

JOANNA POCIASK-KARTECZKA

Uniwersytet Jagielloński
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
Zakład HydrologiiJÓZEF ŻYCHOWSKI¹⁾, TOMASZ BRYNDAL²⁾Uniwersytet Pedagogiczny w Krakowie
Instytut Geografii
Zakład Ekorozwoju i Kształtowania Środowiska Geograficznego¹⁾
Zakład Geografii Fizycznej²⁾

Zagrożenia związane z wodą – powodzie błyskawiczne

Hazards related to water – flash floods

Ze względu na skalę szkód oraz wzrastającą liczbę zdarzeń związanych z hydrozagrożeniami rozpoznanie ich genezy oraz jednoznaczna klasyfikacja są ważne z punktu widzenia podejmowania odpowiednich działań zapobiegających ich niekorzystnym skutkom. Celem artykułu jest usystematyzowanie wiedzy na temat hydrozagrożeń ze szczególnym uwzględnieniem powodzi błyskawicznych, które wyróżniają się ze względu na gwałtowny przebieg oraz bardzo duże zniszczenia w skali lokalnej. Przedstawiono także wybrane aspekty dotyczące oceny zagrożenia związanego z występowaniem powodzi błyskawicznych, jak również sposobów ograniczenia ich skutków.

The increase in number of hydrohazards and damage generated by these events causes that detailed recognition and unambiguous classification are a core to make decisions in order to mitigate their adverse impact. The goal of the study is to systemize the knowledge related to hydrohazards with considerable focusing on flash floods, which are very rapid unpredictable events and cause big damages at a local scale. Some aspects of the assessment of risks associated with the occurrence of flash floods as well as methods of reducing their negative effects were also presented.

Mimo postępów techniki i prób uniezależnienia się człowieka od sił przyrody istnieje grupa geozagrożeń, którym przeciwdziałanie nastręcza poważne trudności. Należą do nich zagrożenia związane z wodą, tzw. hydrozagrożenia. Mogą być one związane z: nadmiarem wody, brakiem wody lub jej niedoborem, złą jakością wody oraz nieprawidłowym zarządzaniem zasobami wodnymi [Tokarczyk 2014, Kindler i in. 2014]. Do hydrozagrożeń związanych z nadmiarem wody należą wezbrania rzeczne, zalanie terenu wodą morską, zalanie terenu wodą jeziorną oraz podtopienia. Następstwem wyjątkowo dużych wezbrań są powodzie. W ostatnich dziesięcioleciach do najniebezpieczniejszych hydrozagrożeń należą powodzie błyskawiczne. Są to najkrótsze zdarzenia hydrologiczne, które charakteryzuje lokalny zasięg i występowanie w niewielkich zlewniach – pozbawionych zwykle hydrologicznej sieci obserwacyjnej (rys. 1) [Hirschboeck 1988, za Bartnik, Jokiel 2012].

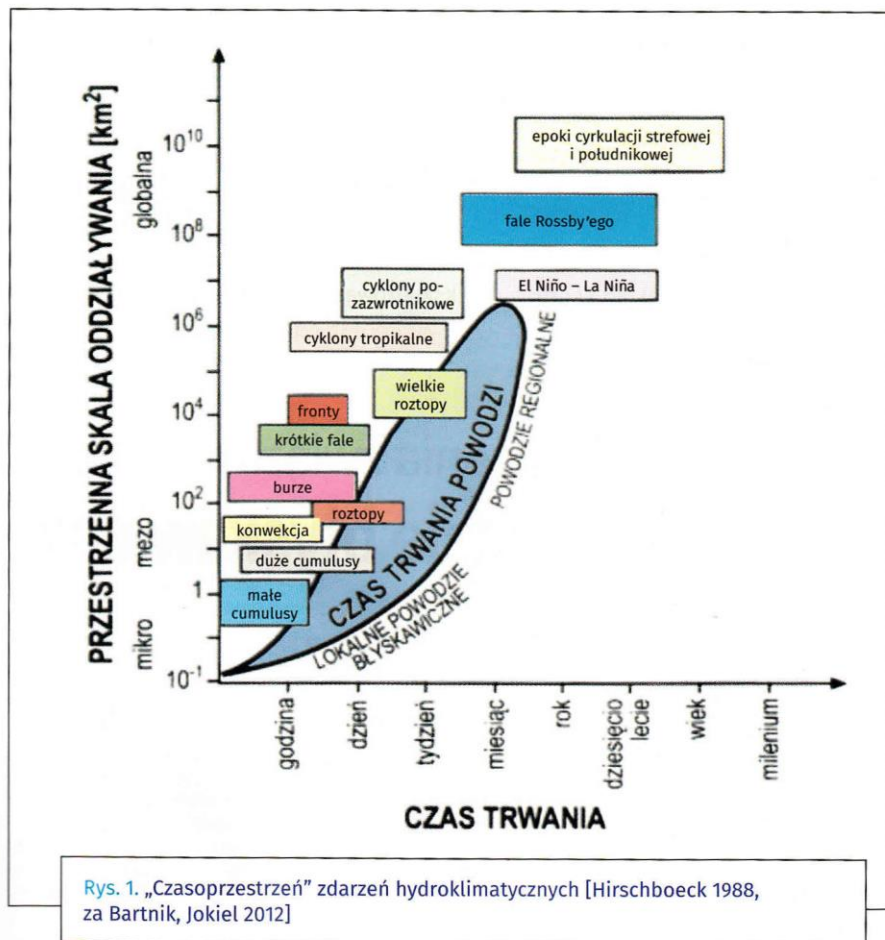
Powódź błyskawiczna jest szczególnym przypadkiem powodzi, a zatem i szczególnym przypadkiem wezbrania. Według World

Meteorological Organization powodzie błyskawiczne są generowane najczęściej przez burze o wydajności opadu ponad 200 mm i czasie trwania krótszym niż 6 godzin w naturalnych zlewniach o powierzchni od 25 do 2500 km² [Davies 2012]. W Europie występują one w zlewniach o powierzchni mniejszej niż 1000 km² [Marchi i in. 2011], przy czym, w miarę przemieszczania się w głąb kontynentu, wielkość zlewni zmniejsza się [Bryndal 2014a]. W Polsce, Słowacji, i na Węgrzech powierzchnia zlewni powodziowej rzadko przekracza 40 km² [Bryndal 2014a].

Najczęstszą przyczyną powodzi błyskawicznych są wezbrania rzeczne spowodowane deszczami nawalnymi. Do innych przyczyn należą m.in.: odpływ wód z jezior lodowcowych położonych w strefie geotermicznej (erupcja wulkanu, intensywna ablacja), odpływ wód z jezior marginalnych zatamowanych przez lodowiec, zalanie strefy przybrzeżnej wskutek gwałtownego wypełnienia misy jeziora przez sptyw błotny lub gruzowy, odpływ wód z jeziora wskutek gwałtownego wypełnienia misy jeziora przez sptyw błotny lub gruzowy, odpływ wód ze zbiornika (np. wskutek awarii zapory)

oraz tsunami. Niektóre powodzie błyskawiczne mają charakter poligenetyczny. Na przykład intensywnemu topnieniu lodowców lub pokrywy śnieżnej towarzyszą opady deszczu, których znaczenie w odniesieniu do powodzi błyskawicznych można traktować w tym wypadku jako równorzędne.

W polskiej literaturze występuje kilka określeń odpowiadających znaczeniowo *flash flood*. Warto podkreślić, że kwestie terminologiczne związane z przetłumaczeniem pojęcia *flash flood* na język polski były przedmiotem licznych dyskusji na konferencjach hydrologicznych. Stąd też w literaturze można spotkać następujące określenia: szybka powódź, gwałtowna powódź, nagła powódź, gwałtowne wezbranie. T. Bryndal (2014b) stosuje określenie „gwałtowne wezbrania” i charakteryzuje je jako zjawiska ekstremalne, czyli takie, które odbiegają od wezbrań przeciętnych. Dość trafnym polskim odpowiednikiem *flash flood* jest „szybka powódź”, tak jak to proponuje zespół Madej i in. (2009). Charakter zjawiska oddaje także termin „powódź błyskawiczna”, będący najwierniejszym – pod względem językowym – odpowiednikiem



flash flood. Termin ten jest coraz częściej używany w polskiej literaturze. Ostrowski i in. (2012) posługuje się terminem „nagła powódź lokalna”, definiując ją jako nagłe zalanie lub/i podtopienie terenu w wyniku wystąpienia silnego (co najmniej 30 mm), krótkotrwałego (trwającego od kilkunastu minut do 12 godzin) opadu deszczu o dużej wydajności na stosunkowo niedużym fragmencie naturalnej lub zurbanizowanej zlewni (nawet bez udziału cieków wodnych). Warto zwrócić uwagę, iż definicja ta uwzględnia podtopienia. Taka definicja oznacza, że nagła powódź niekoniecznie musi być związana z rzeką i wystąpieniem wody z jej koryta, bowiem może również przejawiać się podtopieniami wywołanymi, np. nagromadzeniem wody deszczowej. Jeśli podtopienia występują na terenie miasta, powódź taką określa się jako „powódź miejska” (*urban floods*).

POWODZIE BŁYSKAWICZNE – PRZYKŁADY

Klasycznym przykładem powodzi błyskawicznej jest powódź w dolinie Big

Thompson River w Kolorado w Stanach Zjednoczonych (31 lipca 1976 r.). Nad górną częścią zlewni rozbudowała się potężna komórka burzowa. W ciągu 4 godz. spadło ok. 300 mm deszczu, to jest prawie 3/4 rocznej sumy opadów. Przepływ wzrósł błyskawicznie ok. 245 razy i fala o wysokości 6 m przemieszczała się w dół doliny z prędkością 40 km/godz. Zniszczeniu uległy drogi, mosty, drzewa, budynki i samochody; śmierć poniosło 145 osób [Maddox i in. 1977].

O wiele tragiczniejsza w skutkach była powódź błyskawiczna na Rapid Creek w południowo-zachodniej Dakocie w dniach 9-10 czerwca 1972 r. W ciągu sześciu godzin spadło 380 mm deszczu. Natężenie przepływu Rapid Creek wzrosło w ciągu kilku godzin ponad tysiąc razy i wyniosło 1415 m³/s. Powódź pochłonęła 238 ofiar i spowodowała zniszczenie 1335 domów i 5 tys. samochodów [Nair i in. 1997].

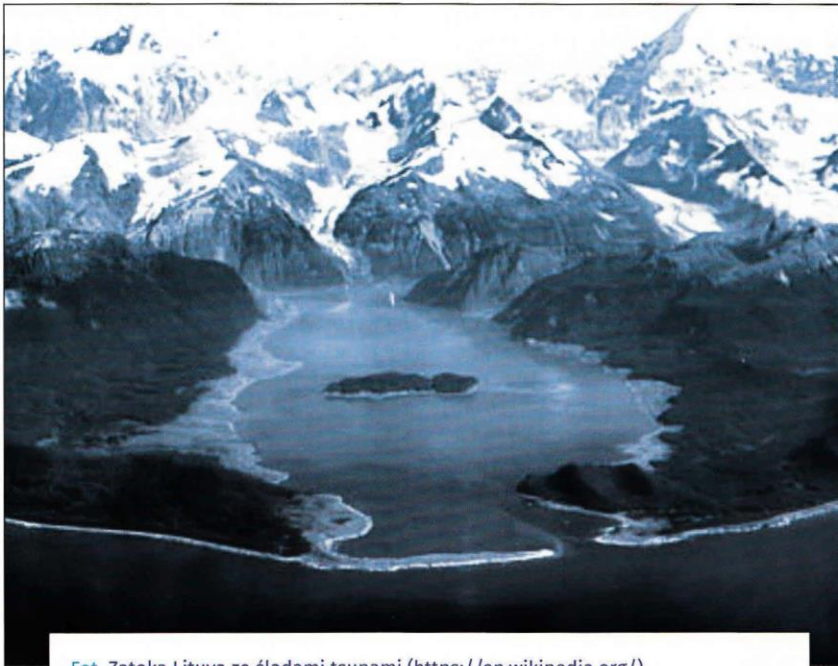
W jednym i drugim wypadku uwilgotnienie zlewni w okresie poprzedzającym powódź było bardzo duże.

Przykładem powodzi błyskawicznej ukazującej znaczenie dużej gęstości sieci dróg polnych jest zarejestrowana 18 maja 1996 r. powódź w dorzeczu Prądnika (Sułozowa).

Na tym wylesionym, zajęтым pod uprawy roślin okopowych, obszarze, gdzie gęstość dróg polnych wynosi 20 km/km², oszacowano odpływ jednostkowy na ok. 37 tys. l/s/km² [Niedbała, Soja 1998].

Powodzie błyskawiczne mogą być wywołane gwałtownym spływem wód z jezior lodowcowych lub zaporowych (naturalnych lub antropogenicznych). Spektakularny przebieg mają wezbrania lodowcowe na obszarach położonych w strefie geotermicznej. Dochodzi tam do gwałtownego odpływu wody z jezior subglacjalnych lub wód z roztopionego lodu w wyniku erupcji wulkanu [Björnsson 2005, Jania 1996]. Na Islandii wezbrania takie noszą nazwę *jökulhlaup*. Innym przykładem jest gwałtowny spływ wody z jezior zaporowych, które tworzą się w dolnych częściach lodowców szarżujących. Przyczyną odpływu wody z tego typu jezior jest najczęściej udrożnienie szczelin, tak jak np. w obrębie lodowca Gösbreenn na Spitsbergenie. Przykładem powodzi błyskawicznej wywołanej nagłym, szybkim spływem wód z jeziora zaporowego jest zalanie doliny rzeki Seti (Nepal), wywołane nagłym i szybkim spływem wód z jeziora zaporowego. Jezioro powstało wskutek zatamowania rzeki przez lawinę gruzowo-śnieżno-lodową, jaka zesłała ze zboczy Annapurny. W tym samym czasie stan wody w dolnym biegu Seti był niski, ponadto woda była pozbawiona zawiesziny, co niezwykle dziwiło mieszkańców doliny. Nikt jednak nie przypuszczał, co to może zwiastować. 5 maja 2012 r. doszło do przerwania zapory, jaką stanowiła lawina. Fala mknąca z jeziora spowodowała w dnie doliny wiele szkód i śmierć 72 osób (www.icimod.org). Do podobnego zalania doszło wokół zbiornika retencyjnego w dorzeczu Piawy we Włoszech w październiku 1963 r. w wyniku osunięcia się 260 mln m³ materiału zwietrzelinowego ze zboczy. Ponadto osuwisko spowodowało gwałtowne przelanie się 30 mln m³ wody przez zaporę. Powstała 70-metrowa fala zalała w niespełna 7 minut kilka miejscowości poniżej: Pirago, Rivalta, Villanova, Fae oraz Longarone. Śmierć poniosło ok. 3,1 tys. ludzi. Do powstania osuwiska przyczyniły się w głównej mierze trzy czynniki: wysokie opady deszczu, obecność strukturalnych powierzchni poślizgu zgodnych z nachyleniem lewego zbocza doliny oraz zmiana stosunków wodnych w masywie skalnym związana z napełnianiem zbiornika, co spowodowało wzrost ciśnienia poprzez zatrzymanie swobodnego odwadniania [Ward, Day 2011].

Duże rozmiary przybrała powódź błyskawiczna wywołana tsunami w Zatoce Lituya (Alaska, fot.). Latem 1958 r. trzęsienie



Fot. Zatoka Lituya ze śladami tsunami (<https://en.wikipedia.org/>)

ziemi o sile 7,9 stopnia w skali Richtera, które wystąpiło wzdłuż uskoku Fairweather w południowo-wschodniej Alasce, uaktywniło rozległe osuwisko na czole progu opadającego do zatoki. Do powstania osuwiska przyczynił się także ruch jeziora lodowcowego oraz wypływ wody z jeziora subglacialnego. Materiał skalny o objętości ok. 30 mln m³ i masie 90 mln t osunął się, wywołując falę o wysokości 10-30 m u wylotu zatoki. Fala tsunami przetoczyła się przez całą zatokę, niszcząc strefę przybrzeżną (www.drgeorgepc.com).

Niezwykle tragiczna była powódź błyskawiczna spowodowana falą tsunami w grudniu 2004 r., w rejonie Oceanu Indyjskiego (Indonezja, Tajlandia i Sri Lanka). Fala tsunami została wywołana podwodnym trzęsieniem ziemi o mocy ok. 9 stopni w skali Richtera. Hipocentrum trzęsienia znajdowało się 30 km pod dnem Oceanu Indyjskiego w pobliżu zachodniego wybrzeża północnej Sumatry. Do wybrzeży Azji dotarła bardzo wysoka fala, która wdzierając się w głąb lądu osiągnęła miejscami wysokość 30 m [Paris i in. 2007]. Skala zniszczeń i ofiar była ogromna. Ocenia się, że ok. 300 tys. osób straciło życie, zaś kilka milionów – dach nad głową.

POWODZIE BŁYSKAWICZNE W POLSCE

Próbie analizy występowania powodzi błyskawicznych w Polsce podjął ze-

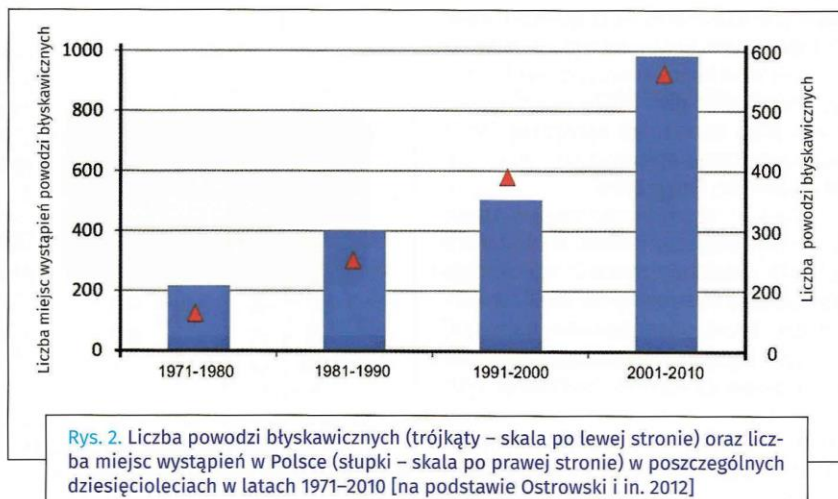
spół J. Ostrowskiego (2012). Wykazał on, że w ostatnich kilkudziesięciu latach obserwuje się w Polsce wyraźną tendencję wzrostu zarówno liczby zjawisk powodzi błyskawicznych, jak również miejsc ich wystąpienia. W latach 1971–2010 liczba nagłych powodzi lokalnych wyniosła 1321, natomiast liczba wszystkich miejsc wystąpień w poszczególnych miejscowościach aż 2104 (rys. 2) [Ostrowski i in. 2012].

Nie oznacza to jednak, iż zdarzenia takie nie występowały wcześniej. Już w 1960 r. Parczewski (1960) w obszernym opracowaniu opublikowanym w „Wiadomościach Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej” zamieścił szczegółowe zestawienie „nagłych

wzbrań na małych ciekach” wraz z opisem przebiegu tych zjawisk oraz sytuacji hydrologicznej, synoptycznej i meteorologicznej towarzyszących tym zdarzeniom począwszy od początku lat 30. XX w. Z tego zestawienia wynika, że zdarzenia takie występowały w różnych regionach Polski (rys. 3). Wszystkie cechowały się krótkim czasem trwania oraz były wywołane ulewnymi lub nawałnymi opadami deszczu. Na problem ten zwrócił uwagę Lambor już w 1962 r. [Lambor 1962]. Pisał on wówczas, że powodzie pochodzące z deszczów nawałnych są najgroźniejsze. Zwracał uwagę na ich mały zasięg terytorialny i wielkie szkody, jakie wyrządzają, choć nie używał jeszcze wtedy terminu „powódź błyskawiczna”. Jako przykład podał powódź na rzekach Jasieniczanka i Rozłuczanka (dorzecze górnego Dniestru) z czerwca 1934 r.

POWODZIE BŁYSKAWICZNE – OCENA ZAGROŻENIA ZWIĄZANEGO Z ICH WYSTĘPOWANIEM

Większość powodzi błyskawicznych jest uwarunkowana krótkimi opadami o dużej wydajności. Zasadne zatem wydaje się przeanalizowanie częstości wystąpienia takich opadów. Analiza liczby dni z sumą opadu dobowego ≥ 50 mm w Polsce w latach 1971–2000 pozwala stwierdzić, iż liczba takich dni rośnie w tempie 2 dni/dekadę – zwłaszcza w częściach południowej i centralnej oraz miejscami w północnej części kraju. Tendencje te utrzymują się, a nawet nasilają, w pierwszej dekadzie XXI w. Ponadto liczba dni z sumą opadu dobowego ≥ 30 mm także rośnie, zaś liczba dni z sumą opadu dobowego ≥ 20 mm wzrasta prawie w całym kraju w tempie 4 dni/dekadę. War-



Rys. 2. Liczba powodzi błyskawicznych (trójkąty – skala po lewej stronie) oraz liczba miejsc wystąpień w Polsce (słupki – skala po prawej stronie) w poszczególnych dziesięcioleciach w latach 1971–2010 [na podstawie Ostrowski i in. 2012]

WEZBRANIE W REJONIE MIEJSCOWOŚCI BABICE W DNIU 12.VI.1953 R.

Przebieg zjawiska. W pobliżu miejscowości Babice (49° 49'; 22° 29') w Woli Krzywieckiej i Krzywczy woda zburzyła domy i potopiła dobytek. Kilka osób utonęło [78].

Sytuacja hydrologiczna. Wodowskaz na Sanie w miejscowości Babice wykazał maksymalny przyrost dobowy równy 117 cm (tabl. 36).

Tablica 36

Data	Stan wody		Maks. przyrost dobowy w cm	Dotychczas zanotowane	
	Godz. obs.	Wysokość w cm		max. w cm	min. w cm
10.VI	05.00	252			
11.VI	05.00	220			
12.VI	05.00	211	177	720	124
13.VI	05.00	328			
14.VI	05.00	245			
15.VI	05.00	220			

Sytuacja atmosferyczna. Sytuacja atmosferyczna została podana przy omawianiu wezbrania w pobliskiej miejscowości Zarzecze. Dodać tylko należy, że w Babicach w dniu 12.VI.1953 r. opad ulewny kategorii A₄ rozpoczął się o godz. 13.15 i trwał 55 minut dając 38,1 mm spadłej wody.

Rys. 3. Fragmenty opracowania W. Parczewskiego pt. *Warunki występowania nagłych wezbrań na małych ciekach* [Parczewski 1960]

to też dodać, iż liczba dni z opadem ≥ 10 mm w Polsce w latach 1971–2002 wzrosła do 10 dni/dekadę [Lorenc i in. 2012]. Jeśli w najbliższych latach ten układ czynników sprawczych utrzyma się lub niekorzystnie zmieni, to można spodziewać się nawet wzrostu liczby powodzi błyskawicznych.

Na przebieg i wielkość wezbrania wpływają cechy fizjograficzne zlewni (rys. 4), takie jak: rzeźba, gleby, kształt zlewni, sieć hydrograficzna, pokrycie terenu, sieć dróg [Dobija, Dynowska 1975]. W wyniku bardzo wydatnego opadu wprawdzie występuje gwałtowny odpływ linijny, następnie uwidacznia się gwałtowny spływ wody po zboczach, a w dalszej kolejności zaczynają funkcjonować koryta epizodyczne i okresowe [Ilverson 1997; Ciupa 2009].

Powodzie błyskawiczne mogą wystąpić w każdym miejscu, jednak w obszarach górskich notuje się znacznie więcej tego typu zjawisk [Ostrowski in. 2012]. W Karpatach, gdzie obserwowano najwięcej powodzi błyskawicznych, podejmowano próby oceny zagrożenia związanego z ich występowaniem. Najczęściej poziom tego zagrożenia oceniano „w sposób tradycyjny” na podstawie przestrzennej analizy tego zjawiska, co pozwoliło wskazać regiony oraz

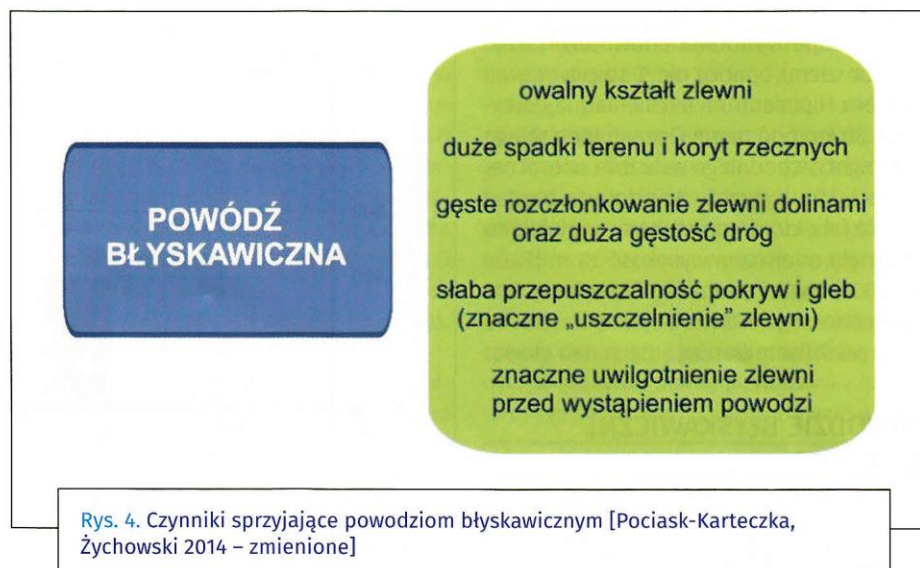
jednostki administracyjne predysponowane na występowanie lokalnych powodzi [Ostrowski i in. 2012]. Na uwagę zasługuje podejście, w którym ocenę zagrożenia związanego z możliwością wystąpienia powodzi błyskawicznych przeprowadzono na podstawie analizy uwarunkowań opadowych oraz parametrów fizjograficznych zlewni. Dla przykładu Bryndał (2014b), bazując na rozpoznanych współzależnościach między parametrami fizjograficznymi zlewni a ich wpływem na kształt fali wezbraniowych, dokonał identyfikacji zlewni podatnych na występowanie powodzi błyskawicznych w polskiej części Karpat. Uwzględniając parametry fizjograficzne zlewni wyznaczył typ zlewni powodziowej, a poprzez uwzględnienie impulsu opadowego oszacował „powodziowość zlewni”, obliczając „wskaźnik podatności powodziowej” W_{pp} (rys. 5). Wyższa wartość wskaźnika oznacza, że opady deszczu będą częściej powodowały przekroczenie przepływu brzegowego oraz wyższe kulminacje wezbrań.

W wypadku nadmiernego uwilgotnienia podłoża w zlewni przestrzenny rozkład wskaźnika W_{pp} nawiązuje w dużym

stopniu do przestrzennego zróżnicowania opadów prawdopodobnych, zwłaszcza sześćdziesięciminutowych i studwudziesięciminutowych, które powodowały wezbrania o wysokich indeksach powodziowości K [Francou, Rodier 1969]. Dysponując informacją na temat wskaźnika powodziowości w poszczególnych zlewniach, można wyznaczyć wskaźniki powodziowości regionalnej oraz wskaźniki podatności powodziowej w jednostkach administracyjnych, co można wykorzystać w ocenie ryzyka powodziowego np. w gminach i powiatach [Bryndał 2014b]. Informacje tego typu pozwalają na ocenę zagrożenia związanego z możliwością występowania powodzi błyskawicznych w Karpatach i na planowanie działań pozwalających ograniczyć ich skutki.

Szczególnie podatne na występowanie powodzi błyskawicznych są obszary zurbanizowane, gdzie występują powodzie miejskie (*urban flooding, urban floods*). Ich występowanie jest konsekwencją uszczelnienia zlewni oraz rozbudowy sieci powierzchniowego i podziemnego drenażu, który sprzyja szybkiemu odprowadzaniu wody. Wzrost stopnia urbanizacji przejawia się wzrostem przepływu kulminacyjnego, a także skróceniem czasu koncentracji fali wezbraniowej i czasu trwania wezbrania [Ciupa 2009]. Wpływ ten można prześledzić na przykładzie niewielkiej podmiejskiej zlewni rzeki Rodbourne (ok. 5 km²), w której nastąpił wzrost urbanizacji z 11 do 44% w latach 1960–2010 [Miller i in. 2014] (rys. 6) oraz w małych zlewniach Sufrańca i Silnicy w Kielcach. Parametry fali wezbraniowych w leśno-rolniczej zlewni Sufrańca (62 km²) znacznie różnią się od tych w zlewni miejskiej Silnicy (49,4 km²). W zlewni Silnicy czasy koncentracji są re-

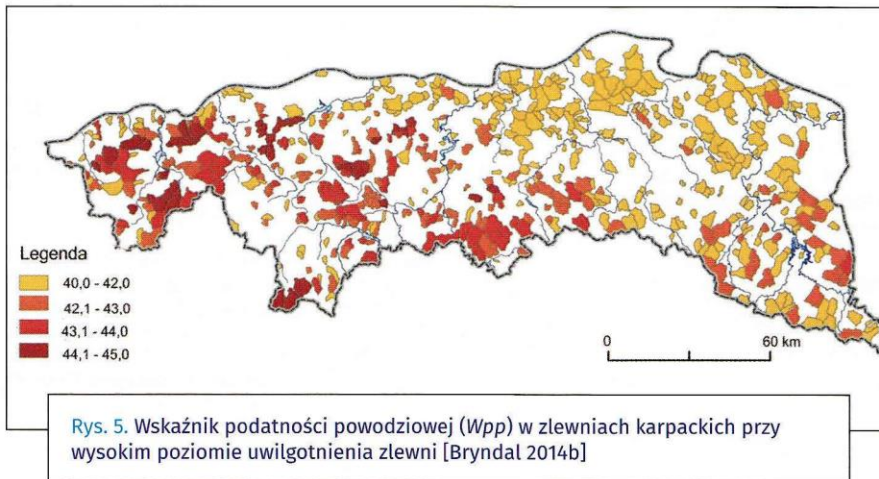
stopniu do przestrzennego zróżnicowania opadów prawdopodobnych, zwłaszcza sześćdziesięciminutowych i studwudziesięciminutowych, które powodowały wezbrania o wysokich indeksach powodziowości K [Francou, Rodier 1969]. Dysponując informacją na temat wskaźnika powodziowości w poszczególnych zlewniach, można wyznaczyć wskaźniki powodziowości regionalnej oraz wskaźniki podatności powodziowej w jednostkach administracyjnych, co można wykorzystać w ocenie ryzyka powodziowego np. w gminach i powiatach [Bryndał 2014b]. Informacje tego typu pozwalają na ocenę zagrożenia związanego z możliwością występowania powodzi błyskawicznych w Karpatach i na planowanie działań pozwalających ograniczyć ich skutki.



Rys. 4. Czynniki sprzyjające powodziom błyskawicznym [Pociask-Karteczka, Żychowski 2014 – zmienione]

SPOSOBY OGRANICZANIA SKUTKÓW POWODZI BŁYSKAWICZNYCH

Cechy tego typu powodzi, tj.: krótki czas koncentracji (zwykle poniżej 2 godz.), krótki czas trwania powodzi (kilkanaście godzin) oraz duży przepływ maksymalny (często przekraczający prawdopodobieństwo wystąpienia 0,1%), determinują sposób zarządzania przestrzenią geograficzną tak, aby być przygotowanym na powódź. Ograniczenie skutków powodzi błyskawicznych jest trudne i wymaga wręcz indywidualnego podejścia do danej zlewni. Szczegółową analizę działań związanych z zarządzaniem powodziąmi błyskawicznymi można znaleźć m.in. w pracach Koniecznego i in. (2012), Madeja i in. (2009), Bryndała (2014c). Obserwacje poczynione przez autorów tego opracowania oraz analiza przypadków powodzi błyskawicznych opisanych w literaturze [m.in. Gaume i in. 2008; Marchi i in. 2011; Niedbała, Soja 1999] wskazują, że u podstaw działań ograniczających skutki powodzi błyskawicznych leży rzetelna edukacja o tym zjawisku wśród dorosłych, młodzieży, a nawet dzieci. Powinna ona nauczyć: rozpoznawania przyczyn poprzedzających zjawisko, określania rozmiarów zagrożenia, konsekwencji wystąpienia takiego zjawiska oraz sposobów postępowania po jego zakończeniu. Wiedza ta z czasem wyzwoli również lokalne inicjatywy, które ograniczą straty spowodowane przez tego rodzaju powódzie. Należy ponadto ograniczyć ekspozycję oraz wrażliwość na powódź błyskawiczną, np.: odpowiednim planowaniem przestrzennym uwzględniającym ryzyko wystąpienia powodzi błyskawicznej, budową lokalnych/regionalnych systemów ostrzegania przed powodziąmi, umiejętnym korzystaniem z krajowych systemów ostrzegania przed zjawiskami

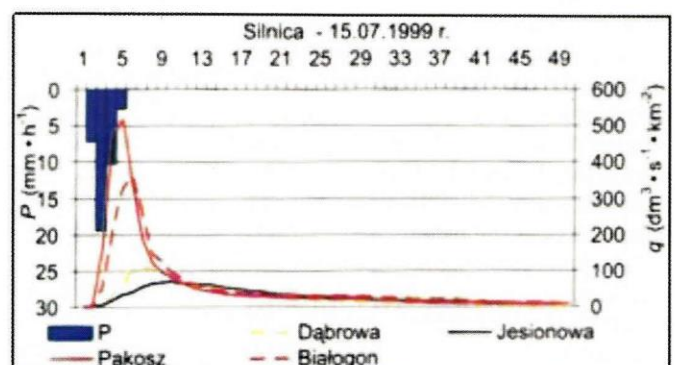
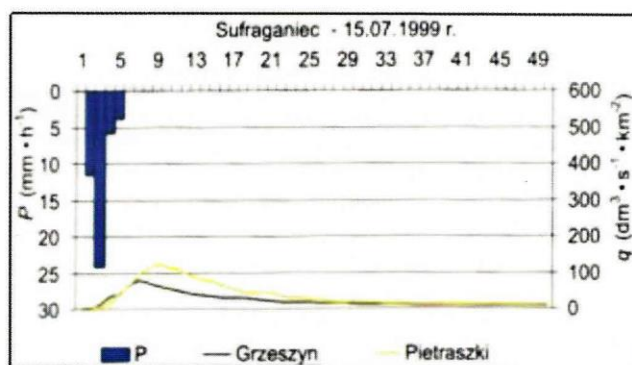
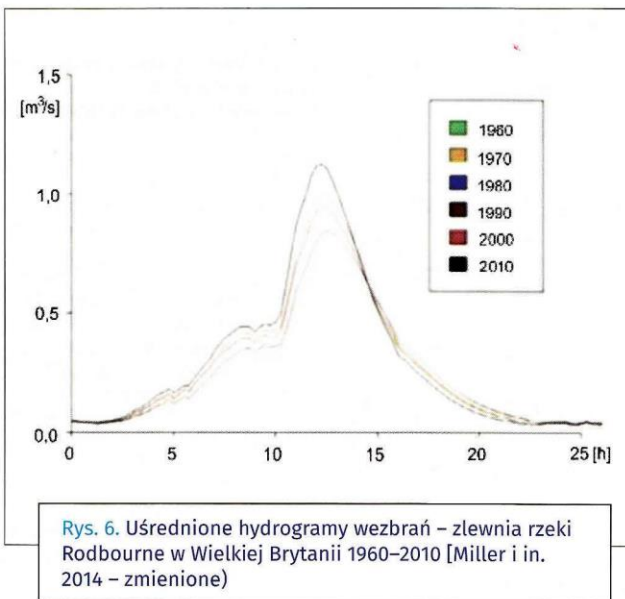


latywnie krótsze, a kulminacje wezbrań wyższe (rys. 7).

Oprócz zmian w reżimie cieków odwadniających zlewnie zurbanizowane warto zwrócić uwagę na podtopienia powodowe ograniczoną infiltracją wód opadowych oraz niewystarczającą przepustowością

kanalizacji burzowych na obszarach miejskich. Podtopione ulice, przejścia podziemne, tunele, stacje metra itp. stanowią duże zagrożenie dla mienia, zdrowia, a nawet życia ludzi. Miejsca zagrożone występowaniem powodzi błyskawicznych w miastach można wskazać, analizując mapy tematyczne przy znacznej

pomocy dostępnych narzędzi GIS i wektorowego sposobu zapisu danych. Warto również wspomnieć o inicjatywach oddolnych związanych z tworzeniem geoserwisów wykorzystujących obserwacje VGI (*Volunteered Geographic Information*) do identyfikacji miejsc, w których występują powódzie miejskie. Taki portal opracowali studenci Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu (www.hydrolog-flashflood.home.amu.edu.pl).



Rys. 7. Hydrogramy wezbrań w zlewni leśno-rolniczej (Sufraganiec) oraz miejskiej (Silnica) 15 lipca 1999 r. [Ciupa 2009]

hydrometeorologicznymi, podejmowaniem działań związanych z przygotowaniem się do przejścia fali powodziowej oraz do postępowania podczas powodzi. Zdaniem autorów budowanie świadomości zagrożenia związanego z występowaniem powodzi błyskawicznych pozwoli podejmować inicjatywy, które z biegiem lat mogą przyczynić się do ograniczenia strat powodowanych przez powodzie błyskawiczne.

PODSUMOWANIE

Hydrozagrożenia należą do najpoważniejszych współczesnych geozagrożeń, których intensyfikacja jest w ostatnich latach zauważalna. Pomimo tego wzrostu i coraz lepszemu poznaniu hydrozagrożeń wiele działań wręcz zmierza do intensyfikacji ich negatywnych skutków. Postępujący wzrost uszczelniania zlewni, zły dobór struktury upraw, niewłaściwy sposób gospodarowania w dnach dolin rzecznych, zaniedbania w systemach sieci kanalizacji deszczowej, błędy instytucjonalne są – obok czynników meteorologicznych – bardzo istotnymi czynnikami sprzyjającymi hydrozagrożeniom.

Do najmniejbezpiecznych hydrozagrożeń w ostatnich dziesięcioleciach należą powodzie błyskawiczne. Są one bowiem jednymi z najkrótszych, niezwykle dynamicznych zdarzeń hydrologicznych. Analiza zjawisk meteorologicznych występujących w ostatnich latach w Polsce pozwala przypuszczać, iż liczba powodzi błyskawicznych będzie wzrastać. Nieprzemysłany, niepohamowany i często niekontrolowany w wystraszającym stopniu wzrost zabudowy – szczególnie w obrębie dolin rzecznych – spowodował wzrost zniszczeń wywołanych przez te powodzie. Jednak są one niewspółmiernie mniejsze w porównaniu z powodzią regionalnymi, np. z powodzią wywołaną roztopami w 1979 r. obejmującą zlewnie Narwi i dolnej Wisły lub powodzią z lipca 1997 r. obejmującą dorzecze górnej i środkowej Odry oraz dorzecze górnej Wisły. Warto jednak podkreślić, że finansowe skutki powodzi błyskawicznych obciążają często budżety lokalnych samorządów.

W ograniczeniu skutków powodzi błyskawicznych istotne są działania związane z szeroko pojętą edukacją powodziową, ukierunkowaną na wzrost świadomości związanej z tego typu powodzią, przygotowaniem się na powódź oraz znajomością sposobów postępowania podczas powo-

dzi. Mając na uwadze, że powodzie błyskawiczne występują w małych zlewniach, które są często zlokalizowane na terenie jednej gminy, dochodzimy do wniosku, że inicjatorami działań związanych z ograniczeniem ekspozycji i wrażliwości na powódź powinny być w większym stopniu władze lokalne.

Podziękowanie

Bardzo dziękujemy dr. hab. Mirosławowi Żelaznemu oraz dr. hab. Bartłomiejowi Rzoncy za dyskusję i konstruktywne uwagi.

LITERATURA

- [1] Bartnik A., P. Jokiel. 2012. Geografia wzebrań i powodzi rzecznych. Wyd. UŁ, Łódź.
- [2] Björnsson H. 2005. Present day glaciation of Iceland: glacier geometry, subglacial geology, mass balance, flow, hydrology and future perspectives (Współczesne zlodowacenie Islandii: geometria lodowców, geologia subglacjalna, bilans masy, ruch lodowców, hydrologia i przyszłe perspektywy). W: Rekonstrukcja procesów glacialnych w wybranych strefach marginalnych lodowców Islandii – formy i osady. Oficyna Wydaw. TURPRESS, Toruń.
- [3] Bryndał T. 2014a. Parametry hydrologiczne gwałtownych wzebrań opadowo-nawałnych w małych zlewniach, w polskiej, słowackiej i rumuńskiej części Karpat. *Przegl. Geogr.*, 86(1), 5–21.
- [4] Bryndał T. 2014b. Identyfikacja małych zlewni podatnych na formowanie gwałtownych wzebrań w Karpatach Polskich. *Prace Monogr.* 690, Wyd. Nauk. UP, Kraków.
- [5] Bryndał T. 2014c. Powodzie błyskawiczne w małych zlewniach karpackich - wybrane aspekty zarządzania ryzykiem powodziowym. *Annales Univ. Paedag. Cracov. Studia Geogr.*, 6(170), 65–76.
- [6] Ciupa T. 2009. Wpływ zagospodarowania terenu na odpływ i transport fluwialny w małych zlewniach na przykładzie Sufragańca i Silnicy (Kielce). Wyd. UHP, Kielce.
- [7] Dobija A., I. Dynowska. 1975. Znaczenie parametrów fizjograficznych zlewni dla ustalenia wielkości odpływu rzeczno. *Folia Geogr. Ser. Geogr. Phys.*, 9, 77–129.
- [8] Françou J., J.A. Rodier. 1969. Essai de classification des crues maximales. W: Floods and their Computation: Proceedings of the Leningrad Symposium, August 1967. IAHS, UNESCO-WMO, Gentbrugge, 518–527.
- [9] Gaume E., M. Borga. 2008. Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations. *Journ. Flood Risk Manage.*, 1(4), 175–189.
- [10] Hirschboeck K.K. 1988. Flood hydroclimatology. W: Baker V.R., R.C. Kochel, P.C. Patton (red.) *Flood Geomorphology*. John Wiley & Sons, 27–49.
- [11] Iverson R.M. 1997. The physics of debris flows. *Reviews of Geophysics*, 35(3), 245–296.
- [12] Jania J. 1996. *Zrozumieć lodowce*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- [13] Kindler J., J. Iwanicki, Z.W. Kundzewicz, P. Matczak, R. Miłaszewski, J. Żelazo. 2014. Zagrożenia instytucjonalne. *Nauka*, 1, 173–195.
- [14] Konieczny R., M. Siudak, M. Bogdańska-Warmuz, P. Madej, T. Walczykiwicz. 2012. Opracowanie systemu zapobiegania i sposoby ograniczenia skutków powodzi oraz zasad funkcjonowania systemu ostrzeżeń. W: Lorenc H. (red.), *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*. IMGW-PIB, Warszawa, 281–303.
- [15] Lambor J. 1962. *Gospodarka wodna na zbiornikach retencyjnych*. Wyd. Arkady, Warszawa.
- [16] Lorentz H., E. Cebulak, B. Głowicki, M. Kowalewski. 2012. Struktura i występowanie intensywnych opadów deszczu powodujących zagrożenie dla społeczeństwa, środowiska i gospodarki Polski. W: Lorenc H. (red.), *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*. IMGW-PIB, Warszawa, 7–32.
- [17] Maddox R.A., E. Caracena, L.R. Hoxit, C.E. Chappell. 1977. Meteorological aspects of the Big Thompson flash flood of 31 July 1976. NOAA TR ERL 388-APCL, 41, 88.
- [18] Madej P., R. Konieczny, M. Barszczyńska, M. Siudak, J. Saalmueller. 2009. Zarządzanie szybkimi powodziąmi. Doświadczenia Europy Środkowo-Wschodniej. IMGW, Warszawa.
- [19] Marchi L., M. Borga, E. Preciso, E. Gaume. 2011. Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journ. of Hydrol.*, 394, 118–133.
- [20] Miller J.D., H. Kim, T.R. Kjeldsen, J. Packman, S. Grebby, R. Dearden. 2014. Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. *Jour. of Hydrol.*, 515, 59–70.
- [21] Nair U.S., M.R. Hjelmfelt, R.A. Pielke Sr. 1997. Numerical Simulation of the 9-10 June 1972 Black Hills Storm Using CSU RAMS. *Monthly Weather Rev.*, 125, 1753–1766.
- [22] Niedbała J., R. Soja. 1998. Odpyływ z deszczu nawałnego w dniu 18 maja 1996 roku w Sułozowej. *Doł. Geogr.*, 11, 31–38.
- [23] Ostrowski J., H. Czarnecka, B. Głowacka, J. Krupa-Marchlewska, M. Zaniewska, M. Sasim, T. Moskwiński, A. Dobrowolski. 2012. Nagłe powodzie lokalne (flash flood) w Polsce i skala ich zagrożeń. W: Lorenc H. (red.), *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo kraju*. Monogr. IMGW-PIB, Warszawa, 123–149.
- [24] Parczewski W. 1960. Warunki występowania nagłych wzebrań na małych ciekach. *Wiad. Służby Hydrol. i Meteorol.*, 8(3), 1–79.
- [25] Paris R., F. Lavigne, P. Wassmer, J. Sartohadi. 2007. Coastal sedimentation associated with the December 26, 2004 tsunami in Lhok Nga, west Banda Aceh (Sumatra, Indonesia). *Marine Geolog.*, 238, 93–106.
- [26] Pociask-Karteczka J., J. Żychowski. 2014. Powodzie błyskawiczne (flash floods) – przyczyny i przebieg. W: Ciupa T., R. Suligowski (red.), *Woda w mieście*. Monogr. Komisji Hydrolog. PTG, 2, 213–226.
- [27] Tokarczyk T. 2014. Zagrożenia związane z niedoborem wody. *Nauka*, 1, 149–172.
- [28] Ward S.N., S. Day. 2011. The 1963 Landslide and Flood at Vaiont Reservoir, Italy: A tsunami ball simulation. *Italian Jour. of Geosci.*, 130(1), 16–26.