Postęp techniczny a ekonomia środowiska oraz zasobów naturalnych

Sylwia Dziejcz: Ekoinnowacyjne zachowania zakupowe klientów / Eco-innovative purchasing behavior of customers.....	159
Stanisław Famielec, Józefa Famielec: Ekonomiczne i techniczne uwarunkowania procesów spalania odpadów komunalnych / Economic and technical determinants of municipal solid waste incineration.....	174
Ryszard Jerzy Konieczny: Zapotrzebowanie energetyczne wiatrowego aeratora pulweryzacyjnego wody w warunkach Jeziora Rudnickiego Wielkiego / Energy demand of wind-driven pulverising aerator under conditions of Lake Rudnickie Wielkie.....	186
Małgorzata Rutkowska-Podolowska, Jolanta Pakulska: Nakłady inwestycyjne na gospodarkę odpadami / Capital expenditure on waste management.....	196
Małgorzata Rychlik, Bartosz Pieczaba, Karol Statkiewicz: Nawilżanie powietrza w komorze pulsofluidalnej / Air humidification in the pulsed fluid bed.....	208

Część 3. Społeczne aspekty gospodarowania zasobami środowiska

Joanna Gajda: Zarządzanie pracownikami pokolenia Y nowym wyzwaniem dla pracodawców / Sustainable management of Generation Y employees as a new challenge for employers.....	217
Katarzyna Gryga: Społeczna odpowiedzialność biznesu jako narzędzie zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstwa górniczego / Corporate social responsibility as a tool of sustainable development in mining company ...	229

Agnieszka Mikucka-Kowalczyk: Działania społecznie odpowiedzialne podejmowane przez KGHM Polska Miedź SA a koncepcja zrównoważonego rozwoju / Socially responsible actions taken by KGHM Polska Miedź SA vs. the concept of sustainable development.....	239
Sylwia Słupik: Rola partycypacji społecznej w kreowaniu lokalnego zrównoważonego rozwoju / The role of public participation in the creation of local sustainable development	252

Wstęp

Rozwój zrównoważony, a zwłaszcza implementacja opartej na nim strategii tworzy wiele wyzwań dla praktyki ochrony środowiska przyrodniczego i gospodarowania jego zasobami (w tym usługami). Pojawiają się one na wielu płaszczyznach, między innymi w postaci ekonomiki ochrony środowiska, którą uznać można za najwcześniejszą w polskiej literaturze, wywodzącą się jeszcze z sozologii, część badań nad nową proekologiczną strategią rozwoju społeczno-ekonomicznego, a także w formie studiów nad rolą postępu technicznego w ekonomii środowiska i zasobów naturalnych. Trzeci praktyczny wymiar problemów ochrony środowiska i korzystania ze środowiska przyrodniczego dotyczy – zyskującego na znaczeniu – aspektu społecznego. Powyższe grupy zagadnień pojawiły się w wielu opracowaniach przygotowanych i przedstawionych na konferencji.

Problemy ekonomiki ochrony środowiska przyrodniczego i gospodarowania jego zasobami przyjęły postać między innymi: (1) związków pomiędzy rolnictwem a środowiskiem przyrodniczym i gospodarowania glebą, (2) gospodarowania odpadami komunalnymi, (3) gospodarowania wodą i ściekami, (4) wyzwań niskiej emisji i termoizolacji budynków, (5) „zielonych” miejsc pracy, a także (6) zagrożonych inwestycji i ubezpieczeń ekologicznych czy (7) analizy wskaźników efektywności ekonomiczno-ekologicznej realizowanych przedsięwzięć.

Postęp techniczny jest kolejną, istotną płaszczyzną, na której pojawiają się i są rozwiązywane problemy praktyczne w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego i użytkowania jego zasobów czy usług. Uczestnicy konferencji podjęli w tym zakresie między innymi takie zagadnienia, jak: (1) techniczne problemy gospodarowania odpadami, (2) techniczne wyzwania energetyki odnawialnej, a także: (3) ekoinnowacyjne zachowania konsumentów czy (4) ekoinnowacje w produkcji żywności.

Wymiar społeczny ochrony środowiska przyrodniczego i gospodarowania jego zasobami (w tym usługami) rozwija się szybko w ostatnich latach wraz ze zmianami w świadomości ekologicznej ludzi. Ta swoista „socjologia ekologiczna” pojawia się coraz częściej w badaniach naukowych i prezentowanych publikacjach. Wśród uczestników konferencji przyjęły one postać między innymi: (1) społecznej odpowiedzialności biznesu, (2) partycypacji obywatelskiej czy (3) ekologicznego zarządzania zespołami ludzkimi.

Zachęcając Czytelników do zapoznania się z przedstawionymi opracowaniami, wyrazić można dwa oczekiwania – interesującej lektury oraz nadziei, że ta niezwykle istotna, z punktu widzenia rozwoju zrównoważonego i trwałego, problematyka będzie się nadal szybko rozwijać, z korzyścią dla środowiska przyrodniczego i ludzkiej cywilizacji.

Agnieszka Becla

Łukasz Kuźmiński

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
e-mail: lukasz.kuzminski@ue.wroc.pl

Łukasz Szalata

Politechnika Wrocławska
e-mail: lukasz.szalata@pwr.edu.pl

Bogusław Fiedor

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
e-mail: boguslaw.fiedor@ue.wroc.pl

Jerzy Zwoździak

IMGW PIB Oddział Warszawa

OCENA ZMIENNOŚCI RYZYKA ZAGROŻENIA POWODZIOWEGO W DORZECZU ODRY NA PODSTAWIE ROZKŁADÓW PÓLROCZNYCH MAKSIMÓW STANÓW WÓD

THE RATING OF VOLATILITY OF FLOOD HAZARD RISK IN THE BASIN OF THE ODER RIVER BASED ON BIENNIAL DISTRIBUTIONS OF MAXIMUMS OF WATER LEVELS

DOI: 10.15611/pn.2016.454.09

JEL Classification: Q25, Q54, Q59, Q56

Streszczenie: Celem artykułu jest ocena zmienności ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego z wykorzystaniem rozkładów wartości maksymalnych. W autorskich badaniach wykorzystane zostaną dane hydrologiczne w postaci dobowych stanów wód pochodzących z okresu 1981–2013. Zebrane dane pochodzą ze stacji hydrologicznej Malczyce, w 300 km rzeki Odry. Na potrzeby oszacowania ryzyka powodziowego z zebranych danych wyselekcjonowane zostały półroczne maksima dobowych stanów wód. Za miarę ryzyka powodziowego autorzy przyjęli prawdopodobieństwo przekroczenia stanu alarmowego w badanym punkcie rzeki. Ryzyko to zostało policzone przy wykorzystaniu teoretycznej dystrybuanty rozkładu półrocznych maksimów stanów wód. W badaniach zastosowany został rozkład Gumbela. Jednocześnie w artykule zwrócono istotną uwagę na możliwość zastosowania prezentowanych rozwiązań do zintegrowanego procesu zarządzania ryzykiem powodziowym w oparciu o obowiązujące prawodawstwo krajowe i europejskie.

Słowa kluczowe: zarządzanie ryzykiem powodziowym, stany wód, rozkład Gumbela, miara ryzyka powodziowego i zrównoważony rozwój.

Summary: The aim of the article is to assess the variability of flood risk with the use of distributions of maximum values. The copyright research uses hydrological data in the form of daily water levels from the period 1981–2013. The collected data are derived from the hydrological station Malczyce in 300 km of the Oder River. For the purpose of estimating flood risk from the collected data semi-annual maxima of daily water levels have been selected. As a measure of the flood risk the authors adopted the likelihood of exceeding the alarm condition in the test section of the river. This risk is calculated using the theoretical cumulative distribution distribution of quarterly highs of water levels. The study used Gumbel distribution. At the same time the article pays significant attention to the possibility of using the solutions for integrated flood risk management process in accordance with applicable national and European legislation.

Keywords: flood risk management, water levels, Gumbel distribution, measure of flood risk and sustainable development.

1. Wstęp

Zagrożenie powodziowe w dorzeczu Odry w ujęciu teorii trwałego zrównoważonego rozwoju stało się w ostatnich latach zagadnieniem o dużym społecznym wydźwięku, które w ujęciu zdarzeń historycznych ma bezpośredni wpływ na czynniki ekonomiczne, gospodarcze oraz środowiskowe. Podstawowe cele rozwoju z punktu widzenia społeczności lokalnych i władz to zapewnienie skutecznej ochrony przeciwpowodziowej oraz stworzenie sprzyjających warunków do rozwoju gospodarczego, przy zapewnieniu ochrony mienia oraz zabezpieczenia ludności przed skutkami zdarzeń powodziowych. Analizując szerzej uwarunkowania prawne – już nadrzędny akt prawny, tj. Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej, w swoich zapisach wskazuje jednoznacznie dbałość o dziedzictwo przyrodnicze i kulturowe przejęte od poprzednich pokoleń, które powinno być przekazane przyszłym pokoleniom w stanie nie pogorszonym, jak nie lepszym, dbając o zaspokojenie potrzeb przyszłych pokoleń. Obserwując uważnie sytuację hydrologiczną, to w ostatnich dekadach jesteśmy świadkami katastrofalnych w ujęciu społecznym i gospodarczym powodzi, które dotyczą Europę, a co za tym idzie również Polskę. Omawiane zagrożenia przyczyniają się do strat w zakresie społecznym, gospodarczym oraz kulturowym. Długookresowe prognozy nakłaniają władze krajów Unii Europejskiej do możliwie skutecznego ograniczania zagrożeń i sterowania falą powodziową. W odpowiedzi na to zagadnienie na poziomie Unii Europejskiej podjęto szereg działań mających na celu przygotowanie państw członkowskich do walki z klęskami powodziowymi. Efektem tego podejścia jest szereg działań prewencyjnych mających swoje ekonomiczne i społeczne uzasadnienie, które zostały przeniesione do prawodawstwa unijnego w zakresie gospodarowania wodami (Dyrektywa 2000/60/WE) oraz Dyrektywy Zarządzania Ryzykiem Powodziowym (Dyrektywa 2007/60/WE).

Polska jako kraj członkowski Unii Europejskiej oraz kraj, który niejednokrotnie został dotknięty skutkami katastrof powodziowych, przetransponowała powyższe

zapisy do prawodawstwa krajowego, tj. ustawy Prawo wodne. Jednym z regionów najbardziej poszkodowanych przez powódzie z ostatnich kilkunastu lat jest obszar dorzecza Odry.

Nadrzędnym celem przedmiotowego artykułu jest ocena zmienności ryzyka powodziowego w dorzeczu Odry, oparta na rozkładach półrocznych maksimów stanów wód. Dodatkowo autorzy postawili sobie za cel weryfikację głównej hipotezy badawczej, że w ostatnich kilkadziesiąt lat ryzyko powodziowe wykazuje wyraźną tendencję wzrostową. Weryfikacja hipotezy badawczej przeprowadzona została z wykorzystaniem ww. metod probabilistycznych na przykładzie wybranej lokalizacji na terenie regionu wodnego Środkowej Odry.

Dodatковым celem tej pracy jest przedstawienie możliwości zastosowania prezentowanych metod szacowania ryzyka powodziowego jako wsparcia szeroko rozumianego procesu zarządzania ryzykiem powodziowym, stanowiącego integralną część implementacji prawodawstwa unijnego [Zwoździak 2015; Gramm-Szatkiwicz 2015].

2. Ogólna charakterystyka zdarzeń powodziowych w dorzeczu Odry ze szczególnym uwzględnieniem regionu wodnego Środkowej 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, a pod względem administracyjnym leży w województwach: śląskim, opolskim, dolnośląskim, łódzkim, kujawsko-pomorskim, wielkopolskim, lubuskim, zachodniopomorskim i pomorskim [KZGW 2015].

Na podstawie analizy powodzi historycznych należy stwierdzić, że na obszarze dorzecza Odry powódzie 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 powódzie. 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 powódzie roztopowe i zatorowe. W przypadku regionu wodnego Dolnej Odry i Przymorza Zachodniego często występują powódzie 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, Kaczawy.

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

Na obszarze dorzecza Odry istotnym zagadnieniem jest niedostateczny system osłony hydrologiczno-meteorologicznej, szczególnie dedykowany obszarom zlewni o dużej wrażliwości na zagrożenie powodziowe, służący do prognozowania i ostrzegania społeczeństwa przed nadchodzącym zagrożeniem. Ponadto ważny jest również nieefektywny system zarządzania ryzykiem powodziowym w aspekcie planowania, przygotowania i prowadzenia akcji ratunkowych oraz działań związanych z odbudową zniszczeń powodziowych. Istotnym problemem w skali całej Polski jest zbyt mała świadomość społeczna oraz poziom edukacji ekologicznej w zakresie zagrożenia powodziowego oraz niewystarczająca znajomość metod ograniczania ryzyka powodziowego na etapie przygotowania, prowadzenia akcji przeciwpowodziowej i usuwania skutków powodzi.

Celem strategicznym zarządzania ryzykiem powodziowym jest zahamowanie wzrostu i ograniczenie negatywnych skutków powodzi dla zdrowia i życia ludności, środowiska, działalności gospodarczej oraz dziedzictwa kulturowego, m.in. poprzez podjęcie wielu działań nietechnicznych, ograniczających zagrożenie powodziowe, a także wrażliwość obszarów szczególnego zagrożenia powodzią, oraz realizację działań wzmacniających wszystkie elementy systemu zarządzania ryzykiem powodziowym. Techniczne działania stanowią natomiast kluczowe uzupełnienie systemu ochrony przeciwpowodziowej.

Plan Zarządzania Ryzykiem Powodziowym dla obszaru dorzecza Odry jako dokument strategiczny tworzy podstawy skutecznego zarządzania ryzykiem powodziowym. Wnioski płynące z przedmiotowego dokumentu stanowią także podstawę do stworzenia katalogu dobrych praktyk w dziedzinie ochrony przeciwpowodziowej i wpłyną na rozwój branży, przyszłą strukturę zarządzania majątkiem oraz metodykę hierarchizacji 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. Artykuł 10 ust. 2 Dyrektywy Powodziowej wymaga natomiast zachęcania zainteresowanych stron do aktywnego udziału w opracowaniu, przeglądzie i aktualizacji planów zarządzania ryzykiem powodziowym.

Z kolei krajowy ustawodawca w art. 119 ust. 3a Prawa wodnego z dnia 18.07.2001 r. nałożył na Prezesa Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej obowiązek zapewnienia udziału społeczeństwa w sporządzaniu lub aktualizacji planów zarządzania ryzykiem powodziowym w dorzeczu, na zasadach i w trybie określonych w ustawie z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko.

Następnie na potrzeby wykonania analiz rozkładu przestrzennego zagrożenia i ryzyka powodziowego oraz analiz strat wykorzystano numeryczną mapę zagrożenia powodziowego oraz mapę ryzyka powodziowego. Przykładowo, dla obszaru dorzecza Odry analizy prowadzono, uwzględniając 94 rzeki, Cieśninę Świna, Zalew Szczeciński oraz 6 odcinków Przymorza.

W konsekwencji toku przedmiotowego postępowania 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 przy uwzględnieniu zasady trwałego zrównoważonego rozwoju w szerokim zakresie zarządzania ryzykiem środowiskowym i wdrażaniu metod jego ograniczania.

W tym miejscu, w celu zobrazowania skali, wskazano na koszty powodzi wyliczone na podstawie materiałów uzyskanych z Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej, gdzie powodziowa szacunkowa wartość robót związanych z likwidacją szkód powstałych na skutek powodzi w maju i czerwcu 2010 r. w majątku Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej we Wrocławiu [www.wroclaw.rzgw.gov.pl] wynosiła 98,87 mln zł, w tym:

- województwo dolnośląskie – 61,20 mln zł,
- województwo opolskie – 27,62 mln zł,
- województwo lubuskie – 9,25 mln zł,
- województwo śląskie – 0,80 mln zł.

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.

Dla przykładu, na zbiorniku retencyjnym Turawa i kaskadzie zbiorników Nysy Kłodzkiej stwierdzono rozmycia skarp, zapór czołowych i bocznych, uszkodzenia

przelewu powodziowego, zamulenia rowów opaskowych, zbiorników wyrównawczych przy przepompowniach, a także odnotowano przesiąki przez korpus zapory nyskiej w Siostrzechowicach.

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 skuteczne aplikacyjne narzędzie wspomagające proces zarządzania ryzykiem powodziowym oraz ograniczania jego potencjalnych skutków.

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

4. Modele wartości ekstremalnych – wybrane zagadnienia

W tym rozdziale zaprezentowane zostaną wybrane zagadnienia z teorii wartości ekstremalnych, które zostaną wykorzystane w przeprowadzonych badaniach oraz przy weryfikacji hipotez badawczych niniejszego opracowania. Wśród tych zagadnień znajdują się: wybrane modele probabilistyczne dla wartości ekstremalnych wraz z metodami estymacji ich parametrów oraz testami istotności, a także metoda selekcji wartości maksymalnych ze zbioru surowych danych. Dodatkowo zaprezentowany zostanie zwięzły przegląd literatury dotyczącej zastosowań teorii wartości ekstremalnych w dziedzinie hydrologii oraz dziedzinach blisko spokrewnionych.

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 blokową lub metodą Gumbela [Thomas, Reiss 2007, s. 10].

Metoda maksimumów blokowych wymaga zdefiniowania horyzontu czasowego (bloku) i obliczenia maksimum badanej zmiennej dla określonego horyzontu. Stosuje się najczęściej bloki o rozmiarach jednego roku, pół roku, kwartału, miesiąca lub krótszych w zależności od potrzeb badawczych. W przypadku danych w postaci parametrów hydrometrycznych stosuje się bloki o rozmiarach wymienionych powy-

żej. Rozmiar bloku nie może być zbyt mały, żeby nie dopuścić do wystąpienia 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 [Engeland, Hisdal, Frigessi 2004].

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 maksimum danych hydrometrycznych sugeruje się stosowanie w pierwszej kolejności rozkładu 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) z 1983 r. rekomenduje rozkład III Pearsona z logarytmiczno-normalną transformacją dla danych długookresowych do przewidywania zjawisk powodziowych oraz rozkład logarytmiczno-normalny.

Zgodnie z twierdzeniem dotyczącym typów rozkładów wartości ekstremalnych (por. [Leadbetter, Lindgren, Rootzen 1983, s. 11–12]) rozkłady wartości ekstremalnych mają jedną z trzech dystrybucji 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 dystrybucji granicznych rozkładów wartości maksymalnych wyszczególnioną we wzorze można rozszerzyć, wprowadzając parametryzację do wzorów dystrybucji. 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 dystrybucję F , wtedy zmienna losowa $(\mu + \sigma X)$ ma dystrybucję $F_{\mu, \sigma}(x) = F((x - \mu) / \sigma)$ (por. [Thomas, Reiss 2007, s. 16]).

Na mocy tego twierdzenia dystrybucji dane w 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 znaczny 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.

Kończąc temat rodziny dystrybuant granicznych wartości ekstremalnych, należy wspomnieć o tym, że wszystkie dystrybuanty przedstawione w i to członkowie jednej rodziny dystrybuant opisanych wzorem:

$$G_{\gamma,\mu,\sigma}(x) = \begin{cases} \exp\left\{-\left[1 + \gamma\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-\frac{1}{\gamma}}\right\} & \text{if } \gamma \neq 0 \\ \exp\left\{-\exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right\} & \text{if } \gamma = 0 \end{cases} \quad (5)$$

(por. [Engeland, Frigessi, Hisdal 2005, s. 11; Kotz, Nadarajah 2005, s. 61]).

Na koniec tego podrozdziału należy wspomnieć jeszcze o jednym istotnym fakcie. W przypadku gdy m , czyli liczba elementów zbioru, z którego dokonuje się selekcji wartości ekstremalnej, wzrasta, to rozkłady wyselekcjonowanych wartości ekstremalnych zbliżone są często do rozkładu normalnego. Oczywiście ta uwaga dotyczy danych dotyczących parametrów hydrometrycznych. W związku z tym do rozkładów, które wykorzystane zostaną do modelowania rozkładów wartości ekstremalnych charakterystyk hydrometrycznych, należy dołączyć powszechnie stosowany rozkład normalny.

4.3. Metody estymacji i testy istotności

Spośród wielu metod estymacji stosowanych dla rozkładów wartości ekstremalnych w tym artykule do estymacji parametrów rozkładów wartości ekstremalnych z rodziny rozkładów opisanych wzorem stosowana jest metoda największej wiarygodności. Metoda ta daje efektywne rezultaty w określonych przypadkach. Przypadki te pokrywają się z przypadkami rozpatrywanymi w tej pracy [Kotz, Nadarajah 2005, s. 31]. Estymator parametru γ istnieje dla $\gamma > -1$ i dla $\gamma > -0,5$ wariancja ma asymptotycznie rozkład normalny [Smith 1985].

Do weryfikacji hipotezy o zgodności badanych rozkładów empirycznych z wybranymi rozkładami wartości ekstremalnych z rodziny danej wzorem zastosowane zostały następujące testy zgodności: test chi-kwadrat, test Kolmogorowa – Smirnowa oraz test Andersona – Darlinga.

Dodatkowo wewnątrz rodziny rozkładów wartości ekstremalnych opisanych wzorem stosuje się test ilorazu wiarygodności do weryfikacji hipotezy $H_0: \gamma = 0$, tzn. że badany rozkład lepiej opisuje rozkład Gumbela, przeciwko hipotezie alternatywnej $H_1: \gamma \neq 0$, że lepiej badany rozkład opisują inne rozkłady z tej rodziny. Statystyka testowa w tym teście dana jest wzorem:

$$T_{LR}(x) = \frac{\prod_{i \leq n} g_{\hat{\gamma}, \hat{\mu}, \hat{\sigma}}(x_i)}{\prod_{i \leq n} g_{0, \hat{\mu}, \hat{\sigma}}(x_i)} \quad (6)$$

z $(\hat{\gamma}, \hat{\mu}, \hat{\sigma})$ i $(\tilde{\mu}, \tilde{\sigma})$ oznaczającymi zbiory estymatorów największej wiarygodności w modelach EV0, EV1 i EV2 opisanych wzorem . Ponieważ zbiory parametrów są 2- i 3-wymiarowe, wiadomo, że statystyka testowa ma asymptotycznie rozkład chi-kwadrat z 1 stopniem swobody. Konsekwentnie *p-value* jest postaci:

$$p_{LR}(x) = 1 - \chi_1^2(T_{LR}(x)) \quad (7)$$

[Thomas, Reiss 2007, s. 118].

Poziom istotności osiągnąć jest z wyższą dokładnością poprzez zastosowanie poprawki Bartletta [Hosking 1984], która polega na zastąpieniu statystyki testowej T_{LR} przez statystykę daną wzorem $T_{LR} / (1 + 2.8/n)$. W tym przypadku *p-value* jest postaci

$$p_{LR}(x) = 1 - \chi_1^2(T_{LR}(x) / (1 + 2.8/n)). \quad (8)$$

5. Modelowanie ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego w dorzeczu Odry

W tym rozdziale podjęta zostnie próba oszacowania ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego w dorzeczu Odry, a dokładnie w okolicach stacji hydrologicznej Malczyce, w trzech dekadach. Dodatkowo przeprowadzone zostanie porównanie tego ryzyka w trzech badanych dekadach. Na podstawie otrzymanych wyników zwerifikowana zostanie hipoteza badawcza o występowaniu istotnej zmienności w poziomie ryzyka zagrożenia powodziowego na badanych terenie i w badanym okresie.

5.1. Dane hydrologiczne

Do badań w tym opracowaniu wykorzystany został jeden z parametrów hydrometrycznych, jakim jest **stan wody** [Bajkiewicz-Grabowska, Mikulski 2011, s. 173]. Zebrane zostały dobowe stany wód zmierzone na stacji hydrologicznej w Malczy-

cach z okresu od 01.01.1981 do 31.12.2013 r., co daje próbę o liczebności $n = 12\,053$. Badany okres został podzielony na trzy 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 półroczne dobowych stanów wód zebranych w stacji hydrologicznej w Malczycach. Wyselekcjonowane maksima półroczne w każdym z trzech okresów, dla których wzór przyjmuje postać

$$y_i = \max \{x_{i1}, \dots, x_{i182}\}, \quad i = 1, \dots, 22,$$

zebrane zostały w tab. 1.

Tabela 1. Półroczne maksima dobowych stanów wód z trzech okresów 11-letnich (w cm)

1981–1991		1992–2002		2003–2013	
416	458	500	788	400	423
370	590	230	348	286	509
570	506	360	334	614	636
400	402	149	504	328	584
414	272	436	488	614	796
404	386	290	404	432	581
212	300	312	436	734	532
270	224	336	404	504	440
356	224	412	576	468	355
654	206	524	398	552	493
370	390	396	352	346	627

Źródło: opracowanie własne.

5.2. Empiryczne i teoretyczne rozkłady prawdopodobieństwa maksimów kwartalnych

Do prezentacji graficznej empirycznych rozkładów półrocznych maksimów dobowych stanów wód dla okresów I–III (rys. 1–3) wykorzystane zostało powszechnie stosowane narzędzie w postaci empirycznej funkcji gęstości prawdopodobieństwa (jądro gęstości) [Kuźmiński 2013].

Przy użyciu metody największej wiarygodności wyestymowane zostały parametry teoretycznych rozkładów z rodziny danej wzorem lub rozkładu normalnego, optymalnie dopasowanych do empirycznych rozkładów półrocznych maksimów dobowych stanów wód dla każdego z trzech badanych okresów. Wartości estymatorów parametrów położenia μ oraz skali σ zawarte są w tab. 2.

Tabela 2. Wartości estymatorów parametrów położenia μ i skali σ optymalnych rozkładów maksimów dla badanych okresów

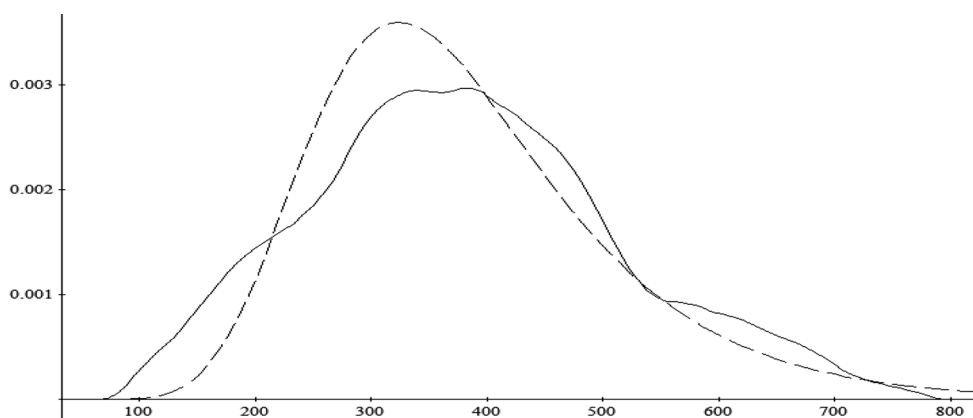
Okresy	Wartości estymatorów
1981–1991	$\hat{\mu}_I = 323,9$ $\hat{\rho}_I = 102,5$
1992–2002	$\hat{\mu}_{II} = 428,1$ $\hat{\rho}_{II} = 126,8$
2003–2013	$\hat{\mu}_{III} = 511,5$ $\hat{\rho}_{III} = 128,4$

Źródło: opracowanie własne.

Poniżej przedstawione są wzory dystrybuant dla rozkładów maksimów półrocznych dobowych stanów wód dla każdego z trzech badanych okresów z estymatorami parametrów z tab. 2:

- dla okresu 1981–1991: $G_{0,\mu,\sigma}(x) = \exp\left(-e^{-(x-323,9)/102,5}\right)$, (9)
- dla okresów 1992–2002 oraz 2003–2013 optymalnie dopasowanym rozkładem teoretycznym jest rozkład normalny; ze względu na jego powszechny charakter wzór na dystrybuanty zostanie pominięty.

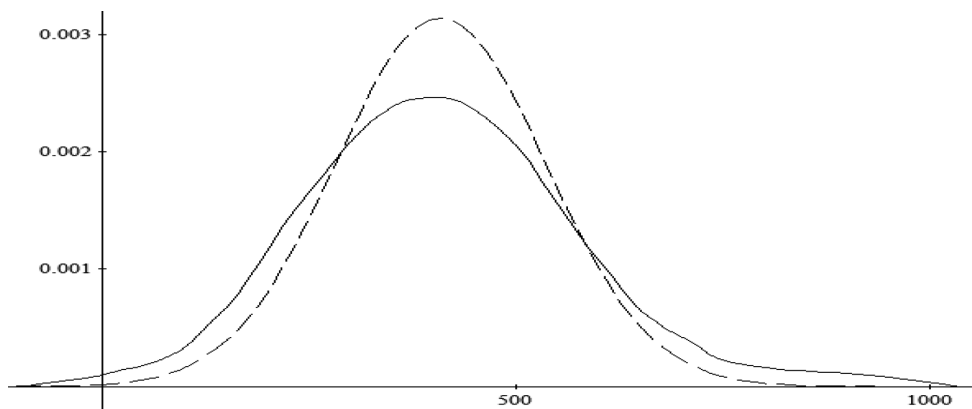
Na rysunkach 1, 2 i 3 przedstawione są w kolejności wykresy empirycznych funkcji gęstości rozkładów maksimów półrocznych dobowych stanów wód, utworzone na podstawie danych z tab. 1.



Rys. 1. Empiryczna funkcja gęstości rozkładu półrocznych maksimów dobowych stanów wód dla okresu 1981–1991 – linia ciągła oraz funkcja gęstości teoretycznego rozkładu prawdopodobieństwa zgodnego z dystrybuantą dla okresu 1981–1991 opisana wzorem – linia przerywana

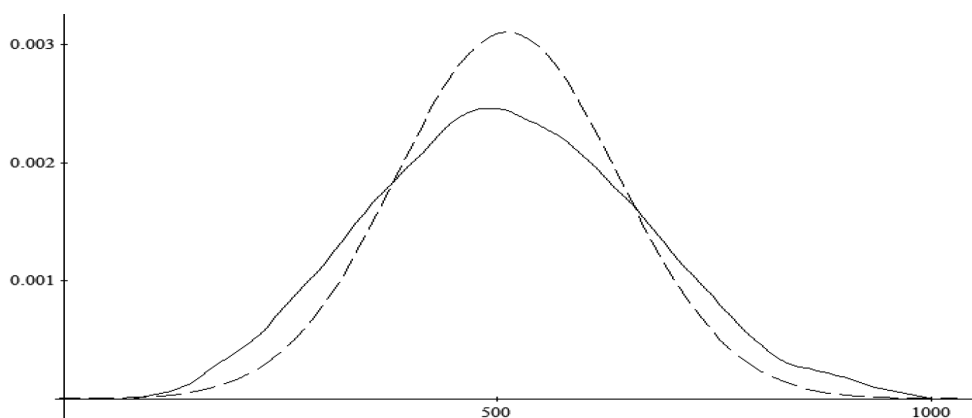
Źródło: opracowanie własne.

Z wykresów empirycznych funkcji gęstości wraz z optymalnie dopasowanymi teoretycznymi funkcjami gęstości prawdopodobieństwa (rys. 1, 2 i 3) na podstawie



Rys. 2. Empiryczna funkcja gęstości rozkładu półrocznych maksimów dobowych stanów wód dla okresu 1992–2002 – linia ciągła oraz funkcja gęstości rozkładu normalnego z odpowiednimi parametrami z tabeli 2 dla okresu 1992–2002 – linia przerywana

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Empiryczna funkcja gęstości rozkładu kwartalnych maksimów dobowych stanów wód dla okresu 2003–2013 – linia ciągła oraz funkcja gęstości rozkładu normalnego z odpowiednimi parametrami z tabeli 2 dla okresu 2003–2013 – linia przerywana

Źródło: opracowanie własne.

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 dwa powszechnie stosowane testy zgodności: Kołmogorowa – Smirnowa oraz test Andersona – Darlinga. Wyniki testów dla rozkładów z trzech badanych okresów w postaci *p-value* przedstawione są w tab. 3 i potwierdzają bardzo wysoką zgodność rozkładów empirycznych z optymalnie dopasowanymi rozkładami teoretycznymi.

Tabela 3. Wartości p -value trzech testów zgodności dla rozkładów prawdopodobieństwa półrocznych maksimów dobowych stanów wód w badanych okresach

Okres \ Test	K-S	A-D
1981–1991	$p_v = 0,741$	$p_v = 0,775$
1992–2002	$p_v = 0,715$	$p_v = 0,761$
2003–2013	$p_v = 0,996$	$p_v = 0,998$

Źródło: opracowanie własne.

Wysoka zgodność dobranych rozkładów teoretycznych z rozkładami empirycznymi w badanych okresach pozwala wykorzystać dystrybuanty rozkładów teoretycznych dla poszczególnych okresów do modelowania ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego w tych okresach.

6. Miary ryzyka zagrożenia powodziowego w dorzeczu Odry – obliczenia

W tym rozdziale wzory dystrybuant teoretycznych optymalnie dopasowanych rozkładów empirycznych dane we wzorze zostaną wykorzystane do oszacowania ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego na badanym terenie.

Miara ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego na danym obszarze zdefiniowana została jako prawdopodobieństwo przekroczenia określonego poziomu stanu wody (u) przez maksymalny dobowy stan wody z ustalonego w badaniu horyzontu czasowego. W tym badaniu horyzont czasowy, z którego obliczone zostały maksima dobowych stanów wód, ma długość pół roku. Poziom stan wody, dla którego obliczane będą miary ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego, jest stanem alarmowym dla stacji hydrologicznej w Malczycach i wynosi $u_A = 600$ cm. W tabeli 4 przedstawione są wyniki obliczeń prawdopodobieństwa przekroczenia stanu alarmowego przez zmienną losową X_{MAX} będącą maksymalną półroczną wartością dobowych stanów wody w badanych trzech okresach.

Analizując otrzymane wyniki miar ryzyka w postaci prawdopodobieństw, zobaczyć można wyraźnie 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 35,4% wyższe aniżeli w poprzednim okresie poddanym badaniu, czyli w latach 1981–1991. Natomiast ryzyko wystąpienia powodzi w latach 2003–2013 jest już wyższe prawie o 180%, a dokładnie o 178,4% aniżeli w latach 1992–2002.

Tabela 4. Miary ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego w trzech badanych okresach

Okres \ Miara ryzyka	$P(X_{\text{MAX}} > u_A)$
1981–1991	0,065
1992–2002	0,088
2003–2013	0,245

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 obszaru Dolnego Śląska.

7. Zakończenie

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

Nadrzędny cel 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 Malczyce w 300 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 35,4% wyższe aniżeli w latach 1981–1991, natomiast ryzyko to w latach 2003–2013 jest już o niemal 180% wyższe 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 niniejszego opracowania na podstawie uzyskanych wyników wykazali, iż zastosowanie rozkładów maksimów do oceny ryzyka powodziowego stanowić będzie efektywne narzędzie wspierające trzyetapowy 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;

- klasyfikację 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.

Literatura

- Bajkiewicz-Grabowska E., Mikulski Z., 2011, *Hydrologia ogólna*, PWN, Warszawa.
- Engeland K., Frigessi A., Hisdal H., 2005, *Practical Extreme Value Modelling of hydrological floods and droughts: a case study*, *Extremes*, vol. 7, iss. 1, s. 5–30.
- Engeland K., Hisdal H., Frigessi A., 2004, *Practical Extreme Value Modelling of hydrological floods and droughts: a case study*, *Extremes*, s. 5–30.
- Gramm-Szatkiewicz 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*, no. 71, s. 367–374.
- Kotz S., Nadarajah S., 2005, *Extreme Value Distributions. Theory and Applications*, Imperial College Press, London.
- Kuźmiński Ł., 2013, *The applications of the kernel densities to the modeling the generalized Pareto distributions*, *Ekonometria*, vol. 3(41), s. 55–64.
- KZGW, 2015, *Plan zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszaru dorzecza Odry*, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Leadbetter M., Lindgren G., Rootzen H., 1983, *Extremes and related properties of random sequences and processes*, Springer-Verlag, New York.
- Smith R., 1985, *Maximum likelihood estimation in a class of nonregular cases*, *Biometrika*, s. 69–90.
- Thomas M., Reiss R., 2007, *Statistical Analysis of Extreme Value with Applications to Insurance, Finance, Hydrology and Other Fields*. Birkhauser, Basel.
- www.wroclaw.rzgw.gov.pl.
- Yue S., Bobe B., Legendre P., Bruneau P., 1999, *The Gumbel mixed model for flood frequency analysis*, *J. Hydrol.*, s. 88–100.
- Zwoździak J., 2015, *Plany zarządzania ryzykiem powodziowym*, Przegląd Komunalny, luty.