



### **Łukasz Kuźmiński**

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu  
Wydział Inżynieryjno-Ekonomiczny  
Katedra Rachunkowości, Controllingu,  
Informatyki i Metod Ilościowych  
lukasz.kuzminski@ue.wroc.pl

## **ZASTOSOWANIE ROZKŁADU PERSONA III WE WSTĘPNEJ OCENIE RYZYKA POWODZIOWEGO NA RZECE ODRZE W OBSZARZE MALCZYC**

**Streszczenie:** Artykuł jest poświęcony zastosowaniu teoretycznych rozkładów wartości ekstremalnych do szacowania ryzyka zagrożenia powodziowego na Dolnym Śląsku. W badaniu zostały wykorzystane maksymalne dobowe przepływy na rzece Odrze zebrane w stacji hydrologicznej w Malczycach w okresie 1971-2013. Z danych tych zostały wyselekcjonowane maksima roczne maksymalnych dobowych przepływów. Na ich podstawie został stworzony ich empiryczny rozkład prawdopodobieństwa, do którego został dopasowany teoretyczny rozkład Persona III. Po statystycznej weryfikacji dopasowania rozkładu teoretycznego do empirycznego został on zastosowany do oszacowania ryzyka zagrożenia powodziowego na badanym terenie.

**Słowa kluczowe:** ryzyko powodziowe, maksima roczne, przepływ rzeczny, rozkład Persona III.

**JEL Classification:** C00.

### **Wprowadzenie**

Polskę od lat 90. XX w. kilkakrotnie nawiedziły nagle powodzie. Największe z nich wystąpiły w latach 1997, 2001 oraz 2010. Jednym z regionów Polski, który poniósł największe straty, był region Dolnego Śląska i jego stolica, czyli historyczne miasto Wrocław, którego autor tego opracowania jest rodowitym mieszkańcem. W okresie ostatniej powodzi, która dotknęła Dolny Śląsk w 2010 r., autor rozpoczął badania nad ryzykiem wystąpienia zagrożenia powodziowego na Dolnym Śląsku. Ich wyniki są publikowane w cyklu prac o podanej tematyce, w którym kolejną jest ten artykuł.

Powodzie zaskoczyły władze lokalne oraz służby reagowania kryzysowego. Awaryjne zabiegi, jakie zostały zastosowane naprędce podczas ataku powodzi, to m.in. budowa tymczasowych barier zabezpieczających, natychmiastowe usunięcie płynących przeszkód napierających na mosty oraz przemieszczenie ludności z obszarów bezpośrednio zagrożonych. Mimo tych wszystkich zabiegów nagłego reagowania, powodzie wyrządziły bardzo duże straty i miały negatywne skutki dla środowiska, działalności gospodarczej, infrastruktury państwowej i prywatnej, dziedzictwa kulturowego, a co najważniejsze zdrowia i życia ludzkiego. W historycznym Wrocławiu setki zalanych budynków to budowle historyczne (kościóły, mosty oraz inne), budynki publiczne (szkoły, urzędy, budynki biurowe oraz hotele) oraz budynki mieszkalne.

Powodzie rzeczne zostały uznane za jedno z głównych niebezpieczeństw obecnych czasów w regionie Europy Środkowej [Kundzewicz, 2005, s. 165-189]. Efektywna ochrona przed skutkami ewentualnych kolejnych powodzi wymaga posunięć planowania i przygotowania, które będą brały pod uwagę klimat, struktury i ich zawartość [Stovel, 1998].

Dnia 26 listopada 2007 r. weszła w życie dyrektywa 2007/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2007 r. w sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, zwana Dyrektywą Powodziową (Dz. Urz. UE L 288/27 z 6.11.2007). Jej głównym celem jest ograniczenie ryzyka powodzi i zmniejszanie jej następstw w państwach Unii Europejskiej.

Spełnienie wymagań tej dyrektywy to dla Polski bardzo istotne zadanie, z uwagi na fakt, iż opóźnienia we wdrożeniu jej założeń uniemożliwia naszemu krajowi pozyskiwanie środków z UE na usuwanie skutków ewentualnych powodzi.

Zgodnie z Dyrektywą Powodziową na potrzeby ograniczenia wystąpienia ryzyka powodziowego należy wprowadzić w życie proces planowania na wypadek wystąpienia powodzi na danym terenie. Proces ten ma być trzyetapowy. Państwa należące do UE miały obowiązek sporządzenia wstępnej oceny ryzyka powodziowego do grudnia 2011 r., map zagrożenia i map ryzyka powodziowego do grudnia 2013 r., natomiast do grudnia 2015 r. planów zarządzania ryzykiem powodziowym. Ponadto, mapy potencjalnego zagrożenia powodziowego i ryzyka powodziowego sporządzone dla obszarów, na których zostało stwierdzone wysokie wystąpienie zjawiska powodzi na podstawie wstępnej oceny ryzyka powodziowego, powinny wskazać trzy rodzaje obszarów [Cauncil, 2007]:

- 1) obszary, w których prawdopodobieństwo powodzi jest niskie (na tych obszarach powódź traktowana jest w charakterze zjawiska ekstremalnego),
- 2) obszary o średnim prawdopodobieństwie wystąpienia powodzi (częstotliwość powodzi > lub równa 100 lat),
- 3) obszary, w których występowanie powodzi ma wysokie prawdopodobieństwo.

Jak widać, podział ten jest mało skonkretyzowany na potrzeby dokładnych obliczeń. W polskich opracowaniach dotyczących planów zarządzania ryzykiem powodziowym zmodyfikowano go więc i przyjmuje następującą postać [KZGW, 2007-2013]:

- 1) obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest niskie i wynosi 0,002, (czyli średnio raz na 500 lat),
- 2) obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest średnie i wynosi 0,01 (czyli średnio raz na 100 lat),
- 3) obszary, na których prawdopodobieństwo wystąpienia powodzi jest wysokie i wynosi 0,1 (czyli średnio raz na 10 lat).

Nadrzędnym celem tego opracowania jest przedstawienie zastosowania narzędzia probabilistycznego w postaci rozkładu *Persona III*, będącego jednym z rozkładów stosowanych w teorii wartości ekstremalnych, do szacowania ryzyka wystąpienia zjawisk powodziowych na określonych terenach. Narzędzie to ma stanowić wsparcie pierwszego etapu procesu planowania na wypadek wystąpienia powodzi w postaci wstępnej oceny ryzyka powodziowego.

Badania zostaną przeprowadzone na danych dotyczących maksymalnych dobowych przepływów dla rzeki Odry pochodzących ze stacji hydrologicznej w Malczycach.

## **1. Przegląd literatury – wybrane zastosowania elementów teorii wartości ekstremalnych**

Historycznie za początek prac nad problemami analizy wartości ekstremalnych uważa się 1709 r., kiedy to Nicolas Bernouilli prowadził rozważania nad średnią największą odległością między danymi  $n$  punktami rozłożonymi losowo na linii prostej o ustalonej długości  $t$  [Gumbel, 1954].

Bardzo bogata i kompleksowa literatura na temat teorii rozkładów wartości ekstremalnych i jej zastosowań do początków XXI w. liczy ponad 1 100 pozycji. Nie sposób jest ją całą spisać i przedstawić, ponieważ wymagałoby to napisania osobnej kilkutomowej monografii poświęconej tylko studiom literaturowym na ten temat. Tak obszerna literatura pokazuje bardzo duże zainteresowanie tą dziedziną nauki i jej szerokie zastosowanie. W związku z tym, w punkcie tym zostaną przedstawione jedynie wybrane pozycje, które zdaniem autora miały istotny wpływ na rozwój tej teorii i są ściśle związane z problemami poruszonymi w artykule. Oczywiście tak bogata literatura w jednej dziedzinie ma też swoje minusy. Podstawowym problemem jest brak koordynacji między badaczami zajmującymi się tą dziedziną i związane z tym nieuchronne dublowanie (a nawet potrajanie) rezultatów pojawiających się w różnych publikacjach na całym świecie.

W swoim artykule Fuller [1914, s. 564-583] prawdopodobnie pierwszy zastosował wartości ekstremalne w badaniach nad powodziami. Systematyczny rozwój ogólnej teorii wartości ekstremalnych jest natomiast związany z pracą Bortkiewicza [1922, s. 3-11], która dotyczyła rozkładu zakresu (*range*) w losowej próbie pochodzącej z populacji o rozkładzie normalnym. Ta praca jest bardzo ważna, ponieważ autor po raz pierwszy wprowadził i jasno zdefiniował w niej pojęcie rozkładu największej wartości.

Gumbel jako pierwszy zwrócił uwagę inżynierów i statystyków na możliwość zastosowania formalnej teorii wartości ekstremalnych do pewnych rozkładów, które wcześniej były traktowane jako empiryczne. Zastosował on rozkład wartości ekstremalnych do analizy przepływów rzecznych w USA w 1941 r. [Gumbel, 1941, s. 163-190]. W kolejnych pracach kontynuował swoje badania i dyskusje na temat estymacji ekstremalnych przepływów rzecznych i prognoz powodziowych [Gumbel, 1943, s. 699-719; 1945, s. 97-101; 1949, s. 1-21].

Teodorovic uzyskał podczas swoich badań obserwowane częstości  $N(T)$ , czyli liczbę dni w okresie o długości  $T$  dni, w których przepływ wody w rzece Greenbrier w zachodniej Virginii przekroczył wartość 17 000 stóp sześciennych. Okres jego obserwacji objął 72 lata w okresie od 1896-1967. Obserwowane częstości porównywał z teoretycznymi rozkładami Poissona. Pokazał w swoich wynikach, że dyskretne obserwacje  $N(T)$  dla badanej rzeki i danego klimatu dają się bardzo dobrze modelować rozkładami Poissona [Teodorovic, 1979].

W latach 70.-90. XX w. powstało bardzo dużo prac poruszających tematykę zastosowania elementów teorii wartości ekstremalnej do rozwiązywania problemów związanych z powodziami. Pericchi i Rodriguez-Iturbe prowadzili badania oparte na danych dotyczących dziennych przepływów wody w rzece Feather w Oroville w stanie Kalifornia w USA. Zebrane dane pochodziły z lat 1902-1960. Wyselekcjonowali z nich roczne maksima dla przepływów i do ich empirycznego rozkładu dopasowali rozkład Gumbela. Dodatkowo w swojej pracy do analizy wyselekcjonowanych maksimów zaproponowali również takie rozkłady, jak: gamma (Person rodzaju III), log-gamma (log – Pearson rodzaju III) oraz log-normalny. W swoich badaniach sugerują również zastosowanie dystrybuant przekroczeń oraz funkcji hazardu w analizach zagrożenia powodziowego [Pericchi, Rodriguez, 1985, s. 511-541]. Zastosowanie rozkładów prawdopodobieństwa do estymacji częstości powodzi zostało także zilustrowane w pracy Greisa i Wooda [1981, s. 1167-1177]. Shen zastosowała rozkłady prawdopodobieństwa do prognozowania zjawisk powodziowych [Shen, Bryson, Ochoa, 1980, s. 361-364]. Dwuskładnikowy rozkład wartości ekstremalnych został zaproponowany przez Rossiego do analizy częstości występowania powodzi [Rossi, Fiorentino,

Versace, 1986, s. 1551-1564]. Beran w tym samym roku opublikował komentarz do tej pracy [Beran, Hoskin, Arnell, 1986, s. 263-266]. W kolejnych latach Smith, Jain i Singh oraz Ahmad dostarczyli dyskusji na temat zastosowania I typu rozkładu wartości ekstremalnych do analizy częstości występowania powodzi [Jain, Singh, 1987, s. 59-71; Smith, 1987, s. 1657-1666; Ahmad, Sinclair, Spurr, 1988, s. 1323-1328]. Pod koniec XX w. po wielkiej powodzi w USA, która wyrządziła ogromne straty na środkowym-zachodzie kraju, zastosowanie teorii wartości ekstremalnych w analizie zjawisk powodziowych przedstawił w swojej pracy Hipel. Zaprezentował dokładnie analizę przekroczeń stanów alarmowych na przestrzeni 100 lat w kontekście powodzi z 1993 r. [Hipel, 1994].

Przedstawiony powyżej przegląd zastosowań teorii wartości ekstremalnych to jedynie wyselekcjonowane pozycje, które dotyczą tylko i wyłącznie zjawisk powodziowych. Dodatkowo należy wspomnieć o bardzo dużej liczbie publikacji traktujących o zastosowaniu teorii wartości ekstremalnych do modelowania wielu innych zjawisk meteorologicznych oraz zjawisk z dziedziny ekonomii, inżynierii i innych. Początek XXI w. to kontynuacja badań nad zastosowaniami omawianej teorii. Z uwagi na ograniczone ramy tej publikacji, na tym etapie zakończy się punkt poświęcony przeglądowi literatury.

## **2. Analiza statystyczna maksymalnych dobowych przepływów**

W artykule, w celu zbadania prawdopodobieństwa występowania powodzi na rozpatrywanym terenie, badaniu zostanie poddany parametr hydrometryczny w postaci maksymalnego dobowego natężenia przepływu wody w badanej rzece, mierzony w jednostce [ $m^3/s$ ]. Definicję parametru natężenia przepływu wody w rzece można znaleźć w pracy Byczkowskiego [1996, s. 126]. Opierając się na zebranych danych, dotyczących maksymalnych dobowych natężeń przepływów w badanych punktach rzeki, zostanie podjęta próba oszacowania ryzyka powodziowego na podstawie jednego z wybranych rozkładów teorii wartości ekstremalnych, odnoszących się do wyselekcjonowanych maksimum rocznych natężeń przepływów.

### **2.1. Metody wykorzystywane do przewidywania zjawisk powodziowych**

Metoda określania prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi na danym obszarze polega na statystycznym dopasowaniu teoretycznych rozkładów do dostępnych danych dotyczących parametrów hydrometrycznych. Najczęściej

badanymi parametrami hydrometrycznymi są: natężenie przepływu (parametr hydrometryczny badany w tej pracy) oraz stan wody w badanym punkcie rzeki. Do tej pory badacze sugerowali wiele różnych teoretycznych rozkładów prawdopodobieństwa do opisu zjawisk powodziowych, ale żaden z nich nie był stosowany powszechnie, jako wyraźnie dominujący. Duża liczba czynników, jakie mają wpływ na kształtowanie się rozkładów maksimów wymienionych parametrów hydrometrycznych, powoduje, że prowadząc badania dla wybranych obszarów rzecznych, należy za każdym razem zastosować kilka rozkładów w celu dopasowania tego, który najlepiej oddaje empiryczny rozkład badanego parametru na danym obszarze. Jako kryterium wyboru najlepiej dopasowanego rozkładu spośród badanych rozkładów teoretycznych powszechnie są stosowane znane nieparametryczne testy zgodności dla rozkładów, a do estymacji parametrów dla tych rozkładów stosuje się metody estymacji: metodę momentów oraz metodę największej wiarygodności [Magiera, 2002, s. 162-167, 239]. Oczywiście jest wiele innych metod, za pomocą których można oszacować parametry rozkładów teoretycznych na podstawie informacji pochodzących z badanej próby, jak np. metoda dopasowania krzywej, czy też metoda momentów ważonych prawdopodobieństwem [Mkhandi, Kachro, Guo, 1996, s. 317-333; Chen i in., 2002, s. 263-269].

Alternatywnie, można również zastosować różne metody dla bezpośredniego modelowania ogonów rozkładu. Te metody w swojej pracy rozwijał Meas [1995, s. 997-1002].

Wszystkie wymienione powyżej metody wymagają dodatkowych wejściowych informacji, podczas gdy metoda momentów i największej wiarygodności są niezależne od dodatkowych założeń, dlatego to one są najczęściej stosowane do rozwiązywania problemów praktycznych.

## 2.2. Charakterystyki danych hydrologicznych

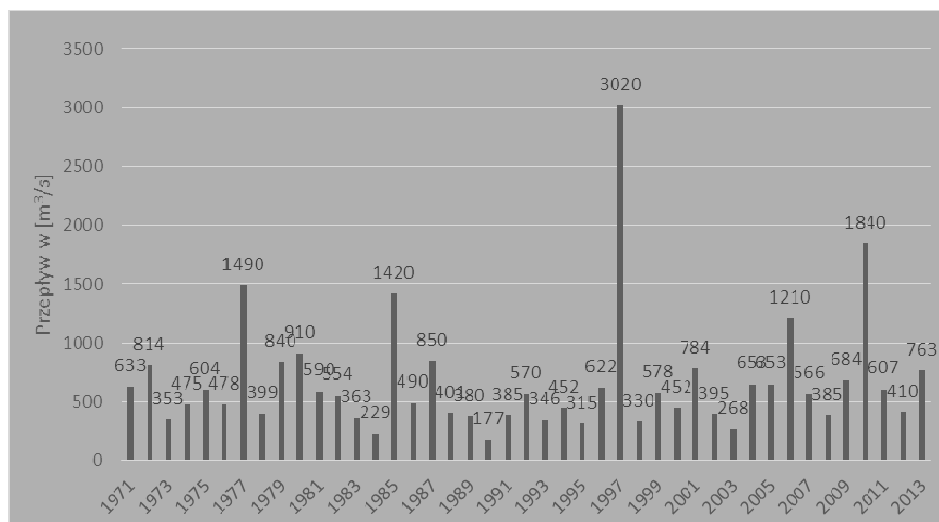
Na potrzeby realizacji celów tej pracy zostały zebrane dobowe maksymalne przepływy na rzece Odrze w stacji hydrologicznej w Malczycach z okresu od 01.01.1971 r. do 31.12.2013 r. Z tych danych zostaną wyselekcjonowane maksima roczne przepływów w badanej rzece.

W celu wyselekcjonowania z badanego zbioru danych maksimów rocznych zostanie zastosowana metoda maksimów rocznych (określenie „roczne” w nazwie tej metody jest symboliczne i oznacza pewien ustalony przez badacza przedział czasowy, zawierający określoną liczbę obserwacji w zależności od częstości, z jaką obserwacje są dokonywane), inaczej znana jako metoda blokowa lub Gumbela [Thomas, Reiss, 2007, s. 9].

Zgodnie z tą metodą, chcąc wyselekcjonować maksima z określonego zbioru danych, oznacza się, że  $y_i$  są maksimami, tzn.:

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

W kontekście badań prowadzonych w tej pracy  $x_{ij}$ ,  $j = 1, \dots, m$ , gdzie jest  $j$ -tym dobowym maksymalnym przepływem w  $i$ -tym roku poddanym badaniu. Wykres maksimów rocznych dobowych przepływów z badanego okresu przedstawia rys. 1.



**Rys. 1.** Roczne maksima dobowych przepływów na rzece Odrze w stacji hydrologicznej w Malczycach

Źródło: Opracowanie własne.

Na wykresie widać, że w badanym okresie historycznie duży przepływ odnotowano w tej stacji hydrologicznej w 1997 r. i wyniósł on  $q_{1997} = 3020 \text{ [m}^3/\text{s]}$ . Na początku podstawowe parametry dla próby maksimów rocznych zostaną estymowane przy użyciu metody momentów, która nie wymaga informacji o rodzaju ukrytego jak na ten moment rozkładu maksimów. W tabeli 1 są przedstawione estymatory punktowe podstawowych parametrów policzone na podstawie próby wyselekcjonowanych maksimów rocznych z oraz bez historycznego maksimum obserwowanego dla 1997 r. ( $q_{1997}$ ).

**Tabela 1.** Parametry z próby rocznych maksimów przepływów  
(wielkość prób  $n = 43$  lub  $44$ )

Parametry próby	Bez obserwacji $q_{1997}$	Z obserwacją $q_{1997}$
Średnia	601,5 m <sup>3</sup> /s	656,5 m <sup>3</sup> /s
Odchylenie standardowe	347,4 m <sup>3</sup> /s	500,8 m <sup>3</sup> /s
Współczynnik zmienności	0,58	0,76
Współczynnik skośności	1,8	2,98

Źródło: Opracowanie własne.

### 2.3. Empiryczny rozkład maksimów rocznych oraz teoretyczny rozkład Persona III

W analizie dotyczącej rozkładów maksimów danych hydrologicznych sugeruje się stosować rozkład Gumbela [Yue i in., 1999, s. 88-100]. Innym możliwym teoretycznym rozkładem, który może zostać użyty do modelowania rocznych maksimów przepływów rzecznych jest II typ rozkładu wartości ekstremalnych, nazywany rozkładem Frecheta [Thomas i Reiss, 2007, s. 15].

Raport [IACWD (U.S. Interagency Advisory Committee on Water Data – Hydrology Subcommittee), 1983] rekomenduje rozkład III Persona do przewidywania zjawisk powodziowych, który to zostanie zastosowany w badaniach prowadzonych na potrzeby realizacji celu tego opracowania.

Rozkład Persona III, inaczej określany jako rozkład Gamma, i jego funkcja gęstości jest opisana poniższym wzorem [Thomas i Reiss, 2007, s. 125]:

$$\tilde{g}_{r,\theta} = \frac{\theta^r}{\Gamma(r)} x^{r-1} \exp(-x\theta), \quad x \geq 0, \quad (2)$$

gdzie:

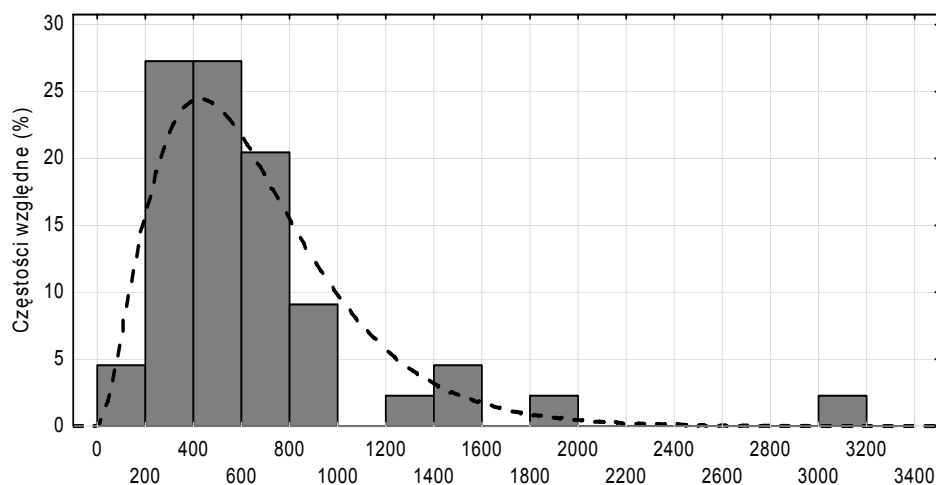
$r > 0$  i jest parametrem kształtu,

$\theta > 0$  i jest parametrem skali,

$\Gamma$  jest funkcją gamma.

Na rys. 2 jest przedstawiony empiryczny histogram rozkładu częstości wyselekcjonowanych rocznych maksimów. Wykres został sporządzony z wykorzystaniem wszystkich otrzymanych maksimów, łącznie z historycznie wysokim z 1997 r. Na wykresie została również naniesiona funkcja gęstości prawdopodobieństwa teoretycznego rozkładu Persona III (rozkładu Gamma), której parametry zostały wyestymowane za pomocą metody największej wiarygodności na podstawie wyselekcjonowanej próby maksimów. Otrzymane wartości parametrów dla rozkładu Persona III to odpowiednio parametr kształtu  $r = 2,88$  i parametr skali  $\theta = 0,0044$ .





**Rys. 2.** Histogram empirycznego rozkładu częstości maksimów rocznych przepływów na rzece Odrze w stacji hydrologicznej w Malczycach, teoretyczny rozkład Persona III z parametrami  $r = 2,88$  i  $\theta = 0,0044$

Źródło: Opracowanie własne w programie *STATISTICA 10*.

Ocena wzrokowa obu wykresów z rys. 2 wskazuje na bardzo dobre dopasowanie teoretycznego rozkładu Persona III do rozkładu empirycznego badanych rocznych maksimów przepływów. Ocenę tę potwierdza również test statystyczny chi-kwadrat na zgodność rozkładu empirycznego z teoretycznym, dla którego  $p$ -value wyniosło 0,42. Na tej podstawie można wnioskować, że dopasowany teoretyczny rozkład prawdopodobieństwa Persona III może zostać wykorzystany jako narzędzie wspomagające wstępny proces oceny ryzyka powodziowego dla obszaru położonego w okolicy stacji hydrologicznej w Malczycach nad rzeką Odrą.

### 3. Szacowanie ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego

Po przeprowadzeniu procedury dopasowania teoretycznego rozkładu prawdopodobieństwa do empirycznego rozkładu badanych rocznych maksymalnych przepływów na rzece Odrze w stacji hydrologicznej w Malczycach zostanie ono wykorzystane do oszacowania ryzyka wystąpienia zagrożenia powodziowego na tym terenie.

W tabeli 3 są przedstawione parametry rozkładu Persona III, które zostały wyestymowane na podstawie próby maksymalnych rocznych przepływów dla badanego terenu w poprzednim punkcie.

**Tabela 3.** Parametry rozkładu Persona III wykorzystane do oceny zagrożenia powodziowego

Rozkład	Parametry	
	$R$	$\theta$
Persona III	2,88	0,0044

Źródło: Opracowanie własne.

W celu wstępnej oceny zagrożenia powodziowego na badanym obszarze dla przykładu zostaną wzięte pod uwagę przepływy z lat, w których na Dolnym Śląsku wystąpiły ostatnie największe powodzie, czyli lata 1997 oraz 2010. Maksymalne przepływy dla tych okresów w badanym punkcie pomiarowym wynoszą odpowiednio:  $q_{1997} = 3020$  [m<sup>2</sup>/s] i  $q_{2010} = 1840$  [m<sup>2</sup>/s]. Wykorzystując dystrybuantę wyestymowanego rozkładu, zostały obliczone prawdopodobieństwa osiągnięcia wartości przepływów z lat 1997 i 2010. Wyniki obliczeń zostały zamieszczone w tabeli 4.

**Tabela 4.** Prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia powodziowego na rzece Odrze w obszarze Malczyc

Rozkład	$P(Y \geq q_{1997})$	$P(Y \geq q_{2010})$
Persona III	0,00014	0,011

Źródło: Opracowanie własne.

Analizując dokonane obliczenia, można stwierdzić, że na analizowanym obszarze takiej powodzi, jaka wystąpiła w 1997 r., można się spodziewać średnio raz na 7140 lat, natomiast poziomu wody, jaki został osiągnięty podczas powodzi z 2010 r., można się już spodziewać znacznie częściej, bo już średnio raz na 90 lat. Biorąc pod uwagę tę drugą wartość prawdopodobieństwa, badany obszar zostaje zakwalifikowany w procesie wstępnej oceny ryzyka powodziowego do obszaru o średnim prawdopodobieństwie wystąpienia powodzi. Oczywiście bardzo niskie prawdopodobieństwo osiągnięcia stanu z 1997 r. nie należy w żadnym wypadku stosować do oceny obszaru badanego jako obszaru prawie kompletnie niezagrażonego pod względem powodzi. W 1997 r. fala powodziowa była rekordowo wysoka. Osiągnięcie o wiele mniejszych rozmiarów przepływów na tym obszarze też spowodowałoby powódź.

W sytuacji kiedy znany jest teoretyczny rozkład, który jest dobrze dopasowany do empirycznych danych, wtedy stanowi on bardzo wygodne narzędzie do obliczania prawdopodobieństwa zajścia dowolnych zdarzeń stanowiących zagrożenie powodziowe na rozpatrywanym obszarze.

## Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań w niniejszym artykule można stwierdzić, że rozkład Persona III jest rozkładem, który bardzo dobrze opisuje maksymalne roczne przepływy na rzece Odrze w miejscowości Malczyce. Jednocześnie może on stanowić bardzo efektywne narzędzie wspierające pierwszy etap procesu planowania na wypadek wystąpienia powodzi w postaci wstępnej oceny ryzyka powodziowego, który określa Dyrektywa Powodziowa ustanowiona przez Parlament Europejski.

Rozkład Persona III, jak inne teoretyczne rozkłady prawdopodobieństwa stosowane w teorii wartości ekstremalnych do modelowania maksimów, są narzędziami wysoce efektywnymi i dokładnymi. Ich dokładność wynika z faktu, iż są estymowane na podstawie rzeczywistych danych hydrologicznych pochodzących z bezpośrednich pomiarów, a próby poddawane badaniom są w większości przypadków bardzo liczne.

Za pomocą dobrze dopasowanego teoretycznego rozkładu prawdopodobieństwa, w przypadku tego opracowania – rozkładu Persona III, można w prosty i szybki sposób oszacować ryzyko wystąpienia dowolnego poziomu ryzyka zagrożenia powodziowego. Może być to wartość parametru hydrologicznego, która będzie świadczyć o wystąpieniu jedynie stanu określanego jako ostrzegawczy, lub może być to prawdopodobieństwo wystąpienia stanu alarmowego czy też poziomu, przy którym mówi się już na danym obszarze o powodzi.

Na uwagę zasługuje jeszcze jeden bardzo istotny fakt, o którym było już wspomniane w tym artykule. Na wartość określonego parametru hydrometrycznego na badanym obszarze wpływa bardzo dużo różnych czynników. W związku z tym, jeżeli do modelowania określonego parametru hydrometrycznego na konkretnym obszarze bardzo dobry okaże się przedstawiony w pracy rozkład Persona III, to nie znaczy, że będzie on dobrze opisywał parametry hydrometryczne na innych obszarach, nawet dla tej samej rzeki. Dlatego przy kompleksowych ocenach wstępnych wystąpienia ryzyka powodzi, należy sprawdzić zawsze kilka rozkładów, które są stosowane do tego typu badań.

## Literatura

- Ahmad M., Sinclair C., Spurr B. (1988), *Assessment of Flood Frequency Models Using Empirical Distribution Function Statistics*, „Water Resources Research”, Vol. 24.
- Beran M., Hoskin J., Arnell N. (1986), *Comment on Two – Component Extreme Value Distribution for Flood Frequency Analysis by Fabio Rossi, Mauro Fiorentino, Pasquale Versace*, „Water Resources Research”, Vol. 22.

- Bortkiewicz L. (1922), *Variationsbreite und mittlerer Fehler*, „Sitzungsber Berli. Meth. Ges.”, 21.
- Byczkowski A. (1996), *Hydrologia*, tom I, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Council T.E. (2007), *Directive 2007/60/EC on the Assessment and Management of Flood Risks*, Official Journal of the European Union, Brussels.
- Chen Y., Shortle J., Gelder P., Sha Z. (2002), *Study of Parameter Estimation Methods for Pearson – III Distribution in Flood Frequency Analysis*, „International Association of Hydrological Sciences”, No. 271.
- Fuller W. (1914), *Floods Flows*, „Transaction American Society of Civil Engineers”, Vol. 77.
- Greis N., Wood E. (1981), *Regional Flood Frequency Estimation and Network Design*, „Water Resources Research”, Vol. 17(4).
- Gumbel E. (1941), *The Return Period of Flood Flaws*, „Annals of Mathematical Statistics”, Vol.12.
- Gumbel E. (1943), *On the Plotting of Flood Discharges*, „Transactions American Geophysical Union”, Vol. 24(2).
- Gumbel E. (1945), *Floods Estimated by Probability Methods*, „Engineering News-Record”, 134.
- Gumbel E. (1949), *The Statistical Forecast of Floods*, „Water Resources Board Bulletin”, No. 15.
- Gumbel E. (1954), *Statistical Theory of Extreme Values and Some Practical Applications*, „National Bureau of Standards, Applied Mathematics Series”, Vol. 33.
- Hipel K. (1994), *Extreme Values: Floods and Droughts*, Proceedings of International Conference on Stochastic and Statistical Methods in Hydrology and Environmental Engineering, Vol. 1, Kluwer, Dordrecht.
- Jain D., Singh V. (1987), *Estimating Parameters of EVI Distribution for Flood Frequency Analysis*, „Water Resources Research”, Vol. 23.
- Kundzewicz Z. (2005), *Summer Floods in Central Europe. Climate Change Track?* „Natural Hazards”, Vol. 36(1).
- Maes M. (1995), *Tail Heaviness in Structural Reliability*, Proc. ICASP7.
- Magiera R. (2002), *Modele i metody statystyki matematycznej*, Oficyna Wydawnicza GiS, Wrocław.
- Mkhandi S., Kachro R., Guo S. (1996), *Uncertainty Analysis of Flood Quantile Estiamtes with Reference to Tanzania*, „Journal of Hydrology”, Vol. 185(1-4).
- Pericchi L., Rodriguez-Iturbe I. (1985), *On Statistical Analysis of Floods*, [in:] A.F. Atkinson, *Celebration Statistics* (s. 511-541). The ISI Centenary Volume.
- Rossi F., Fiorentino M., Versace P. (1986), *Two – Component Extreme Value Distribution for Flood Frequency Analysis*, „Water Resources Research”, Vol. 22.
- Shen H., Bryson M., Ochoa I. (1980), *Effect of Tail Behavior Assumptions on Flood*, „Water Resources Research”, Vol. 16.

- Smith R. (1987), *Estimating the Upper Tail of Flood Frequency Distributions*, „Water Resources Research”, Vol. 23.
- Stovel H. (1998), *Risk Preparedness: A Management Manual for World Cultural Heritage*, International Centre for the Study of Preservation and Restoration of Cultural Property, Roma.
- Thomas M., Reiss R.-D. (2007), *Statistical Analysis of Extreme Value with Applications to Insurance, Finance, Hydrology and Other Fields*, Birkhauser, Basel.
- Todorovic P. (1979), *A Probabilistic Approach to Analysis and Prediction of Floods*, Proc. 43rd ISI.
- [KZGW, 2007-2013]: Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej KZGW (2007-2013), *Projekt Planu Zarządzania Ryzykiem Powodziowym dla Regionu Wodnego Małej Wisły*, Plany Zarządzania Ryzykiem Powodziowym dla obszarów dorzeczy i regionów wodnych.
- Yue S., Bobe B., Legendre P., Bruneau P. (1999), *The Gumbel Mixed Model for Flood Frequency Analysis*, „Journal of Hydrology”, Vol. 226(1-2).

#### THE USING OF PERSON III DISTRIBUTION FOR INITIAL ASSESSMENT OF FLOOD RISK ON ODRA RIVER

**Summary:** The article concerns the application Person III distribution to estimate risk of risk flood danger in Lower Silesia. In study maximal daily flow on Odra river were used, that in the hydrological station Malczyce were gathered. From the collected date from period 1971-2013 annual maximum flows were selected. Based on selected maximum they empirical distribution was created, for which theoretical Person III distribution was fitted. After statistical verification of fitting one was used for assessment flood risk on studying area.

**Keywords:** flood risk, annual maxima, fluvial flow, Person III distribution.