

*Tomasz Bryndal***Obszary predysponowane do występowania gwałtownych wezbrań w Karpatach w kontekście przeciwdziałania ekonomicznym skutkom powodzi błyskawicznych****Streszczenie**

Karpaty są regionem, w którym często występują powodzie błyskawiczne. Powodzie te powodują znaczące straty gospodarcze, które można ograniczyć zmniejszając tzw. ekspozycje i wrażliwość na powódź. Informacja o obszarach szczególnie podatnych na występowanie powodzi może wspomóc planowanie tych działań. Celem pracy było wskazanie regionów oraz gmin, które są predysponowane do występowania powodzi błyskawicznych. Wyodrębnienia tych obszarów dokonano na podstawie rozmieszczenia zlewni podatnych na występowanie gwałtownych wezbrań korzystając z dwóch miar: 1) procentowego udziału tych zlewni w regionie/gminie, 2) wskaźnika podatności terenowej (Wpt). Wyniki wykazały, że zachodnie i południowe regiony Karpat są bardziej predysponowane do występowania powodzi błyskawicznych. W odniesieniu do gmin obserwowano większe zróżnicowanie przestrzenne. Wysokie predyspozycje do występowania gwałtownych wezbrań stwierdzono w 43 gminach (ok. 15% gmin), rozmieszczonych w różnych częściach Karpat. Dla tych gmin wskazano zlewnie, w których mogą wystąpić powodzie błyskawiczne. Uzyskane wyniki mogą być podstawą działań prewencyjnych pozwalających ograniczyć ekonomiczne skutki powodzi błyskawicznych w Karpatach.

Słowa kluczowe: gmina; gwałtowne wezbranie; Karpaty; lokalna powódź; region fizycznogeograficzny

Areas prone to flash floods occurrence in the Carpathians in the context of preventing economic loss caused by them**Abstract**

The Carpathians are usually affected by flash floods. These events are generated by short and intense rainstorm events. The floods cause significant damage which may be reduced by reducing the so-called flood exposure and flood vulnerability. Information on areas particularly prone to flash flooding should be the basis for actions towards reducing flood exposure and flood vulnerability. The goal of this paper was to present geographic regions and districts prone to flash flood occurrence. These areas were selected on the basis of spatial distributions of catchments vulnerable to flash flood occurrences. Results revealed that geographic regions located in the western and southern parts of the Carpathians are more vulnerable to

flash flood occurrences. More spatial diversities were observed in relation to districts. Higher predisposition to flash flood occurrences was identified within 43 districts accounting for 15% of all Carpathian districts. Catchments more vulnerable to flash flood generation/occurrences were indicated in these districts. Results obtained in the work can be the basis for "preventive action" resulting in reducing the potential negative effects of flash flood.

Key words: district; flash flood; the Carpathians; local flooding; geographical region

Karpaty są regionem Polski, w którym najczęściej występują powodzie błyskawiczne (*flash-flood*) (Ostrowski i in. 2012). Są one skutkiem gwałtownych wezbrań, formowanych przez krótkotrwałe i intensywne opady deszczu (Parczewski 1960). Duża liczba tego typu powodzi na terenie Karpat jest związana z nakładaniem się predyspozycji opadowych (Lorenc i in. 2012), jak również cech fizjograficznych terenu (Ostrowski i in. 2012; Bryndal 2014a, b, c).

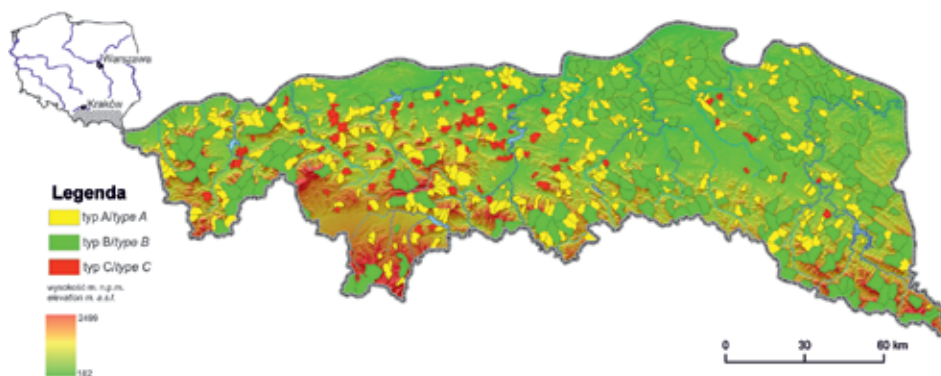
Powodzie spowodowane przez krótkotrwałe i intensywne opady deszczu występują w Karpatach prawie każdego roku (Bryndal i in. 2010a, b, c; Gil 1998; Izmańłow i in. 2004; Ostrowski i in. 2012). Ze względu na ich lokalny charakter, poświęca się im stosunkowo niewiele uwagi. Warto jednak podkreślić, że powodzie te są przyczyną strat gospodarczych, które w znacznej mierze finansowane są z budżetów lokalnych samorządów. Wiele opracowań podkreśla, że „działania prewencyjne” polegające na ograniczeniu tzw. ekspozycji oraz wrażliwości na powódź są najskuteczniejszymi metodami pozwalającymi zmniejszyć ekonomiczne skutki powodzi błyskawicznych (Bryndal 2014b, d, e; Konieczny i in. 2012; Kron 2002; Montz i Grunfest 2002).

Celem tej pracy było wskazanie w Karpatach regionów fizycznogeograficznych oraz gmin, które są predysponowane do występowania gwałtownych wezbrań. Wyodrębnienie tych jednostek daje możliwość podjęcia działań, które pozwolą odpowiednio wcześniej przygotować się na powódź i w ten sposób ograniczyć ekonomiczne skutki powodzi błyskawicznych w Karpatach.

Materiały i metody

W dotychczasowej metodologii, zbieranie i zestawienie informacji o powodziach, było podstawą wydzielenia obszarów predysponowanych do występowania tych zjawisk (np. Dobrowolski i in. 2010; Mikulski 1954; Ostrowski i in. 2012). W odniesieniu, do tzw. powodzi błyskawicznych, zestawienia wykonane na podstawie informacji gromadzonych *post-factum*, mogą być obarczone błędem związanym z oceną zjawiska, przyjętą definicją oraz materiałami źródłowymi. Dla przykładu, obszerne zestawienie wykonane podczas prowadzonej w 2011 roku Wstępnej Oceny Ryzyka Powodziowego (Raport... 2011) wykazało, że na ponad 4900 znaczących powodzi, tych spowodowanych gwałtownymi wezbrzeniami (tzw. powodzi błyskawicznych – symbol A31) zdiagnozowano kilkanaście (Raport... 2011 – załącznik II). Z kolei w opracowaniu Ostrowskiego i innych (2012) mamy zestawionych wiele przypadków lokalnych powodzi typu *flash-flood*. Przyjęcie bardzo ogólnej definicji „lokalnej powodzi” przełożyło się na dużą liczbę raportowanych zjawisk, zwłaszcza z ostatnich lat, dla których z pewnością materiał źródłowy był liczniejszy.

W niniejszej pracy zastosowano odmienną metodologię. Badania hydrologiczne wielokrotnie dowiodły, że na przebieg wezbrania mają wpływ parametry opadu oraz cechy fizjograficzne zlewni, która transformuje opad w odpływ. Analiza cech zlewni w których wystąpiły gwałtowne wezbrania, pozwoliła opracować procedurę, która umożliwia wyodrębnić w przestrzeni geograficznej zlewnie bardziej podatne na formowanie tego typu wezbrań. Obszerną charakterystykę tej procedury opisano w pracy autora (Bryndal 2014b). W procedurze zastosowano metodę doboru zlewni podobnej, zaproponowaną przez Brzezińskiego (1996), którą zmodyfikowano tak, aby można było uwypuklić wpływ właściwości zlewni na formowanie wezbrania. Mając świadomość, że zlewnia jest zlokalizowana w przestrzeni geograficznej, można pośrednio ocenić predyspozycje danego terenu do występowania gwałtownych wezbrań. Taki sposób postępowania badawczego jest szczególnie uzasadniony, zważywszy na fakt, że ulewy formujące gwałtowne wezbrania mają charakter losowy i mogą wystąpić wszędzie (Tuszyńska 2010). Informacja o przestrzennym rozmieszczeniu zlewni podatnych na formowanie gwałtownych wezbrań (ryc. 1) pozwoliła wydzielić obszary predysponowane do występowania powodzi błyskawicznych w Karpatach.



Ryc. 1. Rozmieszczenie zlewni podatnych na występowanie gwałtownych wezbrań w Karpatach. Barwą oznaczono predyspozycje typów zlewni do formowania gwałtownych wezbrań. Ilościową charakterystykę podatności typów zlewni zawiera tabela nr 1 (Bryndal 2014b)

Źródło: Opracowanie własne

Ocenę tę przeprowadzono w nawiązaniu do regionów fizycznogeograficznych (Kondracki 1994) oraz gmin, obliczając:

1) procentowe udziały, jakie zajmują wydzielane zlewnie w obrębie regionu fizycznogeograficznego/gminy oraz

2) stosując opracowany przez autora (Bryndal 2014b), wskaźnik podatności terenowej (Wpt), który dodatkowo ujmuje podatność zlewni na formowanie gwałtownych wezbrań (tab. 1). Wskaźnik liczony wg wzoru:

$$Wpt = A \cdot 2 + B \cdot 1 + C \cdot 3 \quad (1)$$

gdzie: A, B, C – oznaczają procentowe udziały zlewni typu A, B, C (tab. 1) w regionie fizycznogeograficznym/gminie, 1, 2, 3 – rangi przypisane typom, w zależności od ich podatności do formowania gwałtownych wezbrań. Wyższa ranga oddaje większą podatność typu na formowanie gwałtownych wezbrań. Wskaźnik W_{pt} może przyjmując wartości z przedziału 0–300; gdzie 300 oznacza, że całą powierzchnię regionu/gminy zajmują zlewnie, które są najbardziej podatne na formowanie gwałtownych wezbrań (typ C).

Podjęcie działań mających na celu ograniczenie ekonomicznych skutków powodzi błyskawicznych wymaga, aby gminy posiadały informację o rozmieszczeniu zlewni, w których mogą one wystąpić. Dlatego, dla gmin najbardziej predysponowanych do występowania powodzi błyskawicznych, wymieniono nazwy tych zlewni.

Wydzielenia regionów i gmin predysponowanych do występowania gwałtownych wezbrań dokonano w oprogramowaniu GIS, wykorzystując pakiet Arc-Info 9.3.

Tab. 1. Podatność zlewni typu A, B, C na formowanie gwałtownych wezbrań w oparciu o transformację opadu w odpływ oraz parametry fal wezbraniowych

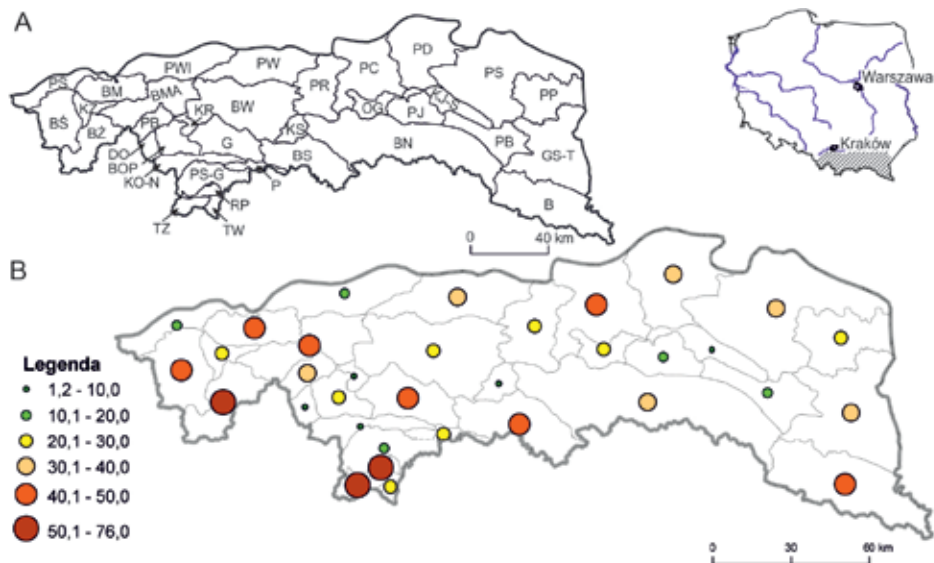
Typ Type	P [mm]	S [mm]	Pe [mm]	A [km ²]	td [min]	tp [min]	Q _{max} [m ³ .s ⁻¹]	q _{max} [m ³ .s ⁻¹ . km ²]	Rc [-]
Opad z górnej części zlewni Wielopolki 25 06 2009 (radar)									
A	27,7	22,68	5,02	7,9	40	140	7,5	0,9	0,18
B	27,7	24,62	3,08	21,7	50	180	8,3	0,4	0,11
C	27,7	20,77	6,93	7,9	30	120	12,4	1,6	0,25
Opad z posterunku Szymbark-Zapadle 7 06 1985 (pluwiograf)									
A	82,75	39,44	43,31	7,9	30	140	57,6	7,3	0,52
B	82,75	45,97	36,78	21,7	30	180	95,1	4,4	0,44
C	82,75	33,53	49,22	7,9	20	120	73,9	9,4	0,59

Źródło: Obliczenia własne. P – opad, S – straty opadu, Pe – opad efektywny, A – powierzchnia zlewni, td – czas opóźnienia (liczony od początku opadu do punktu na hydrogramie, w którym nastąpił wzrost przepływu), tp – czas koncentracji, Q_{max} – natężenie przepływu, q_{max} – odpływ jednostkowy, Rc – współczynnik odpływu. (Bryndal 2014b)

Wyniki i dyskusja

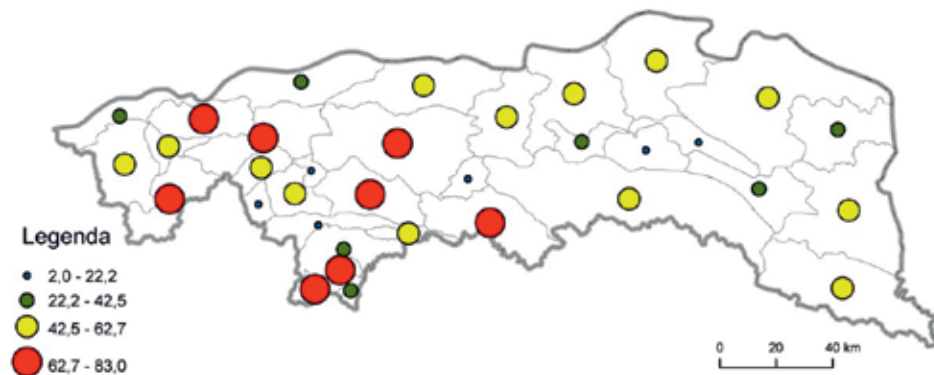
Region fizycznogeograficzny obejmuje obszar podobny pod względem komponentów środowiska geograficznego (Kondracki 1994). Analiza rozmieszczenia zlewni w nawiązaniu do granic tych jednostek pozwoli ocenić wpływ uwarunkowań środowiskowych na występowanie gwałtownych wezbrań.

Na rycinie 2 zaprezentowano procentowy udział, jaki zajmują zlewnie, w odniesieniu do powierzchni regionu fizycznogeograficznego. Pod tym względem, wyróżniają się: Beskid Żywiecki (55%), Tatry Zachodnie (70%) i Rów Podtatrzeński (51%). W pasie ciągnącym się od Beskidu Śląskiego, przez Beskidy Małe i Makowski, Gorce aż po Beskid Sądecki oraz w Bieszczadach Zachodnich i na Pogórzu Ciężkowickim,



Ryc. 2. Procentowy udział zlewni w powierzchni regionu fizycznogeograficznych – A, podział Karpat na regiony fizycznogeograficzne – B (Bryndał 2014b)

Źródło: Opracowanie własne



Ryc. 3. Przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika podatności terenowej Wpt w regionach fizycznogeograficznych (Bryndał 2014b)

Źródło: Opracowanie własne

wydzielone zlewnie zajmują od 40% do 50% powierzchni regionu. Na Pogórzach: Wiśnickim, Dynowskim, Strzyżowskim, Górach Sanocko-Turczańskich, Beskidzie Niskim i Paśmie Babiogórskim, udział ten mieści się w przedziale od 30% do 40%.

W środkowej części Karpat, w pasie ciągnącym się od Beskidu Orawsko-Podhalańskiego, przez Beskid Wyspowy i Pogórze Rożnowskie, aż po Obniżenie Gorlickie, oraz na Pogórzach Przemyskim, Pieninach, Tatrach Wschodnich i Kotlinie Żywieckiej, udział ten jest nieco niższy i wynosi 20–30%.

Na Pogórzach: Śląskim, Wielickim, Jasielskim, Bukowskim i Spisko-Gubałowskim zlewnie zajmują 14–19% powierzchni regionu. Niskie wartości (pon. 10%), występują w Kotlinach Śródgórskich: Orawsko-Nowotarskiej (1%), Jasielsko-Krośnieńskiej (6%), Rabki Sądeckiej (10%) i Działach Orawskich (10%).

Rycina 3, prezentuje przestrzenne zróżnicowanie wskaźnika podatności terenowej (Wpt) w regionach fizycznogeograficznych.

Analizując ryciny 2 i 3 można zauważyć wiele podobieństw. Uwzględnienie we wskaźniku Wpt różnic w podatności typów zlewni na formowanie gwałtownych wezbrań (por. równanie 1) spowodowało, że niewielkiemu obniżeniu uległa ranga Bieszczad Zachodnich oraz Pogórza Ciężkowickiego, w których znaczący udział miały zlewnie podobne typu B o nieco niższej podatności na formowanie gwałtownych wezbrań, w stosunku do typów A i B (por. tab. 1). Wzrosła natomiast ranga Beskidu Wyspowego, w którym więcej jest zlewni najbardziej podatnych na formowanie gwałtownych wezbrań – typ C (por. tab. 1).

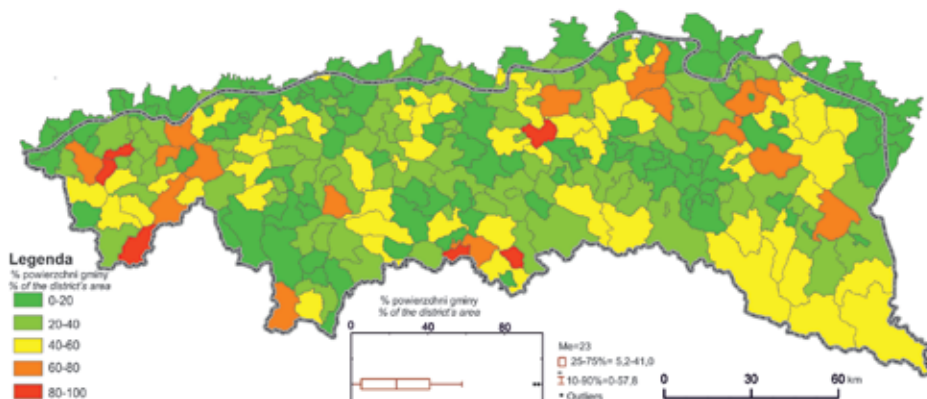
Opierając się na dwóch opisanych miarach można sklasyfikować, regiony fizycznogeograficzne, pod względem ich predyspozycji do występowania gwałtownych wezbrań. Do bardzo predysponowanych regionów należałoby zaliczyć Beskidy: Żywiecki, Mały, Makowski, Wyspowy i Sądecki, Gorce, Tatry Zachodnie oraz Rów Podtatrzański. Do regionów średnio predysponowanych należałoby zaliczyć: Beskid Śląski i Kotlinę Żywiecką, Pasma Babiogórskie i Beskid Orawsko-Podhalański. Drugi zwarty obszar stanowią Pogórza Wiśnickie, Rożnowskie, Ciężkowickie, Dynowskie i Strzyżowskie. Trzeci obszar obejmuje: Pieniny, Beskid Niski, Bieszczady Zachodnie oraz Góry Sanocko-Turczańskie. Do regionów mało predysponowanych należałoby zaliczyć Pogórza: Śląskie, Wielickie, Bukowskie i Przemyskie oraz Obniżenie Gorlickie, Tatry Wschodnie i Pogórze Spisko-Gubałowskie. Do regionów bardzo mało predysponowanych należałoby zaliczyć Kotliny: Rabki, Sądecką, Jasielsko-Sanocką i Orawsko-Nowotarską oraz Pogórze Bukowskie i Działy Orawskie.

Analiza rozmieszczenia zlewni w nawiązaniu do granic regionów fizycznogeograficznych miała za zadanie ocenę wpływu uwarunkowań środowiskowych na poziom zagrożenia związanego z występowaniem gwałtownych wezbrań. Małe rozmiary zlewni, w których występują gwałtowne wezbrania nie pozwalają na ścisłe określenie tych zależności. Wydaje się, że znaczący wpływ wywiera rzeźba terenu, która pośrednio wpływa na wiele parametrów fizjograficznych zlewni, czyniąc je bardziej podatnymi na formowanie gwałtownych wezbrań. Potwierdza to rozmieszczenie zlewni (ryc. 1). W kotlinach śródgórskich zostało wydzielone niewiele zlewni. Warto zaznaczyć, że zagrożenie powodziowe w tych regionach, jest związane przede wszystkim z wezbraniem formowanymi przez deszcze rozlewne (Monografia... 1999). Wpływ rzeźby terenu, niewątpliwie widoczny, nie jest jedynym czynnikiem warunkującym poziom zagrożenia związanego z występowaniem gwałtownych wezbrań. Małe rozmiary zlewni powodują, że w obrębie regionów zaznacza się wpływ pozostałych komponentów środowiska takich jak podłoże, użytkowanie terenu itp. Przejawia się w tym, iż w obrębie poszczególnych regionów fizycznogeograficznych występują obszary, w których zlewnie podatne na formowanie gwałtownych wezbrań nie zostały wydzielone, mimo że pod względem cech rzeźby terenu, są one podobne do pozostałej części regionu.

Gminy predysponowane do występowania gwałtownych wezbrań

Ograniczeniem ekonomicznych skutków powodzi błyskawicznych powinny być zainteresowane przede wszystkim samorządy lokalne, ponieważ często ponoszą koszty związane z likwidacją szkód powodziowych. Dlatego dokonano analizy predyspozycji do występowania powodzi w nawiązaniu do gmin oraz wskazano nazwy zlewni w których mogą one wystąpić.

Procentowy udział zlewni podatnych na występowanie gwałtownych wezbrań w odniesieniu do powierzchni gminy, prezentuje rycina 4. Mediana wskazuje, że zlewnie te zajmują przeciętnie ok. 23% powierzchni gminy. Dla 75% gmin udział ten nie przekracza 41%. Tylko w 10% gmin, wartość wskaźnika przekracza 58%. Ranking tych gmin prezentuje tabela 2. Wysokie pozycje zajmują w nim gminy: Wilkowice, Szczyrk, Rzepiennik Strzyżewski, Krynica-Zdrój – miasto, Piwniczna – miasto, Ujsoły oraz Hyżne. W jednostkach tych, wydzielone zlewnie zajmują ponad 80% powierzchni gminy.



Ryc. 4. Procentowy udział zlewni podatnych na formowanie gwałtownych wezbrań w powierzchni gmin

Źródło: Opracowanie własne

Tab. 2. Zestawienie gmin, w których procent powierzchni zajętej przez wydzielone zlewnie przekracza wartość 90 procentyla – lista rankingowa

Lp	Gmina District	Powierzchnia gminy zajęta przez wydzielone zlewnie District's area covered by basins [%]
1	Wilkowice	99
2	Szczyrk	91
3	Rzepiennik Strzyżewski	88
4	Krynica-Zdrój – miasto	85
5	Piwniczna – miasto	84
6	Ujsoły	82

7	Hyżne	80
8	Jeleśnia	79
9	Ryglice	78
10	Olszanica	77
11	Andrychów – obszar wiejski	77
12	Niedźwiedź	77
13	Wielopole Skrzyńskie	76
14	Błazowa – obszar wiejski	72
15	Piwniczna-Zdrój – obszar wiejski	70
16	Brenna	68
17	Domaradz	67
18	Wiśniowa	66
19	Sędziszów Małopolski – obszar wiejski	66
20	Łękawica	63
21	Dydnia	62
22	Stryszawa	61
23	Kościelisko	60
24	Maków Podhalański – obszar wiejski	59
25	Tyrawa Wołoska	58
26	Wisła	58
27	Frysztak	57
28	Szerzyny	57

Źródło: Obliczenia własne

W gminie Wilkowice, zlewnią podatną na formowanie gwałtownych wezbrań jest zlewnia rzeki Biała. W gminie Szczyrk jest to zlewnia Żylicy. W gminie Rzepienik Strzyżewski są to zlewnie Rzepianki i Olszynki. W gminie Krynica-Zdrój, jest to zlewnia Krynyczanki. W gminie Piwniczna jest to zlewnia potoku Czercz, natomiast w gminie Ujsoły są to zlewnie Danielki, Cichej, Glinki i Bystrej. W gminie Hyżne w województwie podkarpackim są to zlewnie Tatyny i górna część zlewni potoku Szklarka.

W gminach: Jeleśnia, Ryglice, Olszanica, Andrychów – obszar wiejski, Niedźwiedź, Wielopole Skrzyńskie, Błazowa – obszar wiejski, Piwniczna-Zdrój – obszar wiejski, Brenna, Domaradz, Wiśniowa, Sędziszów Małopolski – obszar wiejski, Łękawica, Dydnia, Stryszawa, Kościelisko wydzielone zlewnie zajmują od 60% do 80% powierzchni jednostki.

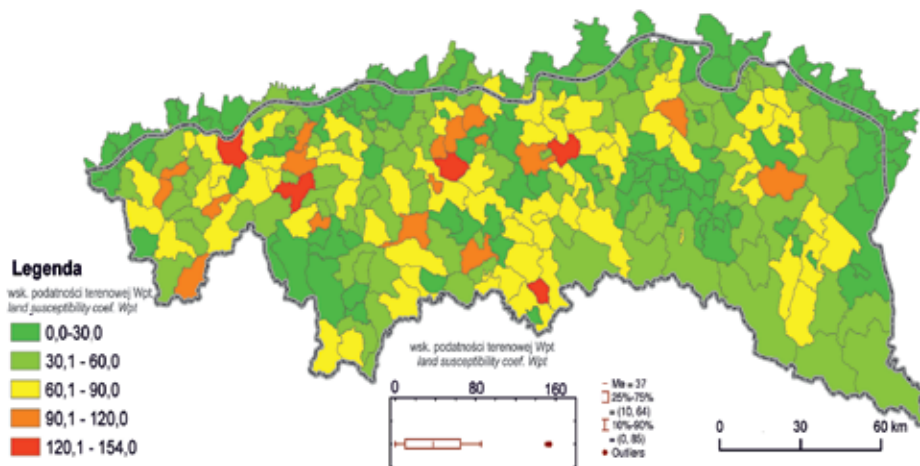
W gminie Jeleśnia są to zlewnie: Sopotnianski, potoku Sopot, Glinnej i Pewlicy. W gminie Ryglice są to zlewnie: Zalasówki, górna część zlewni Szwedki, potok bez nazwy (pbn) płynący od przysiółka Galia Dolna oraz Wolanka. W gminie Olszanica, z większych zlewni, należy wymienić: Tyrawkę, Borsukowiec, Waniówkę, Serednicę, Olszankę i Kiliański Potok. W gminie Andrychów są to zlewnie: Targaniczanki, Wieprzówki, pbn w Sułkowicach i Zagórniku oraz górna część zlewni Inwałdzianki.

W gminie Niedźwiedź są to zlewnie: Porębianki i Koniny. W gminie Wielopole Skrzyńskie są to zlewnie: Brzezinki, Iwiernej i górna część Wielopolki (powyżej Wielopola Skrzyńskiego). W gminie Błazowa są to zlewnie: Piątkówki oraz potoków:

Izwór, Ryjak, Lecka i Wojanka. W gminie Piwniczna są to zlewnie: Łomniczanki i Wierchomlanki. W Brennej są to przede wszystkim zlewnie: Brennicy, Leśnicy i Schodnicy. W gminie Domaradz jest to zlewnia Golcówki. W gminie Wiśniowa (podkarpackie) warto wymienić zlewnie: Pstrągówki i Szufnarówki, natomiast resztę obszaru gminy zajmują źródłowe fragmenty zlewni, których przeważająca część jest już położona na terenie sąsiedniej jednostki administracyjnej. W gminie Sędziszów Małopolski jest to zlewnia potoku Budzisz. W gminie Łękawica jest to zlewnia Kocierzanki. W gminie Dydnia to m.in. zlewnie Borownicy, Witryłówki, Krzywego Potoku, Niebockiego Potoku oraz Świnki. W gminie Stryszawa są to zlewnie Lachówki i Stryszawki, natomiast w gminie Kościelisko zlewnie: Siwej Wody oraz Kościelskiego Potoku.

Warto również wymienić zlewnie: Grzechynki, Groniówki, Cedynki, Wieprczanki Żarnowskiej Wody (gmina Maków Podhalański), Rogatki i Berezki (Tyrawa Wołoska), potoków Jawornik, Dziehcinki, Kopydło oraz górną część Wisły powyżej miejscowości Wisła (gmina Wisła).

W gminie Frysztak są to zlewnie: Gogołówki i Stępinka natomiast, w gminie Szerzyny to zlewnie: Czermianki oraz potoki bez nazwy w Żurowej, Świącanach, Szerzynch i Jabłonicy.



Ryc. 5. Wskaźnik podatności terenowej w gminach

Źródło: Opracowanie własne

Rycina 5 prezentuje zróżnicowanie wskaźnika podatności terenowej (Wpt) w gminach. Warto również zwrócić uwagę, że rankingi gmin przeprowadzone według kryterium: procent powierzchni zlewni w gminie oraz wartość wskaźnika podatności terenowej (Wpt) różnią się od siebie (tab. 2, 3). Mimo, że zastosowano takie same zasady tworzenia rankingu (10% gmin z najwyższymi wartościami % i Wpt), połowa gmin uwzględniona w tabeli 2 została wykluczona. Okazuje się, że wskaźnik Wpt w odniesieniu do jednostek o mniejszej powierzchni (gminy) bardziej różnicuje badaną zbiorowość. Faworyzuje jednostki, w których znajdują się zlewnie wysoko podatne na generowanie gwałtownych wezbrań (typy C i A) a obniża rangę tych

gmin, w których wydzielone zlewnie zajmują znaczącą powierzchnię, ale w gminie dominują zlewnie (typ B), które charakteryzowały się nieco niższą podatnością na formowanie gwałtownych wezbrań niż typy A i C (por. tab. 1).

Tab. 3. Zestawienie gmin, w których wartość wskaźnika predyspozycji terenowej (Wpt) przekracza wartość 90 percentyla – lista rankingowa

Lp	Gmina District	Wpt
1	Krynica-Zdrój – miasto	154
2	Laskowa	152
3	Maków Podhalański – obszar wiejski	135
4	Rzepiennik Strzyżewski	126
5	Andrychów – obszar wiejski	123
6	Wilkowice	117
7	Dydnia	116
8	Ciężkowice – obszar wiejski	116
9	Żegocina	115
10	Budzów	114
11	Świnna	113
12	Stary Sącz – obszar wiejski	112
13	Wiśniowa	109
14	Czchów – miasto	109
15	Ujsoły	108
16	Kamienica	108
17	Lanckorona	105
18	Limanowa (gm. miejska)	102
19	Lipnica Murowana	95
20	Szczyrk	94
21	Gnojnik	93
22	Jordanów	91
23	Zagórz – obszar wiejski	89
24	Olszanica	89
25	Wisła	88
26	Czorsztyn	88
27	Ryglice	87
28	Sułkowice – obszar wiejski	87

Źródło: Obliczenia własne, Wpt – wskaźnik podatności terenowej

Zatem, do gmin zestawionych w tabeli 2 należy dodać kilkanaście jednostek, w których procentowy udział w powierzchni gminy nie jest duży, jednakże, na ich terenie znajdują się zlewnie typów A i C, charakteryzujące się wysoką podatnością na występowanie gwałtownych wezbrań (tab. 3).

Do jednostek administracyjnych predysponowanych do występowania gwałtownych wezbrań, należałoby wliczyć takie gminy jak: Laskowa, Żegocina, Budzów,

Świnna, Stary Sącz – obszar wiejski, Czchów – miasto, Kamienica, Lanckorona, Limanowa (gm. miejska), Lipnica Murowana, Gnojnik, Jordanów, Zagórz – obszar wiejski, Czorsztyn, Sułkowice – obszar wiejski.

W gminie Laskowa i Żegocina są to zlewnie potoków: Nagórski, Kamionka, Jaworzyna, pbn Ujanowice przysiółek Pod Mycyną, Sanka i Rozdzielec. W gminie Budzów są to: Paleczka, Skorutówka i Krzywy Potok. W gminie Świnna są to zlewnie: Trzebinki i Pewlicy.

W gminie Stary Sącz są to zlewnie: Jaworzynki, Przysietnickiego Potoku, Grabowskiego Potoku, potoku Jaworów, oraz pbn w Cyganowicach i Mostkach. W gminie Czchów jest to zlewnia Zeliny Czchowskiej. W gminie Kamienica są to zlewnie: Szczawy, Zbłudzy, potoków Głębiec i Wojtasy oraz Zasadnego Potoku. W gminie Lanckorona to zlewnie potoków Cedron, Jastrzębki oraz pbn w Zembrzycach Wielkich. W gminie Limanowa są to dolne fragmenty zlewni potoków: Mordarka, Jabłoniec, Sowlina i Sucha Sowlina. W gminie Lipnica Murowana są to zlewnie potoku Łużyca i górna część Uszwicy. W gminie Gnojnik jest to zlewnia Starej Rzeki oraz potoki w miejscowościach: Gosprzydowa, Gnojnik, Podwiśniowa i Uszew. W gminie Jordanów są to zlewnie Działskiego Potoku i Głazówki. W gminie Zagórz są to zlewnie Kalniczki potoku Brzozowiec, Brodek, Wani oraz potok bez nazwy w Płaszarni. W gminie Czorsztyn są to zlewnie cieków Piekiełko, Mizerzanka, Kluszkowianka. W gminie Sułkowice jest to górna część zlewni potoku Jasieniczka.

Podsumowując, można stwierdzić, że w świetle zastosowanych wskaźników, bardziej predysponowane do występowania powodzi błyskawicznych są regiony fizycznogeograficzne położone w zachodniej i południowej części Karpat. Należy to wiązać z większą liczbą zlewni typów A i C, które charakteryzują się wysoką podatnością na formowanie wezbrań (ryc. 1, tab. 1).

Lokalność tego typu powodzi skutkuje tym, że cechy regionu nie znajdują ścisłego odzwierciedlenia w rozmieszczeniu zlewni podatnych na występowanie powodzi błyskawicznych.

Warto również podkreślić, pomimo iż w Karpatach zidentyfikowano ponad 500 zlewni podatnych na formowanie gwałtownych wezbrań, to wysokie predyspozycje do występowania powodzi błyskawicznych stwierdzono w 43 gminach (tab. 2 i 3), co stanowi ok. 15% wszystkich gmin karpackich.

Przeciwdziałanie ekonomicznym skutkom powodzi błyskawicznych

Straty powodowane przez powodzie błyskawiczne, często stanowią znaczący odsetek dochodów gmin, a ich likwidacja trwa niekiedy wiele lat. Warto jednak podkreślić, że to właśnie lokalne samorządy mają wiele narzędzi (Ustawa o planowaniu... 2003; Ustawa prawo wodne... 2001), które pozwalają ograniczyć ekonomiczne skutki powodzi błyskawicznych (Bryndal 2014d, e; Konieczny i in. 2012). Stefan Ziernicki po powodzi w Piaskach Szlacheckich w 1956 r. (Ziernicki 1956) sformułował wniosek, że w małych zlewniach, najskuteczniejszą metodą ochrony przed skutkami powodzi błyskawicznych jest przestrzeganie zasady „odsunięcia ludzi od wody” – ograniczenie tzw. ekspozycji na powódź. Odpowiednio prowadzone planowanie przestrzenne w obrębie zlewni, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów położonych w obrębie dna doliny, jest najlepszym sposobem pozwalającym

ograniczyć ekonomiczne skutki lokalnych powodzi błyskawicznych. W małych zlewniach, w których najczęściej występują powodzie błyskawiczne, to właśnie samorządy lokalne decydują o sposobie ich zagospodarowania (Ustawa o planowaniu... 2003; Ustawa prawo wodne... 2001).

W ograniczeniu ekonomicznych skutków powodzi błyskawicznych ważne są również działania, które pozwolą przygotować się na powódź – tzw. ograniczenie wrażliwości na powódź. Wydaje się, że szeroko pojęta edukacja powodziowa winna być pierwszym z elementów tych działań. Powinna być prowadzona zarówno wśród tzw. decydentów, jak i wśród mieszkańców. Jej celem musi być uświadamianie zagrożenia związanego z powodziami błyskawicznymi oraz sposobów przygotowania na powódź i reagowania na nią (Konieczny i in. 2012). Wydaje się, że wskazanie gmin, a w ich obrębie zlewni predysponowanych na występowanie gwałtownych wezbrań, powinno przyczynić się do zwiększenia świadomości zagrożenia związanego z występowaniem powodzi błyskawicznych i podjęciem działań, które pozwolą ograniczyć ekonomiczne skutki tych zjawisk.

Podsumowanie

Ograniczenie ekonomicznych skutków powodzi błyskawicznych jest możliwe dzięki prowadzeniu działań na rzecz ograniczenia tzw. ekspozycji i wrażliwości na powódź. Są to działania prewencyjne, które należy podjąć wcześniej. Aby skuteczność tych działań była jak najwyższa, istotną jest informacja mówiąca o tym, w których regionach/gminach/zlewniach tego typu działania należy prowadzić. W mniejszej pracy podjęto próbę wskazania tych obszarów.

Zastosowana w pracy metoda pozwoliła również przeprowadzić swoistego rodzaju diagnozę poziomu zagrożenia związanego z występowaniem powodzi błyskawicznych w Karpatach. Zastosowano do tego nowe podejście badawcze, w którym oceny poziomu zagrożenia w regionach i gminach, dokonano na podstawie rozmieszczenia zlewni podatnych na występowanie gwałtownych wezbrań. Wydaje się, że takie podejście badawcze uzupełnia dotychczas stosowane metody badań, które oparte były na przestrzennej analizie rozmieszczenia odnotowanych już powodzi. Zaproponowane podejście pozwala na swoistego rodzaju prognozę związaną z występowaniem powodzi błyskawicznych (wskazuje konkretne zlewnie i gminy), zwiększając w ten sposób możliwości wcześniejszego przygotowania się na powódź i ograniczenia ekonomicznych skutków tych zjawisk.

Literatura/References

- Brzeziński, J. (1996). Obiektywizacja doboru zlewni podobnej. *Gospodarka Wodna*, 4, 163–167.
- Bryndał, T. (2008). Parametry zlewni, w których wystąpiły lokalne powodzie. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*, sec. B, 63, 177–200.
- Bryndał, T. (2011). Identyfikacja małych zlewni podatnych na formowanie gwałtownych wezbrań na przykładzie Pogórza Dynowskiego, Strzyżowskiego i Przemyskiego. *Przegląd Geograficzny*, 83(1), 5–26.

- Bryndal, T. (2014a). Parametry hydrologiczne gwałtownych wezbrań opadowo-nawalnych w małych zlewniach, w polskiej, słowackiej i rumuńskiej części Karpat, *Przegląd Geograficzny*, 86(1), 5–21.
- Bryndal, T. (2014b). Identyfikacja małych zlewni podatnych na formowanie gwałtownych wezbrań w Karpatach Polskich (Identification of small catchments prone to flash flood generation in the Polish Carpathians). Kraków: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Pedagogicznego.
- Bryndal, T. (2014c). A method for identification of small Carpathian catchments more prone to flash flood generation. Based on the example of south-eastern part of the Polish Carpathians. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(3), 109–122.
- Bryndal, T. (2014d). Powodzie błyskawiczne w małych zlewniach karpaccich – wybrane aspekty zarządzania ryzykiem powodziowym. *Studia Geographica*, 7(170), 65–76.
- Bryndal, T. (2014e). Znaczenie map zagrożenia oraz ryzyka powodziowego w ograniczeniu skutków powodzi błyskawicznych w miastach. *Monografie Komisji Hydrologicznej PTG*, 2, 29–37.
- Bryndal, T., Cabaj, W., Suligowski, R. (2010a). Gwałtowne wezbrania potoków Kisielina i Niedźwiedz w czerwcu 2009 r. (Pogórze Wiśnickie). W: M. Barwiński (red.), *Obszary metropolitarne we współczesnym środowisku geograficznym*. Łódź: Wydział Nauk Geograficznych Uniwersytetu Łódzkiego, 337–348.
- Bryndal, T., Cabaj, W., Suligowski, R. (2010b). Hydrometeorologiczna interpretacja gwałtownych wezbrań małych cieków w źródłowej części Wielopolki w dniu 25 czerwca 2009 roku. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, 69, 81–91.
- Bryndal, T., Cabaj, W., Gębica, P., Krocak, R. (2010c). Gwałtowne wezbrania spowodowane nawalnymi opadami deszczu w zlewni potoku Wątok (Pogórze Ciężkowickie). W: T. Ciupa, R. Suligowski (red.), *Woda w badaniach geograficznych*. Kielce: Instytut Geografii Uniwersytetu Jana Kochanowskiego, 307–319.
- Dobrowolski, A., Mirkiewicz, M., Ostrowski J., Sasim M. (2010). Regiony Polski najbardziej zagrożone powodziami katastrofalnymi. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, 69, 55–69.
- Dorzecze Wisły – monografia powodzi – lipiec 1997* (1999). J. Greła, H. Słota (red.) IMGW Warszawa
- Gil, E. (1998). Spływ wody i procesy geomorfologiczne w zlewniach fliszowych podczas gwałtownej ulewy w Szymbarku w dniu 7 czerwca 1985 roku. *Dokumentacja Geograficzna*, 11, 85–107.
- Izmałow, B., Kamykowska, M., Krzemień, K. (2004). Geomorfologiczna rola katastrofalnych wezbrań w transformacji górskiego systemu korytowego na przykładzie Wilszni (Beskid Niski). W: B. Izmałow (red.), *Przyroda-Człowiek-Bóg*. Kraków: Wydawnictwo Naukowe UJ, 69–81.
- Konieczny, R., Siudak, M., Bogdańska-Warmuz, M., Madej, P., Walczykiewicz, T. (2012). Opracowanie systemu zapobiegania i sposoby ograniczenia skutków powodzi oraz zasad funkcjonowania systemu ostrzeżeń. W: H. Lorenc (red.), *Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo. Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*, Tom 3. Warszawa: Wydawnictwo IMGW-PIB, 281–303.
- Kron, W. (2002) Flood risk, hazard, exposure, vulnerability. W: B. Wu, Z.Y. Wang, G. Wang, G.G.H Huang, H. Fang, J. Huang (red.), *Flood defense*. New York: Science Press, 33–72.
- Lorentz, H., Cebulak, E., Głowicki, B., Kowalewski, M. (2012). Struktura i występowanie intensywnych opadów deszczu powodujących zagrożenie dla społeczeństwa, środowiska

i gospodarki Polski. W: H. Lorenc (red.), *Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo. Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*, Tom 3. Warszawa: Wydawnictwo IMGW-PIB, 7–32.

Montz, B.E, Grunfest, E. (2002). Flash flood mitigation: recommendations for research and applications. *Natural Hazard*, 4, 15–22.

Mikulski, Z. (1954). Katastrofalne powodzie w Polsce. *Czasopismo Geograficzne*, 4, 380–396.

Ostrowski, J., Czarnecka, H., Glowacka, B., Krupa-Marchlewska, J., Zaniewska, M., Sasim M., Moskwicki, T., Dobrowolski, A. (2012). Nagłe powodzie lokalne (flash flood) w Polsce i skala ich zagrożeń. W: H. Lorenc (red.), *Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo. Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*, Tom 3. Warszawa: IMGW-PIB, 123–149.

Parczewski, W. (1960). Warunki występowania nagłych wezbrań na małych ciekach. *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*, 8(3), 1–159.

Raport z wykonania wstępnej oceny ryzyka powodziowego, (2011). Pozyskano z <http://www.kzgw.gov.pl/pl/Wstepna-ocena-ryzyka-powodziowego.html>

Tuszyńska, I. (2010). Możliwości wykorzystania teledetekcji radarowej do badań zdarzeń ekstremalnych. W: M. Maciejewski, S. Ostojski (red.), *Ryzyko w problemach zagrożenia środowiska*. Warszawa: IMGW, 225–238.

Ustawa o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym z dnia 27 marca 2003 r. (Dz. U. z 2003 r. Nr 80, poz. 717) z późniejszymi zmianami (Dz. U. z 2012 r. poz. 647, 951, 1445; Dz. U).

Ustawa Prawo Wodne z dnia z dnia 18 lipca 2001 r. (Dz. U. z 2001 Nr 115, poz. 1229) z późniejszymi zmianami (Dz. U. z 2012 r. poz. 145, 951, 1513; Dz. U z 2013 r. poz. 21, 165).

Notka biograficzna o autorze: Geograf, adiunkt w Zakładzie Geografii Fizycznej Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Zainteresowania badawcze związane z określeniem naturalnych i antropogenicznych uwarunkowań występowania powodzi błyskawicznych w Polsce, modelowaniem hydrologicznym fal wezbraniowych w małych zlewniach, analizą parametrów fizjograficznych zlewni powodziowych, oceną podatności zlewni na formowanie gwałtownych wezbrań, identyfikacją zlewni podatnych na formowanie gwałtownych wezbrań.

Biographical note of author: Geographer, lecturer in the Department of Physical Geography at the Pedagogical University in Cracow. Research interests related to: determination of natural and anthropogenic conditions of flash flooding in Poland, hydrological modeling of flash flood waves in small catchments, analysis of physiographic parameters of catchment affected by flash flooding, evaluation of a catchment predisposition towards flash flood generation, identification of catchments more prone to flash flood formation.

Tomasz Bryndał, dr hab
Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie
Instytut Geografii
Zakład Geografii Fizycznej
ul. Podchorążych 2
30–084 Kraków
etbryndał@up.krakow.pl

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009–2014 jako projekt badawczy.