

# KLĘSKI ŻYWIOŁOWE A BEZPIECZEŃSTWO WEWNĘTRZNE KRAJU



Pod redakcją  
HALINY LORENC



# KŁĘSKI ŻYWIOŁOWE A BEZPIECZEŃSTWO WEWNĘTRZNE KRAJU

Pod redakcją  
HALINY LORENC

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej  
Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa 2012



SERIA PUBLIKACJI NAUKOWO-BADAWCZYCH IMGW-PIB

## **KLĘSKI ŻYWIOŁOWE A BEZPIECZEŃSTWO WEWNĘTRZNE KRAJU**

### **Recenzent:**

prof. dr hab. Krzysztof Błażejczyk

Praca przedstawia rezultaty projektu Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo (zmiany, skutki i sposoby ich ograniczania, wnioski dla nauki, praktyki inżynierskiej i planowania gospodarczego) finansowanego ze środków Unii Europejskiej i budżetu państwa

### **Komitet Redakcyjny Wydawnictw IMGW-PIB**

prof. dr hab. inż. Janusz Zaleski – przewodniczący,

mgr Karolina Racka – sekretarz,

dr Rafał Bąkowski, dr inż. Ryszard Kosierb, dr Danuta Limanówka,

dr hab. Halina Lorenc, prof. ndzw., dr Elżbieta Łysiak-Pastuszek,

prof. dr hab. inż. Maciej Maciejewski, prof. dr hab. inż. Wojciech Majewski,

dr inż. Mieczysław S. Ostojki, prof. dr hab. inż. Laura Radczuk,

prof. dr hab. inż. Kazimierz Różdżyński, mgr inż. Edmund Sieński,

mgr Rafał Stepnowski, dr inż. Wiwiana Szalińska, dr hab. Jan Szturc,

dr inż. Tamara Tokarczyk, dr inż. Tomasz Walczykiewicz,

dr hab. inż. Jan Winter, prof. ndzw.

**ISBN 978-83-61102-67-0**

### **Wydawca**

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

01-673 Warszawa, ul. Podleśna 61, E. content@imgw.pl

**Projekt składa się z 9 zadań:**

**Zadanie 1:** Zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko naturalne Polski oraz określenie ich skutków ekonomicznych

Koordynator zadania: dr hab. Mirosław Miętus, prof. ndzw. (01.12.2008 r. – 30.11.2011 r.), prof. dr hab. Joanna Wibig (01.01.2012 r. – 30.06.2012 r.).

**Zadanie 2:** Stan zanieczyszczeń powietrza w Polsce i jego wpływ na jakość życia – możliwości ograniczenia skutków

Koordynator zadania: dr Leszek Ośródk.

**Zadanie 3:** Zrównoważone gospodarowanie wodą, zasobami geologicznymi i leśnymi kraju

Koordynator zadania: dr inż. Tomasz Walczykiewicz.

**Zadanie 4:** Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne (cywilne i ekonomiczne) kraju

Koordynator zadania: dr hab. Halina Lorenc, prof. ndzw.

**Zadanie 5:** Rozwój metod prognozowania i systemów ostrzegania przed groźnymi zjawiskami hydrologicznymi i meteorologicznymi oraz wykorzystanie ich do osłony kraju

Koordynator zadania: dr Michał Ziemiański.

**Zadanie 6:** Bałtyk jako element systemu klimatycznego i jego rola w tworzeniu się stanów zagrożenia

Koordynator zadania: dr hab. Mirosław Miętus, prof. ndzw. (01.12.2008 – 30.11.2011), mgr inż. Ewa Jakusik (01.12.2011 – 30.06.2012).

**Zadanie 7:** Zagrożenia i uwarunkowania oraz możliwości realizacji krajowego zaopatrzenia w wodę ludności w świetle przepisów Unii Europejskiej

Koordynator zadania: mgr inż. Lidia Gutowska Siwiec,

**Zadanie 8:** Przeciwdziałanie degradacji polskich zbiorników retencyjnych

Koordynator zadania: mgr inż. Edmund Sieński

**Zadanie 9:** Perspektywiczne zagospodarowanie dorzecza Wisły z systemem ocen wpływu inwestycji hydrotechnicznych na środowisko

Koordynator zadania: prof. dr hab. inż. Wojciech Majewski

**Niniejszy tom zawiera wyniki uzyskane w Zadaniu 4 Projektu KLIMAT.**

## **OD AUTORA PROJEKTU**

*Maciej Maciejewski*

Głównym wykonawcą Projektu jest Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy. W Projekcie wzięli również udział specjaliści z: Instytutu Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Uniwersytetu Gdańskiego, Morskiego Instytutu Rybackiego w Gdyni, Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w m. st. Warszawie, Instytutu Melioracji i Użytków Zielonych, Państwowego Instytutu Geologicznego, Szkoły Głównej Handlowej, Uniwersytetu im. A. Mickiewicza, Instytutu Upraw Nawożenia i Gleboznawstwa PIB, Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, Instytutu Badawczego Leśnictwa.

Zrealizowany Projekt jest odzewem na wielokrotnie formułowane wnioski o potrzebie badań w zakresie spodziewanych zmian klimatu i ich skutków dla gospodarki kraju. Interdyscyplinarny projekt uwzględnia:

- obszerną wiedzę dotyczącą problematyki zmian klimatu,
- oddziaływanie tych zmian na gospodarkę, środowisko i społeczeństwo,
- propozycje rozwiązań ograniczających skutki zmian klimatu,
- propozycje działań adaptacyjnych do nowych warunków środowiskowych w ważnych dziedzinach życia gospodarczego i społecznego.

Z uwagi na przewidywane formy zagrożeń wynikających z ocieplenia klimatu, jako krótko terminowe działania zostały opracowane propozycje bieżących ostrzeżeń oraz osłony gospodarki i społeczeństwa przed ekstremalnymi zjawiskami atmosferycznymi i hydrologicznymi.

Działania długofalowe znalazły swój wyraz w postaci klimatycznych modeli w skali regionalnej, scenariuszy oddziaływań klimatu na produkcję rolną i lasy, prognoz potrzeb wodnych oraz sposobów ochrony wód powierzchniowych i podziemnych, prognozy skutków ekonomicznych i społecznych w następstwie zmian klimatu i występowania zdarzeń ekstremalnych. Został również podjęty problem wypracowania systemu zaopatrzenia w wodę ludności w świetle przepisów UE (oraz wariantowych scenariuszy adaptacji do zmian klimatu).

Celem Projektu było określenie wpływu ocieplenia klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo oraz skutków i sposobów ich ograniczenia, a także

wypracowanie działań adaptacyjnych do nowych warunków środowiskowych i ważnych dziedzin życia gospodarczego i społecznego.

Celem użytkowym części Projektu jest dostarczenie decydom informacji o scenariuszach zmian klimatu i narzędzi pozwalających symulować różne warianty decyzji gospodarczo-społecznych w aspekcie minimalizacji strat wywołanych ewentualnymi zmianami czy wahaniami klimatu.

Zaprezentowane w Projekcie scenariusze określają zakres zmienności klimatu z jakim należy się liczyć w działaniach gospodarczych. Te dane szacunkowe, o określonym prawdopodobieństwie, dotyczące występowania ewentualnych zagrożeń ze strony klimatu oraz związane z nim skutki umożliwiają decydom podejmowanie decyzji – niestety w warunkach niepewności – oraz szacowanie stosunku koniecznych nakładów do przewidywanych strat.

Wstępne wyniki prac Projektu stanowiły podstawę do tworzenia nowych systemów osłony ludności i gospodarki na wypadek występowania groźnych zjawisk hydrologicznych i meteorologicznych oraz katastrof technologicznych. W następstwie przygotowano nowy projekt pn. „*Informatyczny system osłony kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami (ISOK)*”, który obecnie jest w trakcie realizacji.

Pełny materiał dokumentujący wykonanie każdego z 9 zadań w Projekcie zawarty jest w:

- sprawozdaniach miesięcznych, kwartalnych, rocznych obejmujących części poznawcze i aplikacyjne, modele, obliczenia, wyniki, wnioski, opracowania cząstkowe,
- czterech tomach opracowań końcowych:
  - I tom: *Warunki klimatyczne i oceanograficzne w Polsce i na Bałtyku Południowym – spodziewane zmiany i wytyczne do opracowania strategii adaptacyjnych w gospodarce krajowej* (zad. 1 i 6),
  - II tom: *Zmiany klimatu a prognozowanie i monitorowanie stanu środowiska atmosferycznego* (zad. 2 i 5),
  - III tom: *Kłęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju* (zad. 4),
  - IV tom: *Zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi oraz infrastrukturą hydrotechniczną w świetle prognozowanych zmian klimatycznych* (zad. 3, 7, 8, 9).

## **I. Postawienie problemu**

### **I.A. Wprowadzenie**

Klimat to całokształt czynników fizycznych atmosfery i warunków pogodowych charakterystycznych dla danego obszaru, kształtowanych pod wpływem położenia geograficznego i cech fizycznych tego obszaru oraz określonych na podstawie wieloletnich pomiarów i obserwacji. Oznacza to, że na klimat Ziemi mają wpływ następujące czynniki zewnętrzne i wewnętrzne:

- intensywność promieniowania Słońca,
- erupcja wulkanów,

- okołoziemskie prądy morskie i stałe wiatry (pasaty strefy równikowej),
- zmienność pokrywy lądowej w strefach okołobiegunowych,
- działalność człowieka.

Biorąc pod uwagę setki tysięcy lat aktywności Słońca i wulkanów, jako główną przyczynę ocieplenia się klimatu na Ziemi należy wskazać czynnik antropogeniczny, czyli rosnące stężenie gazów cieplarnianych.

Dane pochodzące z analizy izotopowej rdzeni lodowych również wykazują, że od 650 tysięcy lat nie było powietrza tak dużo CO<sub>2</sub> jak obecnie. W tym względzie przeważa pogląd, że wzrost stężenia atmosferycznych gazów cieplarnianych spowodowany działalnością człowieka obserwowany jest od początku ery industrialnej [Climate Change 2007: Synthesis Report, IPCC].

Z drugiej strony czynniki zewnętrzne i wewnętrzne mogą wykazywać charakter cykliczny, powodując ustalanie się nowego stanu równowagi atmosfery i hydrosfery. Przykładem może być ochłodzenie w XVII-XVIII w. znane jako mała epoka lodowcowa. Wówczas pojawiły się ostre zimy i chłodne lata; zaczęły się około 1650 r. i trwały do roku 1715, powodując wymarzenie upraw, głód i w konsekwencji liczne ofiary śmiertelne w Europie. Potem nastąpił proces globalnego ocieplania się klimatu.

Przyczyny współczesnego ocieplenia są obiektem wielu badań. Wnioski z nich nie są jednoznaczne, a nauka dysponuje wieloma klimatycznymi modelami matematycznymi, pozwalającymi odtwarzać zmiany temperatury globalnej w ostatnim stuleciu oraz prognozować je z wyprzedzeniem do 100 lat. Jednak poziom niepewności tych przewidywań jest tak wysoki, że możliwe są różne scenariusze.

Warto w tej sytuacji być przygotowanym na obydwa warianty, gdyż w przyrodzie jedyną rzeczą pewną jest niepewność.

## **I.B. Modele klimatyczne**

Czy matematyczne modele klimatyczne, na podstawie których opracowane są prognozy przyszłych zmian klimatu są wiarygodne?

Odpowiedź jest prosta. Każdy model matematyczny opisujący procesy występujące w naturze, jeżeli nie zostanie potwierdzony eksperymentem pozostaje jedynie niepotwierdzoną teorią. Modeli klimatycznych prognozujących zmiany klimatu trudno obecnie zliczyć. Z raportów ogłoszonych przez IPCC<sup>1</sup> wynika generalny wniosek: „ocieplenie klimatu jest spowodowane emisją antropogeniczną gazów cieplarnianych, a konsekwencje tego będą oddziaływać na działalność i życie człowieka w przyszłości”. Współczesne stanowisko IPCC nie wyklucza również dużego wpływu przyczyn naturalnych.

<sup>1</sup> IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change – organizacja założona w 1988 r. przez Światową Organizację Meteorologiczną (WMO) oraz Program Środowiskowy Organizacji Narodów Zjednoczonych (UNEP) celem oceny ryzyka związanego z wpływem człowieka na zmiany klimatyczne. IPCC opracowuje raporty dotyczące zmian klimatu, z których ostatni ukazał się w 2007 r. (tzw. ARY) a kolejny jest planowany na rok 2014.

## **I.C. Monitorowanie zmian**

Niepewność wyników przedstawianych przez naukę sprawia, że przebieg zmian w systemie klimatycznym musi być monitorowany.

System monitoringu powinien być kompleksowy, skuteczny i powszechny. Kompleksowość tego systemu polega na tym, że obejmować on musi spójnie wszystkie istotne procesy fizyczne zachodzące w atmosferze i hydrosferze, które są powiązane różnymi związkami przyczynowo-skutkowymi, i z których każdy osobno lub kilka łącznie może wywierać niekorzystny wpływ na ludzi i gospodarkę. Kompleksowość systemu znajduje odzwierciedlenie w zintegrowanej meteorologicznej i hydrologicznej metodyce badawczej, zintegrowanym systemie pomiarowo-obszernym, a także zintegrowanej technice i technologii przesyłania, przetwarzania i gromadzenia danych. Dane te muszą być zbierane z wszystkich dostępnych źródeł z naziemnego systemu obserwacyjno-pomiarowego, systemu wymiany międzynarodowej, systemów satelitarnych i radarowych systemów teledetekcyjnych, wyników modeli meteorologicznych i hydrologicznych, które się wzajemnie weryfikują.

Skuteczność systemu monitoringu zmian klimatu oceniać będziemy trafnością przewidywania czasu i miejsca występowania oraz natężenia zjawisk przyrody niesprzyjających lub groźnych, z takim wyprzedzeniem w stosunku do momentu ich występowania, aby możliwe było zorganizowanie działań zaradczych i dostosowawczych, eliminujących lub redukujących zagrożenie życia oraz mienia gospodarczego. Powszechność zaś tego systemu wyrażać się będzie tym, w jakim stopniu zaspokajać on będzie potrzeby: indywidualne, zbiorowe, rządowe i samorządowe, pojawiające się w tym zakresie.

Do indywidualnych należy zaliczyć potrzeby wszystkich członków społeczeństwa, dostosowujących swoją aktywność osobistą i zawodową do zmiennych, prognozowanych warunków otoczenia na podstawie informacji hydrologiczno-meteorologicznej upowszechnianej przez środki masowego przekazu.

Spośród zbiorowych odbiorców na pierwszym miejscu należy wymienić takie działy gospodarki narodowej wymagające osłony specjalistycznej, jak: obrona narodowa, gospodarka morską, rolnictwo, transport lądowy i morski, ochrona środowiska, a także sektor ubezpieczeń. Ponadto do grupy tej należy zaliczyć również takie dziedziny jak: gospodarkę wodną z osłoną przeciwpowodziową i problematyką suszy, energetykę, sadownictwo i rekreację. Najwyższy poziom w sektorze odbiorców informacji prognostycznej, monitoringowej zajmują organy władzy państwowej i samorządowej, które są odpowiedzialne za przygotowanie państwa do działań w sytuacjach niebezpiecznych i organizowania ochrony społeczeństwa przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń. (Warto w tym miejscu wspomnieć, że w trakcie realizacji Projektu utworzono w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB Centrum Monitoringu Klimatu Polski).

### **System informacji**

Monitorowanie, czyli śledzenie, zbieranie, przygotowanie i przekazywanie informacji, może odbywać się automatycznie bądź „ręcznie”. Jego jakość i transfer



pozyskanych danych odgrywa decydującą rolę w zarządzaniu stanem zagrożenia, służy bezpośrednio narażonej na niebezpieczeństwo ludności i w rezultacie przynosi wymierny efekt ekonomiczny. Monitoring odgrywa ważną rolę w polityce społecznej państwa, a dla społeczności lokalnych stanowić powinien podstawę do tworzenia zgodnych z wymogami bezpieczeństwa planów zagospodarowania przestrzeni przyjaznej człowiekowi.

Korzystanie z informacji w czasie niebezpiecznego zdarzenia musi się odbywać w sposób odpowiedzialny i kompetentny. Chodzi o to, aby ludzie dysponujący informacją wykorzystywali ją nie dla swoich celów, lecz w interesie publicznym. Prawidłowa, rzetelna informacja może stać się łącznikiem pomiędzy dotkniętym nieszczęściem ludźmi, włączając ich do wspólnych działań ratowniczych. Niewłaściwa zaś informacja może wywołać panikę i pogłębić stan zagrożenia, powiększając straty i szkody.

Informacja funkcjonuje różnie w różnych grupach społeczeństwa, zależnie od edukacji, kultury, zasad religijnych, zamożności, charakteru pracy, itp. Powinna więc być odpowiednio przygotowana co do treści i zakresu oraz właściwie kierowana, a więc np. bardziej ogólna do władz różnego szczebla, a szczegółowa, w formie instrukcji, bezpośrednio do ludności.

Inne informacje są potrzebne do zarządzania sytuacją kryzysową, inne zaś do celów badawczych.

W pierwszym przypadku informacja powinna dostarczać wiadomości aktualnie użytecznych, odpowiednich do sytuacji. Ważne jest aby była ona szybka, odpowiadała na pytania: co nam grozi?, gdzie jest niebezpiecznie?, jak się obronić?, co zabezpieczać?, co trzeba robić żeby się ratować?, itp. Informacje te powinny być dostarczone bezpośrednio od nadawcy do odbiorcy.

Informacja do celów badawczych będzie szersza, zawierała będzie dane bardziej szczegółowe o większym zakresie. Wraz z danymi historycznymi pozwoli na pogłębioną analizę i wyciąganie wniosków, a w efekcie na tworzenie bardziej racjonalnych systemów bezpieczeństwa. Po ustąpieniu zagrożenia informacja powinna być każdorazowo analizowana i uzupełniana.

W obydwu przypadkach informacja zanim zostanie wykorzystana przez użytkownika (decydenta) powinna być przez niego przeanalizowana.

Dobra i dokładna informacja w sytuacji zagrożenia jest bezcenna. Nie oznacza to jednak, że informacja nie podlega prawom ekonomicznym. Wręcz przeciwnie, system informacyjny powinien być opłacalny. I jest to zrozumiałe, gdyż w istocie jest on użyteczny w skali społecznej, jednostkowej, krajowej, regionalnej i lokalnej, w sumie wysoce użyteczny dla gospodarki państwa. Dlatego też powinien być stworzony i eksploatowany wg ekonomicznych zasad. W praktyce oznacza to, że koszty jego tworzenia i częściowej eksploatacji pokrywane będą z budżetu państwa. Niemniej paradoksem jest, gdy w sytuacjach niebezpiecznych ludność i instytucje ponoszą straty, a operatorzy sieci telekomunikacyjnych robią dobry interes.

Dostęp do informacji musi być prawnie uregulowany, zaś użytkownicy powiadomieni o zasadach korzystania z niej.

Ponieważ system informacji powinien być ciągle doskonalony i aktualizowany istnieje także potrzeba unormowań prawnych regulujących dostęp do danych i ich dostarczanie do podstawowej bazy danych.

O użyteczności informacji decyduje głównie jej jakość, a więc przede wszystkim: wiarygodność, aktualność, technologia pozyskiwania przez odbiorcę, zakres, stopień ważności, komunikatywność języka odpowiadająca potrzebom użytkownika w danej chwili.

Nawet najdoskonalsza technika podlega awariom. Oznacza to, że aby zagwarantować wysoką niezawodność funkcjonowania systemu (informacji) trzeba dublować elementy systemu.

### **I.D. Zmiany klimatyczne i wrażliwość klimatu**

Ewolucja definicji „zmiany klimatyczne” świadczy o delikatności materii, a mianowicie:

- przyjęta przez Konwencję Klimatyczną (Ramowa Konwencja Klimatyczna Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu – United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) w roku 1992 definicja mówi, że „zmiana klimatyczna wynika wyłącznie – pośrednio lub bezpośrednio – z działalności ludzkiej, która zmienia skład atmosfery globalnej i która uzupełnia lub dopełnia naturalną zmienność klimatyczną obserwowaną w porównywalnych okresach”.
- definicja w Raporcie IPCC z 2007 r. mówi o zmianie stanu klimatu „która może zostać zidentyfikowana (np. za pomocą testów statystycznych) jako zmiana średnich charakterystyk i/lub ich zmienności, która utrzymuje się przez długi czas, zazwyczaj dekady lub dłużej.

Ta pozornie niewielka zmiana w zapisie, w istocie swej dotycząca globalnego ocieplenia klimatu, ma swoich zwolenników i przeciwników zarówno w kręgach naukowych, jak i politycznych. Decydujące znaczenie w tym „sporze” ma rzecz jasna kwestia czy wzrost poziomu CO<sub>2</sub> (odpowiedzialny głównie za efekt cieplarniany) w atmosferze jest odpowiedzialny za zmiany klimatu. Coraz więcej zwolenników, w tym naukowców klimatologów, przestaje uznawać człowieka za jedyne go winnego ocieplenia klimatu (grupa przeciwna IPCC). Polityczne lobby energetyczne także popiera to stanowisko. Dla tej grupy działania zmierzające do ograniczenia wykorzystania surowców energetycznych i zastąpienia ich innymi źródłami energii oznacza utratę zysków i przywilejów. Problem jest niezmiernie ważny i wrażliwy.

Przez wrażliwość klimatu będziemy rozumieć jego „odpowiedzi” w postaci zmian temperatury, będących skutkiem zwiększania się ilości CO<sub>2</sub> oraz innych gazów cieplarnianych, oddziaływania plam słonecznych, tworzenia się dziury ozonowej, zmian parowania wód oceanicznych. Nie pasuje jednak do tej definicji aspekt polityczny – skądinąd ważny.

## **I.E. Scenariusze emisji i scenariusze klimatu Polski na lata 2011-2030<sup>2</sup>**

Opisane w raporcie IPCC scenariusze emisji gazów cieplarnianych SRES (Special Report on Emission Scenarios) otrzymały akronimy A1, A2, B1 i B2. Opisują one różne zmiany podstawowych czynników wpływających zarówno na globalny rozwój, jak również na emisję gazów cieplarnianych, m.in. wzrost liczby ludności, rozwój technologiczny i ekonomiczny, zużycie energii.

Scenariusz A1 zakłada gwałtowny wzrost gospodarczy oraz osiągnięcie wysokiego wzrostu populacji w XXI wieku. W tym scenariuszu, w grupie A1F1, zakłada się intensywne wykorzystanie paliw kopalnych, w grupie A1T – użycie innych źródeł energii niż paliwa kopalne, w grupie A1B – równowagę w wykorzystywaniu tych paliw.

Scenariusz A2 zakłada wysoki wzrost populacji, wolny wzrost ekonomiczny oraz powolne zmiany technologiczne.

Scenariusz B1 zakłada wysoka dynamikę wzrostu populacji jak i A1 przy czym zmiany technologiczne i ekonomiczne następują szybciej.

Scenariusz B2 to średni wzrost populacji i średni wzrost ekonomiczny z naciskiem na lokalne rozwiązania, zakładające zrównoważony rozwój w aspekcie ekonomicznym, społecznym i środowiskowym.

W projekcie KLIMAT opracowano dwa typy scenariuszy klimatycznych na lata 2011-2030:

- statystyczno-empiryczne scenariusze dla wybranych elementów meteorologicznych (temperatura powietrza, opady atmosferyczne, zachmurzenie, wilgotność powietrza) na podstawie symulacji modelu ECHAM-5 i statystyczno-empirycznego downscalingu.
- dynamiczne scenariusze, w których symulacje klimatyczne przeprowadzono za pomocą modelu Reg CM31, z warunkami brzegowymi i początkowymi z eksperymentu EH5-T63L31-OM-GR15L40 wykonanego w ramach obliczeń dla potrzeb czwartego raportu IPCC AR4 w Instytucie Maxa Plancka w Hamburgu. Symulacje referencji (REF) dla okresu 1971-1990 oparto na eksperymencie 20 C3M, natomiast projekcje dla okresów 2011-2030 wykonano dla scenariuszy SRES A2, A1B i B1.

Projekcje zmian temperatury, otrzymane drogą dynamicznego downscalingu dla trzech scenariuszy emisji A2, A1B i B1, są zbliżone do otrzymanych metodami statystycznymi. Jednakże ich jakość budzi wątpliwości, gdy porównamy je z obecnymi trendami temperatury. Przedstawione projekcje dotyczą różnic między okresem scenariuszowym 2011-2030, a referencyjnym 1971-1990. W przypadku niektórych sezonów, szczególnie wiosny i zimy, obserwowany w okresie 1971-2010 kierunek zmian temperatury jest przeciwny do tego na jaki wskazują projekcje.

---

<sup>2</sup> Dokładne wyniki badań przedstawiono w tomie I pt. „Warunki klimatyczne i oceanograficzne w Polsce i na Bałtyku Południowym – spodziewane zmiany i wytyczne do opracowania strategii adaptacyjnych w gospodarce krajowej” (obejmuje zad. 1 i 6).

Ta sytuacja spowodowała, że scenariusze w Projekcie postanowiono opracować na podstawie dużej liczby dostępnych symulacji, z wykorzystaniem różnych regionalnych modeli klimatu. Skoncentrowano wiązkę 14 symulacji: trzech wykonanych w IMGW-PIB z wykorzystaniem modelu RegCM oraz jedenastu innych symulacji wykonanych w ramach projektu ENSEMBLE. Ponieważ do roku 2030 wymuszenia związane z antropogenicznymi emisjami dwutlenku węgla do atmosfery w scenariuszach A2, A1B i B1 różnią się minimalnie, a wpływ tych różnic na symulowany klimat jest znacznie mniejszy od różnic związanych z wyborem modelu globalnego, regionalnego czy warunków początkowych, skoncentrowano jedną projekcję klimatu. Różnice między modelami pozwoliły na ocenę zakresu przewidywanych zmian i ich statystycznej istotności.

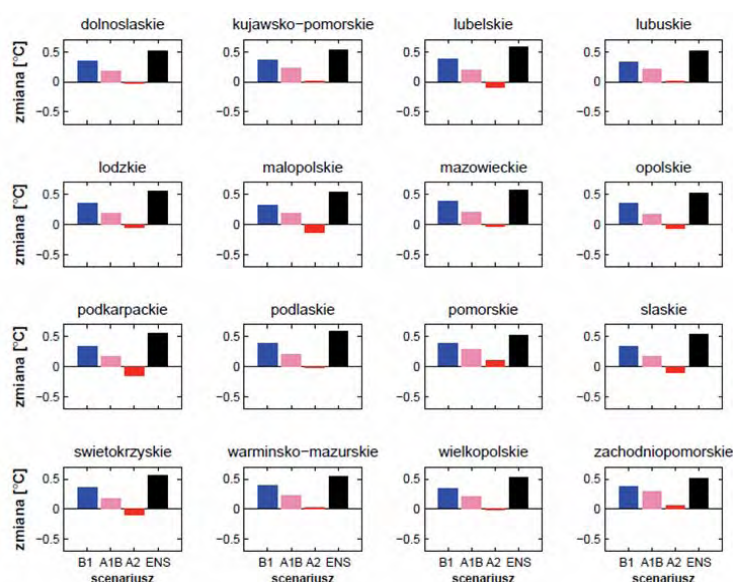
Scenariusze wiążkowe wskazują na kontynuację ocieplenia w ciągu najbliższych 20 lat. Ta zmiana jest zgodna z trendem obserwowanym w Polsce od połowy XX wieku. We wszystkich porach roku, oprócz wiosny, wzrost temperatury między okresami 1971-1991 a 2011-2030 wyniesie od 0,5 do 0,7°C.

Wiosną prognozowane ocieplenie będzie mniejsze i wyniesie 0,2-0,4°C. Wraz z temperaturą średnią rosną temperatury minimalna i maksymalna, przy czym wzrost temperatury maksymalnej jest nieznacznie mniejszy od średniej, a minimalnej nieco większy. Ocieplenie spowoduje wzrost częstości pojawiania się dni gorących i upalnych oraz spadek liczby dni przymrozkowych i mroźnych. Te zmiany są spójne na obszarze całego kraju i zgodne z kierunkiem zmian obserwowanym od połowy XX wieku.

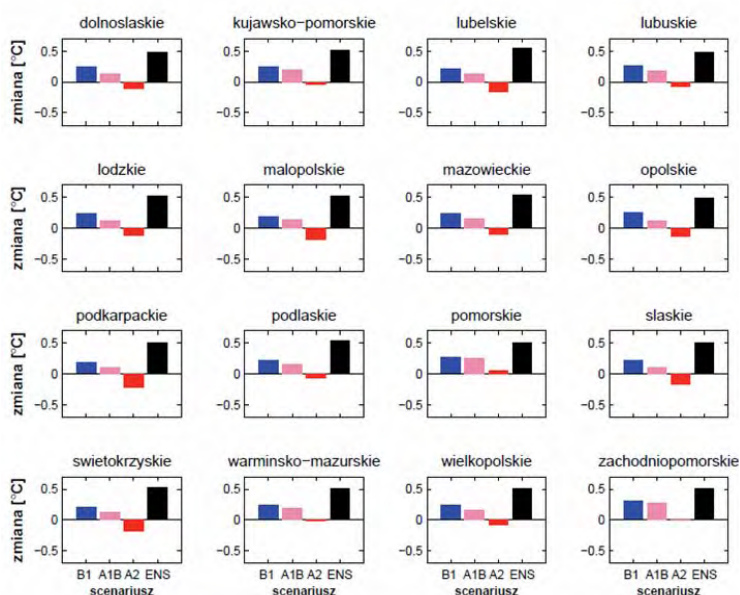
Prognozowane zmiany opadów nie są już ani tak wyraźne, ani jednorodne w czasie i przestrzeni. Przewiduje się, że roczne sumy opadów dla okresu 2011-2030 w stosunku do okresu referencyjnego 1971-1990 minimalnie wzrosną. Wzrost o 1-4% nie jest istotny statystycznie i rozrzut między prognozami różnych modeli w wiązce nie gwarantuje, że te prognozy się sprawdzą. W skali sezonów nieznaczny wzrost sum opadów, sięgający kilku procent, jest prognozowany od jesieni do wiosny, natomiast latem bardziej prawdopodobny jest spadek, sum opadu do 2%. Duży rozrzut prognoz między uwzględnionymi modelami powoduje jednak, że ich statystyczna istotność jest niska. Jest to zgodne ze zmianami obserwowanymi od połowy ubiegłego wieku – nieznacznym, statystycznie nieistotnym wzrostem rocznych sum opadu i brakiem statystycznie istotnych zmian w sezonach. Liczba dni z opadem przekraczającym 10 i 20 mm może nieco wzrosnąć od jesieni do wiosny. Wzrosty, choć procentowo duże, w bezwzględnych liczbach oznaczają od 1 do 5 więcej takich dni w sezonie, ponieważ obecnie, poza późną wiosną i latem, dni z takim opadem są rzadkością. Latem liczba dni z wysokim opadem prawdopodobnie spadnie. To również jest zgodne z obecnie obserwowanymi trendami.

Wysoka zgodność prognoz wiążkowych z obserwacjami, w sytuacji gdy większość czasu od okresu referencyjnego do scenariuszowego jest już za nami, zwiększyła zaufanie do scenariuszy wiążkowych, a stawia pod znakiem zapytania wiarygodność scenariuszy otrzymanych na drodze statystycznego lub dynamicznego downscalingu wyników model ECHAMS run 1.

Poniżej przedstawiono – przykładowo – zmiany termiczne w województwach  
 Dla scenariuszy emisji A2, A1B i B1 oraz dla scenariusza wiązkowego poli-  
 czono dodatkowo zmianę średniej rocznej temperatury powietrza w każdym z 16  
 województw (rys. 1).



Rys. 1. Zmiany średniej rocznej temperatury wg scenariusza IMGW-B1 (niebieski), IMGW-A1B (różowy), IMGW-A2 (czerwony), wiązkowego (czarny)



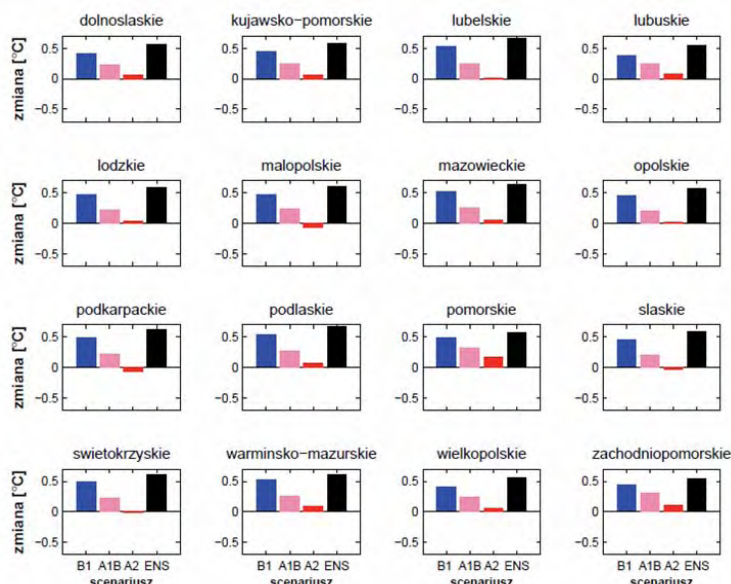
Rys. 2 Zmiany średniej maksymalnej temperatury wg scenariusza IMGW-B1 (niebieski), IMGW-A1B (różowy), IMGW-A2 (czerwony), wiązkowego (czarny)

Symulacje IMGW prognozują nieznaczne ocieplenie. Gdyby sprawdził się scenariusz emisji B1, symulacje przewidują ocieplenie o 0,3-0,4°C, w przypadku scenariusza emisji A1B przewidywane ocieplenie wyniosłoby 0,15-0,3°C, nato-

miast według scenariusza A2 temperatura nie powinna się zmienić, bowiem przewidywane różnice temperatury mieszczą się w granicach od  $-0,1^{\circ}\text{C}$  do  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Według scenariusza wiązkowego średnia temperatura roku wzrośnie we wszystkich województwach. Na przeważającym obszarze kraju ocieplenie wyniesie  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Na wschodzie i południu kraju, w województwach mazowieckim, warmińsko-mazurskim, świętokrzyskim, lubelskim, śląskim, małopolskim, podkarpackim i podlaskim wzrost temperatury będzie nieco wyższy i wyniesie  $0,6^{\circ}\text{C}$ .

Dla temperatury maksymalnej scenariusz wiązkowy przewiduje wzrost o  $0,5^{\circ}\text{C}$  na terenie całego kraju oprócz województw: mazowieckiego, podlaskiego i lubelskiego, w których temperatura maksymalna będzie większa o  $0,6^{\circ}\text{C}$  (rys. 2). Symulacje IMGW i w tych przypadkach przewidują mniejsze ocieplenie. W przypadku scenariusza emisji B1 jest to  $0,15-0,25^{\circ}\text{C}$ , dla scenariusza A1B –  $0,1-0,2^{\circ}\text{C}$ . Scenariusz A2 dla trzynastu województw przewiduje niewielki spadek temperatury maksymalnej (do  $0,2^{\circ}\text{C}$ ), dla dwóch wzrost o około  $0,1^{\circ}\text{C}$ , a dla województwa warmińsko-mazurskiego brak zmian.

Dla temperatury minimalnej scenariusz wiązkowy przewiduje wzrost o  $0,5^{\circ}\text{C}$  na terenie województw: zachodniopomorskiego, lubuskiego i dolnośląskiego, o  $0,6^{\circ}\text{C}$  dla województw: pomorskiego, wielkopolskiego, kujawsko-pomorskiego, łódzkiego, opolskiego i śląskiego. W pozostałych województwach temperatura minimalna wzrośnie około  $0,7^{\circ}\text{C}$  (rys. 3). Symulacje IMGW przewidują mniejsze ocieplenie. W przypadku scenariusza emisji B1 jest to  $0,4-0,5^{\circ}\text{C}$ , dla scenariusza A1B –  $0,2-0,3^{\circ}\text{C}$ . Scenariusz A2 przewiduje niewielki spadek temperatury minimalnej (poniżej  $0,1^{\circ}\text{C}$ ) w województwach podkarpackim i śląskim, brak zmian w województwach świętokrzyskim, lubelskim i niewielki wzrost, nieprzekraczający  $0,15^{\circ}\text{C}$  dla pozostałych województw.



Rys. 3. Zmiany średniej minimalnej temperatury wg scenariusza IMGW-B1 (niebieski), IMGW-A1B (różowy), IMGW-A2 (czerwony), wiązkowego (czarny)

## **II. Oddziaływania zmian klimatu**

### **II.A. W skali globalnej**

Spodziewane zmiany klimatu prognozowane w modelach klimatycznych (przekazane m.in. przez IPCC) przewidują podniesienie średniej temperatury na Ziemi do 2100 r. od 1,1°C do 6,4°C. Tak duże różnice wynikają z przyjęcia różnych scenariuszy, w których zakłada się ważny poziom wzrostu lub ograniczania emisji gazów cieplarnianych (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O).

Wzrost temperatury na Ziemi spowoduje:

- topnienie lodowców, kurczenie się wiecznej zmarzliny oraz ograniczenie zasięgu i czasu występowania lodów morskich,
- podniesienie się poziomu wód w Oceanie Światowym<sup>3</sup> od 0,2 m do 2,2 m i to jeszcze przed 2050 r.,
- zwielenokrotnienie ekstremalnych zjawisk pogodowych i huraganów, gwałtownych opadów, powodzi, susz, burz i sztormów (tsunami),
- spadek produkcji rolnej w rejonach międzyzwrotnikowych oraz potencjalny jej wzrost w strefach umiarkowanych,
- zmiany w składzie gatunkowym niektórych ekosystemów takich jak lasy czy rafy koralowe,
- potencjalnie zwiększenie obszarów częstego występowania takich chorób jak salmonella, malaria, cholera i innych chorób tropikalnych.

Dalszy wzrost koncentracji gazów cieplarnianych (głównie CO<sub>2</sub>) w atmosferze może spowodować:

- zmiany dynamiki cyrkulacji powietrza wpływającej na parametry klimatów lokalnych w różnych częściach globu i oddziałującej na przebieg prądów morskich,
- zmiany w reżimie opadów atmosferycznych wpływających bezpośrednio na stan zasobów wodnych Ziemi.

Przedstawiając powyższe prognozy i przewidywane skutki zmian klimatycznych pamiętać należy, iż są one oparte na hipotetycznych scenariuszach, zawierających ograniczony poziom pewności (wiarygodności) wyników badań. Nie oznacza to jednak zaniechania podejmowania odpowiednich decyzji i działań ograniczających skutki zmian oraz adaptacji do nich.

### **II.B. W skali Polski**

Do dzisiaj w środowisku badaczy klimatu nie ma jednoznacznego poglądu co do przyczyn obserwowanego już dość wyraźnie ocieplenia się klimatu. Dotychczasowe badania wykazują, że istnieje duża zbieżność wyników różnych modeli (kilkadziesiąt), gdy chodzi o zmiany klimatu w skali globalnej.

---

<sup>3</sup> Ocean Światowy, to określenie 97% wód występujących na Ziemi (Ocean: Atlantycki, Spokojny, Indyjski, Południowy, Arktyczny i morza).

Natomiast w przypadku skali regionalnej modele mogą dawać zupełnie różne rozkłady elementów klimatycznych: „Otrzymane wyniki obliczeń modelowych dla temperatury i opadu w Polsce w XXI wieku można traktować jedynie jako pewne możliwe realizacje systemu klimatycznego w przestrzeni. Nie mamy podstaw do postawienia jednoznacznej prognozy klimatu w ciągu stulecia” [Liszewska, Osuch 1999, Analiza wyników globalnych modeli klimatu dla Europy Środkowej i Polski].

Wyniki badań z modeli zależą bowiem od wprowadzonych do modelu elementów fizycznych – dają różne „prognozy” klimatu (temperatury i opadu) w skali regionalnej. Powinniśmy więc mówić o prawdopodobnych scenariuszach zmian parametrów meteorologicznych obarczonych dużym stopniem niepewności.

W tej sytuacji – jeżeli chodzi o obszary naszego kraju – nieocenione są dane empiryczne z instrumentów pomiarowych Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej.

Z przeprowadzonych w trakcie realizacji Projektu prac wynika, że jeżeli chodzi o środowisko naturalne, to największych negatywnych oddziaływań zmian klimatu należy się spodziewać w gospodarce wodnej (lokalne deficyty wody), rolnictwie (spadek zasobów wilgoci w glebie) i leśnictwie. Poważne zmiany są sygnalizowane w chemizmie atmosfery. Trudno przewidzieć, jaki będzie sposób reakcji ekosystemów na te zmiany.

Należy się również spodziewać wzrostu częstości występowania zjawisk o charakterze klęsk żywiołowych: sztormów, huraganów, powodzi, gradów, susz, itp.). Te zaś mogą wywoływać awarie i katastrofy technologiczne. Mamy wtedy często do czynienia z efektem synergicznym, w którym istnieje współzależność pomiędzy zmianami w naturze, a reakcją systemów technologicznych.

### **II.C. Zanieczyszczenie powietrza i jego wpływ na jakość życia**

Zwiększenie koncentracji zanieczyszczeń powietrza ma bezpośredni wpływ na stan zdrowie ludności, a w konsekwencji na jakość życia. Dotyczy to głównie pyłu zawieszonego, wpływającego bezpośrednio na czystość powietrza. Ilość emitowanego pyłu zawieszonego w Polsce plasuje nas na pierwszym miejscu w Europie. Jego emisja jest wynikiem spalania węgla i innych produktów ropopochodnych (w tym paliw stosowanych w silnikach benzynowych), duży udział ma również pył skoncentrowany w zalegającym na powierzchni brudzie (kurzu).

Zawieszony w powietrzu pył o wielkości 2-10  $\mu\text{m}$ , które bezpośrednio wdychamy, stanowią jednocześnie jądra kondensacji, na których zaczepiają cząstki pary wodnej tworząc trującą mgłę zwaną smogiem. Suchy zaś pył przy podwyższonej w lecie temperaturze szczególnie drażni nasze oczy i gardło – mówimy wtedy o ozonie przyziemnym.

### **III. Reakcja i wrażliwość gospodarki na zmiany klimatu**

O tym, że pogoda ma wpływ na gospodarkę powszechnie wiadomo. Jak wynika z danych Departamentu Handlu Stanów Zjednoczonych 12% produktu krajowego brutto (PKB) jest bezpośrednio wrażliwe na zmiany pogody o charakterze



niekatastrofalnym. Stąd możemy mówić o „ryzyku pogodowym”, zarządzaniu nim i rozwijającym się rynku „umów na pogodę” w firmach ubezpieczeniowych.

„Odpowiedzi” poszczególnych sektorów gospodarki na zmiany klimatu przebiegają inaczej. Są to zmiany powolne, a gdy odnieść je do koncentracji gazów cieplarnianych to reakcje klimatu na nie następują z dużym opóźnieniem. Także proces adaptacji gospodarki, dobrze zaplanowany, może być realizowany systemowo, przy rozłożonych na dłuższy okres kosztach działań dostosowawczych.

Do sektorów najbardziej wrażliwych na zmiany klimatu należy zaliczyć: energetykę, budownictwo, rolnictwo, turystykę i rekreację.

Sektor energetyczny bezpośrednio reaguje na zmiany. Im wyższa temperatura powietrza tym większe zużycie energii przez systemy klimatyzacyjno-wentylacyjne, a im niższa tym większe staje się zapotrzebowanie na energię do ogrzania pomieszczeń. Zmiany klimatyczne mogą doprowadzić do redukcji przepływu w rzekach wykorzystywanych do chłodzenia urządzeń w elektrowniach cieplnych i nuklearnych. Może także nastąpić zmiana reżimu hydrologicznego rzek co zakłóci pracę elektrowni wodnych.

Sektor budownictwa stanąć może przed problemem niedostatecznych wytrzymałości konstrukcji, nieodpowiednich materiałów oraz niedostosowanych norm budowlanych do bardzo silnych wiatrów i obciążeń konstrukcji śniegiem.

Sektor rolnictwa musi się liczyć z zmianami w hodowli roślin i modyfikacji agrotechniki przez zmiany w doborze uprawianych gatunków roślin czy rejonizacji produkcji.

Istnieją udokumentowane dowody, że niektóre choroby zakaźne zwierząt (zwłaszcza przenoszone przez owadzie wektorów cechujących się sezonowością, co jest związane z ociepleniem klimatu) są konsekwencją zmiennych warunków dla wegetacji roślin i bytowania zwierząt. W tej sytuacji sektor rolniczy musi liczyć się z podjęciem specjalistycznych prac adaptacyjnych nad epidemiologią chorób zakaźnych zwierząt domowych.

Turystyka i rekreacja. Ośrodki górskie mogą być narażone przede wszystkim na wysoką temperaturę powietrza lub brak opadów śniegu w sezonie zimowym. Z kolei ośrodki nadmorskie polskiego wybrzeża mogą zyskać ze względu na ocieplenie wód Bałtyku.

#### **IV. Zadania dla sektorów gospodarki odpowiedzialnych za przeważającą część krajowej emisji gazów cieplarnianych**

Klimat Ziemi jest zjawiskiem zmiennym i złożonym, a wpływ na niego ma wiele czynników. Na obecnym etapie rozpoznania nie jesteśmy w stanie jednoznacznie określić w jakim stopniu ocieplenie powietrza na powierzchni Ziemi jest spowodowane procesami energetycznymi działalności człowieka, a w jakim czynnikami naturalnymi, w tym zjawiskami zachodzącymi na powierzchni Słońca.

Źle realizowane przez człowieka procesy energetyczne najbardziej szkodzą tu, teraz, dlatego należy podejmować kompleksowe działania ochronne, adaptacyjne i łagodzące skutki, tzn.:

- rozwijać nowe technologie, efektywniej wykorzystujące surowce energetyczne,
- racjonalnie oszczędzać energię,
- ograniczać emisję gazów cieplarnianych oraz zwiększać ich absorpcję,
- ograniczyć zużycie nieodnawialnych źródeł energii na rzecz odnawialnych,
- ograniczać emisję toksyczną pochodzącą z różnych źródeł transportu, upowszechniać w społeczeństwie ekologiczne środki transportu, w tym rowery
- szeroko stosować handel emisjami,
- wprowadzać mechanizmy finansowe wspierające działania zmierzające do redukcji emisji gazów cieplarnianych,
- prowadzić ciągłą działalność edukacyjną, szkoleniową, obejmującą całe społeczeństwo, wszystkie grupy wiekowe i zawodowe, a także władze na szczeblu centralnym i lokalnym.

W szczególności należy podjąć następujące działania na rzecz redukcji gazów cieplarnianych:

w przemyśle:

- modernizować technologie produkcji, m.in. poprzez wdrażanie najlepszych praktyk, wprowadzać innowacje i poprawiać wydajność,
- ograniczać zużycie energii i innych mediów na jednostkę produktu,
- stosować zamiennik F-gazów w urządzeniach chłodniczych i klimatyzacyjnych,
- wprowadzać nowoczesne metody zarządzania i kontroli,

w energetyce i w budownictwie:

- rozwijać różne formy produkcji energii z źródeł odnawialnych: woda, wiatr, słońce, biogaz, odpady drewna, geotermia (w tym energetyka rozproszona),
- wprowadzać różne mechanizmy finansowe wspierające produkcję energii z odnawialnych źródeł energii,
- rozszerzać wydawanie świadectw energetycznych budynkom, dotyczących wymagań techniczno-budowlanych dla racjonalnego wykorzystania energii w zakresie ochrony cieplnej, instalacji grzewczej, wentylacji i klimatyzacji,

w transporcie:

- stosować rozwiązania techniczne takie jak:
  - nowoczesne konstrukcje samochodowe, szynowe i samolotowe, ograniczające zużycie paliw,
  - budowa autostrad, dróg szybkiego ruchu i obwodnic,
  - budowa infrastruktury rowerowej i upowszechnianie roweru jako ekologicznego środka transportu,
- stosować rozwiązania organizacyjne takie jak:
  - programy zachęcające do stosowania biopaliw,
  - promocja transportu publicznego,

w rolnictwie i leśnictwie:

- stosować szerzej bioetanol do napędu maszyn rolniczych i transportu,
- wdrażać najlepsze (dobre) praktyki w rolnictwie, m.in. w technologiach upraw i hodowli (wychwytywanie metanu),
- w drodze stopniowego, długotrwałego procesu dostosowawczego przygotować programy adaptacji rolnictwa, głównie w Polsce północno-wschodniej (gdzie obserwowany jest wzrost średniej temperatury powietrza i wydłużenie okresu wegetacyjnego), w zakresie zmian w hodowli roślin, modyfikacji, agrotechniki, doborze uprawnych gatunków roślin i rejonizacji produkcji,
- racjonalnie stosować nawozy sztuczne,
- stosować zachęty i działania wspierające zalesienia oraz odnowienia zasobów leśnych w lasach prywatnych,

w gospodarce komunalnej:

- zmniejszać energochłonność urządzeń do uzdatniania wody i przepompowni, ograniczać koszty energetyczne przesyłu wody do odbiorców,
- obniżać energochłonność w oczyszczalniach ścieków, wdrażać produkcję gazu i energii z osadów ściekowych
- aktywizować recykling odpadów wraz z pozyskiwaniem gazu z wysypisk.

## **V. Działania adaptacyjne do prawdopodobnych zmian klimatycznych**

W gospodarce wodnej działania adaptacyjne to:

- dbałość o zasoby wodne tak, aby w przyszłości zaspokojone były potrzeby wodne ludności, rolnictwa, gospodarki żywnościowej i przemysłu. W szczególności chodzi o monitorowanie zmian bilansu wodnego (jakości i ilości) w celu przewidywania potencjalnych jego zmian w przyszłości, w tym cech biologicznych, fizycznych i chemicznych ekosystemów wodnych,
- ograniczanie ryzyka strat spowodowanych przez powódzie i susze,
- odtwarzanie i tworzenie małej retencji, szerokie działania renaturyzacyjne,
- budowa zbiorników retencyjnych dla uzyskania przepływów dyspozycyjnych w rzekach oraz zaopatrzenia w wodę: hydroenergetyki, rybołówstwa, transportu, turystyki i rekreacji.

Działania adaptacyjne dotyczące polskiej strefy Bałtyku to:

- zabezpieczenie wrażliwych obszarów wybrzeża (ok. 2400 km<sup>2</sup>) przed ryzykiem powodzi związanych z podniesieniem się poziomu wód Bałtyku,
- zapewnienie stabilizacji linii brzegowej: plaż, klifów i wydmy przed erozją morza.

## **VI. Ryzyko działań strategicznych dotyczących zmian klimatu**

### **VI.A. Straty spowodowane ekstremalnymi (lokalnymi) zjawiskami pogodowymi**

Z dużym prawdopodobieństwem można założyć, że spodziewane zmiany klimatu wielokrotnie mogą pojawić się ekstremalne zjawiska pogodowe, które w efekcie generować mogą powstawanie strat w gospodarce, a także narażać ludzi na utratę zdrowia i życia. Straty stanowią często poważny uszczerbek w budżecie państwa, a przedsiębiorców mogą narażać na utratę części lub całości trwałego majątku.

Straty powodziowe w Polsce:

- rok 1960 – 1205 mln zł
- rok 1970 – 1515 mln zł
- rok 1977 – 2503 mln zł
- rok 1979 – 1995 mln zł
- rok 1997 – 12000 mln
- rok 2001 – 1300 mln
- rok 2010 – 13000 mln

Poziom strat powodziowych rośnie w miarę wzrostu zainwestowania terenów.

### **VI.B. Scenariusze szans i niepowodzeń działań strategicznych związanych ze zmianami klimatu**

Patrząc w przyszłość można brać pod uwagę dwa scenariusze działań strategicznych związanych ze zmianami klimatu: scenariusz szans i scenariusz niepowodzeń.

W scenariuszu szans przystąpienie Polski do Unii Europejskiej i konieczność spełnienia dość surowych wymogów w zakresie standardów gospodarczo-społecznych i prawnych, niewątpliwie wymusza zmniejszenie emisji antropogenicznej gazów cieplarnianych, co skutkować będzie również ograniczeniem zagrożeń wywołanych ekstremalnymi, lokalnymi zjawiskami meteorologicznymi i hydrologicznymi. Łagodzenie zaś skutków zagrożeń naturalnych związane jest z bogaceniem się państwa i społeczeństwa. W takich warunkach należy się spodziewać zwiększania środków na monitoring, prace osłonowe oraz doskonalenie sprawności służb ratowniczych, działających na rzecz ograniczenia skutków zagrożeń.

Gdyby przyjąć scenariusz niepowodzeń, a w nim wariant krytyczny, w którym nastąpi pogłębienie różnorodnych sytuacji kryzysowych, to należy liczyć się z utrwaleniem zacofania technologicznego. Skutkiem tego byłoby zwiększenie ryzyka powstawania katastrof i awarii technologicznych (powolnych i szybkich), zwiększenie ryzyka zagrożenia zdrowia i życia ludzi oraz powiększenia obszarów ekologicznego zagrożenia. Scenariusz niepowodzeń to także taka sytuacja, gdy w wyniku niezrozumiałych przyczyn następuje zaniechanie wszelkich działań ochronnych i adaptacyjnych do zmian klimatu.

Ponieważ zmiany klimatyczne to proces powolny i długotrwały, istnieją realne szanse aby w ramach strategicznego planowania działań adaptacyjnych:

- zabezpieczyć środki finansowe,
- dostosować technologie,
- zmienić odpowiednie uregulowania prawne,
- pobudzać rozwój infrastruktury komunalnej i rolnej,
- zbudować nowe powiązania kooperacyjne,
- kreować zmiany mentalności ludzi w różnych strefach ich aktywności,
- przygotować bazę naukowo-badawczą wspierającą ww. działania.

W obydwu scenariuszach, wobec różnych uwarunkowań zewnętrznych i wewnętrznych, istnieje niepewność kierunku rozwoju kraju. Ryzyko i niepewność stanowią nieodłączny element procesów decyzyjnych, które ujawniają się szczególnie jaskrawo przy reagowaniu w warunkach tworzenia się sytuacji niebezpiecznej, wywołanej np. gwałtownym zdarzeniem pogodowym.

### **VI.C. Podejmowanie decyzji w warunkach niepewności**

W ostatnich latach obserwuje się dramatyczny, związany prawdopodobnie ze zmianami klimatu, wzrost zagrożeń wywołanych ekstremalnymi zjawiskami meteorologicznymi i hydrologicznymi.

Racjonalne reagowanie (zarządzanie, podejmowanie decyzji) w odniesieniu do tych zjawisk pogodowych powinno być związane z prewencją i kontrolą ryzyka zagrożenia (niebezpiecznego zdarzenia). Oznacza to, że po otrzymaniu informacji o możliwości zaistnienia zdarzenia podejmuje się decyzję, której celem ma być ograniczenie skutków zdarzenia, jego uniknięcie, bądź też tylko akceptacja jego wystąpienia.

W odniesieniu do zjawisk przyrody, o których tutaj mowa, ze względu na skomplikowany, nie w pełni poznany system przyczynowo-skutkowy kształtujący interesujące nas zjawiska i procesy, gdy trudno jest uzyskać w pełni obiektywny opis probabilistyki zjawiska, działamy w warunkach niepewności.

Podejmowanie w takich warunkach decyzji może iść w trzech (i więcej) kierunkach:

- pierwszym, polegającym na normatywnym sformułowaniu formy działania, ściśle określonym przez nadrzędną agencję rządową (np. sterowanie zbiornikiem retencyjnym wg instrukcji, mimo że dynamiczny charakter procesu retencji wskazywałby na potrzebę odstąpienia od instrukcji),
- drugim, wiążącym się ze stosowaniem specjalnych technik podejmowania decyzji, np. kwantyfikacja stopnia niepewności, wielokryterialne metody podejmowania decyzji, oceny ryzyka (np. aktywne podejście dyspozytora do systemu sterowania zbiornikiem w wyniku wielokrotnie powtarzanych symulacji opartych na ciągach historycznych),
- trzecim, polegającym na całkowicie subiektywnej decyzji decydenta, wynikającej z jego doświadczenia (np. wysadzanie wału przeciwpowodziowego) lub wręcz upodobań.

Warto jednak podkreślać, że obszar ryzyka odpowiadający danemu ekstremalnemu zdarzeniu przyrodniczemu lub inaczej obszar zmienności tego zjawiska

meteorologicznego czy hydrologicznego, można określić jedynie z pewnym przybliżeniem. Dlatego pomijanie w procesach decyzyjnych niepewności wynikającej z samej struktury (charakteru) zjawiska jest błędem prowadzącym często do wielkich szkód i zagrożenia życia.

#### **VI.D. Działania w zakresie klęsk żywiołowych**

Degradacja środowiska związana z szybkim rozwojem gospodarczym, ale także ze zmianami klimatu zwiększa ryzyko wystąpienia katastrof naturalnych. Ponadto na skutek zwiększonej produkcji, rozwoju transportu i składowania oraz magazynowania niebezpiecznych odpadów stwarzane są dogodne warunki do wywołania klęsk (awarii) technologicznych.

Katastrofy Na-Tech (naturalno-techniczne), o charakterze synergicznym, często przekraczają naturalne granice swego powstawania i stanowią zwiększone zagrożenie dla ludności całych regionów. To z kolei określa potrzebę spojrzenia na ryzyko wystąpienia klęsk żywiołowych poprzez pryzmat urbanizacji. Skutki katastrof mogą być zredukowane, ale tylko wtedy, gdy będą traktowane jako integralna część w planach przyznawania środków oraz racjonalnym zagospodarowaniu przestrzennym i urbanizacji. Planiści i specjaliści różnych dyscyplin powinni być zaangażowani w działania zapobiegające klęskom.

W prewencyjnym planowaniu rozwoju miast do uwzględnienia są 3 aspekty:

- duża podatność społeczności miejskich na zagrożenia Na-Tech spowodowana koncentracją ludności, akumulacją dobytku oraz silną zależnością od kluczowych urządzeń technicznych i infrastruktury, które wpływają na wielkość zagrożenia. Z powyższych przesłanek powinien wynikać dobór osłonowych środków inżynierskich i zakres planowania,
- konieczność sprawnej organizacji akcji prewencyjnych i ratowniczych z udziałem społeczności lokalnej (OC – treningi, szkolenia), także przy likwidacji strat,
- konieczność prowadzenia powszechnej edukacji o zagrożeniach.

Należy pamiętać, że każde działanie w tym zakresie ma znaczący wymiar ekonomiczny. Aby go zoptymalizować celowe jest sformułowanie długofalowych zadań dla różnych dziedzin nauki i praktyki inżynierskiej.

W prewencyjnych działaniach na rzecz ochrony środowiska naturalnego należy surowo przestrzegać nieprzekraczania granicznych ładunków zanieczyszczeń wody, powietrza i gleby. Naruszenie tego reżimu spowoduje, że natura okaże się bezbronna, a zmiany które nastąpią będą nieodwracalne.

Zagrożenia naturalne i technologiczne stanowią stałe niebezpieczeństwo dla ludności, a ich skutki to duże straty w mieniu, infrastrukturze i środowisku. W związku z postępującym zainwestowaniem przestrzeni oraz zmianami klimatu, które zwiększają skutki zdarzeń niebezpiecznych, konieczne jest ciągle doskonalenie systemu osłony, ratownictwa i postępowania po klęsce. Konieczne jest kompleksowe i logistyczne podejście do tego problemu zarówno w zakresie badawczym, jak i operacyjnym.

Prowadzone prace badawcze i działania (wyjąwszy „gry polityczne”) powinny mieć jeden cel: zapewnić bezpieczeństwo wewnętrzne państwa i spowodować, by jego obywatele czuli, że są osłaniany przez odpowiednie organy władzy w krytycznych sytuacjach. Niemniej ważna jest gotowość rządzących i ludności cywilnej do akceptacji zmian i dostosowania się do nich, w czym nieoceniona jest wiedza o zjawiskach i powszechna edukacja.

Z problematyką klimatu jest jak z historią (prehistorią) narodów. Nie ma i nie powinno być podziału na „kapłanów” i „wiernych”, a więc tych co podają laikom pewne prawdy do wierzenia i tych, którzy muszą im na słowo honoru uwierzyć. Nie wszystko jest wyjaśnione, pozostaje mnóstwo problemów spornych, wśród nich i takie, w których nauka nigdy chyba nie wypowie swego ostatecznego zdania.

### **VI.E. Ramowy zakres prac na rzecz ograniczenia zagrożeń związanych ze zmianami klimatu**

W celu ograniczenia zagrożeń ze strony zmian klimatycznych proponowane są następujące, priorytetowe działania:

Priorytety strategiczne:

- przewidywanie zmian klimatu
- przewidywanie zdarzeń niebezpiecznych
- prowadzenie badań i ich wdrażanie
- tworzenie skoordynowanych programów krajowych i lokalnych
- koordynacja wewnętrzna i zewnętrzna (międzynarodowa)

<b>Zadania badawcze</b> (propozycje na rzecz ograniczania zagrożeń ze strony zmian klimatycznych)							
Elementy fizyczne i przyrodnicze			Systemy organizacyjno-menedżerskie		Prace na rzecz ochrony ludności		
Klimat, stany pogody, systemy hydrologiczne	Procesy geologiczne i gruntowe	Procesy w ekosystemie	Systemy techniczne	Systemy ochrony i sterowania	Ochrona zdrowia i kontakty ze społeczeństwem	Środki promocji i przymusu	Problemy ekonomiczne
Ekstremalne zjawiska klimatyczne i meteorologiczne Ekstrema hydrologiczne Ekstrema oceanograficzne	Ruchy mas ziemi (antropogeniczne) Wstrząsy podziemne naturalne	Reakcja ekosystemu na zagrożenie Procesy interakcyjne Rekultywacja	Systemy ostrzegawcze Systemy monitoringu Systemy budowlane Systemy ratownicze składowanie substancji niebezpiecznych	Systemy kontrolne jakości: -wody -powietrza -gruntu	Ochrona socjalna Reakcja na niebezpieczeństwo Ochrona epidemiologiczna Programy ochrony ludności	Eliminacja barier pomiędzy urzędami (organizacjami a ludnością) Zadania dla: -rządu -instytucji finansowych -przemysłu -innych jednostek	Analizy ekonomiczne zagrożeń Rachunek zaniechań Koszty strat Koszty rekultywacji i rekonstrukcji

Priorytety główne:

- identyfikacja zjawisk ekstremalnych – ich charakterystyka i prognozowanie
- rozpoznanie i ocena ryzyka
- rozwój metod ograniczania zagrożeń
- wdrażanie metod ograniczania zagrożeń
- edukacja o zagrożeniach
- centrum informacyjne i operacyjne

<b>Zadanie operacyjne</b> (propozycje na rzecz ograniczania zagrożeń ze strony zmian klimatycznych)				
Przed zagrożeniem		W czasie zagrożenia	Po zagrożeniu	
przygotowanie	-ostrzeżenie -prognoza	działania ratowniczo- interwencyjne	odtworzenie substancji (infrastruktury)	pomoc ludności
Edukacja	Monitoring i obserwacje	Koordinacja	Służby pomocnicze	Ocena szkód
Planowanie (przestrzenne)	Baza danych i modele prognostyczne	Taktyka i logistyka	Pomoc finansowa	Rekonstrukcja i modyfikacja
Ochrona	Systemy wczesnego ostrzegania	Łączność	Pomoc socjo-psychologiczna	Edukacja
Ocena ryzyka	Edukacja			
Treningi				

## VII. Wskaźniki realizacji osiągnięcia celów Projektu

W wyniku realizacji Projektu zaistnieją przesłanki do:

- zwiększenia zasobów wód powierzchniowych poprzez zwiększenie retencji,
- uwzględnienia we wszystkich wojewódzkich planach zagospodarowania przestrzennego problemów gospodarki wodnej wobec zmian klimatu – jako ważnego uwarunkowania rozwoju regionu,
- wprowadzenia norm budowlanych uwzględniających zmiany obciążeń budowli w wyniku ekstremalnych warunków pogodowych (śnieg, wiatr),
- zmniejszania ryzyka susz i powodzi,
- wdrażania modeli do oceny poziomu emisji pyłu zawieszzonego PM2.5,
- zwiększania dostępności do informacji o gwałtownych zanieczyszczeniach ujęć wody,
- opracowania propozycji edukacyjnych nawiązujących do Projektu,
- podniesienie jakości prognoz meteorologicznych przy użyciu modelu subsy-optycznoskalowego,
- uznania strefy brzegowej Bałtyku za rejon konfliktu pomiędzy rozwojem gospodarczym, a zachowaniem naturalnego krajobrazu wraz z istniejącymi geosystemami i dostosowanie do tego perspektywicznych planów zagospodarowania przestrzennego.



## **VIII. Wniosek generalny**

Nie rozpoznano do końca, na ile ocieplenie klimatu spowodowane jest działalnością człowieka, a na ile czynnikami naturalnymi. Nie oznacza to, że mamy nic nie robić. Wprost przeciwnie. Powinniśmy w ramach długofalowej strategii państwa ograniczać ilość i stężenie dwutlenku węgla w powietrzu. Chodzi więc o taką modernizację energetyki, transportu, rolnictwa i gospodarki komunalnej aby maksymalnie ograniczyć zużycie energii w ogóle, a tym samym – w przypadku Polski zaoszczędzić jak najwięcej zasobów węgla dla następnych pokoleń. Równocześnie powinniśmy intensyfikować produkcję energii w oparciu o czyste źródła energii odnawialnej oraz energii jądrowej, i to mimo opóźniających te działania przedstawicieli przemysłu i lobby paliw kopalnych obawiających się utraty zysków. (Pewnym optymizmem napawa fakt zainteresowania się niektórymi polskimi spółkami energetycznymi budową nowych elektrowni i elektrociepłowni zasilanych gazem). Każdy krok w tym kierunku będzie krokiem do przodu naszej gospodarki.

W tym przypadku nie chodzi o wizjonerski świat, lecz o twarde chodzenie po ziemi.



## Spis treści

<b>WPROWADZENIE</b> .....	3
<i>Halina Lorenc</i>	
<b>CZEŚĆ I. ZAGROŻENIA SPOWODOWANE EKSTREMALNYMI ZJAWISKAMI METEOROLOGICZNYMI</b> .....	5
Struktura występowania intensywnych opadów deszczu powodujących zagrożenie dla społeczeństwa, środowiska i gospodarki Polski .....	7
<i>Halina Lorenc, Elżbieta Cebulak, Bronisław Głowicki, Michał Kowalewski</i>	
Struktura maksymalnych prędkości wiatru w Polsce.....	33
<i>Halina Lorenc</i>	
Ryzyko występowania mgieł w Polsce .....	60
<i>Halina Lorenc, Anna Myszura</i>	
Ryzyko występowania gradu w Polsce.....	80
<i>Katarzyna Kołkowska, Halina Lorenc</i>	
Ryzyko występowania gołoledzi w Polsce .....	98
<i>Elżbieta Dołęga, Halina Lorenc</i>	
<b>CZEŚĆ II. SKALA I RODZAJE ZAGROŻEŃ</b> .....	121
Nagłe powodzie lokalne (flash flood) w Polsce i skala ich zagrożeń.....	123
<i>Janusz Ostrowski, Halina Czarniecka, Barbara Głowacka, Jolanta Krupa-Marchlewska, Monika Zaniewska, Marianna Sasim, Tadeusz Moskwiński, Andrzej Dobrowoński</i>	
Ocena zagrożenia suszą w Polsce i prognoza jej rozwoju .....	150
<i>Tamara Tokarczyk, Wiwiana Szalińska, Irena Otop</i>	
Lawiny śnieżne jako katastrofy naturalne na obszarze gór polskich, na przykładzie Tatr .....	176
<i>Maciej Karzyński, Anna Fiema, Tomasz Nodzyński, Piotr Drzewiecki</i>	
Wezbrania sztormowe – geneza, tendencje i skutki działania w strefie brzegowej Bałtyku .....	194
<i>Marzenna Sztobryn, Beata Kowalska, Ida Stanisławczyk, Katarzyna Krzysztofik</i>	
Sezonowa ocena zagrożeń zdrowia publicznego na podstawie reakcji naturalnych wskaźników roślinnych .....	218
<i>Katarzyna Jatczak</i>	

Szkody od wiatru w lasach Polski. Charakterystyka przyrodnicza i gospodarcza oraz prognozy ich występowania .....	230
<i>Tadeusz Zachara, Wojciech Gil, Adam Kaliszewski</i>	
Powodzie i susze w lasach .....	243
<i>Edward Pierzgalski, Jan Tyszka, Andrzej Stolarek</i>	
Pożary w lasach .....	256
<i>Ryszard Szczygieł</i>	
Diagnoza i prognoza warunków produkcji rolniczej w Polsce w wyniku oddziaływania ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych.....	265
<i>Jerzy Kozyra, Anna Nieróbca, Katarzyna Mizak, Rafał Pudełko, Łukasz Świtaj, Małgorzata Kozak</i>	
<b>CZEŚĆ III. SYNERGIA ZDARZEŃ I SYSTEMY OSTRZEŻEŃ</b> .....	279
Opracowanie systemu zapobiegania i sposoby ograniczania skutków powodzi oraz zasad funkcjonowania systemu ostrzeżeń .....	281
<i>Roman Konieczny, Małgorzata Siudak, Renata Bogdańska-Warmuz, Paweł Madej, Tomasz Walczykiewicz</i>	
Źródła zagrożeń o charakterze synergicznym (naturalno-technicznym) w Polsce, ich geneza i skutki .....	304
<i>Maciej Maciejewski</i>	
Kryteria ilościowe wskaźników cyrkulacyjnych dla potrzeb wypracowania odpowiednich scenariuszy przewidywanego zjawiska ekstremalnego.....	315
<i>Zbigniew Ustrnul, Danuta Czekierda</i>	
<b>ZAKOŃCZENIE</b> .....	329
<i>Halina Lorenc</i>	

## **Wprowadzenie**

*Halina Lorenc*

Współdziałanie środowiska naturalnego i człowieka jako jego części ma charakter złożony. Środowisko z jednej strony tworzy materialne podstawy egzystencji człowieka na Ziemi, a z drugiej może być dla niego źródłem zagrożeń, które powstają zarówno na skutek procesów naturalnych, jak i zakłóceń równowagi ekologicznej spowodowanych przez człowieka.

Ekstremalne zjawiska przyrodnicze, w tym pogodowe i klimatyczne, powodujące szkody materialne i niematerialne są nieodłącznie związane z życiem człowieka. Współczesne zainteresowanie zjawiskami naturalnymi wywołującymi zagrożenia nabiera szczególnego znaczenia. Obserwowany jest bowiem (niezależnie od przyczyn) globalny, systematyczny wzrost temperatury powietrza, którego przejawami jest również wzrost intensywności występowania zjawisk ekstremalnych i zazwyczaj ich niekorzystnych skutków. Proces nasilania się zjawisk ekstremalnych można w pewnym sensie traktować również jako odczucie względne. W wyniku postępu cywilizacyjnego nastąpiło bowiem osłabienie zdolności adaptacyjnych człowieka do współczesnych form zjawisk naturalnych ze względu na utratę przez niego pewnej odporności. Nie można więc wykluczyć, że do wzrostu intensywności tych zjawisk mógł przyczynić się sam człowiek.

Występowanie zjawisk przyrodniczych o intensywności klęsk żywiołowych bądź katastrof powodujących olbrzymie straty materialne i ludzkie jest obecnie przedmiotem szczególnej uwagi naukowców. Wyniki ich prac nie mają niestety bezpośredniego przełożenia na świadomość licznego grona decydentów, by ten ważny problem został wpisany w strategiczne plany gospodarcze poszczególnych krajów. Równocześnie na bieżąco powinny być dopracowane systemy adaptacyjne społeczeństw do zmieniających się warunków klimatycznych i pogodowych.

Nasuwa się pytanie, jak ocenić zjawiska noszące znamiona ekstremów, klęsk lub katastrof przyrodniczych w różnych strefach geograficznych świata? Wydaje się, że należy przede wszystkim dobrze poznać genezę tych zjawisk oraz określić merytorycznie uzasadnione kryteria zjawiska ekstremalnego, klęski żywiołowej czy katastrofy przyrodniczej. Należy również opracować i wdrożyć odpowiednie systemy ostrzeżeń i szerokiej edukacji społeczeństwa dotyczące samego zjawiska, zapobiegania i łagodzenia jego skutków oraz zachowania podczas jego wystąpienia. Natomiast w planach strategicznych każdego kraju, również naszego, powinny być zapewnione środki finansowe i dopracowane metody działania osłonowego na

wypadek zdarzenia o charakterze zjawiska ekstremalnego. Rola nas, badaczy, ma z kolei polegać na tym, by dostarczyć wiarygodnych informacji pozyskanych na podstawie gruntownych badań i posiadanej wiedzy o genezie zjawiska, obszarach o największym ryzyku jego wystąpienia i częstości pojawiania się oraz opracowaniu niezawodnych systemów prognostycznych i ostrzegawczych.

Ponadto, niestety, jako społeczeństwo musimy zaakceptować zjawiska ekstremalne w naszym życiu i starać się z nimi współżyć, bowiem będą one coraz bardziej intensywne i będą występowały coraz częściej.

**CZEŚĆ I.  
ZAGROŻENIA SPOWODOWANE  
EKSTREMALNYMI ZJAWISKAMI  
METEOROLOGICZNYMI**





# **Struktura występowania intensywnych opadów deszczu powodujących zagrożenie dla społeczeństwa, środowiska i gospodarki Polski**

*Halina Lorenc, Elżbieta Cebulak, Bronisław Głowicki,  
Michał Kowalewski*

## **1. Wprowadzenie**

W ostatnich latach obserwuje się na całym świecie dramatyczny wzrost zagrożeń wywołanych ekstremalnymi zjawiskami meteorologicznymi. Coraz częściej ich wyjątkowy przebieg i intensywność stwarzają zagrożenie dla człowieka. Dla obszaru Polski, spośród wszystkich zagrożeń naturalnych wywołanych przez czynniki przyrodnicze, największe zagrożenie stanowią wysokie opady atmosferyczne oraz maksymalne prędkości wiatru. Intensywne kilkudniowe opady deszczu, o charakterze rozlewnym, obejmują duże obszary i są często przyczyną powodzi, natomiast krótkotrwałe deszcze ulewne i nawalne powodują wezbrania i powodzie lokalne typu flash flood. Do szczegółowego rozważania w niniejszym studium wybrano opady o dużej intensywności, które powodują znaczne szkody materialne i niematerialne i tym samym są groźne dla społeczeństwa i gospodarki Polski.

Jak sobie poradzić w ocenie, prognozowaniu i w ostrzeganiu przed zjawiskami noszącymi znamiona ekstremów, klęsk lub katastrof przyrodniczych zarówno w skali regionalnej, jak i w skali lokalnej? Przede wszystkim należy poznać przyczynę ich występowania, a następnie strukturę ilościową i przestrzenną na obszarze Polski, by móc zapewnić społeczeństwu i gospodarce osłonowe działania ostrzegawcze przed wystąpieniem zjawiska stanowiącego zagrożenie.

Uwzględniając zatem potrzeby poznawcze i aplikacyjne podjętego zadania, przyjęto w konsekwencji poniższy układ opracowania.

## **2. Kryteria, materiały źródłowe i metody opracowania**

### **2.1 Kryteria**

Istnieje wiele klasyfikacji i kryteriów identyfikujących szeroko stosowane pojęcie „opady intensywne”. Posługując się istniejącymi klasyfikacjami (np. naszym

zdaniem ponadczasową, bardzo dobrą i obiektywną klasyfikacją opadów ulewnych i nawałnych K. Chomicza), należy mieć do dyspozycji dwie podstawowe wielkości wysokość opadu i czas jego trwania. Pozyskanie jednak takich danych jest trudne, niezwykle pracochłonne, nie zawsze dane takie są dostępne. Jednocześnie wieloletni materiał obserwacyjny jest niejednorodny i niepełny. Natomiast cel, któremu mają służyć wyniki wymaga udokumentowanych, możliwie jednorodnych ciągów obserwacyjnych, a wyniki podjętych badań posiadać też inaczej sprecyzowany charakter przeznaczenia. Strukturę opadów intensywnych w tym opracowaniu należy bowiem poznać pod kątem ich bezpośredniego wpływu na wzrost zagrożenia powodziowego.

Przyjęto w rezultacie bardziej pragmatyczne kryterium opadów intensywnych, zagrażających środowisku, społeczeństwu i gospodarce. Uznano, że podstawowym materiałem badawczym będą dobowe sumy opadów na obszarze Polski o wysokości  $\geq 30$  mm wraz z przyjętą, dalszą ich kategoryzacją określoną przez kolejne, krytyczne wartości progowe. Tak więc jednostką czasową przyjętą do analizy intensywnych opadów dobowych była standardowa doba opadowa (okres 24 godzin, od 06 do 06 czasu UTC).

Na podstawie dotychczasowych analiz danych empirycznych i obserwowanych skutków działania opadów o różnej wysokości dobowej stwierdzono, że pierwszym progiem wysokości opadów, które stwarzają zagrożenie podtopieniem jest dobową sumą opadów  $\geq 30$  mm. Kolejnym wyróżnionym progiem wysokości opadu dobowego jest suma opadu  $\geq 50$  mm – jako kryterium groźnego opadu powodziowego. Przypadki wystąpienia opadu o charakterze typowego opadu powodziowego, na obszarach wyżynnych i górskich oraz w terenach nizinnych, identyfikowane będą spośród opadów o wysokości  $\geq 70$  i  $\geq 100$  mm/dobę. Wartości te określono na podstawie analizy materiałów charakteryzujących przebieg natężenia opadów o podobnej skali i skutków jakie one wywołują.

Należy również przypomnieć, że opad dobowy o wysokości  $\geq 30$  mm stanowi także progową (krytyczną) wartość opadów, przy przekroczeniu której istnieje konieczność sporządzania przez biura prognoz IMGW ostrzeżeń „intensywne opady deszczu”, natomiast próg opadu  $\geq 50$  mm/dobę jest wykorzystywany jako kryterium formułowania ostrzeżenia „silne burze” (zgodnie z zarządzeniem nr 17 Dyrektora IMGW z dnia 24 kwietnia 2008 r. w sprawie ostrzeżeń meteorologicznych).

W konsekwencji przyjęto następujące kryterium dobowych wysokości opadów stwarzających odpowiednią kategorię zagrożenia powodziowego w Polsce:

$\geq 30$ mm/dobę	zagrażający
$\geq 50$ mm/dobę	groźny powodziowo
$\geq 70$ mm/dobę	powodziowy
$\geq 100$ mm/dobę	katastrofalny

Poniżej podano charakterystyki rodzajów zniszczeń spowodowanych opadem deszczu o określonych wysokościach w ciągu doby według przyjętej skali zagrożenia (deszcz w ciągu doby może osiągać okresami różne stopnie natężenia).

I. Opad  $\geq 30$  mm/dobę zagrażający

Tworzą się lokalne podtopienia oraz zalania terenów i pomieszczeń niżej położonych; na ulicach i powierzchniach zwartych tworzy się stojąca warstwa wody, a w terenach o zróżnicowanej rzeźbie następuje szybki jej spływ; pojawia się erozja i spływ gleb; utrudnienia w ruchu pieszym i drogowym.

II. Opad  $\geq 50$  mm/dobę groźny powodziowo

Woda opadowa zaczyna tworzyć „rzeki/strumienie” w dogodnych dla siebie miejscach, zarówno w terenach niezabudowanych, jak i zabudowanych, szczególnie przy spadkach terenu; powierzchniowe zalania terenu i niżej położonych pomieszczeń; pierwsze większe zniszczenia infrastruktury miast i wsi; zastoiska wody na obszarach pól uprawnych, podmywanie korzeni drzew, możliwe lawiny błotne.



Rys. 1 Bogatynia po ulewie, rzeka Miedzianka – 7.08.2010 r., źródło: Internet (relacje reporterów)

III. Opad  $\geq 70$  mm/dobę powodziowy

Następuje ograniczenie wchłaniania wody przez powierzchnię gruntu, w miastach studzienki burzowe i rury kanalizacyjne nie zdążają odbierać tak dużej masy wody, ulice stają się korytami prowadzącymi jej nadmiar. Przy większych spadkach terenu tworzą się rwące potoki niszczące wszystko co napotkają po drodze, podmywane są tory kolejowe i tramwajowe; następuje nagły przybór rzek odprowadzających wody z danego terenu, które stają się szalejącą kipiela; tworzą się osuwiska i lawiny błotne; potrzebna pomoc zorganizowanych jednostek ratowniczych.

IV. Opad  $\geq 100$  mm/dobę katastrofalny

Oprócz zdarzeń wymienionych w punkcie III następuje intensywny, niekontrolowany spływ wody do rzeki na skutek wysokiego opadu, który w krótszych odcinkach czasu może osiągać natężenie deszczu nawalnego (powyżej klasy B<sub>4</sub> – deszcz nawalny o niezwykłym natężeniu wg. skali K. Chomicza). Następuje nagły (w ciągu 3 godzin) przybór wody w najbliższym cieku, przekraczający poziom wody brzegowej. Skutkiem jest zalanie terenów wokół cieku oraz katastrofalne zniszczenia całej infrastruktury, w tym mostów. Jest to klęska żywiołowa, podczas

której ludzie tracą życie. Wymagana jest pomoc zorganizowanych jednostek ratowniczych z danego terenu oraz krajowych, a nawet międzynarodowych. Potrzebna pomoc fizyczna, medyczna, psychologiczna, finansowa i opieka organów administracji rządowej dla poszkodowanej ludności.

## 2.2. Materiały źródłowe

Jak już wspomniano podstawowym materiałem źródłowym do realizacji przedmiotowego zadania badawczego były zbiory dobowych sum opadów atmosferycznych o wysokości  $\geq 30$  mm, które wystąpiły w dziesięcioleciu 2001-2010, pozyskane z Centralnej Bazy Danych Historycznych IMGW ze wszystkich stacji prowadzących w tym okresie obserwacje na sieci Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej. Natomiast w celu wykrycia wieloletniej tendencji zmian częstości występowania intensywnych opadów deszczu, do opracowania uzupełniającego bieżący monitoring zdarzeń ekstremalnych, wykorzystywano sumy dobowe opadów  $\geq 30$  mm/dobę z okresu 1966-2010 oraz wyniki nieco wcześniejszej pracy, opartej na danych pomiarowych z wielolecia 1971-2002 [Lorenc, Olecka 2006].

### Katalogi danych

Tab. 1. Przykładowy fragment *Katalogu zjawisk ekstremalnych w Polsce*, zbiór danych o wysokim opadzie dobowym za okres 2001-2010

Lp	Data	Liczba stacji z opadem o wysokości (w mm):				Wysokość maksymalnego opadu (Pmm) na obszarze Polski dla określonej doby opadowej oraz stacja na której został zmierzony i parametry określające jej położenie geograficzne										TC
		$\geq 30$	$\geq 50$	$\geq 70$	$\geq 100$	Pmm	stacja	kod	szer.g.	dług.g.	Hm	dorzecze	makroregion fiz.-geogr. Kondrackiego	typ		
1	2001-05-04	10				39,7	Stronie Śląskie	95210	50,30	16,88	300	Nysa Kłodzka	Sudety Wschodnie	O <sub>C</sub>		
2	2001-05-05	1				30,9	Żarń	95559	50,65	19,38	380	Warta	Wyzyna Krakowско-Częstochowska	NE <sub>C</sub>		
3	2001-05-07	1				33,2	Kliszów	95634	50,05	20,53	205	Nida	Niecka Nidziańska	NE <sub>A</sub>		
4	2001-05-08	1	1			67,3	Niwki	95490	50,23	19,17	245	Liswarta	Wyzyna Woźnicko-Wieluńska	NE <sub>A</sub>		
5	2001-05-17	4				38,4	Syców	94316	51,32	17,73	163	Barycz	Wał Trzebnicka	SW <sub>C</sub>		
6	2001-05-18	20				47,6	Dynów	6802	49,83	22,23	260	San	Pogórze Środkowobeskidzkie	W <sub>C</sub>		
7	2001-05-28	8				42,3	Morskie Oko	6634	49,20	20,08	1408	Biały Dunajec	Łańcuch Tatrzański	NW <sub>0</sub>		
8	2001-05-29	1				31,4	Jasło	96756	49,73	20,48	250	Wisłoka	Pogórze Środkowobeskidzkie	NW <sub>C</sub>		
9	2001-05-31	19				45,2	Ryczów	95541	50,42	19,60	435	Przemsza	Wyzyna Krakowско-Częstochowska	NW <sub>C</sub>		
10	2001-06-01	1				45,0	Konin	93413	52,23	18,23	90	Warta	Nizina Południowowielkopolska	NW <sub>C</sub>		
11	2001-06-04	1				38,8	Dolina Pięciu Stawów	6633	49,22	20,05	1670	Białka	Łańcuch Tatrzański	NW <sub>0</sub>		
12	2001-06-08	1				32,5	Krupski Młyn	95459	50,57	18,63	225	Mada Panew	Nizina Śląska	SW <sub>C</sub>		
13	2001-06-09	1				37,4	Dolina Pięciu Stawów	6633	49,22	20,05	1670	Białka	Łańcuch Tatrzański	SW <sub>0</sub>		
14	2001-06-11	9				42,6	Kalnica	96853	49,20	22,43	585	San	Beskidy Lesiste	NW <sub>C</sub>		
15	2001-06-16	1				36,6	Morskie Oko	6634	49,20	20,08	1408	Biały Dunajec	Łańcuch Tatrzański	O <sub>C</sub>		
16	2001-06-17	6	1			50,4	Jasienna	96639	49,72	20,83	370	Dunajec	Pogórze Środkowobeskidzkie	NE <sub>C</sub>		
17	2001-06-18	24	6	1		77,3	Dynów	6802	49,83	22,23	260	San	Pogórze Środkowobeskidzkie	NE <sub>C</sub>		
18	2001-06-19	51	13	6	2	103,8	Hala Ornak	6526	49,23	19,87	1109	Czarny Dunajec	Łańcuch Tatrzański	NE <sub>A</sub>		
19	2001-06-20	26	11	5	2	109,6	Hala Ornak	6526	49,57	19,87	1109	Czarny Dunajec	Łańcuch Tatrzański	SE <sub>A</sub>		
20	2001-06-22	1				31,4	Branice	95303	50,05	17,80	310	Opawa	Nizina Śląska	NE <sub>C</sub>		
21	2001-06-23	158	18	5		94,3	Szczyrk	96547	49,72	19,03	575	Sofa	Beskidy Zachodnie	NE <sub>C</sub>		
22	2001-06-24	1				43,1	Dolina Pięciu Stawów	6633	49,22	20,05	1670	Białka	Łańcuch Tatrzański	NE <sub>0</sub>		
23	2001-06-28	21	5	1		89,4	Złotoryja	94121	51,12	15,93	220	Kaczawa	Pogórze Zachodniosudeckie	W <sub>0</sub>		
24	2001-07-01	21	5	2		86,3	Dolina Pięciu Stawów	6633	49,22	20,05	1670	Białka	Łańcuch Tatrzański	N <sub>A</sub>		
25	2001-07-03	8				40,8	Lubień k/Rabki	96551	49,72	19,97	350	Raba	Beskidy Zachodnie	E <sub>A</sub>		

Zweryfikowane dane opracowano i zebrano w postaci KATALOGÓW dat występowania opadów dobowych o wysokości  $\geq 30$  mm w półroczu ciepłym (od maja do października) wraz z dalszą ich gradacją, zgodnie z przyjętym kryterium. Katalog zawiera ilościowe charakterystyki wszystkich dni i zdarzeń opadowych jakie obserwowano przez sieć IMGW w Polsce w okresie 2001-2010. Stanowi unikalny zbiór danych i jest opracowany w osobnym aneksie wchodzącym do *Ka-*

*talogu zjawisk ekstremalnych w Polsce*, jako jego element składowy. Katalog opracowano w formie papierowej oraz elektronicznej. Kompletne zbiory danych źródłowych i wskaźników syntetycznych zbilansowano również w układzie dostosowanym do konstrukcji map tematycznych w programach ArcGIS i Surfer.

Z uwagi na ograniczoną objętość niniejszego opracowania znajdują się tu jedynie przykładowe fragmenty zbiorów danych, które posłużyły do dalszych analiz. Materiały te zostaną szerzej prezentowane w obszernej pracy przygotowywanej do publikacji po okresie raportowania zadań w terminie objętym umową w projekcie KLIMAT. W tab. 1 przytoczono jako przykład fragment KATALOGU zbioru danych za okres 2001-2010.

Tab. 2. Przykładowy fragment *Katalogu zjawisk ekstremalnych w Polsce*, zbiór danych o liczbie dni z opadem o wys. powyżej 30 mm za okres 2001-2010

stacja meteorologiczna		wsp. geograficzne			liczba dni z $P \geq 30$ mm w poszczególnych latach											suma
KOD	Nazwa stacji	$\phi$ N	$\lambda$ E	Hm	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		
100	Kołobrzeg	54,18	15,58	3	1	0	0	0	0	0	1	2	2	2	8	
105	Koszalin	54,20	16,15	32	4	0	0	0	0	0	2	1	1	2	10	
115	Ustka	54,58	16,87	6	1	0	0	0	0	0	1	0	1	2	5	
120	Łeba	54,75	17,53	2	1	1	0	2	0	0	0	0	0	3	7	
125	Lębork	54,55	17,75	38	0	0	0	1	0	0	1	0	2	2	6	
135	Hel	54,60	18,82	1	0	0	2	1	0	0	0	1	0	2	6	
140	Gdańsk-Port Północny	54,40	18,70	2	2	1	1	1	0	0	1	0	2	2	10	
160	Elbląg	54,17	19,43	40	1	1	2	0	0	0	1	0	0	0	5	
185	Kętrzyn	54,07	21,37	108	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3	
195	Suwałki	54,13	22,95	184	0	1	1	1	1	0	1	1	0	2	8	
200	Świnoujście	53,92	14,23	6	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	5	
205	Szczecin-Dąbie	53,40	14,62	1	0	0	0	0	0	0	3	0	2	1	6	
210	Resko	53,77	15,42	52	1	1	1	0	0	0	3	0	1	2	9	
230	Piła	53,13	16,75	72	0	1	0	1	0	0	1	0	0	2	5	
235	Chojnice	53,72	17,55	164	3	0	0	1	0	0	0	1	1	3	9	
250	Toruń	53,03	18,58	69	1	3	4	0	0	0	1	0	1	4	14	
270	Mława	53,10	20,35	147	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	3	
272	Olsztyn	53,77	20,42	133	1	1	0	2	0	0	1	2	0	0	7	
280	Mikołajki	53,78	21,58	127	0	0	0	2	1	0	1	0	0	3	7	
295	Białystok	53,10	23,17	148	0	1	0	3	0	0	2	0	0	3	9	
300	Gorzów Wielkopolski	52,75	15,28	72	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	

Katalog ten zawiera bardzo szczegółowe parametry każdego dnia z opadem o wysokości  $\geq 30$  mm/dobę i wyższym oraz miejsce wystąpienia opadu maksymalnego. Ten szczegółowy opis posłużył w dalszych analizach także do identyfikacji każdego punktu pomiarowego i naniesienia go na mapy ilustrujące częstość występowania opadów o zadanej wysokości na obszarze Polski. Jak wyżej wykazano katalog został utworzony na podstawie danych ze wszystkich funkcjonujących w okresie 2001-2010 stacji pomiarowych (około 1000-1200) możliwych do pozyskania z CBDH-IMGW. Dla potrzeb tego studium na bazie KATALOGU opracowano syntetyczne wskaźniki statystyczne, określające częstości występowania intensywnych opadów dobowych, zgodnie z przyjętym kryterium.

Kolejny przykładowy fragment katalogu podstawowego (tab. 2) stanowi również ważne źródło danych, charakteryzujących częstość występowania opadów powyżej 30 mm/dobę w kolejnych latach uwzględnionego 10-lecia. Kolejne plansze tego katalogu charakteryzują następujące po sobie klasy wyższych sum opadów, zgodnie z przyjętym kryterium. Jak można zauważyć w przytoczonym fragmencie tej tabeli, obserwuje się dużą zmienność z roku na rok częstości występowania tego typu opadów oraz potwierdzenie obserwacji, że najbardziej obfitym w silne opady deszczu  $\geq 30$  mm/dobę był rok 2010. Informację tą potwierdzają oczywiście także pełne zbiory danych. Katalog opracowano na podstawie kompletnych danych pomiarowych z 932 stacji funkcjonujących nieprzerwanie w okresie 2001-2010.

### **3. Częstość występowania zdefiniowanych jako krytyczne sum dobowych opadów o wysokości: $\geq 30$ , $\geq 50$ , $\geq 70$ i $\geq 100$ mm/dobę**

Na bazie katalogów utworzono syntetyczne tabele statystyczne częstości występowania maksymalnych opadów dobowych, zgodnie z przyjętym kryterium wysokości.

Analiza danych zestawionych w tab. 3 wykazuje, że średnio w półroczu ciepłym (V-X) w skali Polski może wystąpić około 70 dni z opadem  $\geq 30$  mm/dobę, stanowiąc zgodnie z przyjętym kryterium zagrożenie powodzią lokalną. Również interesującym wnioskiem jest to, że opady  $\geq 50$  mm/dobę, czyli już powodziowo groźne, stanowią aż 52% udziału w dniach z opadem  $\geq 30$  mm/dobę. Stanowi to średnio 37 dni w okresie półrocza ciepłego na terytorium kraju, aczkolwiek ich rozkład jest silnie zróżnicowany, o czym w dalszej części tej pracy. Dużym udziałem zaznaczają się także dni z opadem już typowo powodziowym  $\geq 70$  mm/dobę, bowiem w przypadku wystąpienia opadu  $\geq 30$  mm/dobę aż w 22% mogą to być opady powodziowe.

Bardziej ogólny wniosek, który wynika z prezentowanych danych sprowadza się do stwierdzenia, że w półroczu ciepłym (V-X) na obszarze kraju prawie 39% dni jest potencjalnie zagrożonych wystąpieniem opadu o wysokości  $\geq 30$  mm/dobę, a w 20% dni może to być opad  $\geq 50$  mm/dobę.

Suma 711 to łączna liczba dni z opadem  $> 30$  mm, które wystąpiły w latach 2001-2010 na obszarze Polski (choćby na 1 stacji). Dla tych 711 dni, ułożonych chronologicznie, sporządzono wcześniej sygnalizowany katalog z wyszczególnieniem liczby stacji, notujących opad dobowy o wysokości określonej przez odpowiednie progi wysokości:  $\geq 30$ ,  $\geq 50$ ,  $\geq 70$  i  $\geq 100$  mm.

Z tab. 3 również wynika, że najczęściej tego typu opady występowały w dwóch pierwszych latach przyjętego do analizy 10-lecia oraz narastały od roku 2007 do końca dekady, z rekordową częstością pojawiania się opadów powyżej 30 mm/dobę w roku 2010. Z kolei najbardziej „ubogim” pod tym względem był rok 2003, w którym w skali kraju opady  $\geq 30$  mm występowały najrzadziej, a opady powyżej 100 mm/dobę nie pojawiły się w ogóle (rok 2003 był jednym z najsuch-

szych lat w Europie w okresie powojennym, zapisując się aż 38 000 wypadków śmiertelnych we Francji, Włoszech i na terenie Niemiec. W krajach tych temperatura powietrza przekraczała w sezonie letnim tego roku 40°C przy utrzymujących się okresach bezopadowych).

Tab. 3. Liczba dni z wysokim opadem dobowym na obszarze Polski w półroczu ciepłym (od maja do października) za okres 2001-2010

Rok	Liczba dni z sumą dobową opadu o wysokości P			
	P ≥30mm	P ≥50mm	P ≥70mm	P ≥100mm
2001	79	50	23	7
2002	73	43	18	12
2003	52	23	6	0
2004	58	28	13	1
2005	54	32	15	3
2006	66	41	14	2
2007	77	44	19	4
2008	76	28	7	2
2009	80	38	20	5
2010	96	47	22	10
<b>Suma 2001-2010</b>	<b>711</b>	<b>374</b>	<b>157</b>	<b>46</b>

Dane zawarte w katalogu wskazują również, że w okresie 2001-2010 na obszarze Polski:

- najwięcej dni z opadami dobowymi  $\geq 50$  mm wystąpiło w 2001 r. (50 dni),
- najwięcej dni z opadami dobowymi  $\geq 50$  mm zanotowano w lipcu (109 dni),
- najwięcej dni z opadami dobowymi  $\geq 50$  mm wystąpiło w lipcu 2001 r. (18 dni).

Tabela 4 została z kolei tak opracowana, aby odzwierciedlać ile razy w ciągu sezonu opad deszczu może osiągnąć wysokość  $\geq 30$ ,  $\geq 50$ ,  $\geq 70$  i  $\geq 100$  mm/dobę. Każdy opad, który wystąpił na terenie kraju nazwano zdarzeniem opadowym.

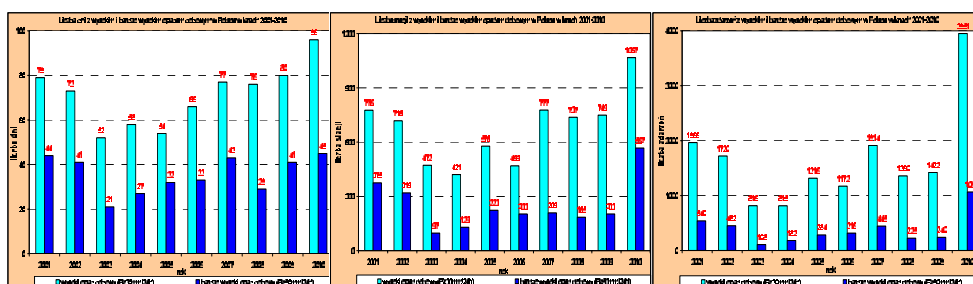
Zdarzenie opadowe – to każde zaobserwowane wystąpienie opadu  $\geq 3$  mm/dobę w danym dniu w Polsce na którejkolwiek stacji pomiarowej: np. jeżeli w danym dniu wystąpił opad  $>30$  mm na jednej stacji to znaczy, że było jedno zdarzenie opadowe ( $P \geq 30$ ); jeżeli w jakimś następnym dniu opad  $\geq 30$  mm wystąpił na 100 stacjach tzn. że wtedy było 100 takich zdarzeń na obszarze Polski ( $P \geq 100$ ).

Statystyka danych w tab. 4 pokazuje ilościowy rozmiar zjawiska z rekordowym pod tym względem rokiem 2010, w którym na przełomie maja/czerwca wystąpiła powódź w dorzeczu Wisły oceniona przez specjalistów, jako „jedna z największych w historii tej rzeki” [Ostojski, Maciejewski, Walczykiewicz 2010]. Liczba zdarzeń w roku 2010 z opadem powodziowym  $\geq 70$  mm/dobę wyniosła 342, z czego 75 zdarzeń to opady powyżej 100 mm/dobę. A więc w 342 zdarzeniach na obszarze Polski miały miejsce opady katastrofalne ze skutkami zbliżonymi do prezentowanych na załączonych zdjęciach z Bogatyni. Średnio w roku (bez roku 2010) występuje aż 79 takich zdarzeń ( $P \geq 70$  mm/dobę), powodujących ogromne straty materialne oraz zdrowotne i niszczących środowisko

Tab. 4. Liczba „zdarzeń” z wysokim opadem dobowym na obszarze Polski w półroczu ciepłym (od maja do października) w okresie 2001-2010

Rok	Liczba zdarzeń z sumą dobową opadu o wysokości P			
	P ≥30mm	P ≥50mm	P ≥70mm	P ≥100mm
2001	1966	540	161	38
2002	1720	452	160	37
2003	816	108	13	0
2004	815	182	35	1
2005	1316	284	61	5
2006	1172	316	96	15
2007	1914	445	99	9
2008	1360	225	31	8
2009	1422	240	57	14
2010	3951	1066	342	75
<b>Suma 2001-2010</b>	<b>16462</b>	<b>3838</b>	<b>1055</b>	<b>202</b>

Dyskutowane wskaźniki zagrożenia, związanego z wystąpieniem wysokich opadów dobowych, zilustrowano na diagramach dla kolejnych lat 10-lecia (rys. 2) oraz na mapach zbiorczych dla całego okresu 2001-2010.



Rys. 2. Parametry częstości występowania intensywnych opadów deszczu w Polsce w latach 2001-2010 (liczba dni, stacji i zdarzeń w półroczu ciepłym)

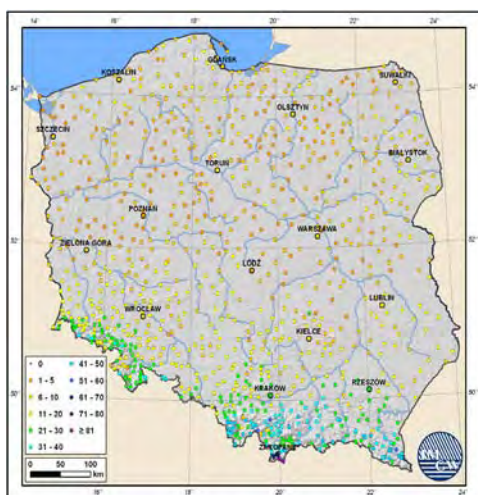
Mapy częstości występowania opadu  $\geq 30$  mm i kolejnych stopni przyjętych klas jego wysokości dla każdego roku z okresu 2001-2010 opracowano w celu wykazania zróżnicowania przestrzennego liczby dni z intensywnym opadem dobowym w zależności od regionu Polski oraz w celu zidentyfikowania obszarów kraju o największej częstości występowania tego ekstremalnego zjawiska.

Analiza merytoryczna map zbiorczych za okres 10-lecia 2001-2010 (rys. 3-6) pozwala na wyróżnienie rejonów kraju, w obrębie których najczęściej występują opady dobowe o zadanych progach intensywności dobowej.

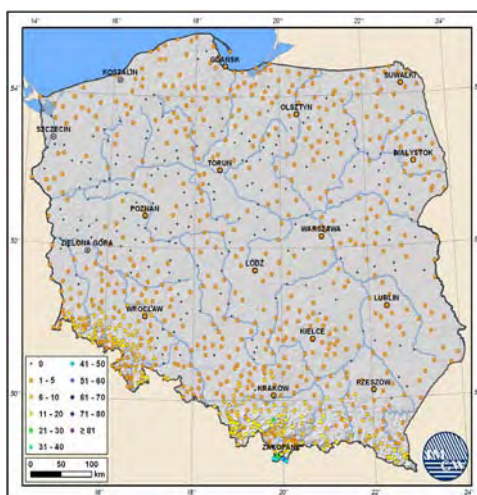
Opady o wysokości  $\geq 30$  mm/dobę pojawiają się na obszarze całego kraju, jednak szczególnie zwiększoną ich częstość obserwuje się w obszarach górskich i podgórskich zarówno Karpat, jak i Sudetów, a także w rejonie Gór Świętokrzyskich. Wyróżnia się pod tym względem także obszar Przymorza, Podlasia i Wyżyny Lubelskiej (rys. 3). Opady o wysokości  $\geq 50$  mm/dobę również pojawiają się na obszarze całego kraju, ale z mniejszą oczywiście częstością (rys. 4). Największą



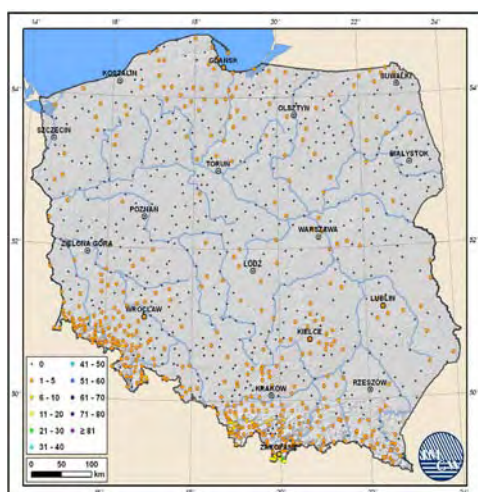
częstość pojawiania się tej kategorii opadów obserwuje się na południu kraju, wyraźnie zaznacza się też obszar obu Pojezierzy, Gór Świętokrzyskich i Podlasia.



Rys. 3. Opady  $\geq 30$  mm/dobę



Rys. 4. Opady  $\geq 50$  mm/dobę



Rys. 5. Opady  $\geq 70$  mm/dobę



Rys. 6. Opady  $\geq 100$  mm/dobę

Rys. 3-6. Częstość występowania dni z opadem dobowym o wysokości:  $\geq 30$ ,  $\geq 50$ ,  $\geq 70$  i  $\geq 100$  mm w Polsce za okres 2001-2010 (sumy przypadków na stacjach) – opracowanie wszystkich map Wąlawender Jakub, Kowalewski Michał

Wyraźne grupowanie się notowań przypadków opadów o wysokości  $\geq 70$  mm/dobę występuje w rejonie karpackim i sudeckim oraz w Górach Świętokrzyskich. Analiza przestrzenna tych typowo powodziowych opadów wskazuje jednoznacznie na mało znaną dotychczas właściwość – zauważalną częstość występowania opadów o tej wysokości w rejonie Pojezierza Pomorskiego i Podlasia (rys. 5). Podobną strukturę przestrzenną wykazują opady o wysokości  $\geq 100$  mm/dobę, które występują głównie w obszarach podgórskich i górskich Sudetów i Karpat

(rys. 6). Łańcuchy tych gór wzmagają natężenie opadów nie tylko na skutek wysokości nad poziomem morza, ale również z powodu ich dynamicznego oddziaływania na przepływające masy powietrza, a także ze względu na odpowiednią ekspozycję stoków, odgrywającą istotną rolę w kształtowaniu intensywności opadów.

Nie dołączono niestety bardzo ciekawych merytorycznie map dla kolejnych lat 10-lecia, co pozwoliłoby porównać zmienność zjawiska z roku na rok, z uwagi na ograniczoną ilość miejsca przyznanego do druku dla poszczególnych zadań w tym monograficznym wydawnictwie. Autorzy zakładają, że pełny materiał będzie można wykorzystać w osobnej publikacji poświęconej opadom o dużym natężeniu pt.: *Atlas występowania intensywnych opadów deszczu w Polsce*.

### **3.1. Katalog maksymalnych opadów deszczu o wysokości $\geq 50$ mm w Polsce**

W celu wykazania zasięgów przestrzennych i ilościowych maksymalnych opadów deszczu opracowano katalog zdarzeń opadowych o charakterze uznanym jako groźne powodziowo ( $\geq 50$  mm/dobę), które wystąpiły na obszarze Polski w okresie 2001-2010. Jak wynika z tab. 4 na obszarze kraju wystąpiło w okresie uwzględnionej dekady 3858 zdarzeń (średnio rocznie 385) z opadem dobowym  $\geq 50$  mm/dobę.

Jedną z wersji końcowych katalogu dat (tab. 1) jest zaplanowane uwzględnienie wystąpienia sum opadów dobowych o wysokości  $\geq 50$  mm (sklasyfikowanych jako groźne powodziowo) w półroczu ciepłym okresu 2001-2010 dla całego terytorium Polski i ich prezentacja w postaci map. Tą formę katalogu opracowano w formie kart dokumentacyjnych z charakterystyką meteorologiczną każdego zdarzenia z opadem  $\geq 50$  mm/dobę. Opis poszczególnych tego typu zdarzeń obejmuje następujące charakterystyki:

1. kolejny numer ewidencyjny karty katalogu,
2. data wystąpienia zdarzenia opadowego (dzień, miesiąc, rok),
3. zestawienie najwyższych sum dobowych opadów i miejsce ich wystąpienia,
4. region fizyczno-geograficzny (mezoregion, makroregion) wg. J. Kondrackiego,
5. dorzecze,
6. typ cyrkulacji atmosferycznej według klasyfikacji Lityńskiego [1969], jako ogólne źródło informacji co do układu pól ciśnienia (symbol i opis słowny),
7. typ sytuacji meteorologicznej (na podstawie szczegółowej analizy sytuacji meteorologicznej wywołującej tak wysoki opad), wg klasyfikacji H. Lorenc,
8. rozkład przestrzenny opadów i lokalizacja stacji (mapa).

Przyjęto następującą metodę prezentacji przestrzennej tego typu opadów: dla każdego dnia z wystąpieniem opadu dobowego powyżej 50 mm/dobę (jako groźnego powodziowo), na którymkolwiek punkcie obserwacyjnym w kraju, rozrysowano mapę dla całej Polski, by poznać strukturę przestrzenną tego opadu, którego wystąpienie związane było z odpowiednią sytuacją meteorologiczną.

Metodę interpolacji opadów dobowych na mapach wybrano spośród algorytmów zaimplementowanych w programie Surfer. Po przetestowaniu kilku metod oceniono, że Algorytm Inverse Distance to a Power daje akceptowalne geograficznie rezultaty, chociaż ma tendencję do generowania „pawich oczek” (wartości wysokie lub niskie zostają uznane za ściśle lokalne, a izolinie układają się w niewielkie współśrodkowe okręgi wokół takich punktów). W przypadku gęstej sieci pomiarowej zjawisko to nie stanowi dużego problemu, choć jest zauważalne. Algorytm nie dopuszcza do wygenerowania wartości wykraczających poza zakres danych pomiarowych. Średni błąd dopasowania wynosi 0,05 mm i jest to najlepszy wynik analizowanych danych z jednego dnia. W całej analizie błąd jest mniej więcej dwukrotnie większy, a dokładność metody zbliżona do dokładności „kringingu”.

### **3.2. Klasyfikacja sytuacji meteorologicznych warunkujących intensywne opady dobowe**

Chcąc poznać przyczyny meteorologiczne oraz genezę występowania opadów dobowych o wysokościach stwarzających zagrożenie dokonano analizy map synoptycznych dolnych dla przypadków występowania opadów dobowych powyżej 30 mm w Polsce w latach 2001-2010. Na bazie tak przeanalizowanego materiału opracowano klasyfikację sytuacji meteorologicznych z którymi związane jest wystąpienie sum dobowych opadów powyżej 30 mm/dobę.

Występowanie silnych opadów ulewnych powodujących zalania, podtopienia i szybkie powodzie, zależy od utworzenia się odpowiedniej sytuacji meteorologicznej, a w niej:

- odpowiedniej grubości warstwy konwekcyjno-chwiejnej, odpowiadającej różnicy ciśnień 80-150 hPa,
- dostatecznej energii chwiejności warunkującej silne prądy wstępujące rzędu 7-11 m/s; dzieje się to przy średnim odchyleniu adiabaty wilgotnej od krzywej stratyfikacji temperatury powietrza o 2-4°C,
- wysokiej temperatury powietrza przy powierzchni ziemi (powyżej 25°C) i dostatecznie długiego okresu trwania tzw. efektywnej konwekcji (rzędu godziny i więcej), tj. czasu trwania prądów konwekcyjnych prowadzących do rozwoju chmur kłębiastych, deszczowych (Cb) i opadów przelotnych,
- dużej wilgotności względnej (70-80%) w warstwie, w której występuje rozwój prądów konwekcyjnych.

Po przeprowadzeniu wstępnych analiz przyczyn cyrkulacyjnych, w których aktualne sytuacje meteorologiczne doprowadzają do utworzenia się pola barycznego związanego z występowaniem opadów niosących zagrożenie powodziowe stwierdzono, że badanie takie wymaga bardzo głębokiej analizy fizyki zjawiska. Dla naszych potrzeb, analizę taką ograniczono do interpretacji map synoptycznych dolnych z dwóch terminów obserwacyjnych 00 i 12 UTC. Na tej podstawie warunki meteorologiczne o tej samej genezie, torach przemieszczania się ośrodków niżowych, frontów atmosferycznych i podobnym rozwoju sytuacji zaklasyfikowano do odpowiednio formujących się typów.

Wyróżniono siedem podstawowych typów sytuacji meteorologicznych, sprzyjających występowaniu intensywnych opadów deszczu na obszarze Polski w ciepłej porze roku. Szczegółowa charakterystyka sytuacji, w których pojawiają się opady deszczu o wysokościach stwarzających zagrożenie powodziowe w skali kraju, wraz z pokazaniem rozkładu przestrzennego każdego przypadku, została dokonana po raz pierwszy w historii polskich badań. Mimo, że jest ona zapewne obciążona z tego powodu błędem, to z pewnością po części porządkuje pewne schematy układów pól barycznych, z którymi jest związane występowanie silnych opadów. Analizując odpowiednie sytuacje meteorologiczne dla dat wystąpienia opadów o sumach dobowych powyżej 30 mm w ciągu doby, wykorzystano również istniejące opracowania Mycielskiej [1979] i Wrony [2008] dla obszarów Karpat i Sudetów. W opisie charakterystyk typów I-V naszej klasyfikacji wykorzystano profesjonalne sformułowania, opisujące poszczególne sytuacje meteorologiczne w obszarze Sudetów omówione w pracy Wrony [2008].

Na podstawie całego zebranego materiału dokumentującego wyróżniono dla obszaru Polski następujące sytuacje meteorologiczne, powodujące zagrożenie powodziowe:

Typ I – są to ośrodki niżowe przemieszczające się przez Polskę z południa Europy szlakiem sklasyfikowany przez Van Bebbera jako  $V_b$ . Na ten typ sytuacji meteorologicznej, jako groźnej pod względem wysokości opadów i ich hydrologicznych skutków, zwracało już uwagę wielu autorów, np. Mycielska [1979] i Wrona [2008]. Niniejsze opracowanie jest jedynie potwierdzeniem dotychczasowych badań oraz oceny obszarowego zasięgu oddziaływania.

Ośrodki niżowe przemieszczają się znad basenu Morza Śródziemnego lub Niziny Padańskiej w kierunku Polski, stopniowo rozbudowując się w profilu pionowym. Często stagnują nad obszarami Sudetów i Karpat, a towarzyszą im intensywne opady. W ostatniej fazie trwania takiego cyklu pogodowego układy baryczne powodują, że napływające z kierunków północnych masy powietrza są zmuszane do naślizgu na położone prostopadle do kierunku ich adwekcji zbocza masywów górskich Karpat i Sudetów. To wymuszone wznoszenie się powietrza po dowietrznych stokach gór, w warunkach znacznego gradientu ciśnienia i dużej wilgotności powietrza, powoduje gwałtowny rozwój chmur orograficznych z bardzo intensywnymi opadami, nawet nawałnymi. Procesowi wypełniania się, przemieszczającego się znad południowej Polski lub Czech nad Ukrainę lub Białoruś niżu, towarzyszy występowanie opadów o największym natężeniu, często  $\geq 100$  mm/dobę. Opady ciągłe mogą występować w strefie frontalnej (także frontu ciepłego) z wbudowanymi pojedynczymi komórkami burzowymi o dużym zróżnicowaniu przestrzennym. Do typu I należały opady z lipca m.in. 1934, 1960, 1970, 1980, 1997 r. oraz opady w dniach 15-18 maja 2011 r.

Typ II – charakteryzuje warunki, gdy nad Polską przemieszcza się zatoka niżowa związana z niżem znad Oceanu Atlantyckiego i chłodnym frontem atmosferycznym. Sytuacje meteorologiczne, w których dochodzi do wystąpienia intensywnych opadów deszczu związane są z bruzdą niskiego ciśnienia i pofalowanym fron-

tem chłodnym nad Europą środkową, przeważnie o przebiegu południkowym. Bruzda taka może utrzymywać się nad Polską od jednej do trzech dób. Największe natężenie opadów obserwuje się w zasięgu powstających fal cyklogenetycznych. Zwykle opady obejmują swym zasięgiem większy obszar wzdłuż strefy frontowej. Sytuacji tej zawsze towarzyszy wysoka temperatura powietrza (powyżej 28°C) oraz grad, burza i duże przyrosty prędkości wiatru.

Typ III – obejmuje sytuacje synoptyczne, w których ruch niżów nad Polską jest blokowany przez stabilny, wysoko rozbudowany w profilu pionowym wyż z centrum nad Skandynawią lub Rosją. Ruch ośrodków niżowych może być sterowany zarówno cyrkulacją strefową, jak i południkową.

Sytuacja taka wymusza okresowe zatrzymanie się lub spowolnienie ruchu wędrującego niżu, a w konsekwencji wystąpienie intensywnych opadów deszczu w strefie chłodnej masy powietrza w tylnej części niżu. Pozostałą część Europy obejmuje obszar niskiego ciśnienia, które może przyjmować niemal wszystkie formy – od zatoki niżowej, słabogradentowego obszaru obniżonego ciśnienia do dobrze rozwiniętego niżu z systemem frontów atmosferycznych. Zazwyczaj takim sytuacjom towarzyszy wysoka temperatura powietrza.

Typ IV – to sytuacje synoptyczne charakteryzujące się wtargnięciem chłodnego powietrza polarno-morskiego lub arktycznego nad Polskę w cieplej porze roku. Kierunek napływu mas powietrza wyznacza cyrkulacja południkowa. Wystąpienie ekstremalnych opadów atmosferycznych związane jest z napływem chłodnego powietrza z północy po peryferiach wyżu zalegającego nad zachodnią częścią Europy i niżu nad Europą wschodnią. Oprócz wzmożenia opadów w strefie frontalnej obu tych mas, bardzo znaczący jest efekt orograficznego nasilenia się opadów na skutek deformacji pola przepływu powietrza przez bariery górskie Sudetów i Beskidów. Ze względu na charakterystyczne położenie głównych ośrodków barycznych, tj. wyżu na zachodzie i niżu na wschodzie Europy, układ izobar nad Polską ma przebieg południkowy co powoduje napływ mas powietrza z północy. W wyniku gwałtownego spiętrzania się mas powietrza na stokach gór położonych prostopadle do adwekcji, dochodzi do kondensacji pary wodnej i powstania opadów o charakterze orograficznym, wzmagającym opady frontalne.

Typ V – dotyczy słabogradentowego pola obniżonego ciśnienia nad Europą środkową i uaktywnienia się, najczęściej quasistacjonarnego, frontu atmosferycznego (czasem frontu okluzji) zalegającego w jego zasięgu. Impulsem powstania intensywnych opadów jest zazwyczaj dłużej utrzymująca się wysoka temperatura powietrza (powyżej 25°C) i konwekcja termiczna, przy jednoczesnej wysokiej wilgotności mas powietrza charakteryzujących daną sytuację. Intensywne opady deszczu powstają na skutek uaktywnienia się quasistacjonarnego, pofalowanego frontu atmosferycznego, w strefie którego mogą powstawać płytkie niży na obszarze od Półwyspu Apenińskiego aż po Białoruś. Opady mogą występować w kilku następujących po sobie dniach, osiągając maksimum w godzinach popołudniowych i wieczornych, kiedy na skutek konwekcji termicznej następuje najsilniejszy rozwój prądów wstępujących.

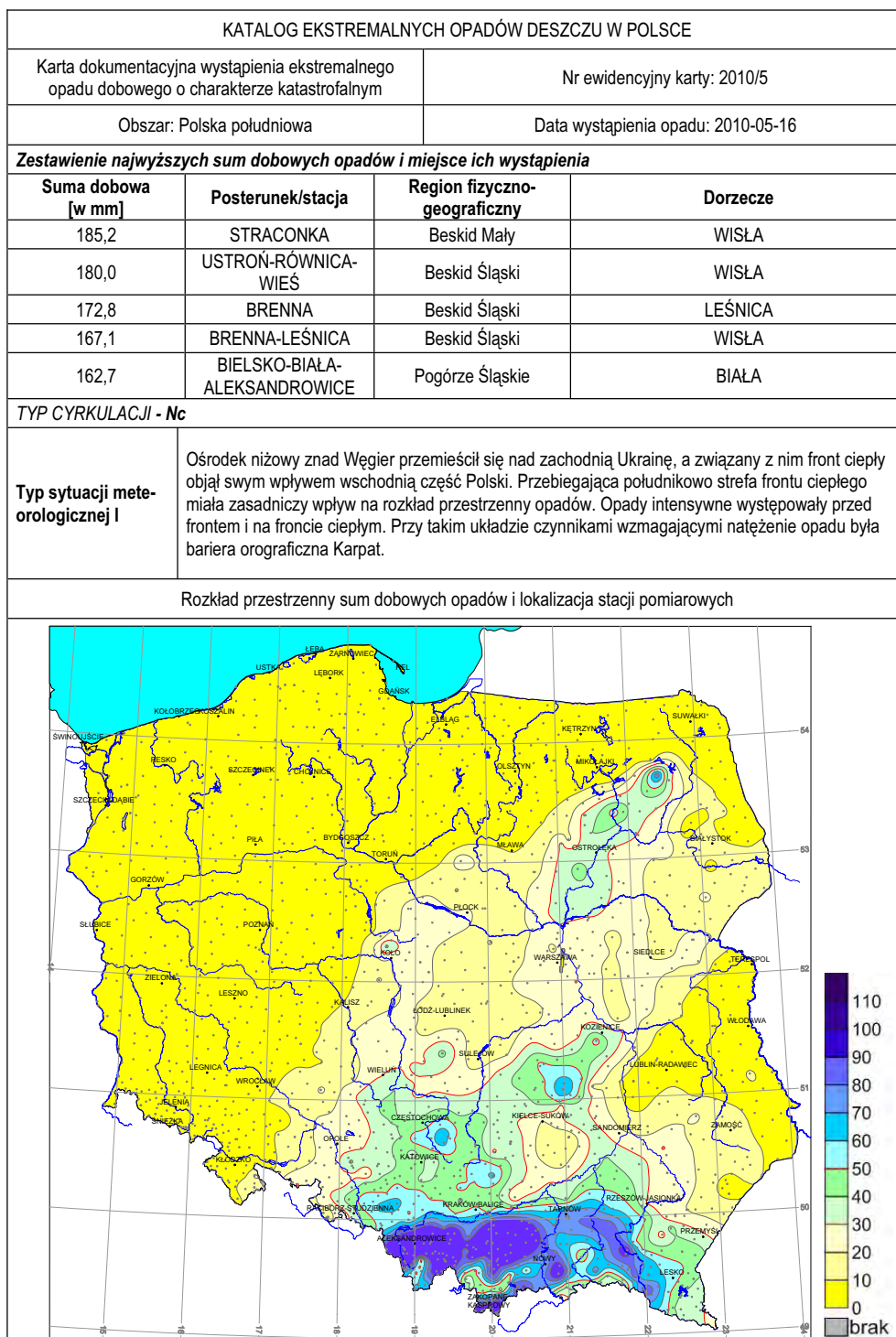
Typ VI – utworzenie się lokalnego, stacjonarnego ośrodka niżowego nad Zatoką Gdańską z frontem okluzji związanym z płytkim niżem znad Skandynawii. Intensywne opady występują w masie bardzo wilgotnego i ciepłego powietrza polarno-morskiego, po przejściu frontu okluzji. Istotną rolę, jako bariera orograficzna powodująca nasilenie się opadów, odgrywają Wzgórza Pojezierza Kaszubskiego.

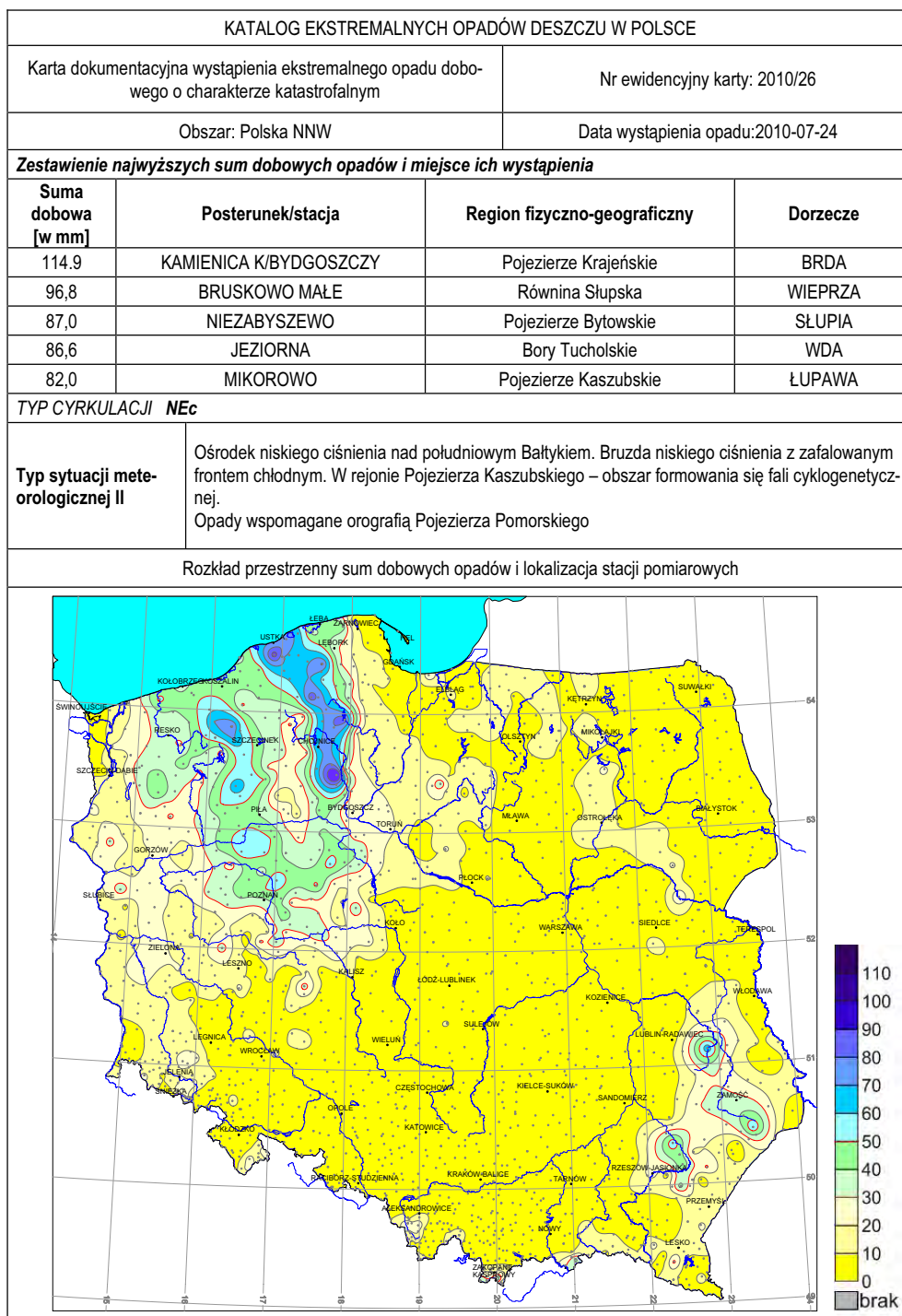
Typ VII – rozległy i głęboki ośrodek niżowy z centrum nad Skandynawią, obejmujący prawie całą Europę z równoleżnikowo ułożonym frontem chłodnym. Intensywne opady występują w ciepłym wycinku niżu w momencie jego przemieszczania się przez obszar Karpat. Opady w tych sytuacjach powstają w wyniku napływu powietrza ciepłego, co jest o tyle ważne, że sytuacje te występują raczej we wczesnowiosennej porze roku i należy liczyć się z możliwością wystąpienia wezbrań lub powodzi opadowych i opadowo-roztopowych (na skutek topnienia pokrywy śnieżnej).

### **3.3. Przykłady kart katalogu intensywnych opadów dobowych o charakterze katastrofalnym**

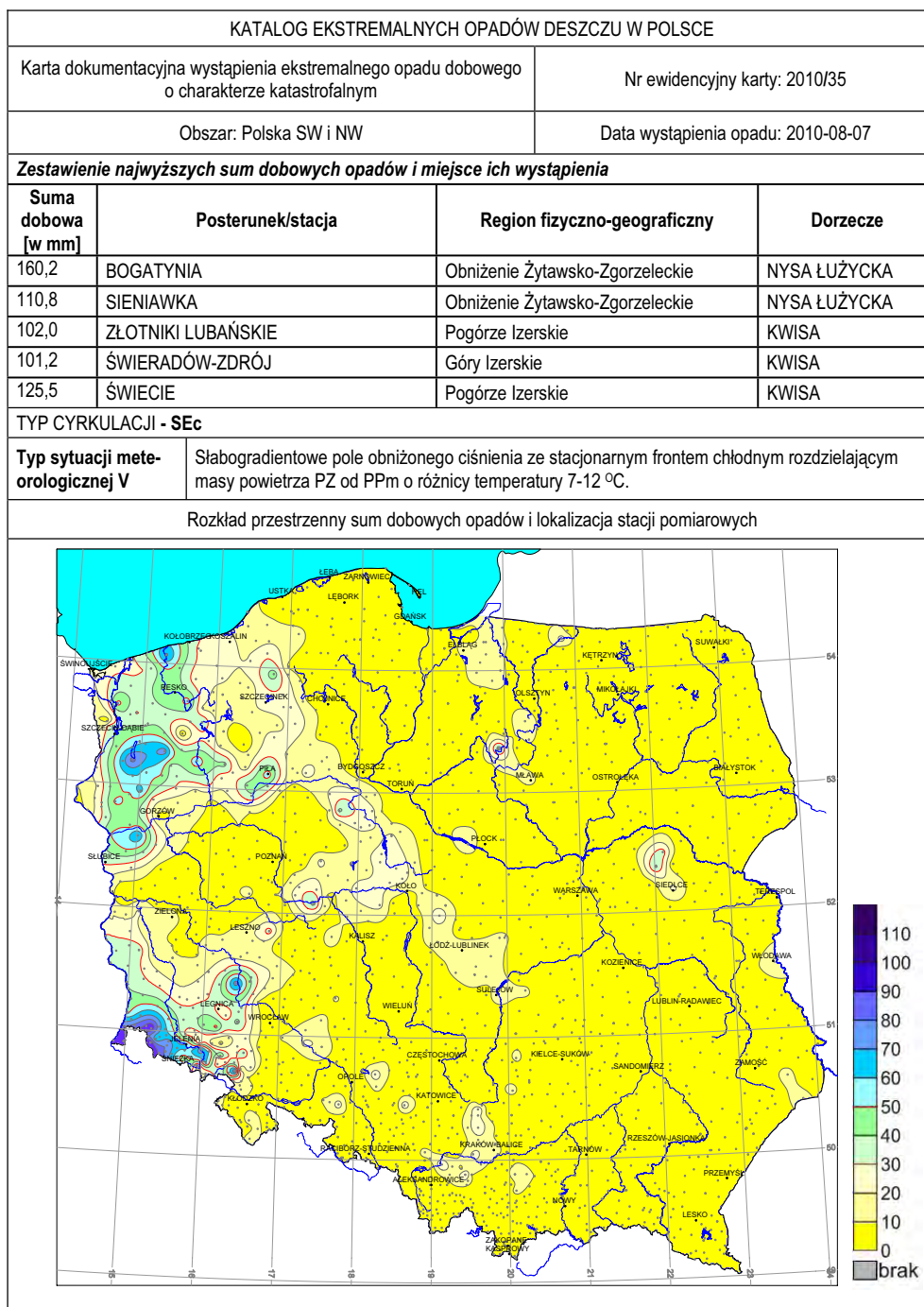
Jako przykłady wybrano opracowane karty katalogowe dla najbardziej znaczących pod względem opadów katastrofalnych dat, tj. 16 maja 2010 r. w którym to dniu sumy opadów przekraczały 150 mm/dobę w rejonie Beskidu Śląskiego, 24 lipca 2010 r. – rejon Pojezierza Krajeńskiego (114,9 mm/dobę), 7 sierpnia 2010 r. – rejon Bogatyni (160,2 mm/dobę, – dla którego skutki opadu katastrofalnego udokumentowano na załączonych wcześniej zdjęciach) oraz 31 sierpnia 2010 r. – dla przypadku z największym opadem dobowym w 10-leciu (213 mm) zanotowanym w Szczyrku.

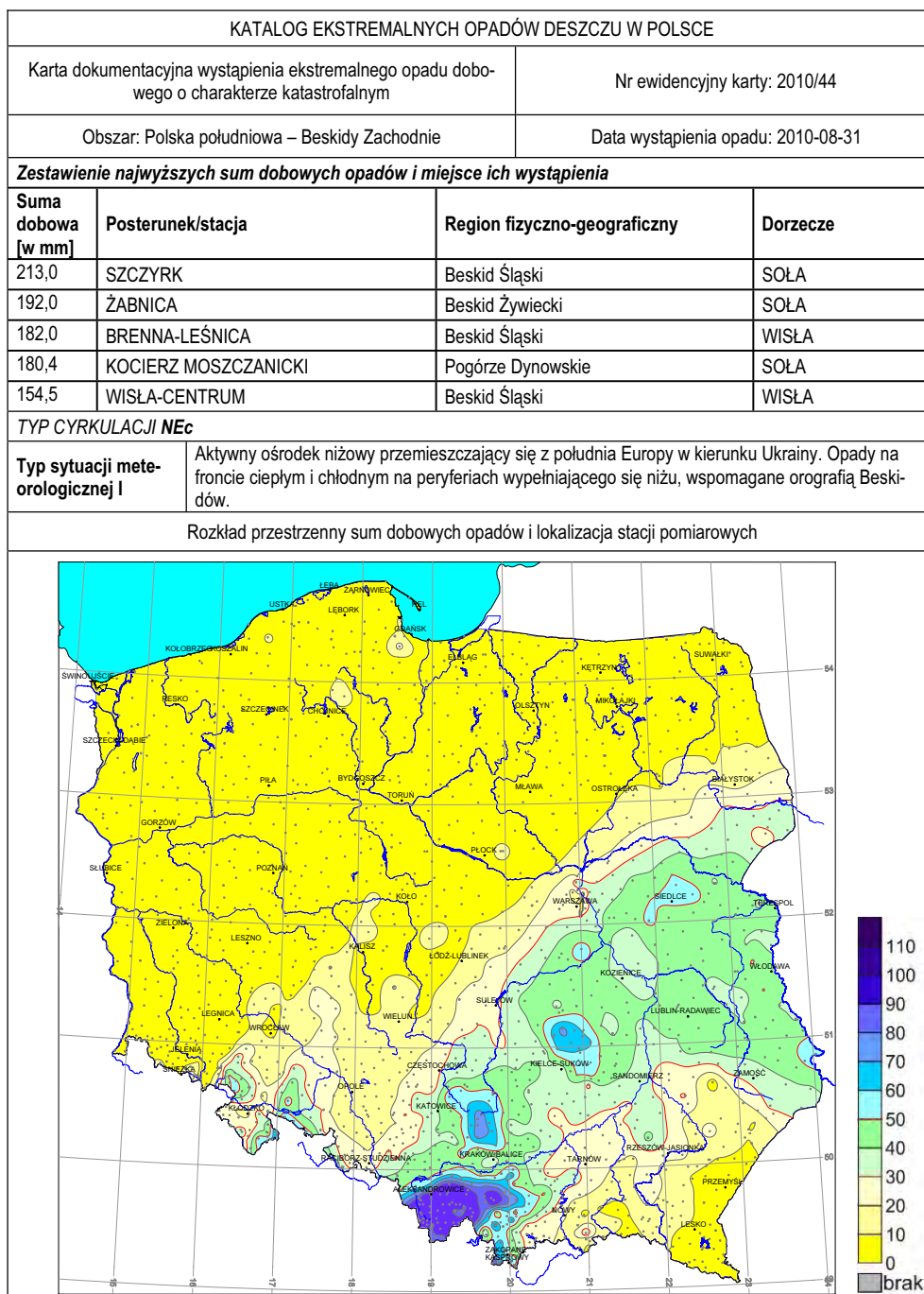
Prezentowane, karty katalogowe umożliwiają poznanie zasięgu oddziaływania danej sytuacji meteorologicznej na rozkład przestrzenny opadu katastrofalnego, którego najwyższa wartość tworzy pewnego rodzaju „epicentrum”. Wokół tego „ogniska” można prześledzić kierunek rozprzestrzeniania się malejących na zewnątrz wysokości opadu. Wielokrotność takiego zdarzenia w podobnej sytuacji meteorologicznej standaryzuje dany typ opadów umożliwiając ich pewną generalizację (co zostanie przedstawione w planowanym do opracowania ATLASIE), może również wносить pewien element prognostyczny i ostrzegawczy dla służb ratowniczych.











### **3.4. Charakterystyka najwyższych opadów dobowych wykazanych w kartach katalogu w kolejnych latach okresu 2001-2010**

W 2001 r. – najwyższy opad dobowy (190,8 mm) zanotowano 25 lipca w Makowie Podhalańskim, w okresie trwania intensywnych opadów w tym rejonie, które były przyczyną powodzi w Polsce południowej w Karpatach.

W 2002 r. – najwyższy opad dobowy (88,1 mm) zanotowano 13 sierpnia na stacji Świeradów Zdrój, w okresie występowania intensywnych opadów w tym rejonie, które były przyczyną powodzi w Sudetach.

W 2003 r. – najwyższy opad dobowy (97,8 mm) zanotowano 18 lipca w Orzechówce na Pogórzu Dynowskim. Opadów powyżej 100 mm nie notowano. Opad o wysokości 91,5 mm/dobę wystąpił 19 lipca we Wrzoscach na Wysoczyźnie Siedleckiej. W tych dniach gwałtowne, lokalne, kilkudziesięciominutowe ulewy związane były z przemieszczającym się z zachodu na wschód zafalowanym frontem chłodnym, przy dużym kontraście termicznym masy napływającej i ustępującej.

W 2004 r. – najwyższy opad dobowy (101,5 mm) zanotowano 13 sierpnia w Janowie na Nizinie Podlaskiej. Wystąpił on w strefie frontalnej, gdzie burze z opadami deszczu miały lokalnie charakter intensywny.

W 2005 r. – najwyższy opad dobowy (136,4 mm) wystąpił 3 sierpnia na stacji Kocierz Moszczanicki w Beskidach Zachodnich. W tym samym dniu opady powyżej 100 mm notowano też na Wyżynie Lubelskiej. Tak wysokie opady spowodował przemieszczający się z południa w kierunku północno-wschodnim ośrodek niżowy wraz z układem frontów atmosferycznych.

W 2006 r. – najwyższy opad dobowy (204,3 mm) zanotowano w Jakuszycach w dniu 7 sierpnia. W dniu tym opady powyżej 100 mm notowano też na wielu stacjach w Sudetach. W okresie od 5 do 7 sierpnia intensywne opady rozlewne były przyczyną powodzi w Polsce południowej, w Sudetach. W czerwcu intensywne opady, o niższych od 100 mm sumach dobowych, były przyczyną powodzi w Karpatach.

W 2007 r. – najwyższy opad dobowy (128,5 mm) zanotowano 6 września na stacji Jarnołówki w Sudetach Wschodnich. Na stacji tej opad powyżej 100 mm zanotowano również dzień wcześniej (101,4 mm). Tak wysokie opady wystąpiły w okresie 5-6 września w Sudetach, stwarzając zagrożenie powodziowe w zlewniach prawostronnych dopływów Nysy Kłodzkiej. Opad powyżej 100 mm – 104,2 mm – zanotowano też 5 czerwca w Tatrach na stacji Kościelisko-Kiry. Był to intensywny opad lokalny.

W 2008 r. – najwyższy opad dobowy (143,5 mm) zanotowano 23 lipca na Hali Gąsienicowej w Tatrach, w czasie przejścia frontu ciepłego. Wysokie, powyżej 100 mm, opady notowano w tym dniu w całych Tatrach. Natomiast 135,7 mm deszczu spadło 15 sierpnia w Pielgrzymowie na Nizinie Śląskiej u podnóża Sudetów Wschodnich (również w sytuacji frontu ciepłego). Układy chmurowe frontu ciepłego zazwyczaj mają wbudowane mniej lub bardziej rozwinięte komórki konwekcyjne.

W 2009 r. – najwyższy opad dobowy (149,7 mm) zanotowano w Goczałkowicach w Kotlinie Oświęcimskiej. Był to opad burzowy z gradem przy przejściu frontu chłodnego.

W 2010 r. – najwyższy opad dobowy obserwowany w całej dekadzie 2001-2010 wystąpił w Szczyrku, w Beskidzie Śląskim, 31 sierpnia i wyniósł 213 mm. W tym i następnym dniu opady powyżej 100 mm występowały w zachodniej części Karpat, w sytuacji aktywnego niżu przemieszczającego się z południa w kierunku Ukrainy. W maju i czerwcu 2010 r. intensywne i długotrwałe opady, o sumach dobowych dochodzących do 185 mm, były przyczyną katastrofalnej powodzi w Polsce, szczególnie groźnej w skutkach na znacznych obszarach południowej części kraju.

Docelowym zamiarem zespołu autorskiego, jak wspomniano wcześniej, jest opracowanie *Atlasu występowania intensywnych opadów deszczu w Polsce*, w którym zostaną zamieszczone coroczne i wieloletnie mapy częstości występowania maksymalnych opadów dobowych  $\geq 30$  mm/dobę z dalszą ich gradacją, pełny katalog map charakteryzujących rzeczywiste rozkłady przestrzenne zdarzeń opadów powodziowych ( $\geq 50$  mm/dobę) oraz mapy prawdopodobieństwa wystąpienia opadu o zadanej wysokości, a także mapy opadów o zadanym prawdopodobieństwie wystąpienia. Mapy te będą jednocześnie stanowić „certyfikat” ryzyka wystąpienia opadów o indeksie katastrofalnym.

#### **4. Prawdopodobieństwo występowania opadów o sumach dobowych $\geq 30$ mm stanowiących zagrożenie powodziowe w Polsce**

Dla pełnej charakterystyki opadów maksymalnych dobowych nie może zabraknąć możliwości poznania prawdopodobieństwa ich występowania w zależności od rejonu kraju, jako elementu aplikacyjnego tego ważnego zagadnienia. Z uwagi jednak na ograniczony czas żmudnych obliczeń prawdopodobieństwa ze wszystkich stacji pomiarowych IMGW wybrano arbitralnie 27 stacji referencyjnych, reprezentujących główne regiony fizjograficzne kraju i posiadających jednolite dane obserwacyjne. W tym celu wykorzystano chronologiczne ciągi maksymalnych opadów dobowych za okres 45 lat, tj. 1966-2010.

Podstawowym problemem przy opisie maksymalnych opadów dobowych jest dobór rozkładu prawdopodobieństwa, który najdokładniej aproksymuje empiryczny zbiór danych. Wzorując się na wynikach badań wielu autorów prac o podobnym charakterze, których cytuje w swojej pracy m.in. Cebulak [1992], zastosowano do tych obliczeń metodę Gumela I typu max. Metoda ta dała zadowalające rezultaty – według niej wykonano obliczenia dla wszystkich 27 stacji meteorologicznych. Dopasowanie krzywej teoretycznej do rozkładu punktów empirycznych sprawdzono testem Kołmogorowa na poziomie 0,05.

W tab. 5 zestawiono, obliczone rozkładem teoretycznym Gumela I typu max., odpowiednie wielkości probabilistyczne maksymalnych opadów dobowych dla 27 stacji meteorologicznych. Na podstawie tak oszacowanych wielkości wykreślono

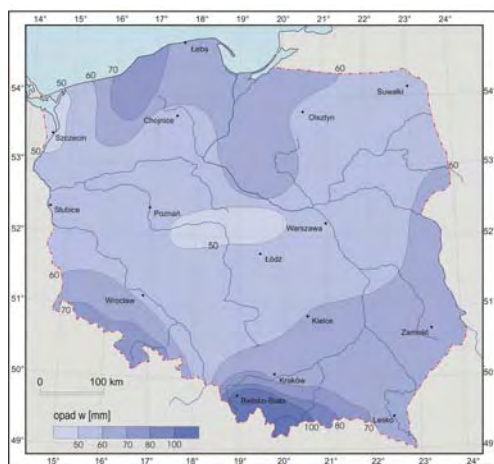
mapy w skali przeglądowej Polski, przy świadomości pewnej dozy niepewności wynikającej z faktu, że opady maksymalne dobowe są opadami o zasięgu lokalnym, co wykazują również mapy katalogowe. Podjęto jednak taką próbę, by przynajmniej wykazać zaznaczające się tendencje przestrzenne i ilościowe parametrów prawdopodobieństwa występowania opadów w różnych regionach Polski.

Tab. 5. Maksymalne opady dobowe o zadanym prawdopodobieństwie występowania oraz prawdopodobieństwo przewyższenia maksymalnego opadu dobowego dla przyjętych progów ich wysokości (30, 50, 70 i 100mm) w Polsce.

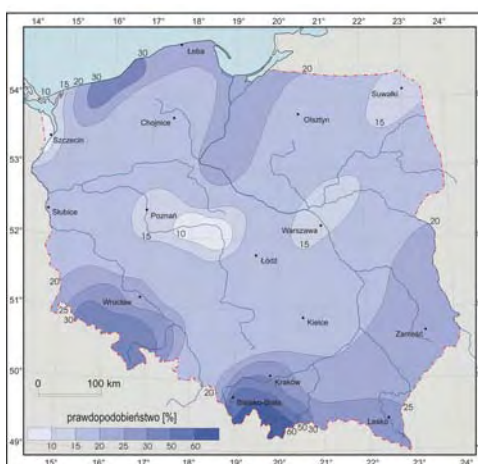
Lp.	Stacja i maksymalna suma dobową opadów w okresie 1966-2010		Maksymalny opad dobowy (mm) o prawdopodobieństwie wystąpienia					Prawdopodobieństwo (%) przewyższenia maksymalnego opadu dobowego o wysokości			
	Nazwa stacji	Pmax (mm)	90%	50%	10%	5%	1%	30mm	50mm	70mm	100mm
1	Ustka	94,2	18,7	35,6	62,3	72,4	95,4	64,4	22,2	5,9	0,7
2	Koszalin	101,3	26,3	43,8	71,3	81,8	105,5	83,2	36,4	10,9	1,5
3	Szczecin-Dąbie	74,3	17,6	30,2	49,9	57,4	74,5	50,5	9,9	1,5	0,1
4	Łeba	141,0	12,8	33,2	65,2	77,4	105,1	56,7	22,7	7,6	1,3
5	Elbląg	83,8	19,1	35,8	61,9	71,9	94,5	65,0	22,0	5,7	0,7
6	Suwałki	64,0	19,1	32,3	53,0	60,9	78,9	57,3	12,9	2,2	0,1
7	Białystok	90,6	17,4	33,6	59,0	68,7	90,7	59,5	18,6	4,6	0,5
8	Olsztyn	98,9	20,0	34,6	57,5	66,3	86,1	63,6	17,8	3,7	0,3
9	Chojnice	84,6	16,8	33,0	58,4	68,1	90,0	57,4	17,8	4,9	0,5
10	Toruń	101,6	17,4	35,0	62,6	73,1	97,0	62,3	22,0	6,2	0,8
11	Gorzów Wielkopolski	77,4	15,3	31,5	57,0	66,8	88,8	54,0	16,2	4,0	0,4
12	Poznań-Ławica	85,7	16,5	30,8	53,1	61,7	81,0	53,5	12,8	2,5	0,2
13	Koło	63,3	21,9	32,1	48,2	54,3	68,2	59,0	8,1	0,8	0,1
14	Łódź-Lublinek	99,8	17,9	33,5	58,0	67,3	88,5	59,7	17,7	4,1	0,4
15	Warszawa-Okęcie	69,6	20,3	32,3	51,1	58,3	74,6	58,3	11,1	1,6	0,1
16	Lublin-Radawiec	90,0	19,6	35,4	60,3	69,8	91,2	64,9	20,5	4,9	0,5
17	Wieluń	78,7	20,9	34,6	56,0	64,2	82,8	64,5	16,4	3,0	0,2
18	Legnica	85,9	24,3	39,2	62,6	71,6	91,8	76,6	25,2	5,7	0,5
19	Wrocław-Strachowice	74,4	21,0	36,0	59,5	68,5	88,8	67,3	20,2	4,4	0,4
20	Kłodzko	101,2	21,7	42,8	76,0	88,7	117,3	76,2	37,0	13,8	2,7
21	Racibórz-Studzienna	92,9	20,0	34,3	56,7	65,2	84,7	62,9	16,9	3,4	0,3
22	Kraków-Balice	87,4	21,6	39,0	66,4	76,9	100,6	72,5	27,8	7,9	1,0
23	Rzeszów-Jasionka	65,2	25,9	38,4	58,0	65,5	82,5	78,6	20,4	3,3	0,2
24	Lesko	80,7	28,5	41,3	61,3	68,9	86,2	86,6	26,3	4,5	0,3
25	Bielsko-Biała	162,7	23,1	55,4	106,1	125,4	169,3	83,2	57,2	33,2	12,4
26	Zakopane	138,7	33,2	59,8	101,6	117,6	153,8	93,0	66,0	35,5	10,7
27	Kasprowy Wierch	232,0	37,0	75,1	134,9	157,8	209,5	94,3	78,3	55,7	27,1

Opracowano na podstawie wartości maksymalnych sum opadów dobowych z półrocza ciepłego (od maja do października) za okres 1966-2010 ze stacji referencyjnych, charakteryzujących regionalne osobliwości występowania ekstremów opadowych w Polsce.

Dla celów praktycznych szczególnie ważne jest określenie opadu maksymalnego dobowego o prawdopodobieństwie wystąpienia 10% (raz na 10 lat), a także prawdopodobieństwa przewyższenia opadu powyżej 50 mm/dobę, który został sklasyfikowany jako powodziowy. Oba te parametry zilustrowano na mapach (rys. 7, 8). Rozkład przestrzenny opadów o prawdopodobieństwie wystąpienia 10% wyraźnie wykazuje obszary, na których koncentrują się opady powyżej 60 mm/dobę. Jest to oczywiście potwierdzenie wyników analizy częstości występowania opadów o wysokości już powyżej 50 mm/dobę, co można prześledzić na mapach (rys. 5-8).



Rys. 7. Parametry probabilistyczne maksymalnych opadów dobowych w sezonie letnim



Rys. 8. Parametry probabilistyczne maksymalnych opadów dobowych w sezonie letnim

Jak widać na rys. 8, prawdopodobieństwo wystąpienia opadu  $\geq 50$  mm/dobę w rejonach Sudetów, Karpat i okolic Koszalina sięga powyżej 25% w sezonie letnim. Oznacza to, że co czwarta ulewa występująca na tych obszarach może uzyskać intensywność opadu  $\geq 50$  mm/dobę. Parametry probabilistyczne szczegółowo charakteryzuje też tab. 5.

## 5. Tendencje występowania intensywnych opadów dobowych w Polsce w okresie 1971-2002

Podstawą do rozważań były wyniki badań prowadzonych przez H. Lorenc, A. Oleką [2006] dotyczących intensywnych opadów, zdefiniowanych jako określone sumy opadów dobowych doprowadzających w wielu przypadkach do wystąpienia wezbrania opadowego lub powodzi (np. typu flash flood). Przy takim założeniu analiza przestrzenna zjawiska pozwoliła na wyróżnienie obszarów kraju najbardziej zagrożonych występowaniem opadów o dużej wydajności. Określono tendencje ich zmian w wybranych okresach. W tym celu zebrano i przeanalizowano sumy dobowe opadów z 50 stacji meteorologicznych dla okresu 1971-2002 oraz trzech porównawczych okresów dekadowych (1971-1980 i 1981-1990), a głównie ostatniego 12-lecia (1991-2002).

Jako narzędzie do obliczenia wskaźników określających trendy maksymalnych opadów dobowych zastosowano model ClimDex opracowany w 2001 r. przez B. Gleasona z amerykańskiego Narodowego Centrum ds. Danych Klimatycznych (U.S. NCDC/NOAA).

ClimDex składa się z czterech modułów. W trzecim module, oprócz 18 wskaźników klimatycznych, występuje również sześć dotyczących opadów. Dla potrzeb niniejszej pracy, jako kryterium opadów o dużym natężeniu, przyjęto następujące wysokości opadów dobowych i określono ich tendencje:

- liczba dni z opadem  $\geq 10$  mm na dobę,
- liczba dni z opadem  $\geq 20$  mm na dobę,
- liczba dni z opadem  $\geq 30$  mm na dobę,
- liczba dni z opadem  $\geq 50$  mm na dobę,
- sumy maksymalnych opadów 5-dobowych (w mm).

Przyjęte parametry opadowe pozwalają na określenie tendencji zmian struktury opadów maksymalnych wg. przyjętych kryteriów w skali przestrzenno-czasowej. Uznano także, że uwzględnione sumy maksymalnych opadów 5-dobowych powyżej 100 mm są również symptomem wskazującym na możliwość wywołania nagłego wezbrania lub powodzi.

Analiza wyników modelu, dotycząca liczby dni z opadem dobowym  $\geq 10$ ,  $\geq 20$ ,  $\geq 30$  i  $\geq 0$  mm, wykazuje że na tle uwzględnionego 32-lecia 1971-2002, charakteryzującego się na większości obszaru Polski trendem rosnącym częstości występowania dni z takim opadem, ostatnie 12-lecie (1991-2002) tego okresu wyróżnia się zdecydowanym wzrostem liczby takich dni. I tak:

- z opadem  $\geq 10$  mm – wzrost do 10 dni/dekadę i  $\geq 20$  mm – do 4 dni/dekadę – prawie w całej Polsce,
- z opadem  $\geq 30$  mm – wzrost poza wybrzeżem i północno-wschodnimi krańcami Polski – ponad 3 dni/dekadę,
- z opadem  $\geq 50$  mm – wyraźny wzrost w Polsce południowej (głównie w rejonie Beskidów), centralnej i miejscami na północy kraju – 2 dni/dekadę.

Dość jednoznacznie ilustrują to mapy (rys. 9-12) dla liczby dni z opadem powyżej 10 i powyżej 50 mm/dobę.

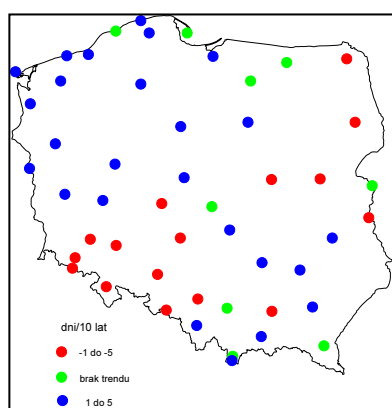
Opisane tendencje utrzymują się i nawet nasilają w I dekadzie XXI wieku, co potwierdzają wyniki badań uzyskanych przy realizacji niniejszego tematu w projekcie KLIMAT (tab. 3, 4).

Analiza zmienności kolejnego wskaźnika opadowego, tj. pięciodobowego opadu maksymalnego wykazuje, iż na wybrzeżu (od Szczecina i Świnoujścia do Helu) oraz generalnie w południowej części Polski, zaznacza się w ostatnim 32-leciu tendencja wzrostowa sum opadu maksymalnego w seriach 5-dobowych, rzędu do 15 mm/5dni na dekadę. Z kolei spadek wysokości maksymalnych opadów 5-dobowych przebiega pasem od Słubic i Gorzowa Wlkp. poprzez Suwalszczyznę po południową część Podlasia.

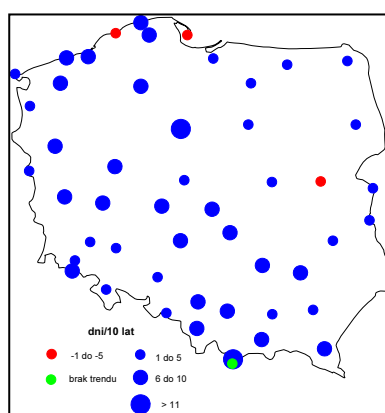
W 12-leciu 1991-2002 tendencja malejąca tak określonego wskaźnika widoczna jest na Mazurach i Suwalszczyźnie (jedynie w rejonie Kętrzyna niewielki

trend rosnący, 7 mm/5 dni w dekadzie) oraz prawie na całym wybrzeżu. Tendencja wzrostowa sum opadów maksymalnych 5-dobowych utrzymuje się natomiast w całej środkowej i południowej Polsce, gdzie zmiany przewyższają miejscami 100 mm/5dni w dekadzie (tereny górskie i podgórskie).

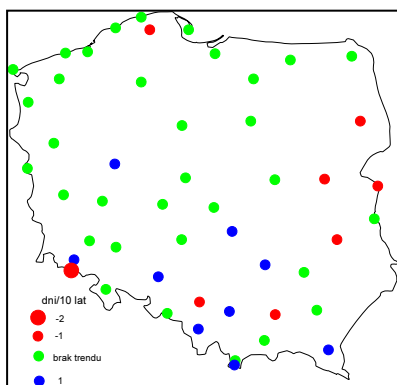
Wyniki pracy Limanówki i in. [2010] wskazują, że 5-cio dobowe opady powyżej 50 mm mogą wystąpić w Karpatach i Sudetach co 3 lata. W publikacji tej stwierdzono również, że „najwięcej notuje się 3-dniowych ciągów opadowych, które średnio pojawiają się 6 do 9 razy w roku. Najdłuższe ciągi opadowe, jakie obserwowano w okresie 40-letnim (1961-2000), wahały się średnio od 11 do ponad 40 dni”.



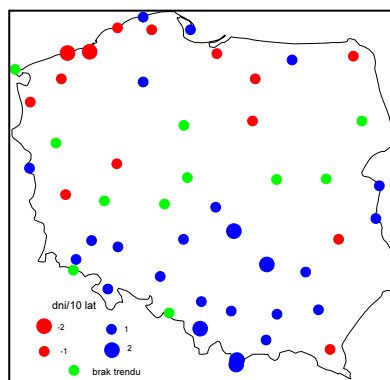
Rys. 9. Tendencje liczby dni z opadem  $\geq 10$  mm (1971-2002)



Rys. 10. Tendencje liczby dni z opadem  $\geq 10$  mm (1991-2002)



Rys. 11. Tendencje liczby dni z opadem  $\geq 50$  mm (1971-2002)



Rys. 12. Tendencje liczby dni z opadem  $\geq 50$  mm (1991-2002)

Wyniki badań nad występowaniem opadów o dużym natężeniu w ramach niniejszego studium statystycznego intensywnych opadów dobowych (w projekcie KLIMAT) wykazują, że w okresie 2001-2010 r na obszarze Polski wystąpiło:

- 711 dni z opadem dobowym  $\geq 30$  mm/dobę,
- 374 dni z opadem  $\geq 50$  mm/dobę,



- 157 dni z opadem  $\geq 70$  mm/dobę,
- 46 dni z opadem  $\geq 100$  mm/ dobę.

## 6. Wnioski

Wyniki badań można zgrupować w następujące grupy problemów, które starano się rozwiązać:

- Określono przede wszystkim merytorycznie uzasadnione kryteria i definicje intensywnych opadów deszczu, stanowiących potencjalne zagrożenie dla społeczeństwa, środowiska i gospodarki.
- Utworzono katalog występowania odpowiednio zdefiniowanych intensywnych opadów dobowych za okres 2001-2010 (pierwsza dekada XXI wieku), stanowiących symptom zagrożenia powodziowego w Polsce.
- Przeprowadzono dokładne studium statystyczne intensywnych opadów dobowych, o odpowiedniej wysokości w kolejnych miesiącach półrocza ciepłego okresu 2001-2010, na podstawie utworzonego katalogu opadów.
- Na podstawie danych empirycznych za okres 2001-2010 opracowano, dla półrocza ciepłego (V-X) każdego roku uwzględnionego wielolecia oraz łącznie za okres 10 lat, mapy częstości występowania, zdefiniowanych jako krytyczne, sum opadów dobowych o odpowiednich wysokościach w Polsce. Mapy te pozwoliły zidentyfikować obszary najbardziej zagrożone opadami deszczu o zadanej intensywności (według przyjętego kryterium),
- Dokonano próby poznania genezy i określono przyczyny meteorologiczne występowania opadów dobowych  $\geq 50$  mm w skali Polski, zarówno dla celów poznawczych, jak i aplikacyjnych.
- Na podstawie danych historycznych za okres 2001-2010 poznano i określono strukturę przestrzenną pól objętych zasięgiem maksymalnych zdarzeń opadowych na obszarze Polski. Opracowano wersję graficzną ekstremalnych zdarzeń opadowych (sum opadów dobowych  $\geq 50$  mm/dobę uznanych za powodziowe) występujących w Polsce.
- Określono wieloletnią zmienność (tendencję) opadów dobowych o wysokości  $\geq 30$  mm w Polsce oraz oszacowano prawdopodobieństwo ich występowania (na podstawie okresu 1966-2000),
- Oceniono skalę i kierunek współczesnych zmian wskaźników opadowych, niezbędnych dla konstruowania regionalnych scenariuszy zdarzeń opadowych, spodziewanych w Polsce w XXI wieku,
- Opracowano mapy największego prawdopodobieństwa występowania opadów powodziowych w Polsce przy zastosowaniu teoretycznego rozkładu Gumbela I typu max., najdokładniej aproksymującego występowanie rocznych maksimumów dobowych.
- Przygotowano do drugiego etapu pracy, po zakończeniu formalnego okresu realizacji projektu KLIMAT, pełny materiał statystyczny i wizualny do opracowania publikacji monograficznej pt.: *Atlas występowania intensywnych opadów deszczu w Polsce*.

## **7. Propozycje dotyczące praktycznego wykorzystania wyników badań**

Uzyskane w ramach realizacji tematu wyniki badań nad występowaniem intensywnych opadów dobowych w Polsce stanowiąc będą wiarygodne źródło danych, które pozwoli na delimitację obszarów szczególnie narażonych na częste występowanie opadów powodziowych. Wyniki te mogą być wykorzystane zarówno przez klimatologów, jako informacje poznawcze w ramach bieżącego monitoringu klimatu Polski, jak i przez synoptyków przy doskonaleniu systemu ostrzeżeń meteorologicznych o prognozowanym wystąpieniu zjawiska groźnego za które bezwzględnie należy uznać intensywne opady deszczu o sumach dobowych powyżej przyjętych wartości krytycznych.

Uzyskane wyniki badań stanowiąc będą ważny przyczynek do oceny zagrożeń i kategoryzacji częstości występowania naturalnych zdarzeń ekstremalnych dla służb antykrzysowych, a również do ustalania kryteriów ryzyka negatywnych konsekwencji występowania katastrofalnych opadów deszczu zgodnie z wymogami Dyrektywy Powodziowej Parlamentu Europejskiego nr 2007/60/WE.

Utworzona tematyczna baza danych o intensywnych opadach deszczu w Polsce pozwoli na identyfikację ekstremalnych zdarzeń opadowych w różnych skalach przestrzennych, w tym też dostosowanych do struktury przestrzennej centrów zarządzania kryzysowego (gminnych, powiatowych i wojewódzkich).

### **Literatura**

- Chomicz K., 1951, Ulewy i deszcze nawalne w Polsce, Wiadomości Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej PIHM, II, 3, 5-88
- Cebulak E., 1992, Maksymalne opady dobowe w dorzeczu Górnej Wisły, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Prace Geograficzne, 90
- Limanówka D., Cebulak E., Pyrc R., Kilar P., Kańka M., Cichoński J., Otop I., 2010, Regiony opadowe Polski, Materiały Badawcze - Seria: Meteorologia, 43
- Lityński J., 1969, Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski, Prace PIHM, 97, 63-76
- Lorenc H., Olecka A., 2006, Tendencje występowania opadów o dużym natężeniu w Polsce, w: Współczesne problemy klimatu Polski - fakty i niepewności, IMGW, Warszawa
- Mycielska H., 1979, Atlas typowych sytuacji synoptycznych przy występowaniu opadów powodziowych w dorzeczu górnej Wisły (1951-1960), IMGW, Warszawa
- Ostojski M.S, Maciejewski M., Walczykiewicz M., 2010, Dorzecze Wisły. Monografia Powodzi, maj-czerwiec 2010, IMGW, Warszawa
- Wrona B., 2008, Meteorologiczne i morfologiczne uwarunkowania ekstremalnych opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej i środkowej Odry, Materiały Badawcze - Seria: Meteorologia, 41

# Struktura maksymalnych prędkości wiatru w Polsce

*Halina Lorenc*

## 1. Wprowadzenie

Obserwuje się, szczególnie w ostatnich kilkunastu latach, że ryzyko zagrożenia życia i mienia przez wiatr o dużych prędkościach jest w Polsce coraz większe. Podjęto więc próbę poznania struktury tego zjawiska w warunkach klimatu Polski, biorąc pod uwagę maksymalne prędkości wiatru w porywach, jego skutki oraz zagrożenia jakie ze sobą niesie dla środowiska, gospodarki i zdrowia człowieka.

Z tego tytułu praca spełnia co najmniej dwa cele:

- poznawczy, tj. pogłębienie wiedzy na temat struktury występowania maksymalnych prędkości wiatru w porywach w Polsce,
- aplikacyjny, czyli wykorzystanie wyników badań dotyczących struktury huraganowych prędkości wiatru, stanowiących zagrożenie dla gospodarki, społeczeństwa i środowiska do podjęcia stosownych działań w obliczu aktualnych potrzeb i oczekiwań.

Aby sprostac temu przedsięwzięciu wykonano następujące prace badawcze:

- określono kryterium maksymalnej prędkości wiatru w porywie wynikające ze struktury wiatru oraz kryterium maksymalnej prędkości wiatru w porywie powodującej pierwsze zagrożenia dla gospodarki i społeczeństwa,
- opracowano unikalny katalog zbioru, zweryfikowanych pod względem jednorodności materiału obserwacyjnego, maksymalnych miesięcznych i rocznych prędkości wiatru w porywach, za okres 1971-2005 dla 39 stacji meteorologicznych,
- opracowano klasyfikację maksymalnych prędkości wiatru z wyróżnieniem trąb powietrznych w Polsce i oceniono skutki ich działania,
- określono tzw. huraganowe typy cyrkulacji wg klasyfikacji J. Lityńskiego i ich związek z pojawianiem się maksymalnych prędkości wiatru,
- na podstawie analizy map synoptycznych dolnych określono poziomy gradient ciśnienia, w zależności od którego w uwzględnionych typach cyrkulacji pojawiają się duże przyrosty prędkości wiatru o sile huraganu,

- wyróżniono trzy różne genetycznie sytuacje meteorologiczne, z którymi jest związane wystąpienie dużych prędkości wiatru na obszarze Polski; dla każdej z wyróżnionych sytuacji dokonano szczegółowej charakterystyki maksymalnych prędkości wiatru,
- scharakteryzowano genezę tworzenia się takich ośrodków ciśnienia, które w skutkach powodują przyrosty prędkości wiatru  $>35-40$  m/s i największe zniszczenia na obszarze kraju,
- określono długotrwałość i częstość roczną pojawiania się tzw. cykli porywowych,
- określono rzeczywiste miesięczne i roczne maksymalne prędkości wiatru w porywach występujące na obszarze Polski,
- określono teoretyczne, roczne prawdopodobieństwo występowania maksymalnych prędkości wiatru,
- określono maksymalne prędkość wiatru o zadanym rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia,
- opracowano mapy maksymalnych prędkości wiatru w porywach. o zadanym rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia na wys. 10 i 30 m n.p.g., dla terenu otwartego (klasa szorstkości 0-1),
- dokonano analizy trendów czasowych sytuacji meteorologicznych, z którymi jest związane występowanie maksymalnych prędkości wiatru, na podstawie okresu obserwacyjnego 1971-2010.

Na podstawie monitoringu medialnego trąb powietrznych i szkwałów w Polsce, zapoczątkowanego przez autorkę jeszcze w roku 1979, a wykorzystanego w tej pracy od roku 1998 r.:

- określono rejony kraju najbardziej narażone na wystąpienie tych najgroźniejszych w skutkach zjawisk pogodowych (uznanych przez autorkę, jako drugich po powodziach),
- uwzględniono intensywności trąb powietrznych w opracowanej klasyfikacji maksymalnych prędkości wiatru w Polsce i określono skutki ich działania,
- utworzono katalog trąb powietrznych oraz mapę dat i rejony ich wystąpienia,
- przedstawiono ogólną charakterystykę wiatru halnego jako groźnego zjawiska o zasięgu regionalnym.

Jeśli powiodła się realizacja wyznaczonego celu, to praca ta powinna stanowić pewnego rodzaju vademecum wiedzy na temat struktury występowania maksymalnych prędkości wiatru w Polsce. Uzyskanymi wynikami pracy powinny być zainteresowane: instytucje naukowo-badawcze w kraju, uczelnie i studenci, biura prognoz meteorologicznych w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowym Instytucie Badawczym, sztaby antykryzysowe począwszy od jednostek centralnych po jednostki powiatowej i gminne, agendy ubezpieczeniowe, jednostki administracji państwowej – które rezultaty uzyskanych wyników badań mogą wykorzystać w krótszych i perspektywicznych planach gospodarczych kraju, instytucje naukowo-badawcze, uczelnie i studenci, wybrane grupy społeczne i media oraz przedsiębiorcy.

## 2. Kryteria i dane obserwacyjne

Przyjmuje się różne kryteria do określenia naturalnego zjawiska ekstremalnego niosącego zagrożenie. Zgodnie z proponowanym przez autorkę kryterium przyjęto, uzyskaną w sposób empiryczny, wartość krytyczną prędkości wiatru i odpowiednio uzasadnioną wielkość statystyczną, po przekroczeniu których widoczne są skutki niszczycielskie tego zdarzenia zagrażające ludności i całej infrastrukturze obszaru dotkniętego jego zasięgiem.

Podstawowym materiałem empirycznym, na którym bazuje opracowanie były miesięczne i roczne pomiary maksymalnych prędkości wiatru w porywach oraz odpowiadające im prędkości – średnie 10-minutowe – rejestrowane na stacjach meteorologicznych (synoptycznych) sieci IMGW w okresie 1971-2005. W opracowaniu uwzględniono 39 stacji meteorologicznych, do których po weryfikacji nie było zastrzeżeń co do jakości danych. O kryterium jakości zaważyły głównie: poprawność lokalizacji stacji meteorologicznej, typ przyrządu do pomiaru prędkości wiatru, długość jednorodnego okresu obserwacji na danej stacji meteorologicznej.

Zgodnie z Instrukcją Meteorologiczną IMGW [1962] „porywem wiatru nazywamy nagły wzrost prędkości wiatru przewyższający co najmniej o 5 m/s średnią prędkość wiatru za okres ostatnich 10 minut przed pełną godziną obserwacji”. Analiza danych już na etapie ich gromadzenia wykazała, że progową wartością tak określonego kryterium prędkości wiatru w porywie jest 11 m/s, a odpowiadająca jej prędkość średnia 10-minutowa – 6 m/s. Tak więc pierwszym symptomem wzmożonej turbulencji w atmosferze, z czym wiąże się przyrost prędkości wiatru, jest prędkość 11 m/s w porywie.

Wielkość ta potwierdza również słusznie przyjętą argumentację W. Parczewskiego [1960], jednego z największych meteorologów polskich, o wydzieleniu klasy prędkości wiatru powyżej 10 m/s, od której to wartości następuje skokowe zwiększenie się turbulencyjności strug powietrza. Oczywiście naukowiec ten dysponował w roku 1960 bardzo skromnym i mało dokładnym materiałem pomiarowym prędkości wiatru. Posługiwał się bowiem wynikami pomiarowymi z wiatromierza Wilda i z tego powodu trudno mu było odczytać dokładną, rzeczywistą prędkość 11 m/s. Późniejsze, półautomatyczne i elektronicznie pozyskiwane dane obserwacyjne, jednoznacznie wskazują, że empirycznie uzyskaną wielkością charakterystyczną dla fizycznej struktury wiatru, potwierdzającą istnienie dolnego progu prędkości wiatru w porywie jest wiatr o prędkości 11 m/s. W opracowaniu, ze względu na specyficzną strukturę wiatru i skutki działania jego prędkości, posłużono się jednak dwoma wartościami krytycznymi: jako wielkość merytorycznie i empirycznie uzasadnioną do poznania struktury maksymalnych prędkości wiatru w porywach przyjęto wcześniej opisaną wartość prędkości wiatru w porywie 11 m/s, natomiast za dolne ograniczenie maksymalnych prędkości wiatru, które w warunkach klimatu Polski mogą już stanowić zagrożenie dla ludności, gospodarki i środowiska – prędkość wiatru w porywie 17 m/s. Prędkość 17 m/s przyjęto, jako wynik stopniowego poznawania struktury wiatru, a także wzorując się na ska-

lach maksymalnych prędkości wiatru i spowodowanych zniszczeń przez wiatr o takiej prędkości: Beauforta, Safir – Simpsona i Fujity.

Ponieważ do roku 2002 nie wprowadzono do elektronicznej bazy danych o porywach wiatru, wartości te wyszukiwano i wybierano z zapisów w oryginalnych dziennikach synoptycznych znajdujących się w zbiorach archiwalnych IMGW. Praca ta, bardzo żmudna, wymagająca dużej dokładności i sumienności, została wykonana przez pracownika byłego Ośrodka Meteorologii IMGW. W tej mierze zasłużyła się głównie pani mgr Mirosława Witaszczyk, której tą drogą składam wyrazy najwyższego uznania za wykonanie tej pracy.

Zbiór odpowiednio zestawionych danych, został dopiero wprowadzony na nośniki PC dla okresu 1971-2005 i stanowi obecnie 35-letnią unikalną serię maksymalnych miesięcznych i rocznych prędkości wiatru w porywach, uwzględniającą również wszystkie zapisy maksymalnych prędkości wiatru rejestrowane poza pełną godziną obserwacji (jeśli obserwowane prędkości spełniały przyjęte kryterium). Dane po wprowadzeniu na nośniki elektroniczne dołączono do specjalnie opracowanego *Katalogu zjawisk ekstremalnych w Polsce*.

Tab. 1. Przykładowy zbiór danych *Katalogu zjawisk ekstremalnych w Polsce*

BIELSKO-BIAŁA		2012 H wiatromierza 2001 - 20 m n.p.g												2005 - 10 m n.p.g (zmiana od X2001)												
MAKSYMALNE PRĘDKOŚCI WIATRU W PORYWACH I ODPOWIADAJĄCE IM WARTOŚCI ŚREDNIE V (m/s)																										
LATA	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII		Rok	
	śr.	por.	śr.	por.	śr.	por.	śr.	por.	śr.	por.	śr.	por.	śr.	por.	śr.	por.	śr.	por.	śr.	por.	śr.	por.	śr.	por.	śr.	por.
1971	14	19	brak	por.	18	30	14	19	brak	por.	12	17	brak	por.	8	13	brak	por.	16	25	17	28	12	17	18	30
1972	brak	por.	15	20	14	20	10	18	10	18	14	19	brak	por.	brak	por.	brak	por.	12	17	20	30	10	18	20	30
1973	brak	por.	20	27	8	13	15	30	10	17	brak	por.	brak	por.	12	17	13	18	17	22	14	30	18	30	14-18	30
1974	14	19	19	30	12	18	10	15	7	12	10	20	9	16	brak	por.	12	18	14	19	19	30	18	30	19-18	30
1975	17	24	brak	por.	10	17	18	35	brak	por.	14	19	brak	por.	brak	por.	13	24	brak	por.	19	26	14	22	18	35
1976	16	26	brak	por.	13	20	12	20	9	16	12	18	brak	por.	brak	por.	11	18	10	21	20	32	14	35	14	35
1977	14	28	18	31	12	20	14	19	11	18	brak	por.	15	19	6	16	8	14	10	20	11	35	14	20	11	35
1978	23	36	8	20	14	32	13	25	brak	por.	brak	por.	8	16	14	20	10	19	12	18	8	14	14	20	23	36
1979	20	37	14	20	14	20	13	18	13	20	brak	por.	8	14	13	19	13	19	20	35	18	34	14	30	20	37
1980	14	25	19	38	9	14	14	19	12	17	7	14	12	20	13	20	12	18	14	30	14	25	12	19	19	38
1981	17	28	brak	por.	15	26	7	13	12	26	10	20	brak	por.	7	14	8	18	14	20	13	20	20	27	17	28
1982	17	35	brak	por.	15	24	13	19	brak	por.	6	17	brak	por.	6	14	brak	por.	17	30	22	33	19	28	17	35
1983	14	20	13	29	20	38	14	20	12	24	brak	por.	brak	por.	11	22	17	30	16	24	18	30	20	36	20	38
1984	19	32	17	30	10	18	14	27	14	28	5	12	brak	por.	brak	por.	13	26	13	24	19	35	14	24	19	35
1985	21	39	14	30	11	24	11	24	16	29	12	27	7	22	17	30	13	24	8	14	24	43	24	36	24	43
1986	20	35	brak	por.	21	33	16	24	8	17	9	14	11	22	13	24	14	24	14	28	6	20	18	34	20	35
1987	13	26	12	34	14	24	14	23	12	24	12	21	11	21	10	18	13	21	14	30	14	32	9	22	14	32
1988	19	30	18	34	14	28	9	19	10	24	8	14	12	29	14	23	13	29	14	24	12	27	20	38	20	38
1989	12	22	22	39	13	28	12	27	14	20	5	14	11	21	10	20	9	14	16	33	18	36	28	48	28	48
1990	21	33	16	34	21	32	15	27	8	14	10	18	8	14	12	21	9	21	14	29	21	31	17	34	17	34
1991	18	30	14	24	13	19	9	14	7	14	14	24	brak	por.	11	17	19	34	9	21	22	34	16	29	22	34
1992	13	33	14	23	17	26	14	24	14	23	14	23	8	14	12	22	13	24	18	28	22	32	17	32	13	33
1993	20	39	14	25	5	13	11	19	8	14	11	19	12	21	11	21	17	28	13	47	10	19	14	31	13	47
1994	20	41	8	14	17	29	13	26	13	23	10	16	brak	por.	10	22	18	31	14	25	14	22	14	24	20	41
1995	19	34	15	26	17	25	11	24	10	23	brak	por.	brak	por.	brak	por.	14	25	brak	por.	14	23	18	28	19	34
1996	13	27	16	29	12	22	11	19	8	23	brak	por.	14	23	brak	por.	12	19	16	30	18	33	11	22	18	33
1997	brak	por.	12	28	11	27	11	29	11	25	brak	por.	brak	por.	brak	por.	8	14	13	24	26	42	14	29	26	42
1998	19	30	13	24	16	26	16	26	brak	por.	12	20	13	21	14	24	14	22	21	33	17	31	18	25	21	33
1999	13	24	12	21	12	24	17	33	13	19	brak	por.	12	19	brak	por.	14	24	15	28	12	21	18	29	17	33
2000	15	26	20	35	17	26	12	23	8	14	6	13	12	22	10	22	brak	por.	20	33	17	29	14	24	20	35
2001	14	29	10	27	11	22	12	20	10	18	brak	por.	9	28	6	13	10	20	10	20	10	19	14	24	14	29
2002	13	24	12	21	13	23	brak	por.	7	14	7	14	11	19	brak	por.	brak	por.	14	24	14	34	brak	por.	14	34
2003	16	29	16	26	brak	por.	14	27	12	24	6	14	7	14	6	21	12	23	10	24	13	29	14	29	18-13	29
2004	14	27	12	23	12	22	brak	por.	12	19	brak	por.	brak	por.	9	19	11	19	12	20	17	27	14	25	14-17	27
2005	14	26	16	25	9	23	14	22	10	16	8	17	9	17	8	13	9	15	10	23	7	19	13	22	14	26
max	20	41	22	39	20	38	18	35	16	29	12	27	12	29	17	30	19	34	13	47	24	43	28	48	28	48

Przyjętą formę doboru maksymalnych prędkości wiatru zdeterminował tytuł i cel pracy, a także zasada, że dla rocznych wskaźników probabilistycznych, które będą stanowić jeden z głównych elementów badawczych i aplikacyjnych pracy, uwzględniana jest jedna, największa wartość roczna. Prawdopodobieństwo wystą-

pienia zjawiska w tak dobranym zbiorze odpowiada bowiem tzw. rocznemu prawdopodobieństwu, którego wyznaczenie stanowi zasadniczy cel w tego typu pracach. Oprócz odpowiednio zebranych danych w opracowaniu wykorzystano również mapy synoptyczne dolne z okresu 1971-2005 – do analizy sytuacji meteorologicznych, z którymi związane było wystąpienie maksymalnych prędkości wiatru w porywach – obrazy satelitarne i radarowe oraz diagramy aerologiczne.

### **3. Klasyfikacja maksymalnych prędkości wiatru**

Ponieważ skutki działania wiatru są różne w zależności od jego narastającej prędkości dla potrzeb zarówno poznawczych, jak i użytecznych tego studium, a także ze względu na brak na ten temat wiedzy w polskiej literaturze przedmiotu, opracowano dla warunków klimatycznych Polski specjalną klasyfikację maksymalnych prędkości wiatru (tab. 2), które mogą pojawić się na terytorium kraju powodując określone rodzaje zniszczeń. W ostatniej kolumnie prezentowanej skali określono rodzaje, wielkość i stopień tych zniszczeń oraz zasygnalizowano ryzyko podejmowania wybranych przedsięwzięć w wyniku działania określonych prędkości wiatru.

Przyjęcie wartości 17 m/s jako dolnego progu kryterium prędkości maksymalnej wiatru, przy której mogą powstawać już pierwsze zniszczenia i straty ekonomiczne, podyktowane było wymogami klasyfikacji. Klasyfikacja ta określa „ostrą” granicę dla danej klasy prędkości, potwierdzoną wynikami wieloletnich, dotychczasowych badań autorki nad strukturą wiatru na obszarze Polski. Podstawowym jednak źródłem do opracowania skali maksymalnych prędkości wiatru i spowodowanych przez wiatr zniszczeń były skale Beauforta, Safir – Simpsona i Fujity, przyjęte do charakterystyki prędkości wiatru w cyklonach tropikalnych i tornadach. Istniejąca skala TORRO, która według autorki w sposób niejednorodny opisuje strukturę fizyczną zjawiska, nie została uwzględniona.

W wyniku prowadzonych analiz i badań wyróżniono trzy, genetycznie różne, przyczyny występowania maksymalnych prędkości wiatru w porywach powyżej 11 m/s. Ich pojawianie się związane jest z:

- działalnością cyklonalną wynikającą z ogólnej cyrkulacji atmosfery nad Atlantykiem, Skandynawią i Europą środkową w tym Polską i utworzeniem się charakterystycznych typów pól ciśnienia w rejonie Europy, południowego Bałtyku lub Skandynawii sprzyjających powstawaniu dużych przyrostów prędkości wiatru,
- utworzeniem się w rejonach górskich zaburzeń w ogólnej cyrkulacji atmosfery, spowodowanych barierą orograficzną gór, i stwarzających dogodną sytuację do powstania ciepłego, suchego, silnego i porywistego wiatru „spadającego” (katabatycznego) z gór – wiatru halnego (w rejonie Tatr) lub jego odpowiednika – fenu (w rejonie Karkonoszy), o zasięgu regionalnym, utworzeniem się sprzyjających warunków meteorologicznych do rozwoju intensywnej konwekcji i powstania małoskalowych wirów powietrznych – burz termicznych, trąb powietrznych i szkwałów o zasięgu lokalnym.

Tab. 2. Klasyfikacja maksymalnych prędkości wiatru w Polsce i skutków ich działania (zasady oceny skutków działania: każda, następną wyższą klasa zawiera również działania charakterystyczne dla klas niższych)

Nr klasy	PREDKOŚCI WIATRU [m/s] na wys. 10m n.p.g.	PREDKOŚCI WIATRU [km/godz.] na wys. 10 m n.p.g. (wartości progowe zaokrąglone)	CHARAKTER WIATRU	SKUTKI DZIAŁANIA
I	≥11 – 16	40 – 59	Wiatr porywisty	Podczas trwania porywów, wiatr jest chaotyczny w przepływie, porusza duże gałęzie drzew i całe drzewa, utrudnione jest użycie parasola i chodzenie pod wiatr, podczas opadów śniegu powoduje zawieje i zamiecie śnieżne. Ryzyko organizowania imprez sportowych na wolnym powietrzu, a w zimie zawodów narciarskich (np. wykonywania skoków narciarskich).
II	≥17 – 20	60 – 73	Wiatr gwałtowny	Wiatr łamie gałęzie drzew, uszkadza markizy i duże namioty, przewraca drewniane płoty, billboardy i znaki drogowe, wznosi tumany kurzu, chodzenie pod wiatr jest bardzo utrudnione, zrywa pojedyncze dachówki, utrudnia pracę dźwigów i zagraża ich operatorom, prędkość wiatru jest odczuwalna przez jadące samochody po szosie.
III	≥21 – 24	74 – 86	Wichura	Wiatr powoduje pokaźne uszkodzenia budynków - zrywa dachówki, lżejsze przedmioty unosi w powietrzu, narusza niezabezpieczone konstrukcje budowlane, łamie duże konary drzew.
IV	≥25 – 28	87 – 103	Silna wichura	Wiatr powoduje znaczne uszkodzenia budynków, wież i kominów, łamie i wrywa drzewa o płytkim ukorzeniu, utrudnia jazdę samochodów osobowych po szosie, kołysze z dużym wychyleniem przewody linii przesyłowych, a podczas osadzania sadzi lub gołoleździ - zrywa je na skutek przeciążenia.
V	≥29 – 32	104 – 117	Wiatr huraganowy	Wiatr powoduje zniszczenia całych zabudowań i hal o płaskich dachach, zrywa odcinki linii przesyłowych i łamie ich konstrukcje wsporcze, utrudnia jazdę samochodów ciężarowych, wrywa drzewa z korzeniami i niszczy większe połacie lasów - w górach wiatrolomy.
VI – 1	≥33 – 49	≥118 – 178	Huragan/ Trąba powietrzna I stopnia	Wiatr zrywa całe poszycia dachów, przewraca lub przesuwają ruchome domy (przyczepy), wrywa duże drzewa z korzeniami lub je łamie na większych przestrzeniach, zrywa linie przesyłowe i trakcje kolejowe, niszczy mocne konstrukcje budowlane, „zdmuchuje” z szosy jadące samochody osobowe, przewraca lżejsze dźwigi budowlane, lewitowanie zniszczonych obiektów (dachy, drzwi, okna, urządzenia gospodarcze, które zmieniają się w latające pociski).
VI – 2	≥50 – 69	≥179 – 250	Huragan bardzo silny/ Trąba powietrzna II stopnia	Wiatr powoduje ogólne zniszczenia i spustoszenia, duże i zdrowe drzewa wrywa z korzeniami, zrywa dachy domów i przenosi na odległość, zawala budynki o wzmocnionych konstrukcjach, niszczy całe połacie lasów i sadów, uszkadza konstrukcje mostów, lewitowanie samochodów i innych przedmiotów, które zmieniają się w latające pociski, sieje grozę.
VI – 3	≥70	≥251	Huragan niszczycielski/ Trąba powietrzna III stopnia	Wiatr powoduje szkody niewyobrażalne: zrywa dachy i zawala budynki o wzmocnionej konstrukcji, przewraca pociągi i samochody ciężarowe, porywa i przenosi samochody osobowe, wygina konstrukcje stalowe, wrywa lub łamie drzewa na całych połaciach lasów, lewitowanie ciężkich przedmiotów. Wymagana ewakuacja ludności.



W kolejnych rozdziałach pracy szczegółowo scharakteryzowano maksymalne prędkości wiatru i ich strukturę we wszystkich trzech rodzajach sytuacji meteorologicznych z którymi jest związane występowanie prędkości wiatru niosących zagrożenie.

#### **4. Występowanie maksymalnych prędkości wiatru w porywach związanych z ogólną cyrkulacją atmosfery nad Polską**

##### **4.1. Maksymalne prędkości wiatru w porywach a typy cyrkulacji**

Na podstawie rezultatów prowadzonych aktualnie badań oraz uzyskiwanych symptomów pewnych cech dotyczących struktury wiatru w Polsce, już we wcześniejszych pracach autorki [1996] zostały potwierdzone pewne prawidłowości, a mianowicie: że występowanie dużych prędkości wiatru związane jest z charakterystycznymi, wyróżniającymi się typami cyrkulacji atmosfery. Uznano, że na obszarze Polski najdokładniej opisującą tego typu zjawiska jest klasyfikacja typów cyrkulacji J. Lityńskiego [1969]. Stosując tę klasyfikację można wyróżnić rejony, w których warunkowe prawdopodobieństwo (pod warunkiem utworzenia się gradientu ciśnienia  $>1,5$  hPa/100 km) wystąpienia dużych prędkości wiatru związane jest z niżej wymienionymi typami cyrkulacji, które nazwano typami huraganowymi:

- w skali całego kraju: SWc, Wc, NWC i Nc,
- w skali regionalnej: typ NWO – północny i północno-wschodni rejon Polski, typ SEc – południowo-wschodni rejon Polski, typ Sc – południowy rejon Polski.

Wyróżnia się okres chłodnej pory roku (X-IV) o wzmożonej powtarzalności prędkości wiatru w porywach  $\geq 17$  m/s oraz okres letni (V-IX), w którym udział groźnych w skutkach prędkości wiatru, związanych z działalnością ogólnej cyrkulacji atmosfery, maleje prawie o połowę w stosunku do sezonu zimowego. W okresie lata natomiast pojawiają się huraganowych prędkości wiatru w Polsce, które stanowią duże zagrożenie i można je w wielu przypadkach klasyfikować jako kłęska żywiołowa, związane jest z inną genetycznie przyczyną meteorologiczną, o czym w dalszej części tego rozdziału.

W tab. 3 zestawiono, dla 11 stacji uznanych za referencyjne, procentowy udział pojawienia się prędkości wiatru w porywach  $\geq 11$  m/s w huraganowych typach cyrkulacji zarówno w skali kraju, jak i w typach cyrkulacji o zasięgu regionalnym. Udział procentowy liczonego w stosunku do ogólnej liczby dni pojawienia się danego typu cyrkulacji. Uwagę zwraca przede wszystkim dominujący udział huraganowego typu cyrkulacji NWC w skali całego kraju (13%), za wyjątkiem samego południa, gdzie przyrosty prędkości wiatru w porywach najczęściej związane są z typem cyrkulacji SWc – około 15% (Beskid Śląski – Bielsko-Biała). Drugim pod względem częstości, z dość wyrównanym udziałem pojawiania się dużych prędkości wiatru, jest typ cyrkulacji Wc – około 8%. Interesująco układa

się częstość występowania dużych prędkości wiatru w typie cyrkulacji Nc, z najmniejszym stopniem jego udziału w rejonach Polski północnej i południowej, a największym w środkowej części Polski.

Tab. 3. Procentowy udział pojawiania się prędkości wiatru w porywach  $\geq 11$  m/s w huraganowych typach cyrkulacji w ciągu roku

Typy cyrkulacji Stacje meteorologiczne	1 NWc	2 Wc	3 SWc	4 Nc	SUMA 1-4	NWo	SEc	Sc
Koszalin	15,5	8,3	5,7	3,2	32,7	5,9	3,3	1,8
Łeba	14,2	7,6	5,8	2,3	29,9	9,1	2,6	2,6
Suwałki	12,5	7,2	4,1	5,7	29,5	8,3	4,0	3,2
Gorzów Wlkp.	14,5	8,9	6,3	4,5	34,2	3,4	4,3	2,8
Wrocław	15,4	6,7	6,4	7,0	35,5	2,8	3,6	4,4
Łódź	15,1	7,6	5,5	5,7	33,9	3,4	4,6	3,0
Warszawa	13,6	9,2	3,4	8,9	35,1	5,3	4,0	2,4
Mława	14,5	6,9	4,2	6,4	32,0	6,8	4,0	2,4
Bielsko-Biała	6,8	9,6	14,8	2,3	33,5	0,6	4,6	9,0
Włodawa	11,9	7,4	3,6	6,4	29,3	5,9	5,0	3,4
Rzeszów	9,8	7,2	6,0	7,6	30,6	3,6	5,3	5,4
Średnia dla Polski	13,1	7,9	6,0	5,5	32,4	5,0	4,1	3,7

Wyróżniające się częstością występowania typy huraganowe cyrkulacji atmosfery NWc, Wc, SWc, Nc stanowią największe zagrożenie dla gospodarki i społeczeństwa kraju. Ich wspólny udział stanowi bowiem ponad 32 % zdarzeń. Dalsza analiza danych (w tym zebranych w odpowiednich tabelach, załączonych w pracy pt. *Maksymalne Prędkości Wiatru w Polsce*) wykazuje bardzo istotną cechę struktury wiatru w porywach, a mianowicie: podczas pojawienia się wiatru w porywach  $\geq 11$  m/s aż w 60-90% przypadków wiatr osiąga prędkość w porywach  $\geq 17$  m/s (odpowiednio w różnych częściach kraju). Najbardziej narażone na tej wielkości porywy wiatru są rejony wybrzeża Bałtyku oraz obszary górskie. W rejonach tych bowiem około 90% przypadków z wiatrem w porywach powyżej 11 m/s przekracza tą prędkość osiągając co najmniej 17 m/s.

Dla określenia przyczyn wzrostu prędkości wiatru w porywach nad Polską, w wyróżnionych typach cyrkulacji, dokonano obliczeń poziomego gradientu ciśnienia  $g = \Delta p / \Delta L$  (w hPa/km) dla około 420 sytuacji meteorologicznych, w których wystąpiły prędkości wiatru w porywach powyżej 11 m/s w okresie 1971-2005. Uzyskane wyniki takiej analizy zestawiono w tab. 4.

Tab. 4. Procentowy udział pojawiania się silnego wiatru porywistego w przyjętych klasach poziomego gradientu ciśnienia w huraganowych typach cyrkulacji

	Klasy gradientu ciśnienia w hPa/100km					Liczba przypadków
	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 3,0$	$\geq 4,0$	$\geq 5,0$	
%	52	32	8	5	3	420 (100%)

Analiza danych wykazuje, że impulsem do pojawienia się wiatru porywistego o prędkości  $> 11$  m/s jest, oprócz spadku ciśnienia w centrum przemieszczającego się ośrodka niżowego (lub rodziny niżów) nawet poniżej 970 hPa i wielokrotnie

frontu chłodnego lub okluzji, utworzenie się poziomego gradientu ciśnienia  $\geq 1,5$  hPa/100 km. Dla wiatru w porywach o prędkości  $\geq 17$  m/s wielkość gradientu ciśnienia wynosi powyżej 2,5 hPa/100 km. Tak więc prędkości wiatru w porywach powyżej 11 m/s nie pojawiają się przy poziomym gradiencie ciśnienia poniżej 1,5 hPa/100 km.

Na podkreślenie zasługują pewne właściwości w strukturze czasu trwania pojawiających się prędkości maksymalnych. Obserwowane są bowiem coraz częściej bardzo duże prędkości wiatru, występujące w cyklach wielogodzinnych lub nawet kilku dobowych z wszelkimi skutkami działania takiego wiatru. Skutki te, na co należy zwrócić uwagę, nie leżą jedynie po stronie przyczyn naturalnych, lecz także po stronie całej, szeroko pojętej, infrastruktury cywilizacyjnej. Jak wykazuje analiza danych w ciągu roku pojawia się nad środkową Polską około 11 kilkugodzinnych cykli huraganowych. Przeważnie cykl trwa około 6 godzin zanim przez obszar kraju „przewali” się taki układ cyklonalny, we wszystkich wyróżnionych typach cyrkulacji. W tab. 5 zestawiono najdłużej trwające cykle porywowe w okresie 1991-2005.

Tab. 5. Maksymalne czasy trwania cykli huraganowych z wiatrem  $\geq 17$  m/s i typy cyrkulacji w których wystąpiły w okresie 1991-2005

Miesiące	I	II	III	IV
----------	---	----	-----	----

Miesiące	V	VI	VII	VIII
----------	---	----	-----	------

Miesiące	IX	X	XI	XII
----------	----	---	----	-----

Jak można zauważyć na podstawie przytoczonych w tab. 5 danych najdłużej trwające cykle huraganowe wiatru, o prędkościach co najmniej 17 m/s, w około 80% związane są z wystąpieniem typu cyrkulacji NWc. Jak wykazała dalsza analiza danych w typach cyrkulacji wyróżnionych jako huraganowe, a szczególnie w typie cyrkulacji NWc, mogą wystąpić w ciągu roku nawet dwa cykle silnego wiatru porywistego o czasie trwania powyżej 24 godzin. Najdłużej trwający cykl huraganowy w okresie 1991-2005 utrzymywał się przez 192 godziny (8 dni) i był związany z typem cyrkulacji NWc.

Jeśli w przemieszczających się przez obszar Europy Zachodniej, południowej Skandynawii lub Bałtyku ośrodkach niżowych ciśnienie spada poniżej 970 hPa,

a gradient poziomy ciśnienia przekracza 4 hPa/100 km, to przyrosty prędkości wiatru w porywach przekraczają 33 m/s – klasa VI (huragan-orkan) według przyjętej skali (tab. 2). Tego typu cyklonom niemieccy meteorolodzy zaczęli nadawać imiona podobnie, jak w przypadkach cyklonów tropikalnych.

Do najbardziej niszczycielskich cyklonów huraganowych po roku 2005, które przywędrowały w nasze szerokości geograficzne, i w których prędkości wiatru okresowo przekraczały 30-35 m/s na obszarze Polski (dla niektórych cyklonów udało się ustalić ich imiona), zaliczono:

- 1-2 listopada 2006 r. – BRITTA – w typie cyrkulacji Nc,
- 17-19 stycznia 2007 r. – CYRYL – w typie cyrkulacji NWc/Wc,
- 1-2 marca 2008 r. – EMMA – w typie cyrkulacji Wc/NWc,
- 9-10 marca 2009 r. – w typie cyrkulacji Wc/NWc,
- 22-23 marzec 2009 r. – w typie cyrkulacji NWc,
- 14-16 października 2009 r. – w typie cyrkulacji NWo/NWc,
- 10-12 listopada 2010 r. – CARMEN – w typie cyrkulacji.

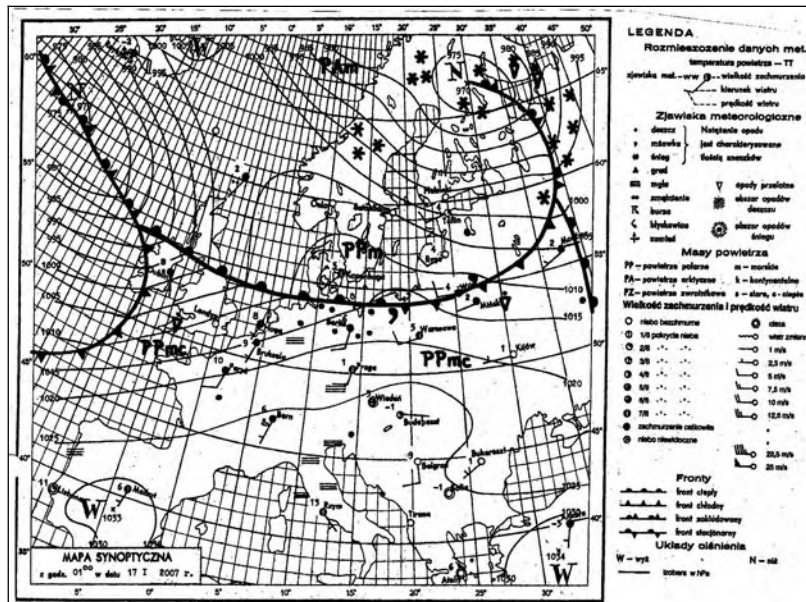
#### **4.2. Rekordy prędkości wiatru i ich geneza**

Najwyższą zarejestrowaną prędkością wiatru w Polsce (bez Śnieżki i Kasprowego Wierchu, gdzie prędkości przekraczają 40, a nawet 60 m/s), w 35-leciu 1971-2005, była prędkość wiatru w porywie 48 m/s – 6 listopada 1985 r. w Bielsku-Białej w typie cyrkulacji SWc. Poniżej przytoczono pozostałe, zaobserwowane przez stacje synoptyczne sieci IMGW, największe prędkości wiatru w porywie z okresu 1971-2005:

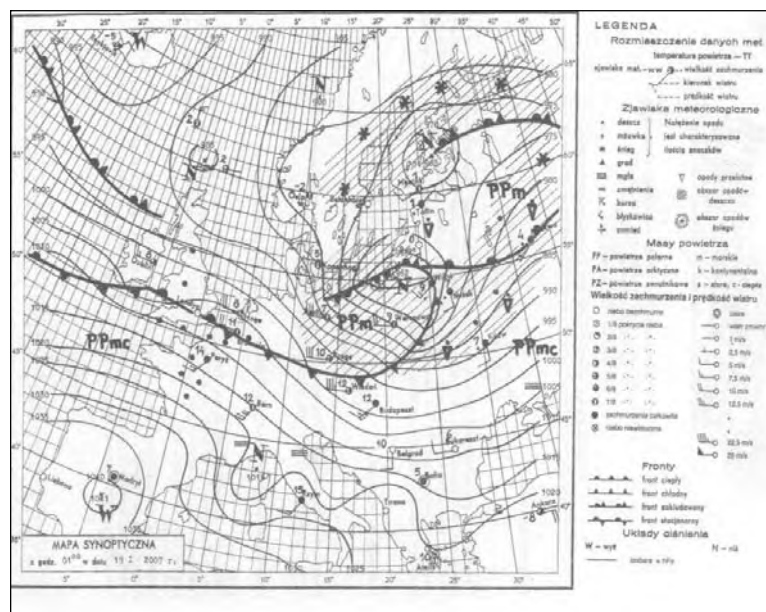
- Zakopane 47 m/s, 1 grudnia 1976 r., w typie cyrkulacji SWc,
- Kalisz 46 m/s, 21 października 1986 r., w typie cyrkulacji Wc,
- Łeba 44 m/s, 8 lutego 1990 r., w typie cyrkulacji Wc,
- Hel 41 m/s, 4 grudnia 1999 r., w typie cyrkulacji NWc,
- Warszawa 40 m/s, 14 czerwca 1979 r., w typie cyrkulacji SWc.
- Mława 39 m/s, 13 listopada 1972 r., w typie cyrkulacji Wc.

Jak wykazuje analiza map synoptycznych służb meteorologicznych polskich, angielskich i niemieckich oraz analiza zdjęć satelitarnych udostępnionych dla celów tej pracy przez Ośrodek Teledetekcji Satelitarnej IMGW geneza cyklonów, w których prędkości wiatru w naszych szerokościach geograficznych przekraczają 33 m/s jest jednak bardziej skomplikowana, niż znana cyklogeneza islandzkich ośrodków niżowych. Otóż te, przemieszczające się nad obszar Europy i Polski, bardzo głębokie ośrodki niżowe tworzą się aż w rejonie wschodnich wybrzeży Ameryki Północnej (rejon Nowej Finlandii), a następnie pokonują cały Atlantyk, uaktywniając się nad jego zróżnicowanymi pod względem temperatury wodami. Wkraczając nad obszar Europy, której „szorstkość” powinna wyciszać taki układ napotykają na dużą blokadę wyżową nad zachodnią Rosją – w przypadku typu cyrkulacji NWc – bądź w rejonie Europy południowej – w przypadku typu cyrkulacji Wc. Wówczas między centrami tych ośrodków poziomy gradient ciśnienia może przekroczyć nawet 4 hPa/100 km, a nad obszarem Polski różnica ciśnienia

może osiągnąć 32-34 hPa. Poniżej przytoczono szczegółowe obrazy pól meteorologicznych na mapach dolnych, w szczytowej fazie rozwoju cyklonu CYRYL, w typie cyrkulacji NWc /Wc.

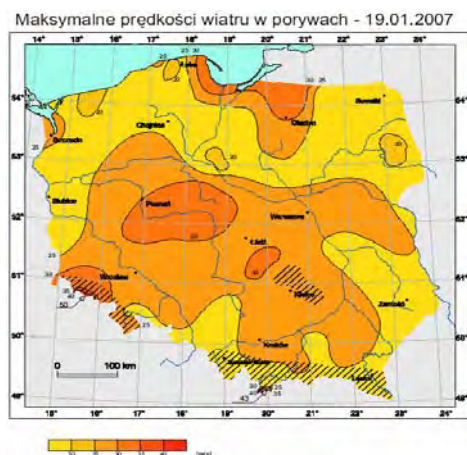


Rys. 1. Mapa synoptyczna Europy w dniu 17.01.2007 r. (źródło: *Codzienny Biuletyn Meteorologiczny IMGW*)



Rys. 2. Mapa synoptyczna Europy w dniu 19.01.2007 r. (źródło: *codzienny Biuletyn Meteorologiczny IMGW*)

Rozkład prędkości wiatru na obszarze Polski, podczas trwania cyklonu CYRYL w dniu 19 stycznia 2007 r. przedstawiono na rys. 3. Na mapie tej wykazano także prędkości wiatru w porywach w szczytowych partiach Karkonoszy i Tatr.



Rys. 3. Maksymalne prędkości wiatru w Polsce podczas trwania cyklonu CYRYL w dniu 19.01.2007 r.



Rys. 4. Sytuacja meteorologiczna w Europie podczas trwania cyklonu CYRYL w dniu 19.01.2007 r.

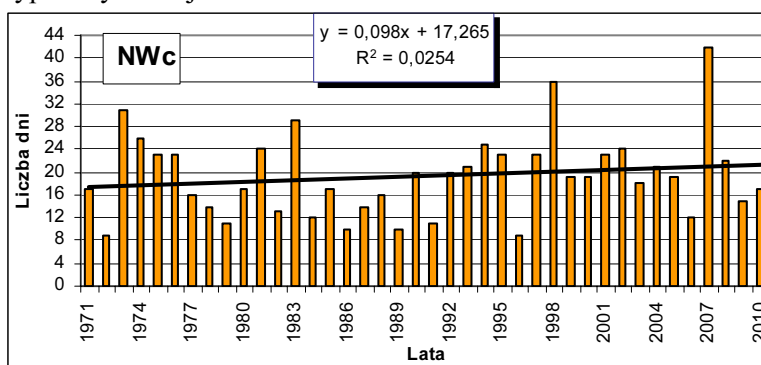
Prędkości wiatru na Śnieżce – 50 m/s i na Kasprowym Wierchu – 43 m/s, potwierdzają hipotezę o zejściu w niższe warstwy troposfery południowej odnogi jet-streamu stratosferycznego. Prowadzone w początkach lat 60. i 70. badania Budziszewskiej i Horawskiej-Morawskiej oraz badania aktualne wykazały, że tego typu zjawisko zdarza się przy bardzo głębokich ośrodkach niskiego ciśnienia i dużym, poziomym gradiencie ciśnienia między centrami tych ośrodków, a blokującym ich ruch wyżej nad północno-zachodnią Rosją. Wyniki badań Budziszewskiej nad zależnością między częstością występowaniem niskotroposferycznych prądów strumieniowych, a sytuacjami synoptycznymi nad Polską wykazały, że „w 50% strugi silnych wiatrów występowały w odległości 100 do 600 km przed frontem ciepłym lub okluzji, w około 15% w odległości 100 do 300 km za frontem chłodnym i w około 35% przypadków te silne strugi występowały na skraju rozległego, blokującego układu wyżowego”.

#### 4.3. Tendencje i trendy czasowe częstości pojawiania się huraganowych typów cyrkulacji

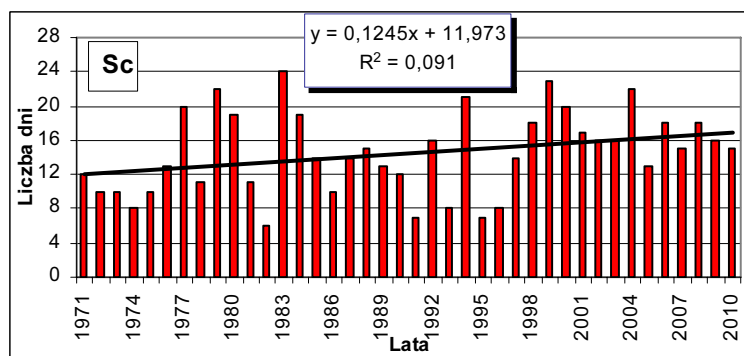
Aby upewnić się jakich należy oczekiwać w najbliższej przyszłości tendencji zachowania się układów cyrkulacji atmosfery nad Polską, z którymi jest związane występowanie huraganowych prędkości wiatru, obliczono trendy czasowe częstości pojawiania się wyróżnionych, huraganowych typów cyrkulacji w okresie 1971-2010. Uwzględniony w analizach okres podstawowy wydłużono jeszcze o 5 lat do roku 2010. Zabieg ten zastosowano z uwagi na możliwość wykorzystania danych

do obliczeń statystycznych, a także na obserwowaną, wzmożoną częstość pojawiania się w tym okresie maksymalnych prędkości wiatru, co może wpłynąć na kierunki trendów częstości pojawiania się ich w analizowanych typach cyrkulacji.

Na rys. 5 i 6 zilustrowano przykładowe przebiegi wieloletnie częstości występowania typów cyrkulacji NWc i Sc.



Rys. 5. Wieloletnia zmienność typu cyrkulacji atmosfery NWc



Rys. 6. Wieloletnia zmienność typu cyrkulacji Sc

Dla pozostałych typów cyrkulacji równania trendów uzyskują następujące parametry statystyczne:

Typ cyrkulacji	równanie regresji
Nc	$y = -0,0129x + 15,515$
NWc	$y = 0,098x + 17,265$
Wc	$y = 0,0287x + 12,262$
SWc	$y = -0,0165x + 19,838$
NW0	$y = -0,0253x + 13,969$
SEc	$y = -0,0237x + 9,2115$
Sc	$y = 0,1245x + 11,973$ – istotny statystycznie na poziomie $\alpha=0,05$ .

Jedynie typ cyrkulacji Sc wykazuje tendencję wzrostową istotną statystycznie na poziomie  $\alpha=0,05$ .

#### Hipoteza robocza

Częstość pojawiania się wyróżnionych, huraganowych typów cyrkulacji powinna utrzymać się w najbliższej przyszłości na niezmiennym w stosunku do obecnego poziomie, natomiast wyraźnie zaznaczają się wydłużające czasy trwania cykli maksymalnych prędkości wiatru w tych typach cyrkulacji oraz wzrastająca skala zniszczeń. Istotny statystycznie trend rosnący częstości pojawiania się typu cyrkulacji Sc wykazuje uaktywnienie się udziału typów cyrkulacji ze składową południową. Wpływ tego typu cyrkulacji na warunki pogodowe w Polsce objawia się dwójako: powoduje przede wszystkim tworzenie się fenowych sytuacji meteorologicznych, powodujących przyrosty prędkości wiatru w obszarach górskich oraz wzrost częstości pojawiania się w południowej części kraju ośrodków niżowych wędrujących znad Niziny Padańskiej torem Vb Van Bebbera. Jak wiemy te właśnie ośrodki niżowe powodują występowanie opadów o dużej intensywności w dorzeczu górnej Odry i Wisły, wielokrotnie wywołujących powódź. Dochodzi tu bowiem do „naślizgu” ciepłego i wilgotnego powietrza zwrotnikowego z południa na chłodne, wilgotne powietrze polarno-morskie napływające z północy.

Dodatkowym czynnikiem dynamicznym jest deformacja przepływu powietrza nad górami, które wymuszają ruch wstępujący mas napływających z południa, jego adiabatyczne ochładzanie i kondensację zawartej w nim pary wodnej, co w konsekwencji doprowadza do utworzenia się chmur orograficznych powodujących wzrost intensywności opadów. Prawdopodobna jest również hipoteza, że południowy kierunek cyrkulacji, sprzyjający napływowi zwrotnikowych, ciepłych mas powietrza, po ich przejściu przez „korytarz” Bramy Morawskiej stwarza impuls do formowania się układów chmurowych, których rozwój pionowy sprzyja tworzeniu się frontów szkwałowych z trąbami powietrznymi.

#### **4.4. Prawdopodobieństwo występowania maksymalnych prędkości wiatru w porywach**

Prawdopodobieństwo występowania maksymalnych prędkości wiatru na obszarze Polski określono na podstawie 35-letnich serii danych (1971-2005) dla 39 uwzględnionych stacji meteorologicznych, przy zastosowaniu teoretycznego rozkładu Gumela I typu max. Rozkład ten został wielokrotnie przetestowany wykazując, że najdokładniej aproksymuje rozkład empiryczny występowania maksymalnych prędkości wiatru w porywach. Tab. 6 zawiera odpowiednie statystyki, przy czym maksymalne prędkości wiatru przedstawiają prędkości wiatru „sprowadzone” z różnych wysokości wiatromierzy i klasy szorstkości terenu wokół danej stacji meteorologicznej do wysokości 10 m n.p.g. i terenu otwartego, przez co materiał staje się jednorodny (metody przeliczania znajdują się w publikacji H. Lorenc, 1996). W ten bowiem jedynie sposób można przestrzennie porównywać parametry prędkości wiatru, a przyjęte kryterium pozwala analizować zjawisko w stosunku do porównywalnego poziomu odniesienia. Podstawą dalszych analiz i map są parametry statystyczne zestawione w tab. 6.



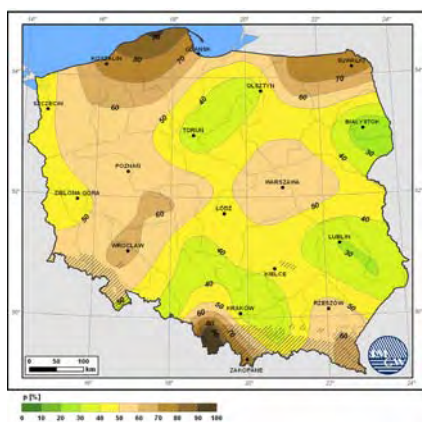
Tab. 6. Maksymalne prędkości wiatru w porywach (m/s) na wysokości 10 m n.p.g. w terenie otwartym, o określonym prawdopodobieństwo występowania

Lp	Stacja	( 1971-2005 ) Gumbel Typ I Max							
		Maksymalna prędkość wiatru w porywie o prawdopodobieństwie:							
		0,1%	1%	5%	10%	25%	50%	90%	99,9%
		(T=1000)	(T=100)	(T=20)	(T=10)	(T=4)	(T=2)	(T=1,1)	(T=1)
1	BIALYSTOK	43,6	35,6	30,0	27,4	24,0	20,9	16,7	12,9
2	BIELSKO - BIAŁA	61,1	51,3	44,3	41,3	37,0	33,3	28,1	23,5
3	CHOJNICE	50,9	42,3	36,2	33,6	29,8	26,5	22,1	18,0
4	ELBLĄG	44,7	37,2	31,8	29,4	26,1	23,2	19,3	15,7
5	GORZÓW WLKP	52,1	43,1	36,8	34,0	30,1	26,7	22,0	17,7
6	HEL	57,1	46,7	39,4	36,1	31,6	27,6	22,2	17,3
7	JELEŃ GÓRA	46,2	39,0	33,8	31,6	28,4	25,6	21,8	18,4
8	KALISZ	54,0	44,2	37,3	34,3	30,0	26,3	21,2	16,6
9	KĘTRZYN	47,3	40,2	35,2	33,0	30,0	27,3	23,6	20,2
10	KIELCE	47,7	39,4	33,5	30,9	27,3	24,1	19,7	15,8
11	KOŁO	54,0	44,0	36,8	33,7	29,3	25,5	20,3	15,5
12	KOSZALIN	47,6	40,4	35,4	33,1	30,0	27,3	23,5	20,1
13	KOZIENICE *	48,0	39,6	33,7	31,1	27,4	24,2	19,9	15,9
14	KRAKÓW	44,9	37,1	31,7	29,3	25,9	23,0	19,0	15,3
15	LESKO	47,5	40,0	34,7	32,3	29,1	26,2	22,3	18,7
16	LESZNO	47,8	39,9	34,4	31,9	28,5	25,5	21,4	17,7
17	LUBLIN	43,6	36,2	31,0	28,7	25,5	22,7	18,8	15,3
18	ŁEBA	58,1	48,4	41,6	38,6	34,4	30,7	25,6	21,0
19	ŁÓDŹ	47,5	39,4	33,7	31,1	27,6	24,5	20,3	16,4
20	MŁAWA	51,5	42,0	35,3	32,3	28,2	24,6	19,6	15,1
21	NOWY SĄCZ	45,9	38,0	32,3	29,8	26,4	23,3	19,2	15,4
22	OLSZTYN	49,7	40,5	34,0	31,1	27,1	23,6	18,9	14,5
23	PIŁA	50,3	41,4	35,2	32,4	28,6	25,2	20,6	16,4
24	PŁOCK	48,8	40,3	34,3	31,6	27,9	24,6	20,2	16,1
25	POZNAŃ	45,6	38,6	33,7	31,6	28,6	25,9	22,3	19,0
26	RACIBÓRZ	51,7	41,5	34,2	31,0	26,6	22,7	17,4	12,5
27	RZESZÓW	50,3	41,6	35,5	32,8	29,0	25,7	21,2	17,1
28	SIEDLCE	51,2	42,1	35,7	32,9	29,0	25,5	20,8	16,5
29	SULEJÓW	50,0	41,1	34,8	32,0	28,1	24,7	20,1	15,9
30	SUWAŁKI	49,9	42,1	36,6	34,1	30,7	27,8	23,7	20,0
31	ŚWINOUJŚCIE	52,6	42,3	35,1	31,9	27,4	23,5	18,1	13,2
32	TORUŃ	45,5	37,5	31,9	29,4	25,9	22,9	18,7	14,9
33	WARSZAWA	49,0	41,1	35,6	33,1	29,7	26,7	22,6	18,9
34	WIELUŃ	46,5	38,3	32,5	29,9	26,3	23,2	18,9	15,0
35	WŁODAWA	48,0	39,6	33,6	30,9	27,3	24,0	19,6	15,6
36	WROCŁAW	49,6	41,4	35,7	33,1	29,6	26,5	22,2	18,3
37	ZAKOPANE	63,0	51,0	42,5	38,8	33,6	29,0	22,8	17,1
38	ZAMOŚĆ **	40,9	34,6	30,1	28,2	25,4	23,0	19,7	16,7
39	ZIELONA GÓRA	43,5	36,8	32,1	30,0	27,1	24,5	21,1	17,9

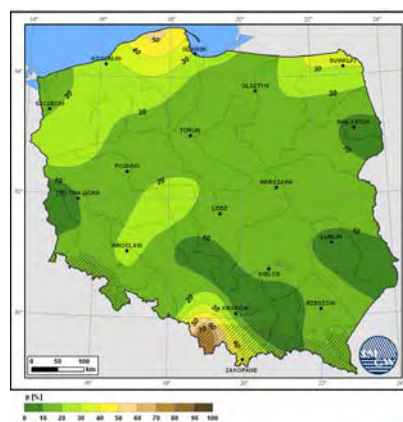
\* obliczenia na podstawie danych z lat 1976-2005

\*\* obliczenia na podstawie danych z lat 1971-2000

Dla wybranych, charakterystycznych wielkości parametrów wiatru wykreślono mapy przestrzennego zróżnicowania i zmienności zarówno maksymalnych prędkości wiatru o zadanym prawdopodobieństwie występowania, jak i prawdopodobieństwo występowania zadanych maksymalnych prędkości wiatru. Wybrane mapy załączono na rys. 7-10. Obrazują one roczne (obliczone rozkładem Gumela I typu max) prawdopodobieństwo przewyższenia maksymalnych rocznych prędkości wiatru w porywach powyżej 25, 30, 35 i 40 m/s, które mogą powodować zniszczenia wykazane w tab. 2.



Rys. 7. Roczne prawdopodobieństwo przewyższenia maksymalnych rocznych prędkości wiatru w porywach powyżej 25 m/s, bez obszarów górskich



Rys. 8. Roczne prawdopodobieństwo przewyższenia maksymalnych rocznych prędkości wiatru w porywach powyżej 30 m/s, bez obszarów górskich



Rys. 9. Roczne prawdopodobieństwo przewyższenia maksymalnych rocznych prędkości wiatru w porywach powyżej 35 m/s, bez obszarów górskich



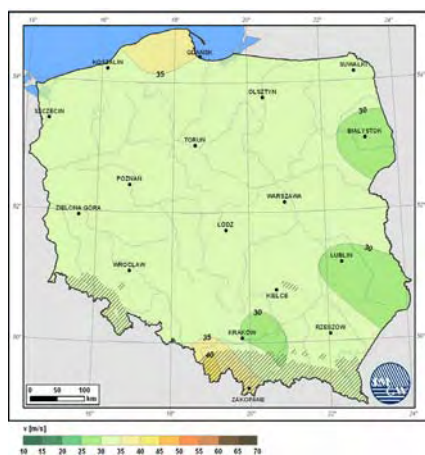
Rys. 10. Roczne prawdopodobieństwo przewyższenia maksymalnych rocznych prędkości wiatru w porywach powyżej 40 m/s, bez obszarów górskich

Z kolei rys. 11-14 ilustrują maksymalne prędkości wiatru w porywach (m/s) o rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia 10, 50, 90 i 99,9%

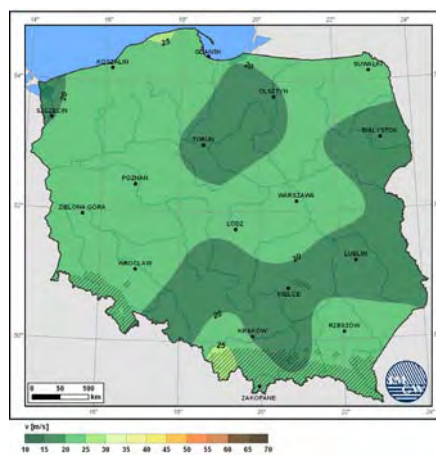
Analiza map oraz materiału statystycznego dowodzi i dokumentuje, że ogólnie wyróżniającymi się rejonami kraju o największym rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia maksymalnych prędkości wiatru w porywach, związanych z ogólną cyrkulacją atmosfery, są przede wszystkim:

- wschodnia część Pobrzeża Słowińskiego od Koszalina po Rozewie i Hel oraz rejon północno-wschodniej części Pojezierza Mazurskiego, szczególnie Suwalszczyzna,
- rejon Beskidu Śląskiego, Beskidu Żywieckiego, Pogórza Śląskiego, Beskidu Małego, Gorców oraz Bieszczadów,

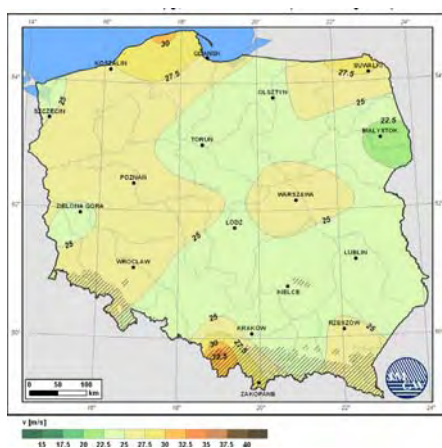
- proporcjonalnie wysokim prawdopodobieństwem charakteryzuje się pod tym względem również obszar Mazowsza,
- brak stacji synoptycznych w rejonie Pogórza Sudeckiego uniemożliwia udokumentowania, że obszar ten jest również objęty dużym prawdopodobieństwem pojawiania się (porównywalnym do rejonu Beskidów i Podhala) maksymalnych prędkości wiatru. Świadczą o tym obserwacje prędkości wiatru prowadzone w Obserwatorium Wysokogórskim na Śnieżce, kwalifikując je do największych prędkości wiatru występujących w Polsce związanych z ogólną cyrkulacją atmosfery.



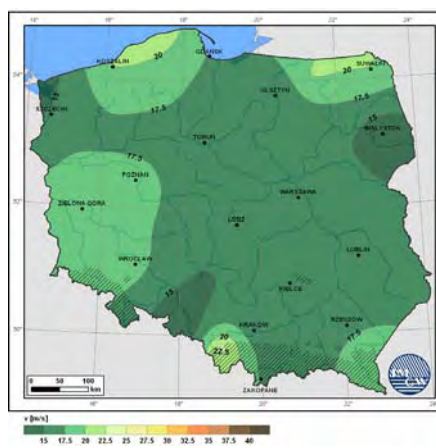
Rys. 11. Maksymalne prędkości wiatru w porywach (m/s) o rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia 10%, bez obszarów górskich



Rys. 12. Maksymalne prędkości wiatru w porywach (m/s) o rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia 50%, bez obszarów górskich



Rys. 13. Maksymalne prędkości wiatru w porywach (m/s) o rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia 90%, bez obszarów górskich



Rys. 14. Maksymalne prędkości wiatru w porywach (m/s) o rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia 99,9%, bez obszarów górskich



Rys. 15. Przykład skutków wystąpienia wiatru o prędkościach powyżej 30 m/s w dniu 14-16 października 2009 r. – rejon Zatoki Gdańskiej (źródło: IMGW-PIB Gdynia)

Prędkości wiatru w porywach powyżej 40 m/s z większym prawdopodobieństwem występują w rejonie Beskidów i Podhala, niż w rejonie wybrzeża (do przesłedzenia mapy), czego przyczyną może być wspomaganie przyrostów prędkości wiatru w obszarach Pogórzy przez wiatr halny, jak też przypadki związane z utworzeniem się odgałężenia prądu strumieniowego, obniżającego się w tych rejonach do górnej granicy troposfery i wzmagając przyrosty prędkości wiatru. Prędkości wiatru powyżej  $\geq 17$  m/s w porywach pojawiają się na większości obszaru Polski co roku (prawdopodobieństwo  $\geq 99\%$ ).

Uzyskane parametry statystyczne, dla 10-procentowego prawdopodobieństwa występowania maksymalnych prędkości wiatru w porywach, pokrywają się w dużej mierze z rzeczywistymi, największymi prędkościami wiatru w porywach.

**Maksymalne prędkości wiatru podczas występowania wiatru halnego**

Oceniono [Kwiatkowski 1975, Orlicz 1962, Ustrnul 1992, 1996], że w szczytowych partiach Tatr prędkości wiatru halnego mogą osiągać prędkość nawet do 51 m/s co najmniej raz w roku, a prędkość 60-70 m/s – co 5 lat, natomiast w Sudetach od 50-60 m/s do 70 m/s. Niszcząca siła wiatru halnego wynika z nałożenia się na jego prędkość dodatkowych składowych, mających związek z silnie zróżnicowanym podłożem, dynamiką ogólnej cyrkulacji atmosfery, zejściem w warstwy troposfery południowej gałęzi prądu strumieniowego. Wiatr halny w Tatrach występuje kilkadziesiąt razy w roku, głównie w półroczu chłodnym.

Liczba dni z wiatrem halnym w rejonie Tatr wynosi 106 dni w roku, a w rejonie Karkonoszy – 128 dni [Kwiatkowski 1975, Ustrnul 1992, 1996].

**Trąby powietrzne i szkwały**

Szkwaly i trąby powietrzne w Polsce powstają zazwyczaj przed frontem chłodnym w strefie frontu szkwałowego, w masie ustępującego, dynamicznie spiętrzonego, bardzo ciepłego i wilgotnego powietrza, w której utrzymuje się silna konwekcja i dochodzi do powstania gwałtownych burz, nawałnic, szkwałów i trąb powietrznych. Obserwacje wykazują, że przed utworzeniem się takiej sytuacji nad obszarem naszego kraju zalega przez dłuższy czas (3-5 dni) słabogradientowy obszar podwyższonego ciśnienia z piękną, słoneczną, upalną pogodą i napływającym od południa lub południowego wschodu bardzo gorącym powietrzem zwrotniko-

wym; temperatura maksymalna przekracza wówczas nawet 30°C. Nad tak „nagrzany” obszar Polski zaczyna w końcu napływać za frontem chłodnym powietrze polarno-morskie, chłodniejsze o kilkanaście stopni. Nie zawsze przejście frontu chłodnego wiąże się z procesem formowania trąb powietrznych, czy silnego wiatru szkwałowego. Zwykle w sytuacji takiej tworzą się w naszym klimacie burze z wyładowaniami elektrycznymi i czasami gradem.



Rys. 16. Przykład zniszczeń powstałych w wyniku działania wiatru halnego w Masywie Kalamita - Tatry Słowackie – 19 listopada 2004 r (źródło: <http://www.tanap.org/kalamita.php>)

Aby utworzyła się trąba powietrzna różnica temperatury tych mas, jak wykazuje analiza przypadków trąb powietrznych w Polsce, musi wynosić co najmniej 10-12°C, a w przypadkach skrajnych nawet 18°C. W wypychanym przez front gorącym, spiętrzonym dynamicznie powietrzu tworzą się wysoko rozbudowane, nawet do 12-14 km, chmury burzowe Cumulonimbus (Cb) z silnie rozwiniętymi pionowymi i poziomymi prądami i zawirowaniami. W takich właśnie warunkach mogą tworzyć się fronty szkwałowe z intensywnymi burzami, błyskawicami, gradobiciem, przyrostami prędkości wiatru i trąbami powietrznymi. W obu tych zjawiskach prędkości wiatru są niszczycielskie – wynoszą ponad 30 m/s, a w wirach trąb powietrznych w warunkach naszego klimatu – nawet 120 m/s.

Zjawisko szkwału określa się jako „nagły, krótkotrwały wzrost prędkości wiatru, często połączony ze zmianą jego kierunku”. Najczęściej powstaje przed frontem chłodnym, a jego zwiastunem jest ciemna, silnie rozbudowana, postrzępiona od dołu chmura Cb. Szkwał tworzy się w efekcie zetknięcia opadającego chłodnego powietrza w tylnej strefie generującej go chmury Cb z powierzchnią ziemi. Zjawisku może towarzyszyć silny opad i burza. Jest bardzo groźny dla lotnictwa ze względu na gwałtowny uskok wiatru.

Wielokrotnie szkwały mylnie identyfikowane są jako trąby powietrzne, bowiem trudno te dwa zjawiska, podczas ich występowania, odróżnić. Skutki działania szkwału można ocenić dopiero po jego przejściu. Wskazuje na to jednakowy kierunek padania połamanych lub powyrywanych drzew na obszarze działania nawałnicy oraz duża powierzchnia zniszczeń. Przykładem może być Puszcza Pi-

ska, nad którą w dniu 4.07.2002 r. wystąpił i wiatr szkwałowy i trąba powietrzna Puszcza została kompletnie zdewastowana na obszarze około 45 tys. ha (rys. 17).



Rys. 17. Puszcza Piska po przejściu szkwału 4.07.2002 r. (Fot.: Roman Skapski, IMGW-PIB)

Trąby powietrzne występujące w naszych szerokościach geograficznych, ze względu na warunki w których powstają, można podzielić na dwie główne grupy związane z ich tworzeniem się:

- i) w strefach frontów szkwałowych,
- ii) związane z superkomórą (mezocyklon).

Trąba powietrzna (i) jest silnym wirem powietrza o niewielkiej średnicy – od kilku do kilkuset metrów – i pionowej lub skośnej osi obrotu względem powierzchni Ziemi. Wyrasta zwykle w przedniej części chmury burzowej Cumulonimbus (Cb) w postaci „zwisającego rękawa” lub „leja” skierowanego ku powierzchni ziemi. Lej ten obniża się stopniowo, osiągając nieraz powierzchnię gruntu. W tym właśnie leju powstaje wiatr o ogromnej prędkości 50 do 100 m/s (nieraz większej). Pod wpływem tak wielkich prędkości wiatru rozwija się siła odśrodkowa, na skutek której masy powietrza rozplywają się na boki, natomiast w środku wiru ciśnienie znacznie spada w stosunku do otoczenia – o kilkadziesiąt, a nawet 100 hPa. W tym stadium rozwoju trąby powietrznej wir tworzy już ciemny słup jakby podtrzymujący chmurę, porywa tumany pyłu, piasku, a znajdujące się na jego drodze przedmioty „zasysa” i spiralnym ruchem unosi do góry. Na intensywność wystąpienia trąby mogą też mieć wpływ niektóre elementy fizjograficzne terenu oraz kontrastowo zróżnicowane, sąsiadujące z sobą podłoże (lasy, pola, obszary piaszczyste i podmokłe, zabudowania i tereny otwarte poprzecinane drogami asfaltowymi, itp.). Mechanizm powstania trąby powietrznej nie jest jeszcze do końca poznany.

Charakterystyczny dla trąb powietrznych jest wąski pas zniszczeń, odpowiadający w przybliżeniu rozmiarom średnicy wiru, zazwyczaj około 200-1000 m, modyfikowany konfiguracją terenu. Największe zniszczenia występują w strefie zwiększonej wirowości strug powietrza, a także w przewężeniach terenowych oraz urbanistycznych. Intensywność trąb powietrznych nie jest jednakowa.

Szczególnym przypadkiem wystąpienia trąby powietrznej jest utworzenie się jej jako superkomórki (ii). Zjawisko to jest generowane przez chmurę lub częściej zbitek chmur Cumulonimbus (Cb), tworzących superkomórkę z wewnętrzną strukturą cyrkulacji – nazwaną mezocyklonem. Można ją rozpoznać w zasadzie jako *Cumulonimbus capillatus* – gęsta chmurę w kształcie wieży z silnie wypiętronym kowadłem. Zazwyczaj jest zasilana „atlantycką gałęzią prądu strumieniowego, która zlewa się ze zwrotnikowym prądem strumieniowym i wyciągnięta na północny-wschód pompuje nad Europę gorące i wilgotne powietrze zwrotnikowe”. Jak wykazują wielokierunkowe badania obszarem ich rodzenia się jest zawietrzna strona Bramy Morawskiej – rejon Opola.

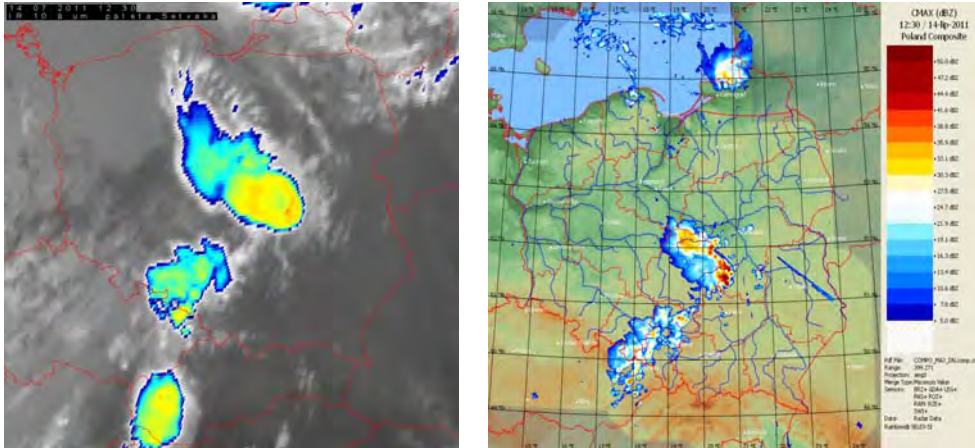
Wysoco prawdopodobną przyczyną „formowania” się ich w tym rejonie może być sytuacja, gdy przy cyrkulacji powietrza z S, SW, SE transport wilgotnego i ciepłego powietrza, przemieszczającego się z południa Europy na północ, utrudniają łańcuchy górskie Sudetów i Karpat. Masy powietrza znajdują „lukę” w zwartych masywach górskich i „opływają” je poprzez obniżenia Bramy Morawskiej, Przełęczy Międzyleskiej i Beskidu Niskiego. I tu, po zawietrznej stronie gór, rozpoczyna się cyklogeneza „w cieniu Bramy Morawskiej”. Komórki te, już w stadiach ich maksymalnego rozwoju, jako samodzielne mezocyklony wędrują dalej na NE i E, niszcząc i dewastując wszystko co napotkają po drodze.

Parametry prędkości trąb powietrznych:

- prędkość przemieszczania 30-45 km/h,
- prędkość wiatru w wirze 50-120 m/s,
- czas trwania nad danym miejscem – kilka sekund do kilku minut, po czym trąba nagle znika i „rozpływa” się bez śladu.

Ostatnim obserwowanym przypadkiem działania takich superkomórek są trąby powietrzne z 14 lipca 2011 r, które w postaci dobrze rozwiniętych komórek konwekcyjnych w rejonie Brna w Czechach przedostały się przez Bramę Morawską nad obszar Polski, zagnieżdżając się po jej zawietrznej stronie. Superkomórki wraz z trąbami powietrznymi wędrowały dalej przez południowe Mazowsze i okolice Łodzi – powiat przysuski, białobrzegi, radomski i opoczyński. Na swoim szlaku dewastowały w rejonie Opoczna linie energetyczne, zniszczyły około 200 zabudowań, wyrzywały drzewa z korzeniami lub łamały je, pustoszyły szklarnie. Załączone zdjęcie satelitarne z Ośrodka Teledetekcji Satelitarnej IMGW w Krakowie oraz obraz radarowy z Centrum Radarowego IMGW (rys. 18) jednoznacznie identyfikują tworzenie się i szlak przemieszczania trzech olbrzymich superkomórek: z rejonu Brna, poprzez Bramę Morawską, nad obszar centralnej części Polski. Zjawiska te można zatem prognozować.

Trąby powietrzne występują na obszarze kraju od czerwca do sierpnia (najczęściej w sierpniu) w godzinach okołopołudniowych. Na podstawie prowadzonego monitoringu medialnego w okresie 1998-2010 ustalono, że zdarzają się średnio około 6 razy w roku, przy czym w ostatnich 3 latach ich częstość wzrosła do 7-20 w roku.



Rys. 18. Superkomórki w dniu 14 lipca 2011 r. – godz. 12.30 UTC

Wyniki prowadzonego monitoringu trąb powietrznych również wskazują, że najczęściej zjawiska te lokalizują się w rejonie Wyżyny Małopolskiej i Lubelskiej, sięgając szerokim pasem o kierunku SW-NE przez obszar Wyżyny Kutnowskiej, Mazowsza aż po Podlasie i Pojezierze Mazurskie.



Rys. 19. Przemieszczająca się trąba powietrzna z m. Kotulina w kierunku Błotnicy Strzeleckiej 15 sierpnia 2008 r., widok z m. Warmatówice (fot. Z. Czaja, Energia Pro-Opole)

Analiza czasowych trendów częstości występowania huraganowych typów cyrkulacji wskazują, że może nastąpić wzrost częstości występowania maksymalnych prędkości wiatru w typie cyrkulacji Sc w obszarach górskich i podgórskich. Może to również wskazywać, że nastąpi wzrost frekwencji pojawiania się ośrodków niżowych wędrujących z nad Niziny Padańskiej torem Vb Van Bebbera nad obszar Polski. Z tymi ośrodkami niżowymi związane jest zazwyczaj występowanie intensywnych „opadów powodziowych” w dorzeczu Górnej Odry i Wisły. Południowy kierunek cyrkulacji sprzyja również napływowi zwrotnikowych, ciepłych mas powietrza, które po przejściu przez „korytarz” Bramy Morawskiej, po jej za-



wietrznej stykają się z napływającymi z kierunków północnych chłodnymi masami powietrza, co sprzyja formowaniu się konwekcyjnych układów chmurowych i doprowadza, w tej bardzo chwiejnej masie powietrza, do tworzenia się frontów szkwałowych z trąbami powietrznymi.



Autostrada A4 – nogowczycki węzeł



Sieroniowice



Fragment lasu przy A4

Rys. 20. Przykłady zniszczeń poczynionych przez trąbę powietrzną (superkomórkę) w dniu 15 sierpnia 2008 r. (wykorzystano zdjęcia zamieszczone w pracy G. Beblot i in. 2010)



Rys. 21. Trąby powietrzne i szkwały w POLSCE (1998–2010)

## 5. Główne wyniki badań

- a. Do określenia ekstremalnego zjawiska meteorologicznego, w tym maksymalnych prędkości wiatru niosących zagrożenie w warunkach klimatu Polski, przyjęto uzyskaną w sposób empiryczny jego wartość krytyczną lub odpowiednio uzasadnioną wielkość statystyczną, po której przekroczeniu widoczne są skutki niszczycielskie danego zjawiska – zagrażające ludności i całej infrastrukturze obszaru dotkniętego zasięgiem tego zjawiska lub zespołu zjawisk.
- b. Ze względu na specyficzną strukturę wiatru za wartość krytyczną prędkości wiatru w porywie przyjęto, uzyskane empirycznie, 11 m/s, natomiast za dolne ograniczenie maksymalnej prędkości wiatru w porywie, która w warunkach klimatu Polski jest już znacznym zagrożeniem – 17 m/s.
- c. W celu umożliwienia oceny skutków działania maksymalnych prędkości wiatru w porywach opracowano ośmiostopniową *Klasyfikację maksymalnych prędkości wiatru w Polsce i skutków ich działania*. Skala uwzględnia prędkości od 11 m/s (40 km/h) do  $\geq 70$  m/s (251 km/h).
- d. Wyróżniono 3 genetycznie różne przyczyny występowania maksymalnych prędkości wiatru w porywach powyżej 11 m/s. Ich pojawianie się jest związane z:
  - działalnością cyklonalną w skali synoptycznej i utworzeniem się charakterystycznych typów pól ciśnienia w rejonie środkowej Europy, południowego Bałtyku lub Skandynawii, sprzyjających powstawaniu dużych przyrostów prędkości wiatru,
  - utworzeniem się w rejonach górskich zaburzeń w ogólnej cyrkulacji atmosfery, spowodowanych barierą orograficzną gór, które sprzyjają powstawaniu ciepłego, suchego, silnego i porywistego wiatru „spadającego” (katabatycznego) z gór – wiatru halnego (w rejonie Tatr) lub jego odpowiednika – fenu (w rejonie Karkonoszy) – o zasięgu regionalnym,
  - utworzeniem się sprzyjających warunków meteorologicznych do powstania burz termicznych, trąb powietrznych i szkwałów o zasięgu lokalnym.
- e. Analiza map oraz materiału statystycznego dowodzi i dokumentuje, że ogólnie wyróżniającymi się rejonami kraju o największym rocznym prawdopodobieństwie wystąpienia maksymalnych prędkości wiatru w porywach, związanych z ogólną cyrkulacją atmosfery, są przede wszystkim:
  - wschodnia część Pobrzeża Słowińskiego od Koszalina po Rozewie i Hel oraz północno-wschodnia część Pojezierza Mazurskiego, szczególnie Suwalszczyzna,
  - Beskid Śląski, Beskid Żywiecki, Pogórze Śląskie, Beskid Mały, Gorce oraz Bieszczady.Proporcjonalnie wysokim prawdopodobieństwem, charakteryzuje się pod tym względem również obszar Mazowsza.
- f. Prędkości wiatru w porywach powyżej 40 m/s z większym prawdopodobieństwem występują w rejonie Beskidów i Podhala niż na Wybrzeżu, czego przyczyną może być wspomaganie przyrostów prędkości wiatru w obszarach Po-

górzy przez halny, jak też przypadki związane z utworzeniem się odgałęzienia prądu strumieniowego, obniżającego się w tych rejonach do górnej granicy troposfery i wzmagającego przyrosty prędkości wiatru.

Największe prędkości wiatr halny osiąga wówczas, gdy Polska znajduje się pod wpływem ośrodków niżowych znad południowo-zachodniej Europy, przy równowadze stałej, ograniczającej pionowy zasięg przepływu powietrza nad szczytami gór, co prowadzi do zagęszczenia linii prądu. Wielokrotnie efekt zjawisk fenhowych nakłada się na działalność huraganowych typów cyrkulacji (głównie Sc, SEc i SWc), wzmagając prędkości wiatru w poszczególnych częściach południowej Polski. Inna przyczyna to jednoczesne działanie kilku czynników: swoisty rozkład ciśnienia, który wywołuje powstanie wiatru halnego oraz wspomagający wzrost prędkości – niskotroposferyczny prąd strumieniowy już na wysokości 2000-2500 m). Wówczas w szczytowych partiach tych gór prędkości wiatru osiągają 40-50 m/s na Kasprowym Wierchu i nawet 60-70 m/s na Śnieżce.

Największe prędkości wiatr halny osiąga wówczas, gdy Polska znajduje się pod wpływem ośrodków niżowych znad południowo-zachodniej Europy, przy równowadze stałej ograniczającej pionowy zasięg przepływu powietrza nad szczytami gór, co prowadzi do zagęszczenia linii prądu. Wielokrotnie efekt zjawisk fenhowych nakłada się na działalność huraganowych typów cyrkulacji (głównie Sc, SEc i SWc), wzmagając prędkości wiatru w poszczególnych częściach południowej Polski. Inna przyczyna to jednoczesne działanie kilku czynników: charakterystyczny rozkład ciśnienia, który wywołuje powstanie wiatru halnego oraz, wspomagający wzrost prędkości, niskotroposferyczny prąd strumieniowy, już na wysokości 2000-2500 m. Wówczas w szczytowych partiach tych gór prędkości wiatru osiągają 40-50 m/s (na Kasprowym Wierchu), a nawet 60-70 m/s (na Śnieżce).

Trąby powietrzne występujące w naszych szerokościach geograficznych, również w Polsce, ze względu na warunki w których powstają można podzielić na dwie główne grupy:

- tworzące się w strefach frontów szkwałowych,
- związane z superkomórą (mezocyklonem).

Również wyniki prowadzonego monitoringu trąb powietrznych wskazują, że najczęściej zjawiska te występują w rejonie Wyżyny Małopolskiej i Lubelskiej, sięgając szerokim pasem o kierunku SW – NE przez obszar Wyżyny Kutnowskiej, Mazowsza aż po Podlasie i Pojezierze Mazurskie.

Wnioski aplikacyjne.

Wnioski aplikacyjne, wynikające z prezentowanego studium maksymalnych prędkości wiatru występujących w Polsce, są w zasadzie trzy:

W Polsce istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia wiatru o prędkościach będących zagrożeniem dla środowiska, gospodarki narodowej oraz życia ludności. Sytuacje takie występują zarówno w chłodnej porze roku, jak i w sezonie letnim. Największe zniszczenia i tragedie ludzkie są jednak związane z trąbami powietrznymi pojawiającymi się na krystalizującym się w ostatnich latach szlaku. Przebiega on od rejonu Opola przez obszar Wyżyny Małopolskiej,

Wysoczyzny Kutnowskiej, Mazowsza, Wyżyny Lubelskiej i dalej w kierunku Podlasia i Suwalszczyzny.

Badania i analizy statystyczne umożliwiły pogłębienie wiedzy na temat struktury huraganowych prędkości wiatru na obszarze Polski jako zjawiska groźnego. Wyniki badań powinny stanowić podstawową informację zarówno dla prognoz meteorologicznych i systemu ostrzeżeń, jak i agend ubezpieczeniowych, centrów zarządzania kryzysowego oraz odpowiednich szczebli administracji państwowej. Ta ostatnia w opracowywanych strategiach gospodarczych kraju i regionów powinna uwzględniać obecny i przyszły stan zagrożeń.

Wskazane jest:

- prowadzenie edukacji społeczeństwa (w tym dzieci i młodzieży) w zakresie umiejętności zachowania się przed, podczas i po wystąpieniu klęski żywiołowej typu wiatr huraganowy lub trąba powietrzna,
- uwzględnianie w budżetach centralnych i regionalnych odpowiedniej rezerwy finansowej na pomoc dla poszkodowanych podczas wystąpienia zjawiska ekstremalnego o charakterze klęski żywiołowej,
- prowadzenie odpowiedniej polityki informacyjnej wobec społeczeństwa z obszarów zagrożonych i uczulenie na te zjawiska nadzoru budowlanego w trakcie projektowania i realizacji inwestycji budowlanych,
- stworzenie w budynkach użyteczności publicznej pomieszczeń umożliwiających schronienie się ludności lokalnej przed ekstremalnymi zjawiskami meteorologicznymi.

#### Literatura

- Bąbka M., 2003, Słownik Meteorologiczny, IMGW, Warszawa
- Beblot G., Hołda I., Korbek K., 2008, Trąba powietrzna w rejonie Częstochowy 20 lipca 2007 roku, w: Ekstrema pogodowe w Polsce, obserwacje, pomiary, prognozy, IMGW, Warszawa
- Chomicz K., 1951, Ulewy i deszcze nawalne w Polsce, Wiad. Służby Hydr. i Met., II(3)
- Kaczmarek Z., 1970, Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa
- Kwiatkowski J., 1975, Zasięg fenów sudeckich i ich wpływ na mezoklimat regionów południowo-zachodniej i środkowej Polski, Przegląd Geofizyczny, 20
- Limanówka i in., 2010, Regiony Opadowe Polski, Materiały Badawcze - Seria: Meteorologia, 43
- Limanówka D., Cebulak E., Mizera M., Kilar P., Pyrc R., 2011, Tendencje zmian wybranych charakterystyk klimatycznych w latach 1971-2010, Liczba dni z temperaturami ekstremalnymi (Fale upałów, fale chłódów), niepublikowany
- Lityński J., 1969, Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski, Prace PIHM, 97
- Lorenc H., 1996, Struktura i zasoby energetyczne wiatru w Polsce, Materiały Badawcze - Seria: Meteorologia, 25
- Lorenc H., 2000, Studia nad 220-letnią (1779-1998) serią temperatury powietrza w Warszawie oraz ocena jej wieloletnich tendencji, Materiały Badawcze - Seria: Meteorologia, 31
- Lorenc H. (red.), 2005, Atlas Klimatu Polski, IMGW, Warszawa
- Lorenc H., Olecka A., 2006, Tendencje występowania opadów o dużym natężeniu w Polsce, w: Współczesne problemy klimatu Polski – fakty i niepewności, IMGW, Warszawa
- Lorenc H., 2007, Zmienność i tendencje maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza w Warszawie w okresie 1897 – 2002, Wiad. Met., Hydrol. i Gosp. Wodnej, I(4)
- Orlicz M., 1962, Klimat Tatr: Tatrzański Park Narodowy, PWN, Kraków

- Parczewski W., 1960, Klasyfikacja przedziałów prędkości wiatru w zastosowaniu do opracowań klimatycznych i bioklimatycznych, *Przegląd Geofizyczny*, 3
- Parfiniewicz J.W., 1999, Rapid cyclogenesis over Poland on 28 March 1977, *Meteorol. Appl.*, 6, 363-370
- Parfiniewicz J.W. i in., 2003, Wizualizacja procesu wlewu stratosferycznego i gwałtownej cyklogenezy, symulowanego za pomocą niehydrostatycznego modelu mezoskalowego LM wysokiej rozdzielczości, dokument elektroniczny [[www.igf.fuw.edu.pl.in\\_atmo/seminariumzfa.html](http://www.igf.fuw.edu.pl.in_atmo/seminariumzfa.html)]
- Parfiniewicz J.W., 2009, Tornado w rejonie Częstochowy – 20 lipca 2007, Część I: Analiza synoptyczna, część II: Symulacje komputerowe i analiza 3D, *Uncinus – magazyn meteorologów*, dokument elektroniczny [[www.uncinus.pl](http://www.uncinus.pl)]
- Ustrnul Z., 1992, Potencjalne warunki występowania wiatrów fenowych w Karpatach Polskich, *Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr.*, 90, 97-112
- Ustrnul Z., 1996, Ekstremalne przypadki wiatrów halnych na obszarze Tatr i Podhala w ostatnim 30-leciu, I Ogólnopolska Konferencja „Przyroda TPN a człowiek”, Zakopane 6-9 X.1995, 164-167
- Verbout S. i in., 2007, Tornado outbreaks associated with landfalling hurricanes in the North Atlantic Basin: 1954-2004, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 97, 255-271

# Ryzyko występowania mgieł w Polsce

*Halina Lorenc, Anna Myszura*

## 1. Wprowadzenie

Mgła jest zawiesiną mikroskopijnych kropelek wody w powietrzu, zmniejszającą widzialność w kierunku poziomym poniżej jednego kilometra. Posługując się międzynarodową skalą można wyróżnić:

- mgłę bardzo gęstą (widzialność poniżej 50 m),
- mgłę gęstą (widzialność 50-200 m),
- mgłę umiarkowaną (widzialność 200-500 m),
- mgłę słabą (widzialność 500-1000 m).

W zależności od warunków powstawiania mgły dzieli się na następujące rodzaje:

Mgły z ochłodzenia

Powstają w skutek obniżenia temperatury poniżej temperatury punktu rosy warstw powietrza przylegających do powierzchni Ziemi. Ze względu na warunki ochłodzenia mgły dzieli się na: radiacyjne, adwekcyjne i zbczowe (orograficzne).

a) mgły radiacyjne

Powstają w wyniku wypromieniowania ciepła z podłoża i ochłodzenia się przylegających do niego warstw powietrza. Mgłom radiacyjnym sprzyjają warunki panujące w antycyklonach, klinach wysokiego ciśnienia, wyżach drugorzędnych oraz głównie w lecie pole obniżonego ciśnienia o małym gradiencie ciśnienia. Mgły radiacyjne tworzą się gdy:

- panuje pogoda bezchmurna lub z małym zachmurzeniem,
- jest duża wilgotność powietrza w warstwie przyziemnej,
- podłoże jest chłodne i wilgotne lub występuje zwarta pokrywa lodowa
- wieją słabe wiatry o prędkości nie przekraczającej 1-3 m/s.

Mgły radiacyjne dzielą się na niskie (przyziemne) i wysokie. Mgły niskie występują tylko nad lądem w pogodne i bezwietrzne noce. Wywołane są nocnym wychładzaniem gruntu lub pokrywy śnieżnej wskutek wypromieniowania. Występują lokalnie, często w płatach, zwłaszcza na nizinach, w pobliżu bagien lub nad niewielkimi dolinami rzecznyymi oraz na polanach leśnych. Mgły przyziemne powstają w powietrzu o równowadze stałej, zwykle towarzyszy im inwersja tempera-

tury i zanikają po kilka godzin po wschodzie Słońca. Mgły wysokie obserwuje się zarówno nad lądem, jak i nad morzem w wyżach stacjonarnych w chłodnej porze roku. Są one skutkiem następującego powoli wychładzania się powietrza w dolnych warstwach wyżu. Para wodna wskutek ruchów turbulencyjnych unosi się ku górze na wysokość kilkuset metrów, następnie poniżej poziomu inwersji osiadania tworzą się niskie chmury warstwowe (St), które rozchodzą się z góry na dół aż do powierzchni Ziemi. Nazywane są wtedy wysoką mgłą radiacyjną. Może ona zalegać nad rozległymi obszarami do kilku tygodni.

b) mgły adwekcyjne

Tworzą się w ciepłych masach powietrza, napływających nad chłodniejsze od nich podłoże. Utrata ciepła w wyniku wymiany turbulencyjnej z powierzchnią podłoża powoduje utworzenie się w powietrzu uniesionej inwersji i kondensacji pary wodnej pod inwersją. Mgła adwekcyjna może również tworzyć się pod warstwą hamującą, wyróżniającą się małym gradientem pionowym temperatury lub izotermią. Dla powstania mgły adwekcyjnej temperatura podłoża powinna być niższa od temperatury punktu rosy powietrza napływającego. Im większa jest wilgotność tego powietrza, tym mniejsza różnica temperatury jest potrzebna do powstania kondensacji. Powstanie mgły jest zależne od początkowej różnicy temperatury powietrza i podłoża, wilgotności powietrza, długotrwałości procesu ochładzania oraz innych przyczyn. Powstawanie mgieł adwekcyjnych związane jest z równowagą stałą, dlatego też zbyt duże prędkości wiatru nie sprzyjają powstawaniu tego rodzaju mgieł. Najczęściej tworzą się one przy wiatrach o prędkości nie przekraczającej 4 m/s. Ze względu na sposób powstawania mgły adwekcyjne mają zazwyczaj grubość nie przekraczającą 10 m, chociaż zdarzają się również takie, których grubość osiąga nawet kilkuset metrów. Niekiedy mgła adwekcyjna łączy się z chmurami St. Dla powstania mgieł adwekcyjnych ważna jest szybkość zmiany właściwości podłoża na drodze przemieszczania się ciepłego powietrza. Mgły adwekcyjne charakterystyczne są dla obszarów granicznych, tj. ląd-morze, ciepły-zimny prąd morski, skraj lodów.

Mgły adwekcyjne powstają podczas:

- ruchu ciepłego i wilgotnego powietrza znad lądu nad chłodną powierzchnię morza (głównie wiosną i wczesnym latem); często po zmianie kierunku wiatru mgły przemieszczają się nad wybrzeże,
- ruchu ciepłego powietrza morskiego nad chłodną powierzchnią lądu (jesienią i zimą),
- przemieszczania się powietrza z ciepłego obszaru nad chłodny,
- ruchu powietrza zwrotnikowego w wyższe szerokości geograficzne (chłodna pora roku).

c) mgły zboczowe (orograficzne)

Mgły zboczowe powstają w następstwie adiabatyicznego ochładzania się powietrza przy unoszeniu się go po zawietrznych zboczach gór lub wzniesień. Mgła orograficzna może powstawać jedynie w przypadku stałej równowagi pionowej

powietrza nasyconego. Tego rodzaju mgły mogą być uznawane przez obserwatora znajdującego się na niższych wysokościach jako chmury.

#### Mgły z wyparowania

Powstają w powietrzu chłodnym o równowadze stałej podczas jego napływu nad powierzchnią wody, która jest cieplejsza od dolnej warstwy powietrza o 10°C lub więcej. Gęstość mgły z wyparowania jest wprost proporcjonalna do różnicy między temperaturą wody i powietrza. Mgły z wyparowania tworzą się najczęściej w chłodnej porze roku (jesienią i zimą) nad ciepłą powierzchnią wody w chłodnym powietrzu. Pojawiają się wieczorem na łądzie oraz w nocy nad rzekami i jeziorami. Mgły z wyparowania występują często po opadach deszczu, kiedy grunt jest nasiąknięty wodą i silnie paruje, a temperatura powietrza spada. Trwałość takich mgieł nie jest długa, gdyż mgła z wyparowania szybko się rozprasza.

#### Mgły frontowe

Powstają na granicy dwóch różnych mas powietrza. Najczęściej obserwuje się je w wąskiej strefie przed wolno posuwającym się frontem ciepłym i frontem okluzji ciepłej, w chłodnym powietrzu nasyconym parą wodną w wyniku parowania cieplejszych kropeł deszczu lub mżawki. Mieszanie się masy wilgotnej i ciepłej z chłodną, przy dużej różnicy temperatur, sprzyja powstawaniu mgły zarówno w strefie frontu jak i poza frontem wzdłuż wybrzeży, w pobliżu granicy pokrywy śnieżnej i lodowca. Zwykle mgły frontowe są wynikiem wyparowania opadu, ochłodzenia i mieszania się różnych mas powietrza. Mgły frontowe najczęściej pojawiają się przy małych prędkościach wiatru. W wielu przypadkach mgła frontowa jest po prostu chmurą St obniżoną do powierzchni Ziemi.

Mgła należy do zjawisk atmosferycznych trudnych do prognozowania. Wystąpienie mgły jest ściśle związane z warunkami meteorologicznymi, porą doby i roku oraz lokalnymi warunkami topograficznymi. Powstawaniu mgły sprzyjają zarówno układy ciśnienia wysokiego (mgły radiacyjne), jak i niskiego (mgły adwekcyjne). Także adwekcja ciepłego powietrza nad wychłodzone podłoże lub zimnego powietrza nad ciepłą powierzchnię po przejściu frontów ciepłych i chłodnych tworzy dogodne warunki do pojawienia się mgły. Powstawaniu mgły sprzyjają wklęsłe formy ukształtowania powierzchni (doliny, kotliny), dobrze rozbudowana sieć wodna oraz rodzaj powierzchni czynnej (np. lasy). Również duża ilość zanieczyszczeń unoszących się w powietrzu, pełniących rolę jąder kondensacji pary wodnej, sprzyja tworzeniu się mgieł, szczególnie w dużych aglomeracjach miejskich (smog).

Mgły w znacznym stopniu zakłócają prawidłowe i sprawne działanie transportu samochodowego, kolejowego, lotniczego i morskiego, powodując utrudnienia w ruchu oraz liczne wypadki i kolizje.

## **2. Cel pracy**

Celem nadrzędnym pracy jest poznanie zjawiska w warunkach klimatu Polski oraz utworzenie systemu informacyjnego o zagrożeniach dla transportu i komunikacji spowodowanymi mgłą. Cel ten był realizowany poprzez stworzenie bazy



danych o mgle w oparciu o dane z CBDH z lat 1971-2005. Na podstawie analizy struktury dobowej i sezonowej mgły możliwe było określenie przedziałów czasowych, w których ryzyko powstania mgły jest największe.

Sporządzono mapy robocze liczby dni z mgłą w poszczególnych miesiącach oraz w roku, co umożliwiło określenie rejonów Polski skrajnie zagrożonych występowaniem mgły, jako groźnego dla transportu i komunikacji zjawiska.

### **3. Zakres prac**

W opracowaniu dokonano analizy danych o mgle z 53 stacji synoptycznych za okres 1971-2005. Utworzono katalog liczby dni z mgłą. Określono trendy zmian liczby dni z mgłą oraz wyrysowano mapę przedstawiającą średnią liczbę dni z tym zjawiskiem na terenie Polski za okres 1971-2005. Dokonano analizy struktury dobowej i sezonowej występowania mgły za okres 2001-2005 dla wybranych stacji.

### **4. Informacje o danych**

Dane dotyczące liczby dni z mgłą, czasu jej trwania i daty wystąpienia zjawiska za okres 1971-2005 pozyskano z bazy CBDH IMGW. Szczegółowe dane dotyczące rozkładu dobowego mgły oraz sytuacji meteorologicznej panującej w danym dniu z mgłą pozyskano bezpośrednio z dzienników synoptycznych zebranych w archiwum IMGW. Analizę danych przeprowadzono jednak dla skróconego okresu 2001-2005, przede wszystkim ze względu na jednorodny metodycznie materiał obserwacyjny, a także z uwagi na bardzo trudny i czasochłonny sposób ich pozyskania (wypisywanie danych bezpośrednio z dzienników synoptycznych).

Do tego celu, po przeprowadzeniu szczegółowej ewidencji liczby dni z mgłą z lat 2001-2005 na 53 stacjach meteorologicznych na terenie całej Polski, wybrano daty wystąpienia zjawiska mgły.

### **5. Metodyka**

Po utworzeniu katalogu zbioru danych w postaci tabelarycznej oraz wstępnym opracowaniu map roboczych liczby dni z mgłą przystąpiono do analizy szczegółowej zjawiska. Dostępne w bazie CBDH dane nie określają rodzaju mgły ani jej intensywności, wyrażają jedynie sumę czasu trwania zjawiska w danym dniu z dokładnością do 0,1 godziny. Nie pozwala to na określenie liczby przypadków mgły. Na tej podstawie można jednak było określić liczbę dni z mgłą na poszczególnych stacjach oraz wybrać daty wystąpienia zjawiska co stanowiło podstawowy materiał obserwacyjny do dalszych prac.

Po dokonaniu digitalizacji danych możliwa była analiza statystyczna zebranego materiału badawczego obejmująca m.in.:

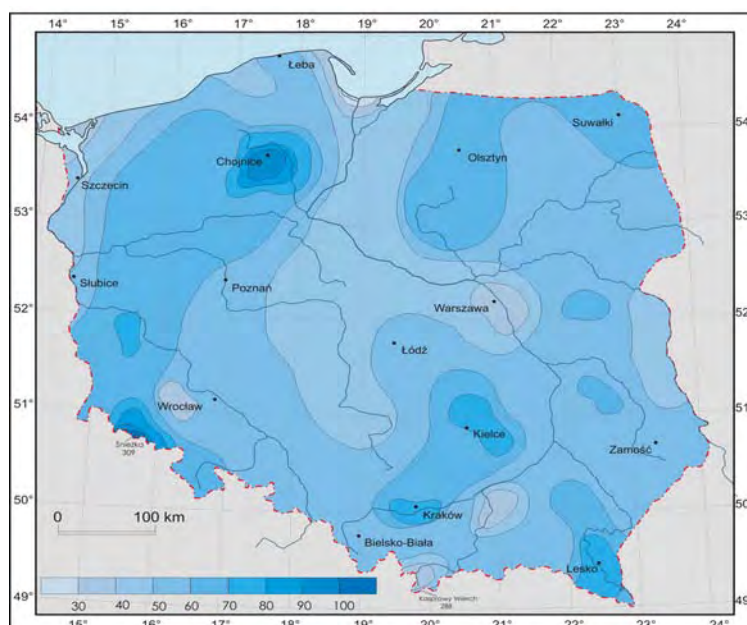
- ocenę wieloletniej tendencji zmian liczby dni z mgłą,
- analizę struktury dobowej, miesięcznej mgły na wybranych stacjach synoptycznych,

- analizę warunków meteorologicznych podczas trwania mgły – opisanie zjawisk towarzyszących zjawisku mgły,
- wybranie przypadków o maksymalnej długości trwania mgły na wybranych stacjach,
- obliczenie sumy godzin trwania mgły w ciągu roku oraz miesięcy dla wybranych stacji na terenie Polski,
- określenie procentowego rozkładu mgły według czasu trwania, tzn. ile procent przypadków stanowiły mgły o czasie trwania w poszczególnych przedziałach czasowych,
- określenie regionalnych uwarunkowań powstawania mgły i najczęstszych przyczyn powstania,
- porównanie częstości pojawiania się mgły z typami cyrkulacji, podczas których dochodzi do powstania mgieł.

## 6. Wyniki badań

Zebrany materiał umożliwił przeprowadzenie dogłębnej analizy każdego przypadku wystąpienia mgły, określenie intensywności, czasu pojawienia się i zaniku, czasu zalegania oraz określenie sytuacji meteorologicznej towarzyszącej temu zjawisku, przy zastosowaniu klasyfikacji J. Lityńskiego [1969].

Wykonano analizy statystyczne zbioru danych i ocenę wieloletnich charakterystyk występowania mgły na obszarze Polsce. Przykładem takiej analizy jest mapa Polski (rys. 1) prezentująca średnią roczną liczbę dni z mgłą w analizowanym okresie.



Rys. 1. Średnia roczna liczba dni z mgłą za okres 1971-2005.

W związku z wielkością obszaru (cały kraj) i lokalną zmiennością zjawiska, bowiem na przestrzeni kilku kilometrów istnieją zupełnie różne warunki do powstawania i utrzymywania się mgły, mapa ryzyka występowania mgły w Polsce ma niestety ograniczoną szczegółowość.

Na podstawie analizy przestrzennej liczby dni z mgłą za okres 1971-2005 wyróżniono rejonu kraju o wzmożonej częstości występowania omawianego zjawiska. Za rejonu takie uznano te, w których średnia roczna częstość występowania mgły wynosiła powyżej 55 dni w roku (tab. 1). Dla tych rejonów wybrano reprezentacyjne stacje, dla których przeprowadzono analizę szczegółową struktury dobowej mgły, ograniczając okres do lat 2001-2005 z uwagi na bardzo czasochłonne pozyskiwanie danych.

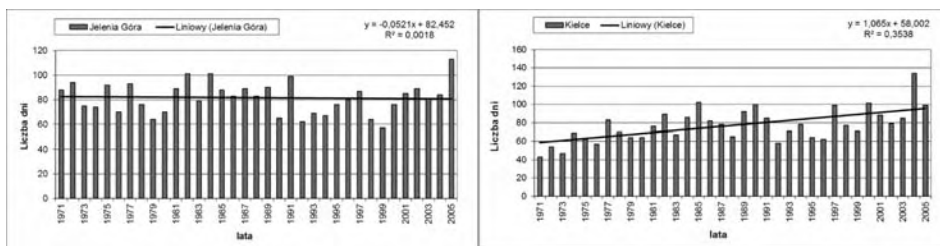
Tab. 1 Średnia liczba dni z mgłą za okres 1971-2005 na wybranych stacjach spełniających kryterium liczby dni z mgłą powyżej 55 w skali roku.

Stacja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK
Chojnice	12,0	8,6	7,7	4,9	3,7	3,3	3,9	4,7	7,1	10,7	12,7	13,4	91,5
Gorzów Wlk.	9,0	6,1	4,6	3,0	2,8	2,0	2,2	2,9	5,3	8,6	10,0	9,8	62,7
Jelenia Góra	4,2	4,1	3,9	4,6	7,3	6,5	6,6	11,2	12,5	10,2	7,0	5,0	81,5
Kielce	6,8	5,5	5,3	4,2	5,1	5,4	5,2	5,2	9,5	10,0	9,6	7,7	77,2
Kraków	7,9	5,8	4,8	3,8	3,4	3,6	2,7	4,5	8,3	10,0	9,0	9,4	70,9
Lesko	4,1	4,2	4,5	4,9	7,2	7,7	9,0	9,5	10,5	7,6	5,8	4,8	78,8
Lublin	6,2	7,1	5,7	3,3	3,1	3,6	3,6	3,1	5,6	7,8	8,2	7,9	60,6
Łódź	6,8	5,5	4,6	3,3	2,5	3,2	2,2	3,0	4,8	7,2	7,5	7,3	55,2
Opole	7,2	5,7	3,7	3,6	3,2	3,3	2,3	3,9	5,7	8,3	6,8	6,6	55,8
Siedlce	5,8	5,6	4,7	3,7	3,2	3,7	3,1	4,6	7,4	6,9	7,0	6,9	60,5
Suwałki	7,2	6,0	6,2	2,9	2,5	2,4	2,6	3,6	5,5	8,1	8,7	9,4	62,0
Zielona Góra	11,1	9,4	7,0	5,1	4,2	3,6	3,2	3,9	6,2	8,9	12,1	12,0	84,9

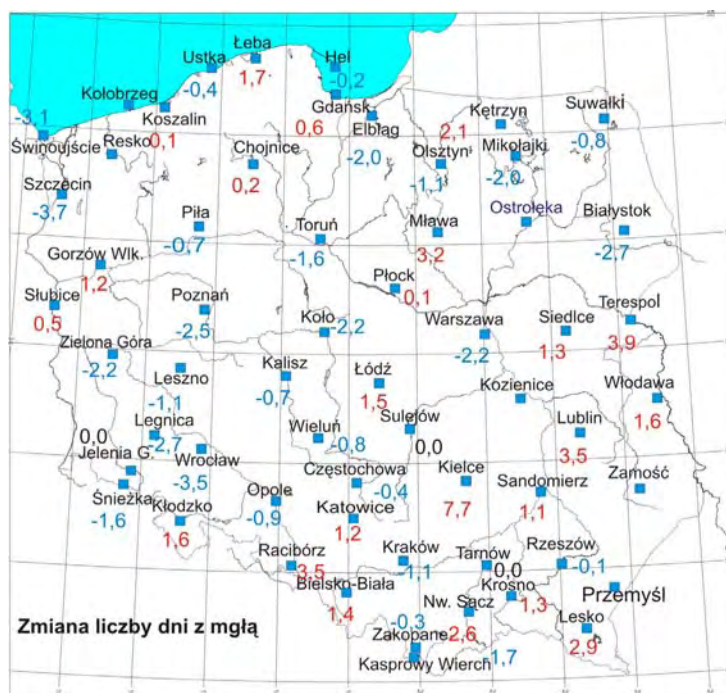
Uznając mgłę za zjawisko bardzo groźne głównie określono jej zmienność z roku na rok i za cały okres 1971-2005, by wykazać jej tendencję występowania w rejonach najbardziej obfitujących w mgłę, reprezentowanych przez odpowiednie stacje meteorologiczne.

Jak wykazują prezentowane dane częstość występowania mgły na analizowanych stacjach jest bardzo zróżnicowana. Obserwuje się zaskakująco duże spadki średniej liczby dni z mgłą od 1971 r. na stacji w Opolu, Krakowie i Zielonej Górze. Natomiast największy wzrost liczby dni z mgłą (ponad 7 dni) odnotowuje się w Kielcach (głównie ze względu na przeniesienie stacji meteorologicznej w pobliżu zbiornika wodnego oraz rzeki). W dalszym toku badań jednym z zadań będzie próba wyjaśnienia zaistniałej sytuacji – czy na tak duże zmiany wpływa działalność człowieka, czy tendencja ta jest spowodowana czynnikami naturalnymi.

Pierwsze sugestie wskazują, że czynnik antropogeniczny może wywierać duży wpływ na zmniejszenie się liczby dni z mgłą, np. w Krakowie, czy Opolu było to spowodowane spadkiem stężenia pyłu zawieszzonego



Rys. 2. (A-L) Wieloletni przebieg liczby dni z mgłą i linie trendu na wybranych stacjach



Rys. 3. Zmiany średniej liczby dni z mgłą w ciągu roku za okres 1971-2005 w porównaniu z poprzednim okresem normowym 1966-2000

Największy wzrost liczby dni z mgłą wyniósł:

- 7,7 Kielce
- 3,9 Włodawa
- 3,5 Lublin, Racibórz
- 3,2 Mława

Największe spadki liczby dni z mgłą wyniosły:

- -3,7 Szczecin
- -3,5 Wrocław
- -3,1 Świnoujście
- -2,7 Legnica

Stacje bez zmian liczby dni z mgłą:

- Jelenia Góra
- Sulejów
- Tarnów

### 6.1. Mgła a typy cyrkulacji

W kolejnym etapie analizy dokonano identyfikacji dat wystąpienia mgły w powiązaniu z typami cyrkulacji atmosfery sprzyjającymi tworzeniu się tego zjawiska.

Dzięki zastosowaniu opracowanych przez M. Stępniewską-Podrażkę [1991] i J. Pawłowską, T. Pindor [2002] *Katalogów Typów Cyrkulacji*, określonych przez J. Lityńskiego, została oceniona sytuacja meteorologiczna panująca w dniu wystąpienia mgły. Z tab. 2 oraz analizy pozostałych danych wynika, że występowanie mgły (szczególnie radiacyjnej) związane jest głównie z następującymi antycyklonalnymi typami cyrkulacji: SWa, Oa, Ea, Na, Sa oraz Wa – powyżej 5% udziału w roku na ponad połowie obszaru kraju. Jednocześnie mgły adwekcyjne (napływowe) najczęściej pojawiają się w typach cyrkulacji cyklonalnych, głównie w typie Sc i SWc. Dominuje zatem w tym przypadku napływ mas powietrza ze składową południową i zachodnią.

Tab. 2. Częstość występowania mgły w określonych typach cyrkulacji wg klasyfikacji J. Lityńskiego w okresie 2001-2005 wyrażona w procentach.

Typ	Chojnice	Gorzów Wlk.	Jelenia Góra	Kielce	Kraków	Lesko	Lublin	Łódź	Opole	Siedlce	Suwałki	Zielona Góra
Ea	5,9	2,3	7,3	3,3	6,1	7,5	5,7	5,6	4,1	7,3	4,8	5,3
Ec	2,4	2,3	2,2	2,3	2,9	4,0	2,5	2,6	1,8	4,7	2,7	3,6
Eo	2,4	2,3	2,2	2,5	1,1	1,5	3,2	2,6	3,6	2,6	1,5	2,8
Na	4,6	5,2	5,1	5,8	2,5	6,9	6,4	8,6	4,1	4,7	3,3	5,8
Nc	2,0	2,6	2,0	2,5	1,8	3,5	1,8	3,0	1,4	1,5	2,4	4,2
NEa	3,9	4,9	6,2	2,3	2,5	5,4	3,9	6,6	5,4	3,3	2,1	4,2
NEc	2,2	1,6	2,9	2,3	2,9	3,8	4,6	2,0	4,5	2,2	3,9	3,3
NEo	2,4	0,7	2,2	2,1	0,4	3,8	2,5	3,3	2,3	2,9	2,1	3,9
No	2,8	4,2	2,2	2,7	0,7	2,7	2,1	3,3	0,0	2,9	3,9	4,7
NWa	2,2	5,9	6,0	4,5	3,2	4,4	5,0	4,0	4,5	2,2	2,1	4,2
NWc	2,4	3,3	2,2	3,1	1,8	2,9	2,1	3,0	1,4	2,6	3,3	4,2
NWo	1,8	2,6	2,0	3,3	2,2	2,5	2,5	2,0	1,4	1,8	2,7	2,5
Oa	5,7	4,2	7,3	6,2	5,4	5,4	5,4	5,6	8,1	6,6	6,9	4,2
Oc	2,4	2,9	1,3	3,3	3,2	2,5	3,6	2,3	1,4	2,6	2,7	2,8
Oo	1,5	2,9	1,3	2,5	1,8	1,5	2,1	2,3	2,3	2,9	2,1	1,9
Sa	5,3	3,3	6,0	5,4	7,6	5,0	5,7	4,6	6,8	6,6	5,4	3,1
Sc	9,4	8,2	2,0	5,2	6,1	3,1	3,6	3,3	4,1	4,4	7,8	5,3
SEa	3,3	1,6	5,3	1,9	4,0	4,0	1,4	2,3	5,9	3,3	2,1	3,9
SEc	3,3	3,3	3,1	1,4	1,8	1,9	3,2	3,3	3,2	2,2	2,4	5,0
SEo	2,4	2,0	2,7	2,5	4,0	3,3	2,9	1,7	4,5	2,9	0,6	3,1
So	4,8	5,6	4,6	3,5	5,8	3,5	4,3	4,3	5,4	3,3	3,0	3,3
SWa	6,8	6,2	8,0	5,6	7,6	3,3	7,1	4,6	7,2	6,9	6,0	3,9
SWc	6,3	5,2	3,1	6,0	5,4	2,7	2,5	4,0	3,6	3,6	7,8	4,2
SWo	4,4	3,9	3,3	6,2	5,8	2,5	3,9	3,0	3,2	6,2	5,7	3,1
Wa	3,5	5,9	6,6	5,4	6,5	6,0	4,3	4,6	7,2	3,3	3,6	3,6
Wc	3,1	2,9	0,9	3,3	2,5	1,3	2,1	1,3	0,9	1,8	3,9	0,8
Wo	2,8	3,9	2,0	5,4	4,7	5,2	5,4	6,0	1,8	4,7	5,7	3,3

## 6.2. Dobowa struktura mgły

W pracach projektowych zajęto się również rzadko podejmowaną problematyką badań, tj. strukturą mgły, jej rozkładem dobowym i czynnikami wpływającymi na powstawanie zjawiska.

Studia na ten temat wykazują, że na strukturę dobową mgły w największej mierze wpływają oczywiście czynniki lokalne takie jak: położenie fizjograficzne, bliskość zbiorników wodnych, duże kompleksy leśne oraz sezon w którym mgła występuje. Bardzo duże znaczenie ma pora roku, w której zjawisko wystąpiło. Najczęściej mgły zanikały od 1 do 4 godzin po wschodzie słońca, stąd duże zróżnicowanie w porze zanikania mgły.

Do analizy dobowej struktury mgły posłużono się obserwacją mgły i towarzyszących jej elementów meteorologicznych: prędkości wiatru, wilgotności powietrza, średniej dobowej temperatury powietrza, widzialności poziomej, mżawki, deszczu, śniegu, osadów towarzyszących mgłę (szadzi, gołoledzi) oraz pokrywy śnieżnej. W celu określenia rodzaju mgły notowano również godziny, w których niebo było niewidoczne lub bezchmurne (mgła przyziemna lub wysoka). Określano również maksymalny czas zalegania mgły (powyżej 24 godzin) oraz jeśli w pobliżu stacji znajdowały się zbiorniki wodne lub przepływające rzeki (np. w Gorzowie Wielkopolskim, Kielcach, Lesku), mgły zalegające jedynie nad tymi obiektami. W uwagach zapisywano również, czy zjawisko mgły poprzedziło występowanie opadu, co wskazywałoby na mgłę z wyparowania.

Ze względu na ograniczoną objętość, w pracy umieszczono jedynie przykładowe obrazy ilustrujące zebrany materiał badawczy (rys. 4a, b).

Aby przedstawić strukturę dobową mgły na diagramach zaznaczono kolorem niebieskim godziny, w których zjawisko wystąpiło (rys. 4a, b). Niemal w 100 % każde występowanie mgły poprzedzało występowanie zamglenia (kolor jasnożółty). Kolorem jasnoniebieskim zaznaczono godzinę w której zjawisko ustępowało. Jeżeli mgła rozpoczęła się w godzinach nocnych i trwała do dnia następnego zaznaczano kontynuację zjawiska, a przypadek taki zaliczano do dnia, w którym zjawisko się rozpoczęło. Intensywność mgły oceniano z kolei na podstawie widzialności poziomej; w każdej godzinie ze zjawiskiem uśredniano wielkość widzialności. Nie analizowano każdego osobnego przypadku mgły ze względu na ilość danych, które należałoby pozyskać. Godziny pojawiania i zanikania mgły zaokrąglano do pełnych godzin.

Charakteryzując mgły na danej stacji najczęściej podaje się liczbę dni z mgłą. Nie jest to sposób bardzo precyzyjny bowiem mgła trwająca w jednym dniu zarówno przez kilka minut, jak i kilkanaście godzin jest jednakowo określana (liczona). Liczba dni z mgłą nie charakteryzuje również przebiegu dobowego tego zjawiska. Dlatego w opracowaniu posługiwano się również liczbą przypadków mgły na wybranych stacjach z lat 2001-2005. Przebieg roczny sumy czasu trwania mgły jest bardzo podobny do przebiegu rocznego występowania mgły (tab. 3). Dzielać czas trwania mgły przez liczbę przypadków mgły obliczono średni czas trwania jednego

przypadku w poszczególnych miesiącach. Średnio najdłużej mgła utrzymuje się w miesiącach zimowych, najkrócej w miesiącach letnich.

Tab. 3.

- A. Suma liczby przypadków mgły na wybranych stacjach za okres 2001-2005  
 B. Suma liczby dni z mgłą na wybranych stacjach za okres 2001-2005  
 C. Suma czasu trwania mgły na wybranych stacjach za okres 2001-2005  
 D. Średni czas trwania jednego przypadku mgły na wybranych stacjach za okres 2001-2005

Σ I.przypadków	Chojnice	Gorzów Wielko	Zielona Góra	Lublin	Jelenia Góra	Opole	Kraków	Kielce	Suwałki
1	72	44	74	47	12	22	31	46	32
2	44	28	48	34	5	8	9	29	32
3	30	18	31	19	19	12	15	31	28
4	28	14	14	15	23	13	8	19	15
5	15	10	22	8	35	16	9	40	14
6	9	6	6	10	26	6	8	30	9
7	21	12	15	14	39	11	14	34	12
8	32	13	9	5	54	11	15	36	25
9	46	30	28	22	59	18	24	63	23
10	60	58	42	49	50	50	57	82	42
11	94	71	89	39	40	35	54	85	50
12	61	49	83	44	19	17	40	55	40
2001-2005	512	353,0	461	306	381	219	284	550	322

A

Σ I.d. z mgłą	Chojnice	Gorzów Wielko	Zielona Góra	Lublin	Jelenia Góra	Opole	Kraków	Kielce	Suwałki
1	60	40	54	38	16	22	21	37	36
2	33	21	38	33	9	7	11	29	29
3	33	21	29	17	22	14	16	28	30
4	28	14	15	16	25	15	10	20	18
5	17	8	17	9	37	17	12	44	17
6	10	6	7	10	33	8	10	30	12
7	22	12	14	16	42	11	13	32	13
8	33	12	10	5	64	12	15	30	25
9	43	27	24	20	70	18	25	56	23
10	53	46	32	39	63	46	53	69	44
11	72	56	63	38	50	34	54	60	50
12	53	42	57	41	21	17	38	50	38
2001-2005	457	305,0	360	282	452	221	278	485	335

B

suma cz.trw.mg	Chojnice	Gorzów Wielko	Zielona Góra	Lublin	Jelenia Góra	Opole	Kraków	Kielce	Suwałki
1	421,4	243,7	350	339	102,3	109,7	109,2	222	266,4
2	170,4	69,9	152,2	169,2	25,5	40,3	45,5	97,6	163,6
3	166,6	107,8	162,2	100,9	85,9	61,9	48,4	130,1	194,4
4	93,1	43,1	45,5	48,8	86,2	39,5	39,8	70,5	39,5
5	29,8	26,4	76,3	22,9	116,2	49,4	26,1	87,8	39,1
6	23,2	18,7	9,4	15	80,5	20,1	19,2	51,7	20,3
7	45,8	29,4	37,6	41,9	109,1	27,8	31	71,4	28,3
8	66,9	26,7	20,6	6,9	225,3	38,5	29,7	45,7	62,4
9	146	73,5	68,1	54,4	344	53,3	74,7	161,8	73,5
10	281,2	222,0	149,9	195,4	288,1	186,9	218,7	317,8	212,7
11	535,5	352,4	424,4	247,2	257,1	182,6	335,6	342,6	391,4
12	365,7	183,3	417,2	225,8	110,4	106,2	202,3	202,9	234,9
2001-2005	2345,6	1396,9	1913,4	1467,4	1830,6	916,2	1180,2	1801,9	1726,5

C

śr.cz.trw.1.przy	Chojnice	Gorzów Wielko	Zielona Góra	Lublin	Jelenia Góra	Opole	Kraków	Kielce	Suwałki
1	5,9	5,5	4,7	7,2	8,5	5,0	3,5	4,8	8,3
2	3,9	2,5	3,2	5,0	5,1	5,0	5,1	3,4	5,1
3	5,6	6,0	5,2	5,3	4,5	5,2	3,2	4,2	6,9
4	3,3	3,1	3,3	3,3	3,7	3,0	5,0	3,7	2,6
5	2,0	2,6	3,5	2,9	3,3	3,1	2,9	2,2	2,8
6	2,6	3,1	1,6	1,5	3,1	3,4	2,4	1,7	2,3
7	2,2	2,5	2,5	3,0	2,8	2,5	2,2	2,1	2,4
8	2,1	2,1	2,3	1,4	4,2	3,5	2,0	1,3	2,5
9	3,2	2,5	2,4	2,5	5,8	3,0	3,1	2,6	3,2
10	4,7	3,8	3,6	4,0	5,8	3,7	3,8	3,9	5,1
11	5,7	5,0	4,8	6,3	6,4	5,2	6,2	4,0	7,8
12	6,0	3,7	5,0	5,1	5,8	6,2	5,1	3,7	5,9
2001-2005	4,6	4,0	4,2	4,8	4,8	4,2	4,2	3,3	5,4

D



Rys. 4a. Przykładowe tabele ukazujące sposób zbierania danych pozyskiwanych z dzienników synoptycznych (stacja Gorzów Wielkopolski)

stacja	rok	miesiące	dzień	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	sył synoptyczna	wiatr V	wilgotność	mżawka	deszcz śnieg	widzialność	nebo nie widoczne	leżące na wodzie	liczba prz. paków	okrywa śnieżna	
300	2003	10	1	7,0	2,5	3,0	1,5	3,0	1,0	1,7	1,9	8,0																So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	10	3	11,4	10	10,7	0,5	0,3	0,5	0,8	7,0	1,5	6,0															So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	10	4	4,8	2,0	4,0	6,0	9,0	9,0	1,0																		So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	10	5	5,3																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	10	6	0,9																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	10	10	0,9																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	10	13	5,1																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	2	1,3																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	5	21,3	10,0	1,5	1,5	1,0	1,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	6	6,2	2,5	1,5	1,8	2,5	2,5	7,0	9,0																	So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	7	6,4																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	14	4,2																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	15	2,6	4,5	8,0																						So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	16	3,5																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	17	4,0																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	26	17,1																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	27	5,6																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	28	13,8																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	29	4,6																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	11	30	4,8	1,0																							So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	12	1	1,2	8,0	8,0																						So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	12	3	5,3																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	12	4	1,3	8,0	8,0																						So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	12	12	0,5																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	12	13	1,8	6,0	8,0																						So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	12	17	4,8																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2003	12	18	0,7	8,0																							So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2004	1	7	15,5																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2004	1	8	24,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0	
300	2004	1	9	4,5	4,0	4,0	8,0	8,0																				So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2004	1	10	7,3	5,0	5,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0	
300	2004	1	11	5,4																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2004	1	15	1,8																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0
300	2004	1	28	6,4																								So	0,1	95-100			100-1000	04-06	00-03		3	0

Rys. 4b. Przykładowe tabele ukazujące sposób zbierania danych pozyskiwanych z dzienników synoptycznych (stacja Jelenia Góra)

sejra	rok	miejsce	dzień	Mgla	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	synoptyczna	wiatr v	włógotwo	nazwa	deszcz/ śnieg	widzialność	niebo nie widoczne	bechmnie	Liczba przypasków	Pokrywa śnieżna
500	2005	9	14	6,7	100	6,0	3,0	4,0	1,0	1,2	2,5																		NwB	0,1	93,97			100-600	04-06	02:03,07	1	0	
500	2005	9	17	4,3																									No	0	92,96			100-600	22-23		1	0	
500	2005	9	18	11,1	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	1,5	3,0																Wa	0,1	92,97			50-300	00-07	20-23	1	0		
500	2005	9	19	10,2	1,0	1,5	2,5	2,0	1,5	1,7	1,4	1,8																Oa	0,12	92,96			100-800	03-07	00:02,21-23	1	0		
500	2005	9	20	7,6	1,0	1,0	1,8	1,2	1,3	1,3	0,0																	Oa	0,1	94,96			100-800	03-06	00:02,22-23	1	0		
500	2005	9	21	10	1,7	1,0	1,1	1,15	1,0	1,0	3,0	7,0																Oa	0,12	93,96			100-700	04-05,22-23	00:03,21	1	0		
500	2005	9	22	10,6	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	2,0																	Sa	0,12	92,96			50-400	00-06	20-23	1	0		
500	2005	9	23	10,3	1,0	1,0	1,5	0,5	0,5	1,0	1,0																	Sa	0,12	92,96			50-150	00:06,20-23		1	0		
500	2005	9	24	9,4	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0																	Sa	0,11	93,96			80-200	02:05,04,01,06,21-23		1	0		
500	2005	9	25	6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5																	Sa	0,11	93,96			50-700	03-06	00:03,22-23	1	0		
500	2005	9	26	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	3,0																	SWa	0,1	95,96			170-800		00-06	0	0		
500	2005	9	27	5,3						3,2	5,0																	SWa	0,1	93,99			300-700		23	2	0		
500	2005	9	28	8,6	3,0	2,0	2,0	1,0	1,0	7,0																		SWa	0,12	92,96			100-800	00:03,20-21		1	0		
500	2005	9	29	2,7	5,0	0,0	5,0																					Wo	0,1	95,96			500-900		05-07	1	0		
500	2005	10	1	2,3						3,6	1,9	2,2																Na	0	95,96			200-800		05-07	1	0		
500	2005	10	3	2,7						4,0	5,0	3,0																Na	0	92,96			100		19-23	1	0		
500	2005	10	5	4,8																								Oa	0	92,97			100-800	00-06	07,19-21	1	0		
500	2005	10	6	9,3	1,0	1,0	1,0	1,5	1,1	1,2	1,7	3,0																Oa	0,1	92,97			100-800	01-06		1	0		
500	2005	10	7	5,1	1,5	6,0	3,0	1,0	1,0	1,0																		Sa	0,2	92,94			100-200	21-23		1	0		
500	2005	10	9	2,3																								Sa	0,12	94,96			100-170	04-06	00-03	0	0		
500	2005	10	10	7,7	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,7	1,5																Sa	0,12	92,94			4000		00-03	1	0		
500	2005	10	12	0,8																								SEa	0	92			50-400	23	00:07,22	1	0		
500	2005	10	13	9,9	4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0																Sa	0,12	92,96			50-800	00-07	20-23	1	0		
500	2005	10	14	10,8	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0																Na	0,12	91-96			100-450	06	00:05,21-23	1	0		
500	2005	10	15	9,4	1,5	1,0	1,0	3,0	3,0	4,0	1,0																	NEa	0,1	89-96			50-480	04-07	00-03	0	0		
500	2005	10	16	7,3	1,5	1,0	0,8	1,0	0,5	1,0	4,0	4,8																NEa	0	94,96			500		21-23	1	0		
500	2005	10	18	2,8																								Oa	0	94			500		05	1	0		
500	2005	10	19	0,7	5,0					3,2	4,0	8,0																Oa	0	94			300-800			0	0		
500	2005	10	20	4,3																								SWa	0,12,3	93,94			800-900			0	0		
500	2005	10	21	1,2	8,0	9,0																						SWa	1,2	94,95			500		05	1	0		
500	2005	10	27	1,1						100	5,0																	Oa	0,2	94			500-100		04-05	1	0		
500	2005	10	29	0,9						10	5,0																	SWa	0,1	94			500-100		04-05	1	0		

Porównując dane dotyczące sumy liczby przypadków mgły na wybranych stacjach za okres 2001-2005, w poszczególnych miesiącach, z liczbą dni z mgłą za ten sam okres można zauważyć, iż największe różnice między tymi parametrami występują w miesiącach zimowych, a najmniejsze w porze letniej.

Najwięcej zarówno przypadków mgły, jak i liczby dni z mgłą zaobserwowano na stacji w Kielcach, przy czym średni czas jednego przypadku mgły na tej stacji był najmniejszy wśród badanych lokalizacji i wynosił 3,3 godziny (za lata 2001-2005).

Najdłuższy średni czas jednego przypadku notuje się na stacji w Suwałkach (5,4 godz.) oraz w Lublinie i Jeleniej Górze (4,8 godz.).

W poszczególnych miesiącach najdłuższy średni czas trwania jednego przypadku mgły odnotowano w styczniu w Jeleniej Górze – 8,5 godziny, Suwałkach – 8,3 godziny i Lublinie – 7,2 godziny. Najkrócej – od 1,4 do 1,6 godziny – mgła w czasie jednego przypadku zalega w Lublinie i Zielonej Górze (VI, VIII).

Tab. 4. Liczba zanotowanych przypadków mgły w czasie wybranych przedziałów czasowych w ciągu doby za okres 2001-2005

godziny	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Chojnice</b>	146	164	195	216	223	212	200	178	149	114	90	81	70
<b>Gorzów Wielkop.</b>	100	122	120	131	143	141	135	121	91	63	49	36	30
<b>Zielona Góra</b>	109	117	126	137	162	189	177	170	137	111	87	72	60
<b>Lublin</b>	88	99	93	130	140	142	127	108	82	66	48	41	35
<b>Jelenia Góra</b>	178	194	227	251	250	220	131	79	49	43	26	17	15
<b>Opole</b>	64	79	89	111	120	119	85	61	44	23	15	11	10
<b>Kraków</b>	97	104	118	138	141	125	101	78	59	37	21	13	10
<b>Kielce</b>	159	175	212	215	210	187	142	107	69	44	25	21	18
<b>Suwałki</b>	115	138	153	154	141	139	123	101	80	68	54	47	37
<b>godziny</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>noc</b>	<b>dzien</b>
<b>Chojnice</b>	57	57	59	61	62	61	71	86	93	103	127	1697	1178
<b>Gorzów Wielkop.</b>	25	25	28	27	32	34	40	46	62	72	82	1093	662
<b>Zielona Góra</b>	54	53	55	56	50	53	60	66	75	87	87	1268	1082
<b>Lublin</b>	33	36	37	43	44	47	53	54	68	69	76	1059	700
<b>Jelenia Góra</b>	15	17	22	24	42	50	71	100	127	136	159	1963	480
<b>Opole</b>	10	10	12	18	17	19	30	34	44	48	54	811	316
<b>Kraków</b>	8	14	16	20	26	32	36	45	57	74	86	1053	403
<b>Kielce</b>	20	21	31	39	45	57	76	88	107	119	139	1744	582
<b>Suwałki</b>	39	44	44	52	59	62	70	78	82	90	99	1321	748

Największa suma czasu trwania mgły za okres 2001-2005 dotyczy stacji w Chojnicach – 2345,6 godzin, w tym samym okresie w Opolu zarejestrowano tylko 916,2 godziny z mgłą.

Sumując czas trwania mgły w poszczególnych miesiącach, największą sumę uzyskano w listopadzie w Chojnicach – 535,5 godziny, natomiast w sierpniu w Lublinie zanotowano łącznie jedynie 6,9 godziny mgły, a w Zielonej Górze (czerwiec) 9,4 godziny.

Analizując poszczególne miesiące największą sumę przypadków, w ciągu analizowanych 5 lat, zanotowano w listopadzie na stacjach: Chojnice (94), Zielona Góra (89), Kielce (85). Najrzadziej – 5 razy – mgła występowała w maju (Jelenia Góra) i w sierpniu (Lublin). W czerwcu 6 razy wystąpiła w Gorzowie Wielkopolskim, Zielonej Górze, Opolu. Sumując liczbę dni z mgłą w ciągu 5 lat najczęściej mgła występowała w Chojnicach (72 dni – listopad), w Jeleniej Górze (70 dni – wrzesień) oraz w Kielcach (69 dni – październik). Najrzadziej mgła pojawiała się

w czerwcu (Gorzów Wielkopolski – 6 dni, Zielona Góra – 7 dni, Opole – 8 dni) oraz sierpniu (Lublin – 5 dni).

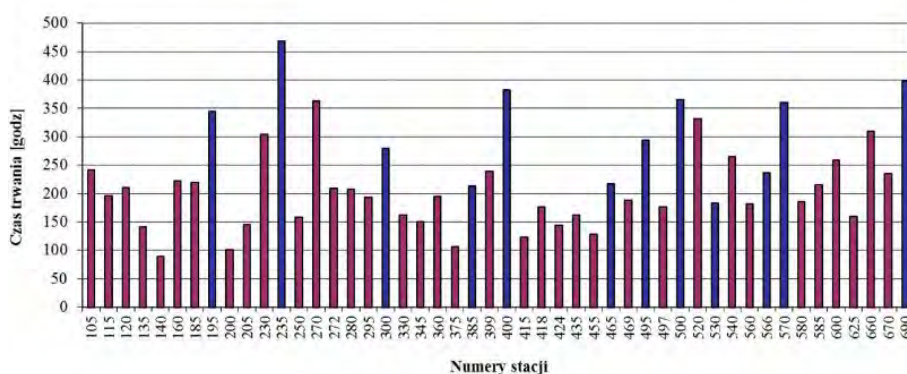
Analizując strukturę dobową mgły, za liczbę zanotowanych przypadków mgły w danym przedziale czasowym przyjęto każdy przypadek mgły zanotowany między pełnymi przedziałami czasowymi (doba podzielona na 24 – godzinne przedziały czasowe), niezależnie od czasu trwania zjawiska w danym przedziale. Pozwoliło to na określenie, w jakich godzinach w ciągu doby mgła występuje najczęściej. Jak wynika z tab. 4 mgły najczęściej pojawiają się w godzinach nocnych 18.00-06.00 – od 54% (Zielona Góra) do 80 % (Jelenia Góra) przypadków.

Tab. 5. Średnia suma czasu trwania mgły na stacjach meteorologicznych za okres 2001-2005.

stacja	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ cz. Trw.mgły
105	28,8	18,2	22,2	21,6	13,5	4,6	7,0	22,5	18,6	28,2	29,1	27,9	242,2
115	14,6	8,5	39,3	27,6	16,8	1,4	8,6	14,6	12,1	17,3	18,2	16,8	195,8
120	5,3	12,9	28,1	21,2	18,1	8,6	17,4	21,8	26,6	24,6	15,0	10,4	210,0
135	18,8	15,7	23,7	18,0	11,4	0,6	3,8	5,2	3,3	11,1	19,2	10,7	141,5
140	11,3	7,4	13,5	13,4	8,6	0,2	2,3	3,5	1,9	7,9	15,5	3,6	89,0
160	49,6	19,2	20,8	5,6	4,7	3,5	10,8	3,8	12,0	24,1	32,5	36,1	222,8
185	40,1	16,2	22,6	9,0	5,8	3,5	17,9	18,1	21,6	20,7	25,0	18,8	219,3
195	53,3	32,7	38,9	7,9	7,8	4,1	5,7	12,5	14,7	42,5	78,3	47,0	345,3
200	19,7	9,4	21,8	4,7	2,9	0,0	0,0	0,1	0,1	7,9	22,0	12,2	100,8
205	12,4	6,8	18,9	5,7	4,0	3,5	5,3	8,2	14,4	25,2	27,9	16,5	145,8
230	47,3	16,1	21,9	12,6	5,4	3,2	4,1	5,6	15,0	45,7	91,9	36,0	304,8
235	84,3	34,1	33,3	18,6	6,0	4,6	9,2	13,4	29,2	58,2	107,1	73,1	469,1
250	28,0	12,6	15,9	2,5	2,6	1,9	1,9	3,1	7,4	19,1	37,6	26,1	158,7
270	70,8	23,4	35,9	10,3	5,3	4,5	7,6	8,2	18,2	46,0	71,0	61,5	362,7
272	36,8	9,9	18,0	10,8	6,0	1,8	8,7	8,2	23,4	38,5	22,5	25,1	209,6
280	37,1	21,2	22,0	7,7	4,7	1,1	3,8	4,3	11,3	27,1	45,5	21,9	207,7
295	38,2	11,4	22,4	12,4	4,6	3,4	3,8	2,0	13,9	23,6	40,4	17,2	193,2
300	48,7	14,0	21,6	8,6	5,3	3,7	5,9	5,3	14,7	44,4	70,5	36,7	279,4
330	20,4	13,6	9,7	7,0	4,9	2,4	3,3	3,6	9,0	24,0	47,1	17,1	162,1
345	20,7	14,6	17,4	4,5	1,6	3,5	2,6	2,6	11,3	19,4	26,7	25,7	150,6
360	33,2	12,5	23,2	4,1	0,5	2,9	4,4	4,1	8,6	23,2	40,2	37,8	194,7
375	17,9	4,4	17,1	2,5	0,6	1,4	1,8	2,4	5,1	11,8	20,7	20,3	105,9
385	32,1	17,3	18,6	10,8	5,3	2,3	7,8	1,7	21,4	32,9	37,3	26,1	213,5
399	31,7	18,1	18,6	11,6	9,4	7,0	10,8	9,4	39,6	28,9	36,2	18,1	239,4
400	70,0	30,4	32,4	9,1	15,3	1,9	7,5	4,1	13,6	30,0	84,9	83,4	382,7
415	16,9	3,2	12,7	1,0	2,8	0,1	1,6	3,9	7,6	18,4	45,0	10,2	123,4
418	22,3	14,0	19,1	2,6	9,1	5,0	9,1	5,6	11,2	20,6	41,9	16,4	176,9
424	12,8	4,2	14,0	4,6	4,0	2,3	4,5	4,9	12,0	28,4	39,3	12,9	144,0
435	36,2	14,9	10,6	4,3	4,6	3,4	3,1	6,1	3,2	17,4	36,0	23,1	162,9
455	19,7	10,6	12,5	6,3	7,2	2,0	1,2	5,3	4,8	17,8	28,0	13,7	129,1
465	39,9	16,5	16,4	15,4	8,3	3,7	4,5	8,7	13,3	27,9	34,7	28,3	217,5
469	20,2	11,5	15,2	13,9	4,3	1,9	7,3	11,7	14,3	33,3	33,9	20,5	188,0
495	67,8	33,8	20,2	9,8	4,6	3,0	8,4	1,4	10,9	39,1	49,4	45,2	293,5
497	21,1	22,6	12,5	6,3	2,5	3,3	8,9	3,4	15,2	32,5	35,8	12,0	176,1
500	20,5	5,1	17,2	17,2	23,2	18,1	21,8	45,1	68,8	57,6	51,4	22,1	366,1
520	17,6	22,4	26,3	9,9	13,9	12,9	20,2	39,7	37,3	51,9	34,8	45,5	332,4
530	21,9	8,1	12,4	7,9	9,9	4,0	5,6	7,7	10,7	37,4	36,5	21,2	183,2
540	39,9	20,9	17,4	9,0	3,1	3,2	2,5	11,3	16,1	46,3	56,7	38,8	265,3
560	18,5	10,8	9,0	9,9	6,4	3,0	4,0	6,0	8,2	28,7	45,0	32,1	181,6
566	21,8	9,1	9,7	8,0	5,2	3,8	6,2	5,9	14,9	43,7	67,1	40,5	236,0
570	44,4	19,5	26,0	14,1	17,6	10,3	14,3	9,1	32,4	63,6	68,5	40,6	360,4
580	30,3	18,6	8,6	4,6	4,1	3,9	6,8	7,8	11,5	38,7	33,0	18,3	186,4
585	46,1	14,0	13,7	4,8	3,7	1,6	4,2	2,5	12,3	35,5	46,8	30,2	215,4
600	36,1	28,5	21,4	11,9	11,3	6,8	9,2	10,0	12,7	15,5	36,5	59,5	259,4
625	16,1	7,7	14,1	11,9	8,3	2,0	7,0	3,3	16,0	21,1	14,6	38,1	160,2
660	53,6	33,5	11,0	8,7	9,7	7,3	12,8	15,4	42,8	56,9	34,3	24,1	310,1
670	25,8	18,5	12,4	12,4	11,0	11,0	24,5	20,3	24,5	29,4	31,3	14,2	235,4
690	31,3	30,6	22,3	27,5	29,7	20,8	54,5	41,1	54,7	44,1	21,4	20,2	398,1
510	504,7	440,3	465,7	372,5	337,8	305,0	363,2	289,4	402,1	499,7	463,8	479,4	4923,6
650	348,0	358,4	347,0	288,5	257,2	268,4	307,8	234,4	313,5	314,0	344,3	347,0	3728,6

Tab. 5 pokazuje zróżnicowanie sumy czasu trwania mgły na stacjach meteorologicznych w okresie 2001-2005. W osobnych rubrykach zamieszczono dane ze stacji wysokogórskich (nr 550 i 650), na których chmury stratus dotykały powierzchni ziemi i były klasyfikowane jako mgła. Najniższe sumy czasu trwania mgły notuje się w rejonie nadmorskim (Gdańsk, Szczecin, Świnoujście), gdzie ze względu na duże prędkości wiatru mgła nie utrzymuje się długo. Najwyższe sumy czasu trwania mgły notowane są w rejonach, gdzie występują doliny, kotliny, do-

brze rozbudowana sieć wodna, tereny podmokłe, łąki i duże kompleksy leśne (Lesko, Zielona i Jelenia Góra, Kielce, Chojnice). W takich miejscach mgła posiada dogodne warunki do długiego utrzymywania się (większa wilgotność powietrza, duża powierzchnia parowania, duża częstość występowania ciszy i małych prędkości wiatru). Na rys. 5, ilustrującym różnicę sumy czasu trwania mgły na poszczególnych stacjach, kolorem niebieskim zaznaczone są stacje uwzględnione w szczegółowej analizie.



Rys. 5. Średnia suma czasu trwania mgły na poszczególnych stacjach meteorologicznych za okres 2001-2005.

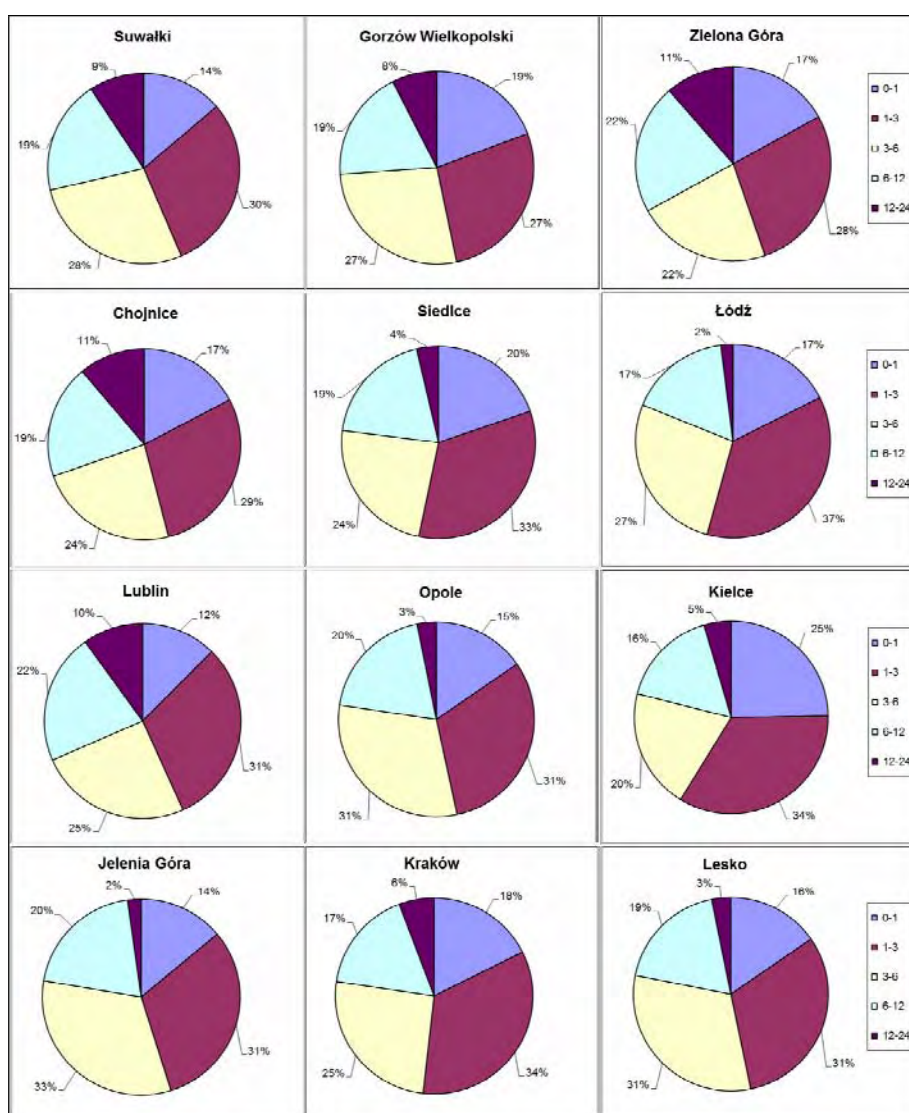
Tab. 6. Dаты wystąpienia oraz czas zalegania mgieł ponad 24 godzinnych na wybranych stacjach

Stacja	Data występowania mgły	Czas zalegania mgły [godz.]	Stacja	Data występowania mgły	Czas zalegania mgły [godz.]	
Chojnice	2001.1.7-8	29 h 25 min	Opole	2002.01.10-11	27 h 10 min	
	2001.1.25-26	32 h 40 min				
	2001.12.5-6	33 h 20 min				
	2002.1.16-17	30 h 05 min				
	2002.11.15-17	36 h 35 min				
	2003.11.13.15	27 h 05 min				
	2003.11.25-26	41 h 00 min				
	2005.11.2-3	26 h 40 min				
2005.12.4-5	29 h 00 min					
Gorzów Wielkopolski	2003.11.5-6	27 h 30 min	Suwałki	2001.01.7-8	27 h 10 min	
	2004.01.7-9	43 h 50 min		<b>2002.11.14-17</b>	<b>55 h 50 min</b>	
Jelenia Góra	2003.11.25-26	18 h 00min		2002.11.23-24	26 h 15 min	
		2002.01.10-11		22 h 50 min	2003.11.11-12	28 h 30 min
Kielce	2002.01.16-17	31 h 10 min		2003.11.14-16	36 h 15 min	
	2004.11.11-12	33 h 10 min		2003.12.14-16	32 h 00 min	
Kraków	2005.11.25-26	22 h 20 min		Zielona Góra	2001.03.24-25	25 h 35 min
Lublin	2001.01.14-16	29 h 50 min			2001.12.10-11	27 h 40 min
	2002.01.16-17	25 h 40 min	2002.01.8-9		34 h 25 min	
	2003.01.24-26	31 h 00 min	2002.11.21-23		33 h 50 min	
	<b>2003.11.13-15</b>	<b>51 h 40 min</b>	2002.12.4-5		24 h 15 min	
Lesko	2003.01.24-26	42 h 00 min	2003.11.28-30		42 h 45 min	
			2004.01.7-8		39 h 00 min	

W tab. 7 zestawiono rozkład liczby dni z mgłą w zależności od sumy czasu trwania w ciągu jednej doby w okresie 2001-2005. Badając ten rozkład, podzielono sumy czasu trwania na 5 przedziałów czasowych (rys. 6).

Tab. 7. Procentowy rozkład liczby dni z mgłą wg. sumy czasu trwania zjawiska w okresie 2001-2005

suma czasu	Suwałki	Chojnice	Gorzów W	Siedlce	Zielona G.	Łódź	Lublin	Jelenia G.	Opole	Kraków	Kielce	Lesko
0-1	13,7	17,3	19,3	19,7	16,9	17,5	12,4	13,9	15,4	17,6	24,7	15,4
1-3	29,9	28,7	27,5	33,6	27,8	36,8	30,9	31,2	31,2	34,2	34,0	31,4
3-6	27,8	23,6	27,1	23,7	22,2	26,8	25,2	32,5	30,8	25,5	20,2	31,4
6-12	19,4	19,3	18,6	19,3	21,7	16,9	21,6	20,1	19,5	16,9	16,5	18,7
12-24	9,3	11,2	7,5	3,6	11,4	2,0	9,9	2,2	3,2	5,8	4,5	3,2
100%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0



Rys. 6. Procentowy rozkład liczby dni z mgłą wg. sumy trwania zjawiska.

Niemal na wszystkich badanych stacjach największy udział mają dni o łącznej sumie czasu trwania mgły od 1 do 3 godzin. Natomiast najmniej notowanych jest dni z mgłą o sumie powyżej 12 godzin. W przedziale czasowym 0-1 godzin największy udział notowany jest na stacjach w Kielcach, Gorzowie i Siedlcach, natomiast najmniej mgieł trwających do 1 godziny notuje się w Suwałkach oraz Jeleniej Górze. W analizowanych latach największy procent mgieł o łącznym czasie trwania od 12 do 24 godzin zanotowano na stacjach w Zielonej Górze oraz Chojnicach (powyżej 11 % w stosunku do wszystkich dni z mgłą).



Rys. 7. Częstość występowania mgły w przebiegu dobowym w porach roku na wybranych stacjach meteorologicznych

Jak wynika z powyższych rysunków częstość występowania mgieł w przedziałach czasowych w ciągu doby w poszczególnych porach roku, na różnych stacjach ze względu na położenie topograficzne, jest bardzo zróżnicowana. Badając strukturę dobową występowania mgły można wysunąć wnioski, iż w ciągu całego roku przeważają mgły pojawiające się w godzinach nocnych. Maksimum występowania mgły notowane jest w godzinach 23.00-07.00, minimum – od 11.00 do 16.00. Najczęściej mgła występowała o godzinie 4.00, a najrzadziej o godzinie 13.00.

W sezonie zimowym na wszystkich badanych stacjach największą liczbę przypadków zanotowano w godzinach 20.00-12.00. Jesienne mgły najczęściej utrzymują się w godzinach 19.00-10.00, a wiosenne w godzinach 23.00-07.00. Latem najwięcej mgieł powstaje między 23.00, a 06.00 czasu UTC.

## **7. Wnioski**

W pracy uzyskano następujące ważniejsze rezultaty badań:

- a. Największa średnia liczba dni z mgłą (oprócz obszarów wysokogórskich) notowana jest na stacjach w Chojnicach, Kielcach, Lesku.
- b. Najmniej mgieł notowanych jest w rejonie nadmorskim (Gdańsk, Szczecin) oraz w okolicach Tarnowa.
- c. Największe tendencje zmian liczby dni z mgłą zanotowane zostały w Kielcach – wzrost o 7,7 dnia oraz w Szczecinie – spadek o 3,7 dnia.
- d. Analiza trendu wykazała spadek liczby dni z mgłą na zachodzie i w centralnej części kraju, a wzrost na wschodzie Polski.
- e. Wg. klasyfikacji J. Lityńskiego mgły najczęściej pojawiają się w typach cyrkulacji Swa, Oa, Ea, Na, Sa, Wa (radiacyjne, z wyparowania) oraz w Sc i SWc (adwekcyjne).
- f. Największe sumy czasu trwania oraz liczbę przypadków notuje się w okresie jesienno-zimowym od października do marca – maksimum w listopadzie – najmniej mgielny jest okres letni z minimum w czerwcu.
- g. Największa liczba przypadków mgły, na badanych stacjach w latach 2001-2005, została zaobserwowana w Chojnicach (512 przypadków) oraz w Kielcach (550 przypadków), najmniejsza suma przypadków mgły zarejestrowana została na stacji w Opolu – jedynie 219 razy.
- h. Największy udział mają dni z łączną sumą czasu trwania mgieł od 1 do 3 h.
- i. Najdłużej trwająca bez przerwy mgła (55 godzin 50 min) zanotowana została w Suwałkach w dniach 14-17 listopada 2002 r.
- j. W całym okresie 2001-2005 maksimum występowania mgły przypadło na godziny nocne: 23.00-07.00. Najmniej mgieł wystąpiło w godzinach 11.00-16.00. Największą ilość mgieł zanotowano o godzinie 4.00, a najmniejszą o godzinie 13.00.
- k. W sezonie zimowym na wszystkich badanych stacjach mgła pojawiała się przez całą dobę, z największą liczbą przypadków zanotowanych w godzinach 20.00-12.00. Jesienne mgły najczęściej utrzymują się w godzinach 19.00-10.00, wiosenne w godzinach 23.00-07.00, a letnie między 23.00 a 06.00.



## Literatura

- Chromow S.P., 1973, Meteorologia i klimatologia, PWN, Warszawa
- Holec M., Tymański P., 1973, Podstawy meteorologii i nawigacji meteorologicznej, Wyd. Morskie, Gdańsk
- Janiszewski F., 1967, Występowanie mgły w Warszawie, Prace PIHM, 91, 29-38
- Lityński J., 1969, Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski, Prace PIHM, 97
- Lorenc H., 2005, Atlas Klimatu Polsk, IMGW, Warszawa
- Niedźwiedz T., 2003, Słownik Meteorologiczny, IMGW, Warszawa
- Paczos S., 1970, Występowanie i czas trwania mgły w Lublinie, Biuletyn LTN, vol. 9/10, 1969/1970
- Parczewski W. (red.), 1968, Podręcznik krótkoterminowych prognoz pogody, cz. 2, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa
- Pawłowska J., Pindor J., 2000, Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery wg. klasyfikacji J. Lityńskiego, IMGW
- Piwkowski H., 1976, Rozkład mgieł w Polsce i ich długotrwałość, Przegląd Geofizyczny, t. 21, nr 1, 41 – 49.
- Stępniewska – Podrażka M., 1991, Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej 1951-1990, IMGW
- Trepińska J., Brus T., 2006, Znaczenie metodyki obserwacji mgieł dla wyznaczania liczby dni z mgłą, Annales UMCS, sec. B, LXI
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2009, Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i sytuacji synoptycznych w Polsce, IMGW
- Zwieriew A.S., 1965, Meteorologia synoptyczna, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa

# Ryzyko występowania gradu w Polsce

*Katarzyna Kołkowska, Halina Lorenc*

## 1. Wprowadzenie

Jednym z groźnych zjawisk pogodowych w Polsce jest grad, należący do licznej grupy form lodu atmosferycznego. Bryłki lodu, nazywane gradzinami lub *gradowinami*, mają średnicę od 5 do 50 mm, czasem większą. Opad gradu występuje w cieplej porze roku, podczas silnie rozbudowanych komórek konwekcyjnych – chmur cumulonimbus – i bywa połączony z silnym opadem deszczu. Grad jest więc opadem termicznej konwekcji, której najsilniejszy rozwój obserwuje się w okresie letnim. Opad taki, szczególnie z dużymi gradowinami, występujący zazwyczaj w trwającej już porze wegetacyjnej może spowodować znaczne straty w rolnictwie, budownictwie, taborze samochodowym (gradobicie).

Liczba dni z gradem oraz innymi atmosferycznymi zjawiskami ekstremalnymi jest zmienna. Zjawisko gradu nie było szczegółowo analizowane od roku 1973 [Stopa – Boryczka]. Ponieważ grad jest zjawiskiem niebezpiecznym, celem autorek było poszerzenie wiedzy na temat struktury jego występowania na obszarze Polski oraz wskazanie obszarów kraju najbardziej narażonych na jego występowanie.

## 2. Cel badań

Celem badań było poznanie genezy i struktury występowania opadu gradu w Polsce, jako zjawiska ekstremalnego. Ponadto względy, głównie natury rolniczo-gospodarczej, wymagały bliższego poznania częstości występowania opadów gradowych i ich przestrzennego rozmieszczenia.

Nadrzędnym celem badań było opracowanie mapy Polski przedstawiającej obszary wystąpienia tego hydrometeoru i próba wykazania istnienia szlaków gradowych oraz ich identyfikacja z określonymi warunkami meteorologicznymi.

## 3. Zakres prac

Pierwszym etapem pracy było utworzenie bazy danych na podstawie kwestionariuszy gradowych, wypełnianych i nadsyłanych do IMGW od roku 1960 do 1978

w ramach obserwacji standardowych. Całkowity okres sprawozdawczy wynosi jednak 16 lat, gdyż brakuje archiwalnych danych z lat 1963, 1975 oraz 1976. Łącznie pozyskano informacje pochodzące z 24 816 kwestionariuszy gradowych. Dane te stanowią podstawę dalszych, szczegółowych badań merytorycznych.

Określono liczbę dni z gradem w tym okresie. Przeanalizowano liczbę takich dni w poszczególnych województwach oraz w kolejnych latach i miesiącach badanego okresu.

Opracowano mapy Polski, przedstawiające zmienność liczby dni z opadem gradu w latach 1960-1978 dla całego kraju oraz z podziałem na poszczególne województwa (wg aktualnego podziału administracyjnego kraju).

W toku badań wyróżniono przede wszystkim „sezon gradowy” – od kwietnia od września – czyli miesiące, które charakteryzują się największą częstością pojawiania się opadów gradu. Zanotowane przypadki wystąpienia gradu w miesiącach od października do marca są raczej rezultatem błędnego zakwalifikowania zjawiska krupy śnieżnej. Krupa jest formą opadu pośrednią pomiędzy śniegiem a gradem, powstającą na skutek szybkiego narastania na siebie płatków śniegu (krupa miękka) lub kryształków lodu (krupa twarda). Błędne rozpoznanie takiego opadu jest dość powszechne.

Sporządzono mapy cyfrowe Polski, przedstawiające miejsca opadu gradu w poszczególnych dniach okresu gradowego. Mapy te sporządzono dla 616 dni. Kolejnym krokiem był wybór dni z gradem (łącznie 323), dla których została określona ówczesna sytuacja meteorologiczna. Obliczono liczbę dni z gradem w kolejnych miesiącach sezonu gradowego w okresie 1960-78 i skorelowano je z poszczególnymi typami cyrkulacji według klasyfikacji J. Lityńskiego [1969].

Ponadto utworzono mapy cyfrowe Polski przedstawiające miejsca opadu gradu w poszczególnych miesiącach, dla całego sezonu gradowego (6 map dla 6 miesięcy).

Do celów porównawczych wykorzystano również dane pochodzące ze stacji synoptycznych z okresów 1971-1980 oraz 2001-2010, pozyskane z Centralnej Bazy Danych Historycznych. Dla tych lat określono liczbę dni z gradem w poszczególnych miesiącach sezonu gradowego oraz w kolejnych latach. Wyniki analizy zilustrowano mapami kartodiagramów punktowych, obrazujących łączną liczbę dni z gradem w sezonie gradowym na poszczególnych stacjach synoptycznych.

#### **4. Informacje o danych**

Dane podstawowe to, jak wspomniano, archiwalne „kwestionariusze gradowe” (rys. 1), sporządzane i funkcjonujące w sieci stacji meteorologicznych jako standard. Kwestionariusze te były wypełniane i wysyłane do IMGW w Warszawie ze wszystkich posterunków meteorologicznych Instytutu. Kwestionariusze zawierały następujące, przeniesione do bazy danych programu MS Excel, informacje:

1. miejscowość, w której spadł grad oraz jej współrzędne geograficzne; w przypadku trudności z identyfikacją danej miejscowości na mapie wykorzystywa-

no współrzędne miejscowości, w której urzędują władze gminne (ewentualnie współrzędne właściwego powiatu);

2. województwo, w którym położona jest dana miejscowość;
3. dzień, miesiąc oraz godzina wystąpienia zjawiska;
4. czas trwania opadu gradu w minutach;
5. kształt i rodzaj ziaren gradowych;
6. charakterystyka zjawisk towarzyszących opadowi – deszcz, burza, wiatr;
7. kierunek ruchu chmury gradowej.

1965 rok  
KWESTIONARIUSZ gradowy PIHM

Miejscowość: Mszczonów  
(w której spadł grad)

powiat: Mszczonów województwo: Warszawskie

1. Data spadnięcia gradu: 5. VII. 65 Godzina: 17<sup>00</sup>
2. Grad padał: 16 minut z przerwami, bez przerw
3. Wielkość ziarn gradu (grad wielkości ziarn wyki, grochu, bobu, orzecha włoskiego, orzecha włoskiego, jaja gołębiego itp.): bobu
4. Kształt i budowa ziarna gradu: kanciaste  
(np. ziarna okrągłe, kanciaste itp.)
5. Grad gęsty czy rzadki – bez deszczu czy z deszczem: małym, średnim, ulewnym – czy bez burzy i wiatru, z burzą i wiatrem: łagodnym, silnym, gwałtownym, huraganem.
6. Zasięg gradobicia: 3 km  
(przybliżona długość i szerokość pasa gradowego)
7. Kierunek ruchu chmury gradowej (np. z południowego-zachodu na północny-wschód): południowy-zachód na północ
8. Wypolane przez grad obniżenie oczekiwanego plonu w %:
 

a) w zbożach	70%
b) w okopowych	10%
c) w strączkowych	10%
d) w oleistych	10%
e) w tytoniu	10%
f) w ogrodach warzywnych	10%
g) w ogrodach owocowych	10%

(wymienić nazwy roślin i przybliżone obniżenie oczekiwanego plonu w %)

PIHM 231 (10-40) 20000 A, 220 g

Rys. 1. Przykład kwestionariusza gradowego

Dane wymienione w punktach 1 i 2 zostały zaktualizowane wg obowiązującego obecnie podziału administracyjnego (od 1 stycznia 1999 r.); działania te były podejmowane na bieżąco, podczas wprowadzania danych do bazy. Współrzędne miejscowości pochodzą z mapy internetowej – [www.mapa.szukacz.pl](http://www.mapa.szukacz.pl).

## 5. Metodyka

W opracowaniu wykorzystano jedynie dane jednorodne z lat 1960-78, gdyż okres późniejszy cechuje się stopniowym zmniejszaniem liczby korespondentów i w następstwie obniżeniem wartości naukowej tych zbiorów. Kwestionariusze gradowe, nadsyłane do IMGW przez sprawozdawców, zgodnie z przyjętą koncepcją zostały chronologicznie usystematyzowane, opisane symbolami kolejnych lat i „setek” (np. 60A, 60B itd.). Ułatwić to miało późniejszy dostęp do danych. Zebrane dane tworzą osobny zbiór w *Katalogu groźnych zjawisk pogodowych w Pol-*

sce. Kwestionariusze gradowe nie były do tej pory analizowane i są unikatowym, oryginalnym materiałem badawczym.

Do utworzenia map Polski, przedstawiających miejsca opadu gradu w poszczególnych dniach okresu gradowego, wybrano dni, gdy o opadzie gradu sprawozdawcy raportowali przynajmniej 10 razy. Kryterium to pozwoliło wyróżnić przypadki o większym znaczeniu merytorycznym.

Głównym rozwiązaniem metodycznym było zastosowanie tzw. wskaźnika „S”, określającego procentowy stosunek liczby przypadków opadów gradu na 100 km<sup>2</sup> w danym województwie, do średniej krajowej z całego okresu 1960-1978. Użycie wskaźnika było konieczne, bowiem województwa mają różną powierzchnię i porównywanie liczby dni z opadem gradu na ich obszarach nie było adekwatne. Po określeniu liczby dni z gradem w poszczególnych województwach, w latach 1960-1978, obliczono ich udział procentowy w łącznej liczbie dni z gradem w całej Polsce w tym okresie, a następnie liczbę dni z gradem, jaka przypadła na 100 km<sup>2</sup> w danym województwie.

Takie podejście do zagadnienia pozwoliło na obiektywne porównanie liczby przypadków gradu w różnych województwach, nie biorąc pod uwagę ich powierzchni.

## **6. Wyniki badań**

Na podstawie odpowiednio zidentyfikowanych, uszeregowanych i zweryfikowanych kwestionariuszy gradowych obliczono rzeczywistą liczbę dni z gradem w okresie 1960-1978.

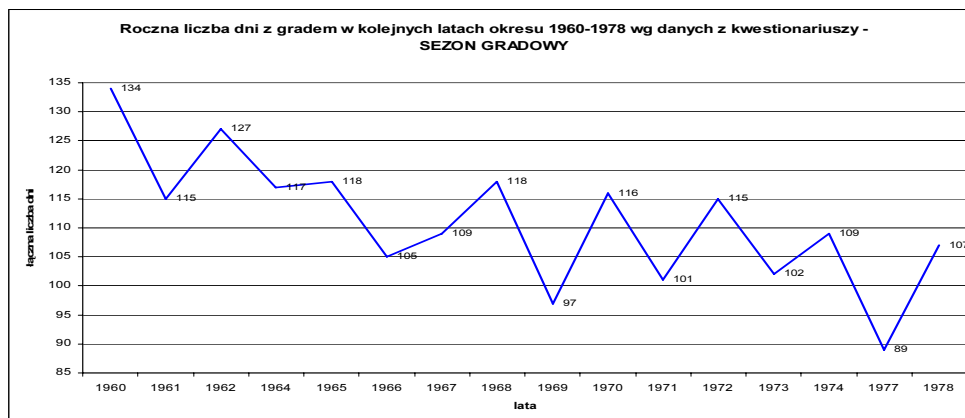
### **6.1. Rozkład w czasie**

Analiza danych wykazała spadek łącznej liczby dni z gradem w sezonie gradowym w kolejnych latach okresu 1960-1978 (rys. 2). Wieloletni przebieg danych wykazuje dużą zmienność z roku na rok. W okresie tym przypadało średnio 111 dni z gradem w sezonie gradowym rocznie. Maksymalną liczbę dni z gradem – 134 – zaobserwowano w sezonie gradowym 1960 r. Od 1966 r. liczba ta kształtowała się już przeważnie poniżej średniej wieloletniej, z minimum wynoszącym 97 dni w 1969 i 89 dni w 1977 r. Jedynie w latach 1968 i 1970 liczba dni z gradem przekroczyła wartość średnią, wynosząc odpowiednio 118 i 116 dni.

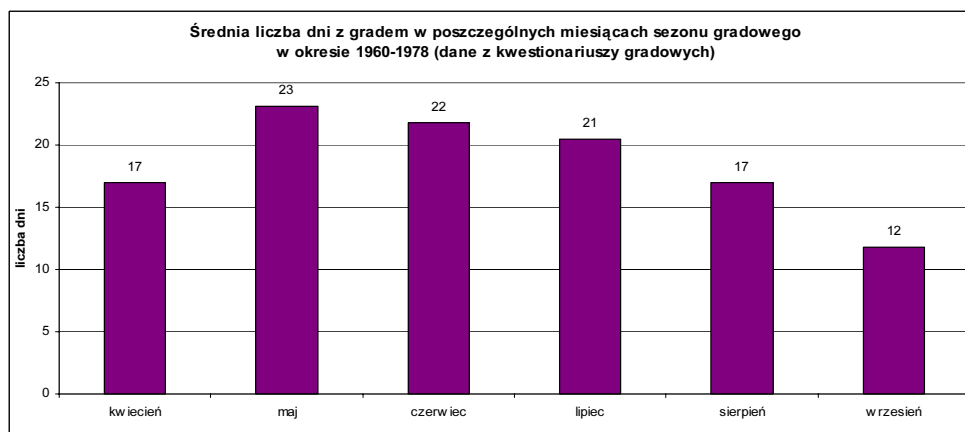
Z przeprowadzonej analizy podstawowego okresu badań wynika, iż najwięcej dni z gradem obserwuje się w maju – średnio 23 dni, czerwcu – 22 dni i w lipcu – 21 dni (na terenie całej Polski w latach 1960-1978). Najmniej dni z gradem w sezonie gradowym notuje się we wrześniu – 12 dni w skali kraju (rys. 3).

Podobne wykresy sporządzono również dla każdego analizowanego roku, jednak ze względu na ograniczoną ilość miejsca w niniejszej monografii ograniczono się do przedstawienia tabeli zbiorczej, zawierającej liczbę dni z opadem gradu w poszczególnych miesiącach sezonu gradowego kolejnych lat okresu 1960-1978 (tab. 1).

Najwięcej dni z opadem gradu, w czasie jednego miesiąca, miało miejsce w maju 1960 r. oraz w czerwcu 1974 r. (po 28 dni), a także w maju 1962 r. oraz w lipcu 1965 r. (po 27 dni). W roku 1977 wystąpiło minimum dni z gradem w czerwcu i w sierpniu (odpowiednio 19 i 8 dni).



Rys. 2. Łączna liczba dni z gradem w sezonie gradowym w kolejnych latach okresu 1960-1978

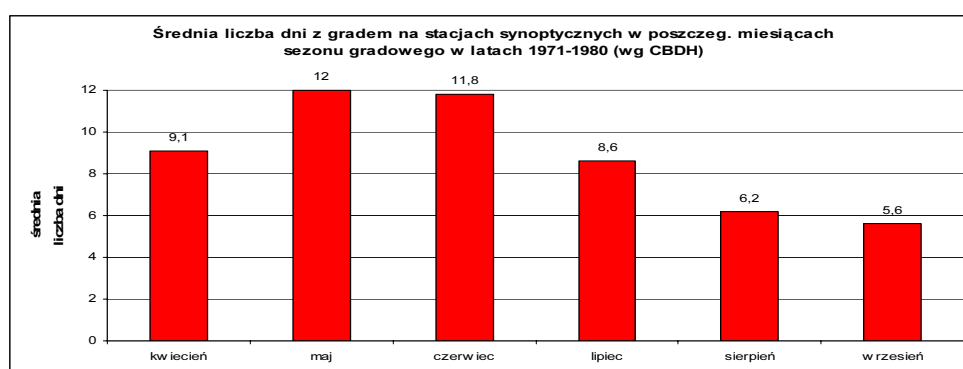


Rys. 3. Średnia miesięczna liczba dni z gradem w sezonie gradowym w podstawowym okresie analizy 1960-1978

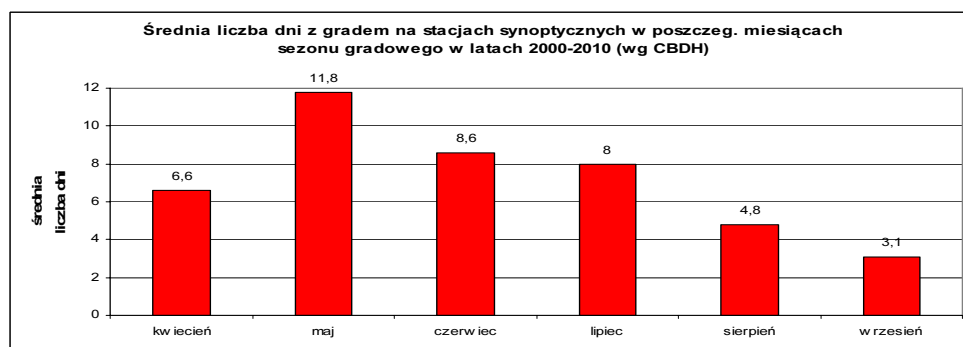
Tab. 1. Liczba dni z opadem gradu w poszczególnych miesiącach sezonu gradowego w kolejnych latach (1960-1978) – wg danych z kwestionariuszy gradowych

	1960	1961	1962	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1977	1978	Sr.
IV	20	17	21	22	19	18	17	17	16	18	14	14	17	11	16	14	17
V	28	26	27	24	26	19	18	24	26	25	24	21	22	21	20	19	23
VI	25	24	20	21	19	21	23	21	23	20	23	21	19	28	19	22	22
VII	23	23	25	21	27	22	19	20	12	21	13	21	25	22	14	20	21
VIII	21	18	19	14	19	17	21	20	15	17	13	20	13	19	8	18	17
IX	17	7	15	15	8	8	11	16	5	15	14	18	6	8	12	14	12
Suma	134	115	127	117	118	105	109	118	97	116	101	115	102	109	89	107	111

W celu określenia tendencji czasowych tego groźnego zjawiska po roku 1980 porównano dane z okresów 1971-1980 oraz 2001-2010, pochodzące z Centralnej Bazy Danych Historycznych (rys. 4 i 5). Analiza tych danych wykazuje, że nadal widoczna jest – opisana już wcześniej – cecha częstotliwości występowania gradu z charakterystycznym maksimum w maju oraz czerwcu. Jednak, porównując okres 2000-2010 do wielolecia 1971-1980 zauważyć można spadek średniej liczby dni z gradem w miesiącu. We wrześniu liczba ta zmalała z 5,6 dni do 3,1 dni, co stanowi spadek aż o 45%. Wartość ta zauważalnie zmniejszyła się też w przypadku kwietnia oraz czerwca; w kwietniu średnia liczba dni z gradem spadła z 9,1 do 6,6 (28% różnicy), a w czerwcu z 11,8 do 8,6 dni z gradem (27%).



Rys. 4. Średnia miesięczna liczba dni z gradem w sezonie gradowym w okresie 1971-1980



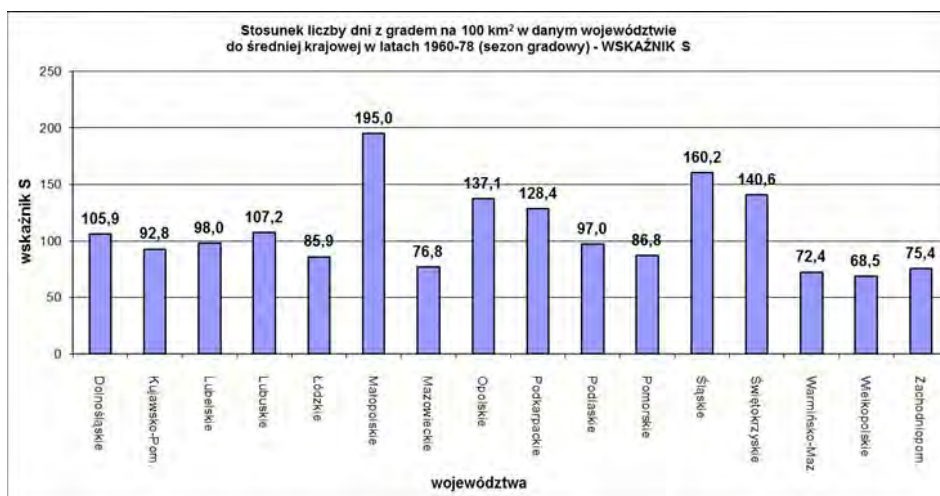
Rys. 5. Średnia miesięczna liczba dni z gradem w sezonie gradowym w okresie 2000-2010

## 6.2. Analiza przestrzenna

Na podstawie dostępnych danych obliczono liczbę dni z gradem na terenie poszczególnych województw, a następnie na tej podstawie, biorąc pod uwagę powierzchnię każdego województwa, obliczono wskaźnik „S”. Wskaźnik ten może przybrać wartości od zera, przy założeniu że na danym obszarze nie wystąpiły opady gradu w badanym okresie, do kilkuset przy bardzo częstych opadach. W analizowanym przypadku najwyższa wartość wskaźnika „S” wyniosła 250,8% w woj. małopolskim (średnia wartość miesięczna dla sierpnia), najniższa natomiast

48,7% w woj. łódzkim (średnia wartość miesięczna dla września) oraz 35% w woj. warmińsko-mazurskim (wartość roczna dla 1969 r., tab. 3).

Średnia roczna liczba dni z gradem na obszarze całej Polski (w analizowanym okresie 1960-1978) wyniosła 0,1405 na każde 100 km<sup>2</sup>, co przyjęto jako 100%. Dużo powyżej tej średniej kształtuje się średnia przede wszystkim w woj. małopolskim (0,27 – 195% średniej krajowej), a także śląskim (0,23 – 160%), świętokrzyskim (0,20 – 141%) oraz opolskim (0,19 – 137%) – rys. 6. Generalnie można stwierdzić, że największa liczba dni z gradem występuje w województwie małopolskim, z rekordową wielkością 195% w stosunku do całego kraju.



Rys. 6. Wskaźnik „S” w poszczególnych województwach w sezonie gradowym okresu 1960-78

Z kolei najmniej dni z gradem w stosunku do powierzchni odnotowano w województwach północnych oraz centralnych. W woj. wielkopolskim współczynnik „S” wyniósł 68,5%, w warmińsko-mazurskim – 72,4%, w zachodniopomorskim – 75,4%, a w woj. mazowieckim – 76,8%.

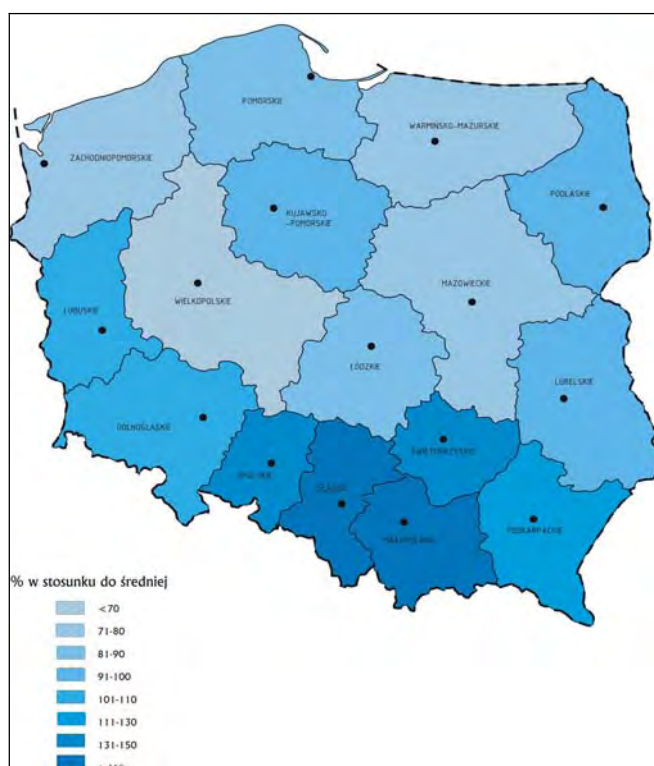
Tab. 2. Średnia miesięczna wartość wskaźnika „S” w poszczególnych województwach w okresie 1960-1978

Wojew./miesiąc	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Dolnośląskie	112,5	108,2	115,8	105,2	107,4	85,5
Kujawsko-pomorskie	102,4	84,5	81,6	96,5	74,2	96,9
Lubelskie	89,4	99,2	101,5	105,4	98,2	101,5
Lubuskie	118,9	106,5	108,3	98,6	96,2	116,1
Łódzkie	93,6	85,7	82,7	105,2	70,1	48,7
Małopolskie	160,3	197,8	211,5	200,6	250,8	201,6
Mazowieckie	87,3	79,2	76,1	66,1	76,7	60,6
Opolskie	115,2	143,5	139,3	119,3	151,8	78,9
Podkarpackie	109,3	139,9	126,4	125,1	140,6	129,8
Podlaskie	107,9	98,3	107,6	75,0	84,0	110,1
Pomorskie	90,3	74,8	67,6	95,4	100,6	123,7
Śląskie	92,5	183,3	178,1	170,2	170,1	171,5
Świętokrzyskie	111,7	136,3	143,4	168,7	141,1	86,2
Warmińsko-mazurskie	79,3	73,8	65,0	60,0	69,0	92,1
Wielkopolskie	72,7	62,8	65,0	79,3	63,3	65,1
Zachodniopomorskie	114,8	66,0	71,6	69,4	60,4	118,1



Województwo małopolskie wyróżnia się też w poszczególnych miesiącach sezonu gradowego – w każdym z nich współczynnik „S” był najwyższy wśród wszystkich województw, z maksimum 250% w sierpniu (tab. 2). Najniższą z kolei wartością współczynnika „S” charakteryzowało się województwo łódzkie (minimum 49% we wrześniu).

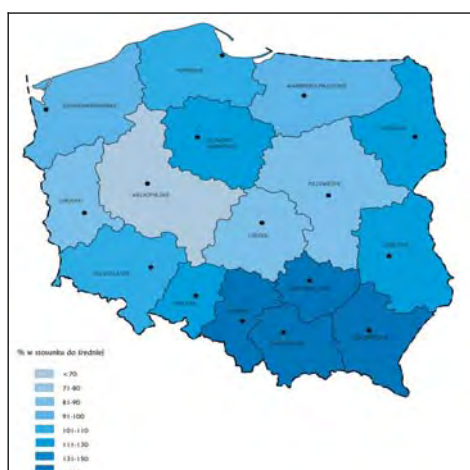
Zróżnicowanie średniej rocznej liczby dni z gradem ilustrują również rysunki 7-9. Rys. 7 przedstawia średni wskaźnik „S” dla okresu 1960-1978. Zdecydowanie wyróżniają się tu, ze względu na wielkość wskaźnika, województwa południowe – kolor ciemnoniebieski. Reszta obszaru Polski, a szczególnie województwo wielkopolskie, charakteryzuje się niską wartością tego współczynnika.



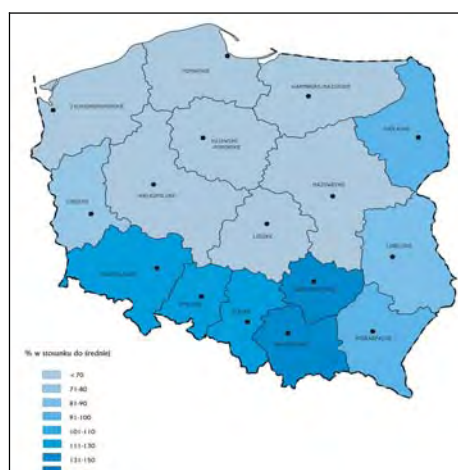
Rys. 7. Zróżnicowanie przestrzenne częstości dni z gradem w poszczególnych województwach na tle średniej dla Polski w latach 1960-78 (wskaźnik S)

Kolejne dwa rysunki (rys. 8, 9) przedstawiają różnice udziału dni z gradem w wybranych latach analizowanego okresu (1960 i 1978 r. jako pierwszy i ostatni rok badanego wielolecia). Wskaźnik „S” w tych przypadkach został wyrażony jako stosunek liczby dni z opadem gradu na każde 100 km<sup>2</sup> we wszystkich województwach w danym roku, do średniej liczby takich przypadków na obszarze Polski w całym badanym okresie. Zaobserwować można wyraźny spadek liczby dni z gradem w kolejnych latach w każdym z województw przy zachowanej strukturze

rozkładu przestrzennego opadu gradu. W analizowanych latach wyróżnia się obszar Polski południowej ze średnią ponad 100% w stosunku do całego kraju. Średni, roczny wskaźnik dla wszystkich województw zmniejszył się jednak ze 117% w roku 1960 do 88% w 1978 r. (tab. 3).



Rys. 8. Stosunek częstości liczby dni z gradem w poszczególnych województwach względem Polski (średnia z lat 1960-1978) w przeliczeniu na 100 km<sup>2</sup> – rok 1960



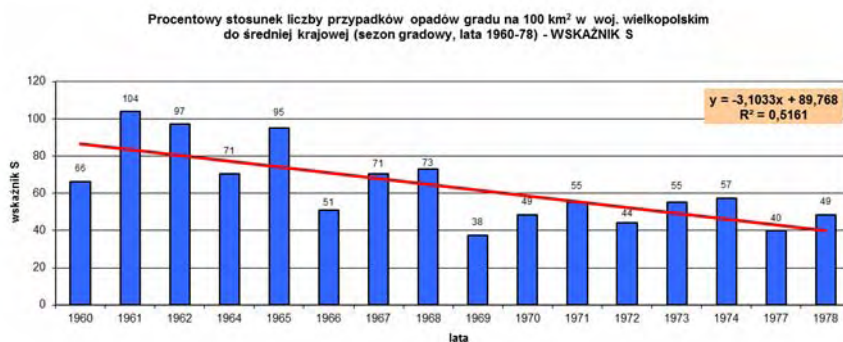
Rys. 9. Stosunek częstości liczby dni z gradem w poszczególnych województwach względem Polski (średnia z lat 1960-1978) w przeliczeniu na 100 km<sup>2</sup> – rok 1978

Zmienność liczby dni z gradem (wskaźnika „S”) na obszarze wybranych województw (małopolskiego, kujawko-pomorskiego, wielkopolskiego, mazowieckiego oraz świętokrzyskiego) dokładniej przedstawiono na rys. 10-14 oraz w tab. 3. Linie trendu wykazują tendencję malejącą występowania tego zjawiska we wszystkich szesnastu województwach.

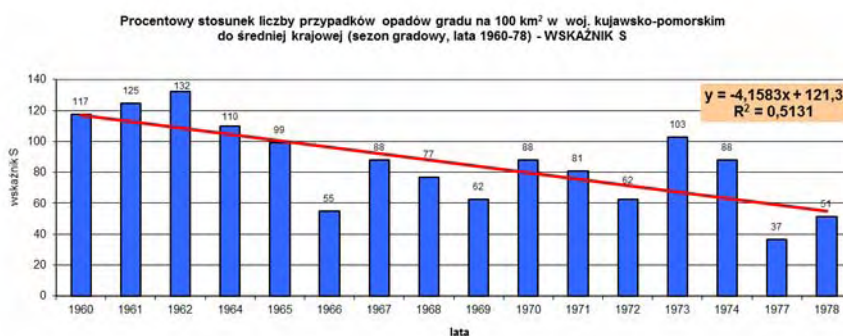
Tab. 3. Stosunek liczby dni z gradem na 100 km<sup>2</sup> w poszczególnych województwach do średniej liczby z gradem w Polsce w kolejnych latach analizowanego okresu 1960-78 (wskaźnik „S”)

wskaźnik S	1960	1961	1962	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1977	1978
Dolnośląskie	106	139	86	112	116	86	102	119	79	93	109	99	59	83	69	112
Kujawsko-Pom.	117	125	132	110	99	55	88	77	62	88	81	62	103	88	37	51
Lubelskie	126	81	113	84	89	73	81	105	66	121	94	92	100	71	68	87
Lubuskie	85	108	155	104	99	71	113	141	90	104	90	113	61	113	61	80
Łódzkie	83	90	101	90	123	72	58	94	76	76	109	80	36	80	51	54
Małopolskie	204	230	230	195	182	191	200	191	130	135	204	234	152	178	100	135
Mazowieckie	82	80	102	82	70	57	57	85	54	70	74	76	69	69	44	67
Opolskie	112	217	154	133	154	126	91	154	49	105	175	126	119	133	56	126
Podkarpackie	151	144	177	122	126	122	107	118	111	96	137	111	107	103	78	92
Podlaskie	131	111	140	85	101	69	78	95	49	91	78	108	108	59	42	91
Pomorskie	104	108	130	68	83	50	76	97	58	61	90	76	94	58	65	68
Śląskie	155	203	160	176	139	128	139	160	144	128	182	182	86	171	96	123
Świętokrzyskie	163	169	186	124	141	90	113	169	146	101	113	113	118	129	73	135
Warmińsko-Maz.	93	82	101	74	79	46	49	57	35	65	71	76	68	54	57	65
Wielkopolskie	66	104	97	71	95	51	71	73	38	49	55	44	55	57	40	49
Zachodniopom.	98	72	107	69	63	43	60	83	63	60	63	66	81	49	69	69
Średnio	117	129	136	106	110	83	93	114	78	90	108	104	88	93	63	88

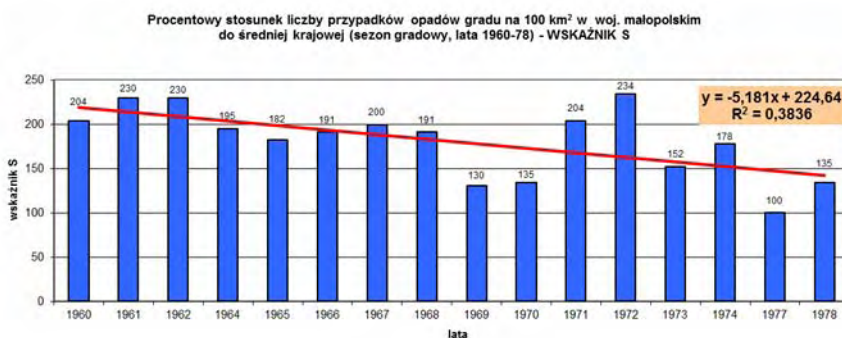
Największy spadek wskaźnika „S” zaobserwowano w województwie małopolskim (tab. 4), z 204% w roku 1960 do 135% w roku 1978. Duży spadek wskaźnika „S” zanotowano również w województwach kujawsko-pomorskim oraz podkarpackim.



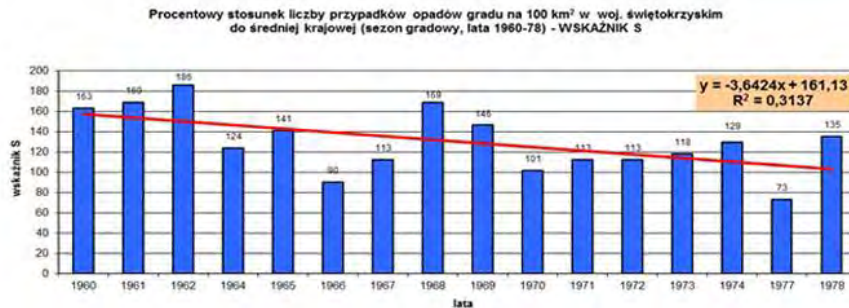
Rys. 10. Wieloletnia zmienność liczby dni z gradem w woj. małopolskim w miesiącach kwiecień-wrzesień w kolejnych latach okresu 1960-1978



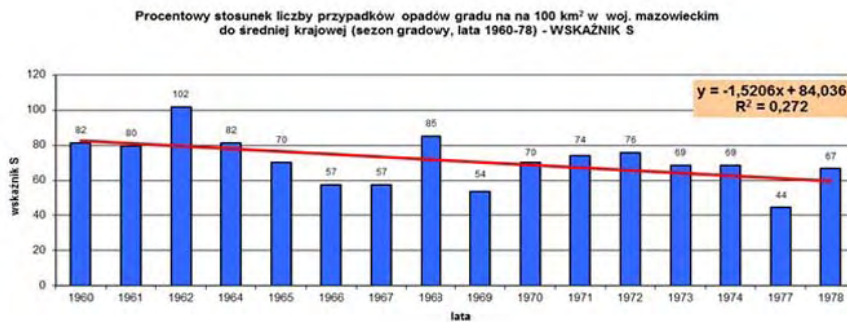
Rys. 11. Wieloletnia zmienność liczby dni z gradem w woj. kujawsko-pomorskim w miesiącach kwiecień-wrzesień w kolejnych latach okresu 1960-1978



Rys. 12. Wieloletnia zmienność liczby dni z gradem w woj. wielkopolskim w miesiącach kwiecień-wrzesień w kolejnych latach okresu 1960-1978



Rys. 13. Wieloletnia zmienność liczby dni z gradem w woj. mazowieckim w miesiącach kwiecień-wrzesień w kolejnych latach okresu 1960-1978



Rys. 14. Wieloletnia zmienność liczby dni z gradem w woj. świętokrzyskim w miesiącach kwiecień-wrzesień w kolejnych latach okresu 1960-1978

Tab. 4. Równania linii trendu oraz wartość R-kwadrat dla wskaźnika „S” w poszczególnych województwach w okresie 1960-1978

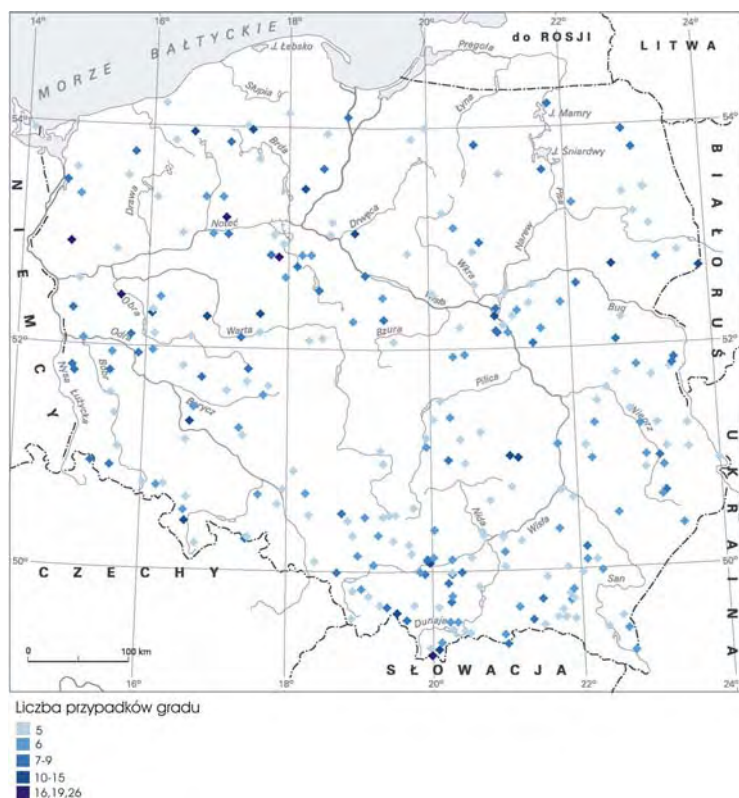
	Równanie	R-kwadrat
Dolnośląskie	$y = -2,0358x + 115,39$	0,2259
Kujawsko-pomorskie	$y = -4,1583x + 121,3$	0,5131
Lubelskie	$y = -1,2928x + 101,69$	0,1137
Lubuskie	$y = -2,0854x + 116,96$	0,1464
Łódzkie	$y = -2,596x + 101,65$	0,303
Małopolskie	$y = -5,181x + 224,64$	0,3836
Mazowieckie	$y = -1,5206x + 84,036$	0,272
Opolskie	$y = -3,3158x + 155,1$	0,1445
Podkarpackie	$y = -4,0682x + 153,46$	0,6208
Podlaskie	$y = -3,0631x + 115,82$	0,2878
Pomorskie	$y = -2,3577x + 100,43$	0,2621
Śląskie	$y = -3,0182x + 173,97$	0,2042
Świętokrzyskie	$y = -3,6424x + 161,13$	0,3137
Warmińsko-mazurskie	$y = -1,6987x + 81,524$	0,2226
Wielkopolskie	$y = -3,1033x + 89,768$	0,5161
Zachodniopomorskie	$y = -1,3207x + 81,029$	0,152

Analiza zebranego materiału wykazała również, że w Polsce istnieją obszary o zwiększonej częstości występowania opadów gradu. Rozkłady przestrzenne, przedstawiające miejsca wystąpienia opadu gradu w sezonie gradowym w latach 1960-78, prezentują mapy na rys. 15-19.

Dla zachowania przejrzystości i czytelności map zaprezentowano miejsca z zarejestrowanymi co najmniej pięcioma przypadkami opadu gradu w sezonie gradowym lub w danym miesiącu. W sierpniu i we wrześniu nie odnotowano pięciu przypadków opadu gradu w jednym miejscu, wobec czego miesiące te nie zostały uwzględnione na mapach (rys. 15-23).

Miejsca opadu gradu zaznaczone są kolorem niebieskim; im ciemniejszy odcień, tym większa liczba dni z gradem w danym miejscu. Z powodu zróżnicowania liczby dni z gradem w danym miejscu w kolejnych miesiącach, przedziały klasowe na mapach nieznacznie się od siebie różnią.

Mapa dla sezonu gradowego (rys. 15) potwierdza, że zauważalnie duża częstość przypadków opadu gradu występuje w południowej części Polski, szczególnie w województwie małopolskim, w porównaniu np. z obszarem północnej lub centralnej części kraju. Pod tym względem wyróżnia się także Lubelszczyzna oraz część Polski zachodniej. Zwraca również uwagę zagęszczenie opadów wzdłuż dolin rzecznych – głównie Wisły, Wieprza, górnej Odry, Obry oraz górnej Noteci.



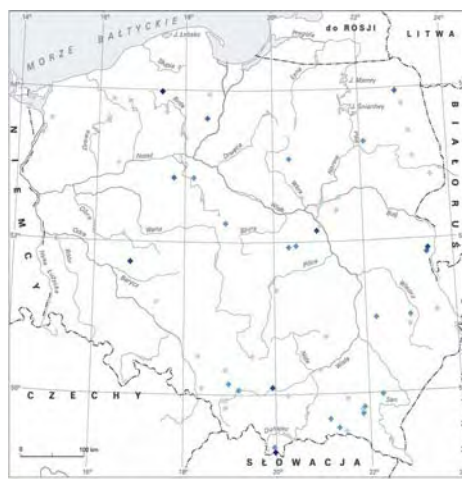
Rys. 15. Przypadki opadu gradu w sezonie gradowym w latach 1960-1978

Mapy sporządzone dla poszczególnych miesięcy przedstawiają podobną strukturę przestrzenną występowania opadów gradu (rys. 16-19). W każdym przypadku najczęściej opadów miało miejsce na południu kraju, z maksimum w województwie małopolskim. Wyróżniają się również województwa lubelskie i lubuskie, a także wspomniane wcześniej doliny rzeczne. Przyczyną może być sytuacja, kiedy



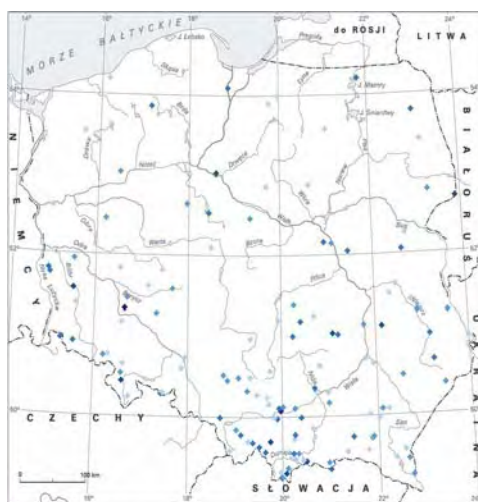
Liczba przypadków gradu  
 5  
 6  
 7-9  
 10-14  
 15-19

Rys. 16. Przypadki gradu w kwietniu w latach 1960-1978



Liczba przypadków gradu  
 5  
 6  
 7  
 8  
 13

Rys. 17. Przypadki gradu w maju w latach 1960-1978



Liczba przypadków gradu  
 5  
 6  
 7-9  
 10-12  
 13-15.26

Rys. 18. Przypadki gradu w czerwcu w latach 1960-1978

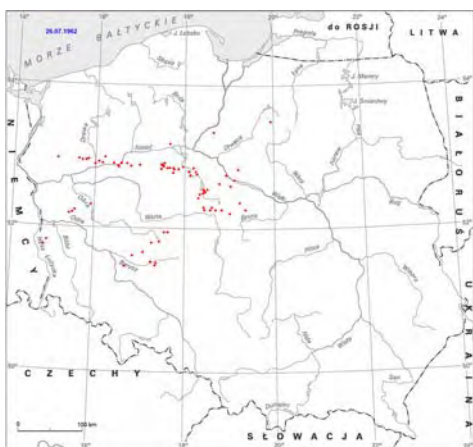


Liczba przypadków gradu  
 5  
 6  
 7  
 8-9  
 10-11.18

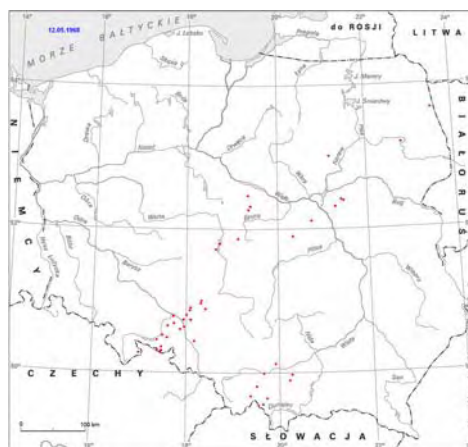
Rys. 19. Przypadki gradu w lipcu w latach 1960-1978

w chmurze lub zbitce chmur cumulonimbus w momencie pojawienia się jej nad zbiornikami wodnymi, prądy wznoszące są silnie osłabione i umożliwiają wypadanie gradu z większą intensywnością. Z kolei na Podkarpaciu intensywność gradu wzrasta podczas przemieszczania się układów chmurowych związanych z rozmywającymi się już ośrodkami niżowymi z frontem chłodnym, lub ciepłym z wbudowanymi komórkami konwekcyjnymi wędrującymi nad Ukrainę. Duże nagrzanie natomiast jeszcze wzmacnia konwekcję. Ważną rolę odgrywa tu także orografia terenu i kierunek nachylenia stoków.

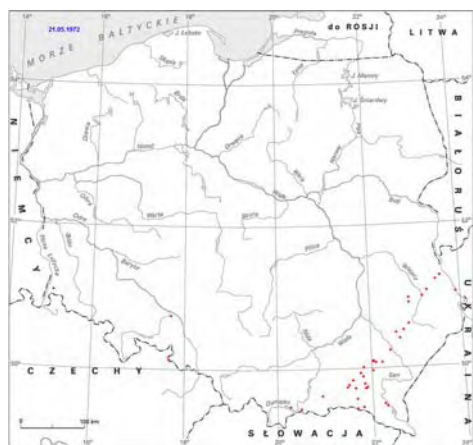
Sezonowa oraz miesięczna struktura przestrzenna opadów gradu została również potwierdzona analizą poszczególnych przypadków dobowych. Mapy na rys. 20-23 przedstawiają miejsca opadu gradu w ciągu wybranych czterech dni badanego okresu. Na mapach wyraźnie zarysowuje się tor przemieszczania chmury gradowej.



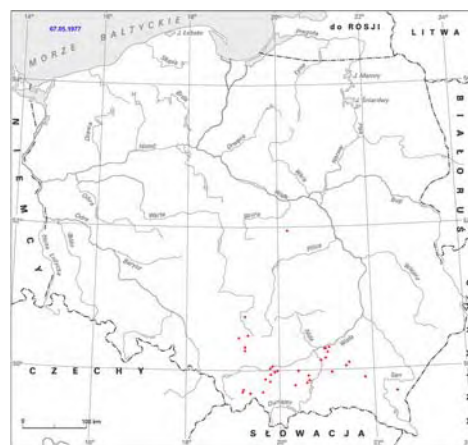
Rys. 20. Miejsca opadu gradu w dniu 26 lipca 1962 r.



Rys. 21. Miejsca opadu gradu w dniu 12 maja 1968 r.



Rys. 22. Miejsca opadu gradu w dniu 21 maja 1972 r.



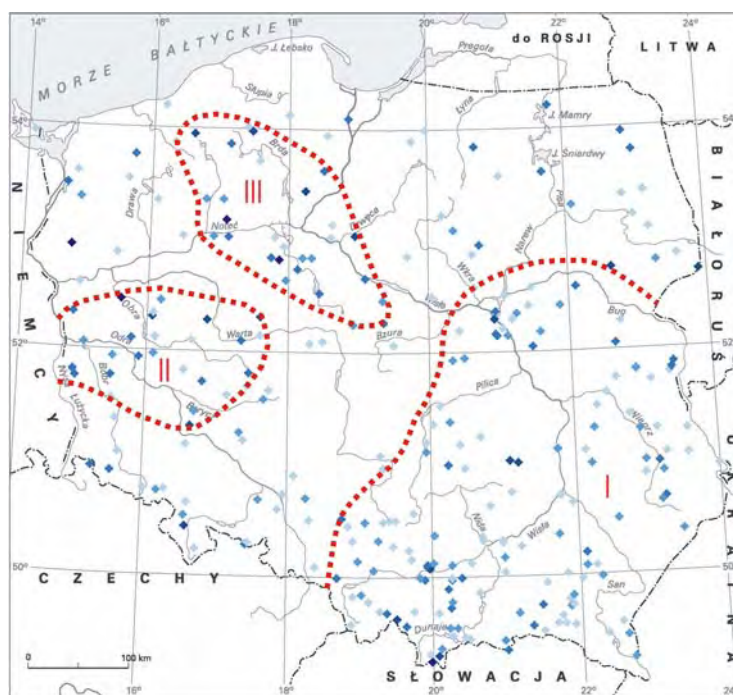
Rys. 23. Miejsca opadu gradu w dniu 7 maja 1977 r.

Na rys. 20, przedstawiającym opad z dnia 26 lipca 1962 r., widoczny jest szlak chmury gradowej na Pojezierzu Wielkopolskim, zlokalizowany wzdłuż Noteci. Z kolei dnia 12 maja 1968 r. szlak gradowy ciągnie się od obszaru Sudetów przez Opolszczyznę i dalej w kierunku północno-wschodnim (rys. 21). W następnym przykładzie, z 21 maja 1972 r. (rys. 22), szlak prowadzi z obszaru Beskidu Niskiego w kierunku Wyżyny Lubelskiej. I ostatni przypadek z dnia 7 maja 1977 r. – chmura gradowa znajdowała się w Polsce południowej, powodując opady na Przedgórzu Karpackim od Krakowa po Rzeszów (rys. 23).

Analiza pozostałych dni z gradem potwierdza istnienie powtarzających się torów chmur gradowych na obszarze Polski.

Na rys. 24 dokonano próby wyznaczenia obszarów najbardziej zagrożonych występowaniem gradu (obszary gradowe). Są to:

- I obszar – południowy i południowo-wschodni;
- II obszar – południowo-zachodni;
- III obszar – wewnętrzny.



Rys. 24. Obszary gradowe wyróżnione na obszarze Polski, określone na podstawie danych z lat 1960-1978

### 6.3. Grad a typy cyrkulacji

Kolejnym zagadnieniem uwzględnionym w opracowaniu była analiza typów cyrkulacji (wg J. Lityńskiego) i ich związku z występowaniem gradu (rys. 25). Do analizy tej zależności wybrano, jak wspomniano na początku, 323 dni z opadem gradu z okresu 1960-1978.



Uzyskano następujące rezultaty: w sezonie gradowym analizowanego okresu wyraźnie zaznacza się udział dni z opadem gradu w typie cyrkulacji NEa (26 dni – 8,0%); duże wartości dotyczą też sytuacji NEc (6,8%), NWc (6,5%) oraz SWc (6,5%). Najrzadziej opady gradu miały miejsce w dniach z typami cyrkulacji Sa, SEa oraz SWo – po 5 dni, czyli po 1,5% udziału we wszystkich dniach z gradem.

Przyczyny:

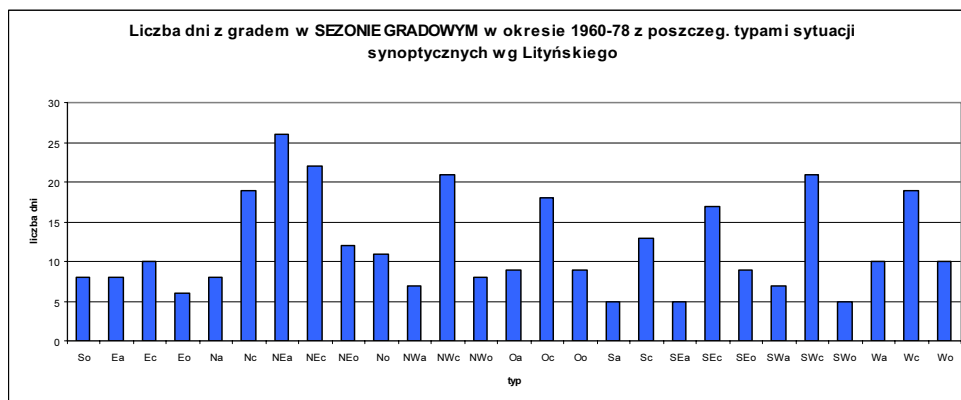
- NEa – podczas napływu chłodnych mas powietrza z kierunku NE na zalegające, ciepłe masy powietrza (zazwyczaj zwrotnikowego) powstają burze termiczne w brzegowych strefach obszarów niżowych, a w nich opady gradu;
- NEc, NWc, SWc – grad powstaje głównie na chłodnych frontach atmosferycznych;
- Sa, SEa, SWo – opad gradu tworzy się w układach chmurowych podczas napływu gorących, zwrotnikowych mas powietrza z południa Europy; grad występuje wówczas również w superkomórkach burzowych.

Tab. 5. Liczba dni z gradem w poszczególnych typach cyrkulacji w kolejnych miesiącach sezonu gradowego

Typ cyrkulacji	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Suma końcowa	%
So	0	3	2	2	1	0	8	2,5
Ea	0	2	1	4	1	0	8	2,5
Ec	3	3	2	1	1	0	10	3,1
Eo	0	1	3	1	1	0	6	1,9
Na	1	2	2	3	0	0	8	2,5
Nc	6	5	4	2	2	0	19	5,9
NEa	1	8	5	5	2	5	26	8,0
NEc	5	9	5	0	2	1	22	6,8
NEo	3	2	2	3	1	1	12	3,7
No	4	2	3	0	2	0	11	3,4
NWa	0	3	3	1	0	0	7	2,2
NWc	2	5	4	4	3	3	21	6,5
NWo	1	4	1	2	0	0	8	2,5
Oa	1	1	2	3	2	0	9	2,8
Oc	1	7	6	2	2	0	18	5,6
Oo	1	2	1	1	4	0	9	2,8
Sa	0	0	2	0	3	0	5	1,5
Sc	2	5	1	2	3	0	13	4,0
SEa	0	0	3	1	1	0	5	1,5
SEc	1	8	7	0	0	1	17	5,3
SEo	1	1	4	1	1	1	9	2,8
SWa	1	0	1	3	1	1	7	2,2
SWc	3	8	3	2	4	1	21	6,5
SWo	0	0	2	1	2	0	5	1,5
Wa	1	3	4	1	1	0	10	3,1
Wc	4	9	2	3	1	0	19	5,9
Wo	2	1	3	2	2	0	10	3,1
Suma końcowa	44	94	78	50	43	14	323	100

Dość niezwykle kształtuje się liczba dni z opadem gradu w różnych typach cyrkulacji w poszczególnych miesiącach sezonu gradowego (tab. 5). Jedynie w czerwcu opad gradu miał miejsce przy każdym z wymienionych typów cyrkulacji; z kolei w lipcu grad ani razu nie wystąpił podczas najczęstszego dla sezonu typu cyrkulacji NEc.

Jak wykazano grad może wystąpić w każdym typie cyrkulacji, jednak istnieje pewne zróżnicowanie w poszczególnych miesiącach.



Rys. 25. Łączna liczba dni z gradem w miesiącach kwiecień-wrzesień w latach 1960-1978 w poszczególnych typach cyrkulacji (wg J. Lityńskiego)

## 7. Wnioski

- Analiza rozkładu dni z gradem w roku pozwoliła wyróżnić miesiące, w których to zjawisko występuje najczęściej. Okres pojawiania się gradu nazwano „sezonem gradowym”, trwającym od kwietnia do września. Miesiącami, w których średnia liczba dni z opadem gradu jest największa są maj (23 dni w okresie 1960-78 na obszarze całej Polski), czerwiec (22 dni) oraz lipiec (21 dni).
- Średnio na obszarze Polski występuje 111 przypadków gradu w sezonie.
- Wykazano też, że istnieją rejony kraju o wzmożonej częstości występowania gradu. Biorąc pod uwagę cały analizowany okres (1960-1978), najczęściej opady gradu występowały w województwach południowych: małopolskim, śląskim, świętokrzyskim i opolskim, a także w dolinach niektórych rzek oraz na Lubelszczyźnie. Opady gradu najrzadziej występowały w Polsce środkowej oraz północnej (woj. wielkopolskie i warmińsko-mazurskie).
- Wyróżniono trzy główne obszary gradowe na terenie Polski (rys. 24), które można traktować jako obszary największego ryzyka pojawiania się gradu.
- Grad najczęściej pojawia się w następujących typach cyrkulacji: NEa, NEc, Nwc, SWc.
- Analiza danych wykazuje również, że zmniejsza się ogólna liczba dni z gradem, co ma swoje odzwierciedlenie w liczbie takich dni na każde 100 km<sup>2</sup> danego województwa – przykładowo: w woj. małopolskim w latach 60. było to ponad 200% dni z gradem w stosunku do średniej dla Polski z całego okresu 1960-1978, w latach 70. wartość ta nie przekraczała 180%, a w roku 1977 osiągnęła jedynie 99%. Tendencję tą potwierdza analiza trendów.

## **Literatura**

- Gumiński R., 1930, Grad, jego pochodzenie i walka z nim, Prace PIM, 1, 5-13
- Koźmiński Cz., 1964, Geograficzne rozmieszczenie większych burz gradowych zanotowanych na obszarze Polski w latach 1946-1956, Przegląd Geograficzny, 36, 87-102
- Lorenc H. (red.), 2005, Atlas Klimatu Polski, IMGW, Warszawa
- Niedźwiedź T., 2003, Słownik Meteorologiczny, IMGW, Warszawa
- Stopa M., 1962, Burze w Polsce, Prace Geograficzne IG PAN, 34, 108-185
- Stopa M., 1960, Liczba dni z burzą w Polsce, Przegląd Geograficzny, 32, 329-333
- Twardosz R. i in., 2010, Burze gradowe w Krakowie i ich uwarunkowania cyrkulacyjne (1863-2008), IG Uniwersytet. Jana Kochanowskiego, Kielce
- Woś A., 2000, Meteorologia dla geografów, PWN, Warszawa
- Zinkiewicz W., Michna E., 1995, Częstotliwość występowania gradów w województwie lubelskim w zależności od warunków fizjograficznych, Annales UMCS, Lublin

# Ryzyko występowania gołoledzi w Polsce

*Elżbieta Dołęga, Halina Lorenc*

## 1. Wprowadzenie

Gołoledź jest zjawiskiem atmosferycznym, które powoduje poważne utrudnienia w pracy transportu, w tym lotniczego, zakłóca również przesył energii elektrycznej (obrywanie się przewodów elektrycznych) oraz jest zagrożeniem dla osób korzystających z dróg i chodników. Prawdziwa gołoledź, chociaż jest zjawiskiem rzadkim, to jednak bardzo uciążliwym, powodującym wiele perturbacji gospodarczych w krajach nawet wysoko rozwiniętych, takich jak Japonia, Niemcy, czy Francja. Bez względu na stopień zaawansowania infrastruktury żaden nowoczesny, szybki pociąg nie wyruszy w trasę jeśli trakcja będzie pokryta warstwą lodu. Pozostaje jedynie czekać na zmianę pogody (odwilż) lub zastąpić elektrowozy tradycyjnymi lokomotywami spalinowymi. Przykładów dostarczają nam fakty z ostatnich lat. W nocy z 8 na 9 stycznia 2010 r. zjawisko gołoledzi wystąpiło na Górnym Śląsku oraz w części Małopolski, przy temperaturze minus 1°C i padającym deszczu, który przy zetknięciu z wymrożonym podłożem zamieniał się w lód o grubości dochodzącej do 3 cm. Zjawisko to spowodowało szereg awarii linii energetycznych oraz trakcji kolejowej. Kolejny przypadek niezwykle spektakularnego zjawiska gołoledzi miał miejsce w Moskwie, w dniu 27 grudnia 2010 r. W wyniku kilkugodzinnego opadu marznącego deszczu każdy nieosłonięty przedmiot oraz ulice i chodniki zostały szczelnie pokryte lodem. Na śliskich powierzchniach doszło do wielu wypadków. Szpitale przyjęły większą niż zwykle liczbę pacjentów ze złamaniami, stłuczeniami itp.

Gołoledź jest rodzajem osadu atmosferycznego, który w warunkach klimatycznych Polski występuje stosunkowo rzadko, ale jeżeli już pojawi się to powoduje znaczące straty w gospodarce. W tym miejscu należałoby zdefiniować pojęcie gołoledzi. Według *Słownika meteorologicznego* [2003] jest to osad lodu, na ogół jednorodny i przezroczysty, powstały wskutek zamarznięcia przechłodzonych kropelek mżawki lub deszczu na powierzchniach o temperaturze niższej albo nieco wyższej od 0°C. Gołoledź może się tworzyć również wskutek zamarzania nieprzechłodzonych kropelek mżawki lub deszczu, bezpośrednio po ich zderzeniu z powierzchnią o temperaturze niższej od 0°C.

Warunkiem powstania gołoledzi jest opad deszczu przy ujemnej temperaturze (zazwyczaj  $-1$ ,  $-2^{\circ}\text{C}$ ). Sytuacja sprzyjająca pojawieniu się tego zjawiska zachodzi przy przechodzeniu lub stacjonowaniu frontu ciepłego lub w warunkach inwersji termicznej, kiedy cienka warstwa chłodniejszego a więc cięższego powietrza zalega kilkadziesiąt metrów nad powierzchnią gruntu, podczas gdy wyżej temperatura jest już dodatnia. Gołoledź może również powstać przy opadaniu mgły roszącej

Ze względu na panujące warunki synoptyczne można wyróżnić dwa rodzaje gołoledzi:

- gołoledź w masie powietrza, powstającą w strefach adwekcji ciepła, na skraju stacjonarnych antycyklonów (najczęściej na zachodnim lub północnym skraju) lub cyklonów (najczęściej na południowym lub wschodnim skraju);
- gołoledź frontowa, obserwowana przed frontem ciepłym, w strefie występowania deszczu przechłodzonego. W tym przypadku najważniejszą przyczyną powodującą gołoledź są duże różnice temperatury mas powietrza na froncie. Sprzyjające warunki do powstania przechłodzonego deszczu występują w klinie powietrza chłodnego, gdzie temperatura na powierzchni ziemi osiąga wartości od  $-1^{\circ}\text{C}$  do  $-8^{\circ}\text{C}$ , a w wycinku ciepłym (za frontem) wartości od  $5^{\circ}\text{C}$  do  $10^{\circ}\text{C}$ .

Ze względu na wygląd i gęstość wyróżnia się gołoledź:

- przezroczystą, powstającą w temperaturze zbliżonej do zera, ma ona szklisty i przezroczysty wygląd oraz dużą gęstość,
- matową, powstającą podczas opadu mżawki (drobne kropelki wody) i przy niższej temperaturze powietrza.

Inny rodzaj gołoledzi – czarny lód – jest bardzo zwodniczym zjawiskiem. Pokrywa on cienką warstwą przedmioty, szczególnie powierzchnię asfaltu drogi, który wtedy wydaje się być wyjątkowo czarny.

Gołoledzi nie należy mylić z powstawaniem lodu na powierzchni ziemi na skutek zamarznięcia wody, pochodzącej z uprzednio spadłego opadu lub ponownego zamarznięcia wody powstałej ze stopionego śniegu ani też ze stwardnienia pokrywy śnieżnej pod wpływem ruchu drogowego. Wówczas jest to tzw. „śliskość drogowa”.

## 2. Cel pracy

Głównym celem podjętych badań było poznanie struktury przestrzenno-czasowej tego groźnego zjawiska meteorologicznego w Polsce. Zjawisko gołoledzi powoduje szereg utrudnień w życiu codziennym, stając się przyczyną wielu groźnych awarii komunikacyjnych. Niebagatelne znaczenie ma również dla rolnictwa (sadownictwo) i leśnictwa – powoduje m.in. straty w drzewostanie. W gospodarstwach domowych powoduje uszkodzenia dachów budynków. Dlatego wydaje się celowym opracowanie przystępnego studium na temat mechanizmów powstawania gołoledzi, warunków meteorologicznych, w których powstaje to groźne zjawisko, czasowego i przestrzennego zróżnicowania na obszarze Polski oraz wskazanie trendów czasowych częstości jego występowania na terenie kraju.

### 3. Dane obserwacyjne oraz scenariusz realizacji pracy

Większość danych dotyczących gołoledzi i zjawisk meteorologicznych jej towarzyszących uzyskano z Centralnej Bazy Danych Historycznych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej-PIB. Dane dotyczą okresu 1971-2000, zawierają dobowe charakterystyki zjawiska, m.in. czas jego trwania.

Szczegółowe, dobowe dane o zjawisku gołoledzi, dla wybranych jako referencyjnych stacji dla okresu 2001-2005, zostały zaczerpnięte bezpośrednio z Dzienników Synoptycznych. Są to jedyne dostępne materiały dobowe znajdujące się w Archiwum IMGW-PIB, nie wnoszone do elektronicznej bazy danych. Odnotowano również inne zjawiska towarzyszące powstawaniu gołoledzi: opad marznącej mżawki, marznącego deszczu w czasie trwania gołoledzi, mgłę czy temperaturę.

Informacje z *Codziennego Biuletynu Meteorologicznego* zostały wykorzystane do określenia sytuacji pogodowej panującej dobowo wcześniej i podczas trwania zjawiska, natomiast do określenia typu cyrkulacji atmosferycznej wykorzystano klasyfikację J. Lityńskiego [1969].

Podstawowe dane dotyczące gołoledzi zgromadzono w postaci liczby dni z tym zjawiskiem w poszczególnych miesiącach sezonu „gołoledziowego”, dla czterdziestu pięciu stacji synoptycznych za okres 1971-2005.

Pierwszy etap pracy dotyczył obliczenia średniej sezonowej liczby dni z gołoledzią dla dwóch okresów obserwacji: 1971-2005 i porównawczego okresu 2001-2005, dla którego przeprowadzono również szczegółowe badania charakterystyk dobowych.

- a. Na podstawie analizy danych obserwacji gołoledzi za okres 1971-2005 dokonano obliczeń statystycznych, na podstawie których wykreślono mapy „ogólne”.
- b. Określono kryterium wyodrębnienia rejonów szczególnie zagrożonych występowaniem gołoledzi. Przyjęto następujące kryterium – wartością krytyczną jest wystąpienie średnio siedmiu dni z gołoledzią w sezonie (okres referencyjny to 1971-2005).
- c. W wyróżnionych rejonach zagrożonych gołoledzią znalazło się jedenaście stacji synoptycznych, dla których średnia liczba dni w sezonie wyniosła co najmniej 7. Dla tych stacji przeanalizowano strukturę dobową gołoledzi na podstawie pięciolecia 2001-2005. Przyjęty do analizy dobowej okres wynika z uzasadnień pragmatycznych – duża czasochłonność powyższych prac na materiale archiwalnym, ręczne wypisywanie danych z dzienników synoptycznych. Analiza dobową pozwoliła m.in. na badanie przebiegów zjawiska w poszczególnych okresach doby i wyróżnienie czasu gołoledzi długotrwałych, utrzymujących się bez przerwy przynajmniej jedną dobę i obejmujących swoim zasięgiem znaczny obszar kraju. Ustalono także daty zgodności wystąpienia zjawiska na większości uwzględnionych stacji.
- d. W zakończeniu przedstawiono trendy czasowe częstości wystąpienia zjawiska gołoledzi, obliczone dla poszczególnych stacji na podstawie danych z okresu 1971-2005.

Zjawisko gołoledzi, jak już wspomniano, rozpatrywano na podstawie obserwacji wizualnych prowadzonych na 45 stacjach meteorologicznych w Polsce, posiadających jednorodnie dane za okres 1971-2005 oraz trzech stacji o krótszym nieco ciągu obserwacji (Krosno, Sulejów, Płock-Trzepowo).

Podjęto następujący scenariusz realizacji pracy:

- a. Dokonano przestrzennej analizy wystąpienia gołoledzi na podstawie pięciu map, obrazujących średnią liczbę dni z gołoledzią dla sezonu oraz dla: listopada, grudnia, stycznia i lutego. Analiza tego zjawiska w skali kraju jest zadaniem trudnym, gdyż gołoledź bardzo często występuje lokalnie, zwłaszcza pod koniec jesieni i na początku wiosny oraz na początku i pod koniec zimy. Istniejący, silny wpływ warunków fizjograficznych na częstość i intensywność występowania gołoledzi powoduje, że wyniki obserwacji z danej stacji nie zawsze mogą być w pełni reprezentatywne i nie zawsze opisują pole tego zjawiska, jako jednorodne. Oznacza to, że wyniki obserwacji z danej stacji nie zawsze mogą być w pełni reprezentatywne dla większego regionu, a tym samym np. dla poszczególnych odcinków dróg i terenu o różnej nawierzchniach. Należy pamiętać o ich usytuowaniu w stosunku do najbliższych zbiorników wodnych, dolin rzecznych, lasów oraz zagłębień terenowych. Z powyższych względów oraz z powodu zbyt małej liczby punktów obserwacyjnych przestrzenny rozkład średniej liczby dni z gołoledzią, przedstawiony na mapie (rys. 1), należy traktować jako informację ilustrującą ogólną charakterystykę zróżnicowania przestrzennego. Czasową analizę zjawiska, a więc lata, w których zaobserwowano największą liczbę dni z gołoledzią pokazano na rys. 6 w postaci sumy dni z gołoledzią według lat.
- b. Określono kryterium wydzielenia rejonów szczególnie zagrożonych gołoledzią. W tym celu spośród czterdziestu pięciu stacji meteorologicznych z pełnym ciągiem obserwacyjnym wybrano te stacje, dla których średnia liczba dni z gołoledzią w skali sezonu (X-IV dla stacji niebędących stacjami górskimi) jest największa. Przyjęte kryterium ( $\geq 7$  dni z gołoledzią w sezonie) spełnia osiem stacji. Do tej grupy dołączono trzy stacje o okresie obserwacji krótszym niż 35 lat, które jednak ze względu na wysoką wartość wskaźnika zostały uwzględnione w opracowaniu i mogą być pomocne podczas formułowania wniosków dotyczących przestrzennego zróżnicowania częstości występowania gołoledzi w Polsce (tab. 1).
- c. Dla jedenastu punktów pomiarowych, których wyniki badań zamieszczono w tab. 1 przeprowadzono analizę struktury dobowej występowania gołoledzi za okres 2001-2005. Przyjęty okres, chociaż krótki, gwarantuje jednorodność serii danych. Wyniki obserwacji zjawiska gołoledzi dla dat, w których się pojawiło przedstawiono za pomocą odpowiednio opracowanych diagramów. Studiując strukturę dobową gołoledzi uwagę zwracają przypadki utrzymywania się gołoledzi ponad 24-godziny bez przerwy.
- d. Skompletowano dane o warunkach meteorologicznych występowania zjawiska gołoledzi. Dla każdej stacji przewidziano oddzielną tabelę, w której określono daty wystąpienia gołoledzi, sumę dobową opadu, czas trwania gołoledzi,

czas trwania mgły jako zjawiska nierzadko towarzyszącego gołoledzi oraz temperatury: maksymalną, minimalną, przy gruncie i średnią za okres doby. Dla każdej doby z gołoledzią określano panujący nad Polską typ cyrkulacji. Uwzględniono również temperaturę maksymalną i minimalną oraz typ cyrkulacji w dniu przed wystąpieniem zjawiska gołoledzi, w celu rozpoznania kierunku zmian pogodowych podczas powstawania gołoledzi.

- e. Na podstawie analizy diagramów struktury dobowej gołoledzi ustalono daty zgodności wystąpienia tego zjawiska na poszczególnych stacjach dla każdego roku z okresu 2001-2005 oraz datę, kiedy zjawisko gołoledzi wystąpiło na największej, spośród rozpatrywanych jedenastu, liczbie stacji. Dla każdego sezonu wyodrębniono jedną taką datę. Pod każdym diagramem zamieszczono tabelę z kompletem danych meteorologicznych towarzyszących zjawisku gołoledzi w datach zgodności jej wystąpienia.
- f. Dokonano analizy trendu częstości występowania dni z gołoledzią na podstawie okresu 1971-2005, dla każdej stacji synoptycznej z pełnym ciągiem obserwacyjnym. Istotność statystyczną trendu zmian sprawdzono testem Studenta.

## 4. Wyniki badań

### 4.1. Liczba dni z gołoledzią

Jak wynika z poniżej zamieszczonej tab. 1 gołoledź w Polsce pojawia się najczęściej w grudniu i w styczniu. Średnio w tych miesiącach jest to około 2-3 dni, z maksimum w Siedlcach – około 3-4dni w sezonie. Poniżej 2 dni w miesiącu zjawisko gołoledzi wystąpiło w lutym i w listopadzie.

Tab. 1. Średnia liczba dni z gołoledzią w miesiącach i sezonie, na stacjach spełniających przyjęte kryterium, w okresie 1971-2005

Lp.	Stacja meteorologiczna	I	II	III	IV	X	XI	XII	Sezon	
1	Siedlce	<b>3,2</b>	<b>1,9</b>	<b>0,6</b>	0,0	0,0	<b>1,2</b>	<b>3,4</b>	<b>10,3</b>	
2	Kielce-Suków	2,7	<b>1,9</b>	0,4	0,0	0,2	1,0	2,9	9,1	
3	Zielona Góra	2,2	1,7	0,2	0,0	0,1	1,0	3,0	8,2	
4	Chojnice	2,7	1,5	0,5	0,0	0,1	0,9	2,4	8,1	
5	Piła	2,9	1,1	0,2	0,0	0,0	0,8	2,9	7,9	
6	Mikołajki	2,3	1,5	0,3	0,0	0,0	1,0	2,6	7,7	
7	Olsztyn	2,4	1,7	0,1	0,1	0,0	0,7	2,4	7,4	
8	Białystok	2,2	1,6	0,3	0,0	0,0	0,8	2,1	7,0	
	Okres obserwacji									
	Stacja meteo.	I	II	III	IV	X	XI	XII	Sezon	
9	1985-2005	Krosno	2,8	1,7	0,2	0,0	0,0	0,8	2,9	8,4
10	1974-2005	Sulejów	2,2	1,4	0,3	0,0	0,0	0,9	2,5	7,3
11	1978-2005	Płock	2,2	0,9	0,2	0,0	0,0	1,0	2,7	7,0

Źródło: dane IMGW-PIB

### 4.2. Przestrzenne zróżnicowanie

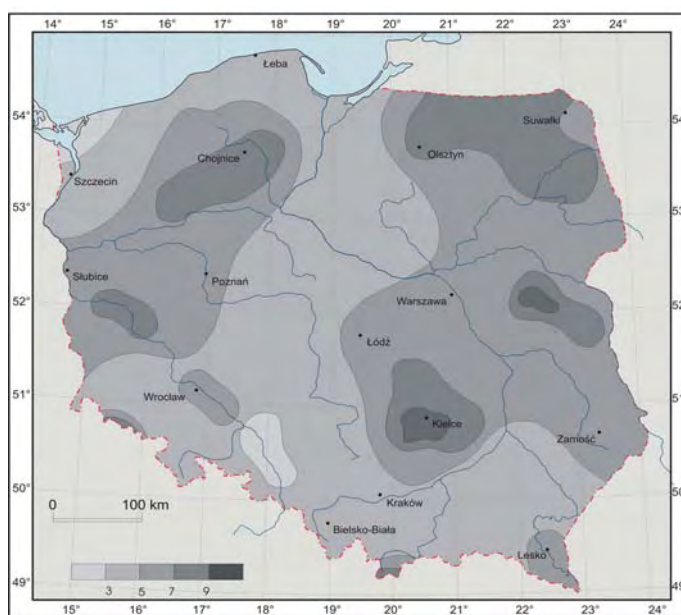
Przestrzenne zróżnicowanie liczby dni z gołoledzią, w poszczególnych miesiącach i łącznie za cały sezon, przedstawiono na mapach średniej liczby dni z tym



zjawiskiem (rys. 1-5), sporządzonych na podstawie danych zawartych w załączniku 1 i 2 w *Katalogu groźnych zjawisk pogodowych w Polsce – Gołoledź*.

Jak wykazują dane w tab. 1 oraz mapa (rys. 1), wyróżniają się dwa rejonny z podwyższoną wartością średniej liczby dni z gołoledzią w sezonie. Są to:

- Rejon wschodni, z centrami w Siedlcach (10,3 dnia/sezon), Kielcach (9,1 dnia/sezon), Mikołajkach (7,7 dnia/sezon), Olsztynie (7,4 dnia/sezon) i Białymstoku (7,0 dnia/sezon).
- Rejon zachodni, z centrami w Zielonej Górze (8,2 dnia/sezon), Chojnicach (8,1 dnia/sezon) i Pile (7,9 dnia/sezon).



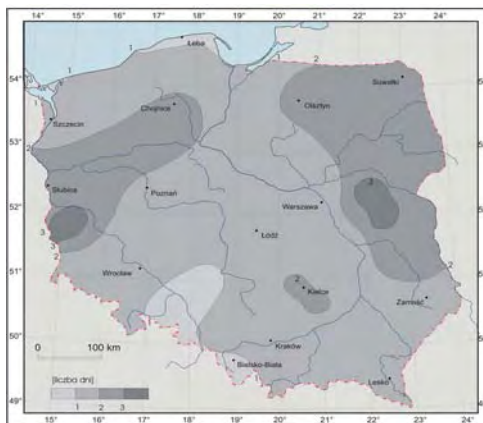
Rys. 1. Średnia sezonowa liczba dni z gołoledzią 1971-2005

Przestrzenne zróżnicowanie średniej liczby dni z gołoledzią w listopadzie pokazano na rys. 2. Ponieważ jest to początek sezonu to wartości wskaźnika są niewielkie, a maksimum zaznacza się w Siedlcach (1,2 dnia/XI), Kielcach (1,0 dnia/XI) i Zielonej Górze (1,0 dnia/XI). Najmniejsze wartości wskaźnika, poniżej 0,5 dnia/XI, zaobserwowano w centrum kraju (dolina środkowej Wisły od Warszawy do Torunia), w widłach Wisły i Sanu (Sandomierz, Rzeszów i Lesko), w południkowo rozciągniętym pasie od Raciborza, Opola do Poznania oraz w równoleżnikowo przebiegającym pasie na północy kraju. W Świnoujściu i na Helu w okresie 1971-2005 nie zaobserwowano w listopadzie zjawiska gołoledzi.

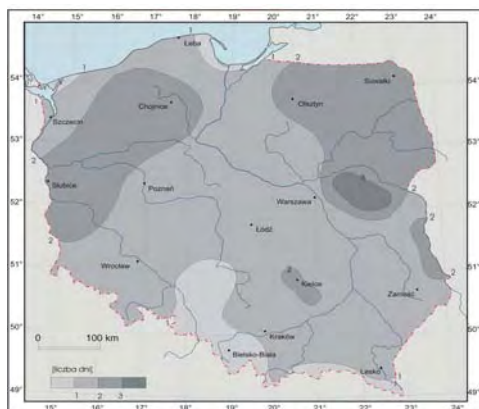
Grudzień (rys. 3) jest miesiącem o najwyższym nasileniu zjawiska gołoledzi w Polsce, z wyjątkiem nielicznych stacji, w tym wysokogórskich – Kasprowy Wierch i Śnieżka. Średnio 3 dni z gołoledzią wystąpiły w tym miesiącu w Zielonej Górze; Kielcach i Pile. Najniższą wartość wskaźnika odnotowano na Helu – tylko 0,5 dnia.



Rys. 2. Średnia liczba dni z gołoledzią w listopadzie 1971-2005



Rys. 3. Średnia liczba dni z gołoledzią w grudniu 1971-2005



Rys. 4. Średnia liczba dni z gołoledzią w styczniu 1971-2005



Rys. 5. Średnia liczba dni z gołoledzią w lutym 1971-2005

Interesująco przedstawia się rozkład wskaźnika częstości gołoledzi na Śnieżce i Kasprowym Wierchu, gdzie w grudniu wyniósł on 3,8 dnia (Śnieżka), natomiast w listopadzie osiągnął maksymalną wartość 4,2 dnia. Generalnie, na powyższych dwóch stacjach wskaźnik częstości występowania gołoledzi nie był tak wysoki jak się spodziewano i w poszczególnych miesiącach wyniósł 2-4 dni. Jednak dla całego sezonu przekroczył znacznie wartości występujące na stacjach nizinnych, czy wyżynnych. Całoroczne występowanie gołoledzi w szczytowych partiach gór jest oczywiście związane z wysokością nad poziom morza, ale również jest to pewien sprawdzian charakteryzujący stratyfikację termiczno-wilgotnościową w górach.

Obraz przestrzenny średniej liczby dni z gołoledzią w grudniu, przypomina mapę z sezonowymi wartościami wskaźnika (rys. 1). Największa liczba dni z gołoledzią w grudniu występuje na obszarze wschodniej Polski, z maksimum w Siedlcach oraz na obszarze północno-zachodniej Polski – od Zielonej Góry przez Piłę do

Chojnic. Najmniejsza liczba dni z gołoledzią w grudniu występuje w pasie Pobrzeża Bałtyku i w okolicach Opola.

Izolinie wykreślone dla stycznia (rys. 4) wykazują przebieg zbliżony do rozkładu grudniowego. Najwyższy wskaźnik częstości wystąpienia gołoledzi zaznacza się w następujących trzech rejonach kraju:

- wschodni i północno-wschodni (średnio 2-3 dni w styczniu);
- zachodni i północno-zachodni (średnio 2-3 dni w styczniu);
- świętokrzyski (średnio 3 dni w styczniu).

Rejonem o niskim wskaźniku występowania gołoledzi w styczniu (ok. 1 dnia) jest obszar od Opola i Raciborza do Bielska-Białej i Zakopanego.

W lutym (rys. 5) wartości wskaźnika kształtują się poniżej dwóch dni z gołoledzią w ciągu miesiąca, osiągając najwyższą wartość w Siedlcach i Kielcach. Tradycyjne wyróżniają się dwa obszary, gdzie średnia liczba dni z gołoledzią osiąga znaczące wartości. Jest to rozległy rejon wschodni (Polska północno-wschodnia, okolice Siedlec i okolice Kielc) oraz rejon zachodni, rozpościerający się od Pojezierza Pomorskiego do Przedgórze Sudeckiego (z najwyższymi wartościami w Zielonej Górze i Chojnicach, ok. 2 dni). Na obszarze pomiędzy tymi rejonami oraz na południu i północy Polski średnia liczba dni z gołoledzią w lutym jest znacząco niższa, a tym samym zagrożenie gołoledzią jest mniejsze.

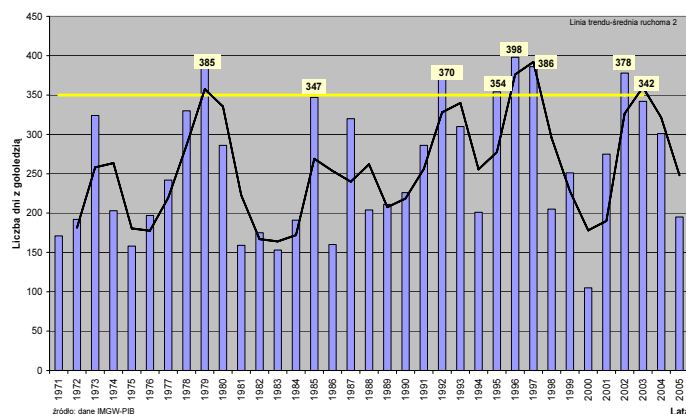
Marzec jest miesiącem, kiedy gołoledź zdarza się bardzo rzadko w Polsce. Oprócz Śnieżki i Kasprowego Wierchu, jedynie w okolicach Siedlec i Chojnic wartość wskaźnika częstości występowania zjawiska osiąga istotne wartości – 1 dzień (załącznik 1 w *Katalogu Groźnych Zjawisk Pogodowych – Gołoledź*).

Porównując wyniki badań nad gołoledzią z wynikami dotyczącymi mgły, zauważa się duże podobieństwo w rozkładzie przestrzennym obu tych groźnych zjawisk.

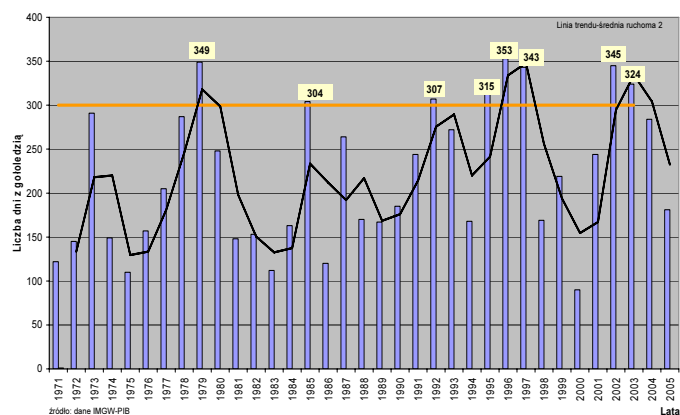
Wieloletnią zmienność częstości pojawiania się gołoledzi na terenie kraju podano w dwóch wariantach: rys. 6A przedstawia strukturę czasową gołoledzi dla 45 stacji (łącznie z Kasprowym Wierchem i Śnieżką), natomiast rys. 6B dla 43 stacji (bez stacji górskich). Na podstawie rys. 6 można wyróżnić okresy o znaczących wzrostach lub spadkach dni z gołoledzią w analizowanym trzydziestopięcioletniu (1971-2005), i tak:

- koniec lat 70-tych ubiegłego wieku, z maksimum w 1979 r. – 385 dni z gołoledzią na 45 stacjach meteorologicznych (łącznie ze stacjami górskimi),
- pierwsza połowa lat dziewięćdziesiątych, z maksimum w 1992 r. – 370 dni ze zjawiskiem gołoledzi,
- druga połowa lat 90-tych – w 1996 r. zaobserwowano w sumie na czterdziestu pięciu stacjach 398 dni ze zjawiskiem gołoledzi, w 1997 r. – odpowiednio 386 dni z gołoledzią,
- początek pierwszej dekady XXI wieku, z dominującym 2002 r. (378 dni z gołoledzią na czterdziestu pięciu stacjach);
- rok 2000 najmniej obfitował w groźne zjawiska pogodowe, zanotowano tylko 105 dni z gołoledzią.

Rysunek 6B zawiera sumy liczby dni z gołoledzią według lat na czterdziestu trzech stacjach meteorologicznych (nie uwzględniono dwóch stacji górskich Śnieżki i Kasprowego Wierchu), a uzyskane wyniki są charakterystyczne dla obszarów nizinnych i wyżynnych. Obydwa wykresy – 6A i B – mają jak widać bardzo podobny przebieg. Różnią się jedynie wartościami bezwzględnymi. W obydwu przypadkach najwięcej dni z gołoledzią zaobserwowano w 1996 r.



Rys. 6A. Suma dni z gołoledzią wg lat na 45 stacjach w okresie 1971-2005



Rys. 6B. Suma dni z gołoledzią na 43 stacjach w okresie 1971-2005

Najwięcej dni z gołoledzią na 43 stacjach (ponad 300 w okresie 1971-2005) odnotowano w: 1996 (353), 1979 (349), 2002 (345), 1997 (343), 2003 (324), 1995 (315), 1992 (307) i 1985 r. (304). Lata te są o tyle charakterystyczne, że wg klasyfikacji termicznej H. Lorenc ich sezony zimowe zostały ocenione jako bardzo mroźne lub też anomalnie mroźne. Mimo to charakteryzowały się one również okresami wyraźnych ociepleń, z warunkami pogodowymi sprzyjającymi tworzeniu się gołoledzi (napływ strumienia mas powietrza z kierunku zachodniego).

Okazuje się, że struktura czasowa zjawiska gołoledzi charakteryzuje się 2-3 letnimi seriami wzrostu lub spadku, np. spadki liczby dni: odnotowano w latach 1974-1976, 1982-1984, 1999-2001, natomiast wzrosty w 1978-1980, 1991-1993, 1995-1997 i 2001-2004 (rys. 6). Z uwagi na fakt, że początek XXI wieku obfitował w groźne zjawiska pogodowe (wliczając też gołoledź) obliczono również średnią liczbę dni z gołoledzią dla okresu 2001-2005, aby wykazać wzrost lub spadek częstości występowania zjawiska w porównaniu ze wskaźnikiem obliczonym dla dłuższego okresu 1971-2005. Jest rzeczą dość zmienną, że w okresie 2001-2005 aż na dwudziestu jeden stacjach meteorologicznych (spośród wszystkich stacji synoptycznych o jednorodnym ciągu obserwacji) wskaźnik częstości występowania gołoledzi wyniósł 7 i więcej dni ze zjawiskiem w ciągu sezonu (tab. 2). A zatem w okresie 2001-2005 obserwuje się wzrost liczby dni z gołoledzią w rejonach, w których do tej pory zjawisko to było rzadkością, głównie w rejonie stacji Łódź, Wrocław, Lublin, Kłodzko, Kraków. Wyższa jest również sezonowa wartość wskaźnika. W Siedlcach, które są miejscem uprzywilejowanym pod względem występowania gołoledzi wzrósł on z 10 dni/sezon (1971-2005) do ok. 15 dni/sezon (2001-2005). Podobną tendencję zaobserwowano również na pozostałych stacjach (tab. 1, 2).

Tab. 2. Średnia liczba dni z gołoledzią w miesiącach i sezonie, na stacjach spełniających przyjęte kryterium, w okresie 2001-2005

Lp.	Stacja meteorologiczna	I	II	III	IV	X	XI	XII	Sezon
1	Siedlce	3,6	<b>4,4</b>	0,6	0,0	0,0	<b>1,6</b>	4,4	<b>14,6</b>
2	Kielce-Suków	2,4	3,6	<b>1,2</b>	0,0	0,0	1,0	<b>5,4</b>	13,6
3	Mikołajki	3,0	2,6	0,2	0,0	0,0	1,4	4,2	11,4
4	Piła	<b>4,2</b>	1,2	0,0	0,0	0,0	0,4	5,0	10,8
5	Zielona Góra	2,8	3,2	0,6	0,0	0,0	0,4	3,6	10,6
6	Łódź-Lublinek	3,2	2,6	0,2	0,0	0,0	0,6	3,6	10,2
7	Białystok	2,6	3,6	0,2	0,0	0,0	0,8	2,0	9,2
8	Krosno	2,2	3,4	0,4	0,0	0,0	0,8	2,4	9,2
9	Włodawa	1,8	2,0	0,2	0,0	0,0	<b>1,6</b>	3,4	9,0
10	Wrocław	3,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,4	3,2	8,6
11	Gorzów Wlkp.	3,8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,4	3,2	8,4
12	Sulejów	2,4	2,0	0,2	0,0	0,0	0,2	3,4	8,2
13	Lublin-Radawiec	2,4	1,4	0,4	0,0	0,0	0,8	3,2	8,2
14	Koło	2,6	2,0	0,2	0,0	0,0	0,4	2,6	7,8
15	Kłodzko	2,0	1,8	1,0	0,0	0,0	0,4	2,4	7,6
16	Kraków-Balice	2,2	1,4	0,0	0,0	0,0	0,4	3,6	7,6
17	Poznań	2,0	2,0	0,0	0,0	<b>0,2</b>	0,0	3,2	7,4
18	Płock-Trzepowo	2,2	0,8	0,0	0,0	0,0	1,0	3,4	7,4
19	Suwałki	1,8	2,0	0,0	0,0	0,0	0,8	2,6	7,2
20	Olsztyn	1,2	2,4	0,0	0,0	0,0	1,0	2,6	7,2
21	Kalisz	2,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,2	3,0	7,0

Źródło: dane IMGW-PIB

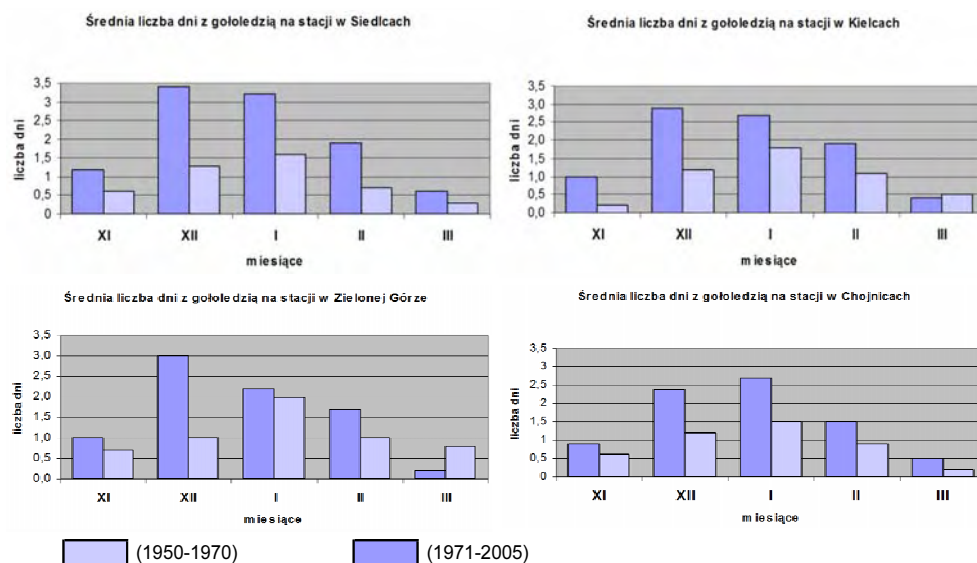
Jak wynika z tab. 2 najczęściej zjawisko gołoledzi występuje w grudniu. Tendencja ta zaznacza się w obu okresach obserwacyjnych (1971-2005 i 2001-2005), dla których zostały wyznaczone wskaźniki częstości (tab. 1, 2). W okresie 1971-

2005 maksymalna wartość wskaźnika wystąpiła w Siedlcach i wyniosła 3,4 dnia w grudniu oraz 3,2 dnia w styczniu. W okresie 2001-2005 średnia liczba dni z gołoledzią w obu tych miesiącach była wyższa niż w okresie poprzednim i wyniosła 4,4 w grudniu i 3,6 w styczniu. W aktualnie rozważanym 5-leciu maksymalną wartość średnią (5,4 dnia) zaobserwowano w grudniu na stacji w Kielcach, a maksymalna wartość wskaźnika dla stycznia wyniosła tylko 4,2 dnia i wystąpiła w Pile (tab. 2).

Ciekawa zależność zarysowała się również, na stacjach Siedlce i Kielce, gdzie średnia liczba dni z gołoledzią jest wyższa w lutym niż w styczniu. Tę prawidłowość można zaobserwować na większości stacji uwzględnionych w tab. 2

### 4.3. Tendencje występowania gołoledzi

Chcąc porównać strukturę występowania gołoledzi w różnych okresach obserwacyjnych, dokonano konfrontacji wyników z danymi z lat 1950-1970. Rys. 7 obrazuje wartości średniej liczby dni z gołoledzią w dwóch okresach czasowych: 1950-1970 oraz 1971-2005. Dane dla okresu 1950-1970 zostały zaczerpnięte z *Atlasu Klimatycznego Elementów i Zjawisk Szkodliwych dla Rolnictwa w Polsce* [1990].



Rys. 7 Średnia liczba dni z gołoledzią w miesiącach dla dwóch okresów obserwacji: 1971-2005 i 1950-1970. (źródło: dane IMGW i *Atlas Klimatyczny Elementów i Zjawisk Szkodliwych dla Rolnictwa w Polsce*, AR Szczecin i IUNG)

Struktura tych wykresów wskazuje, że w ostatnich latach nastąpiło przesunięcie występowania maksymalnych wartości liczby dni z gołoledzią ze stycznia na grudzień, a także, że wyraźnie wzrosła liczba dni z gołoledzią w okresie 1971-2005 w stosunku do 1950-1970.

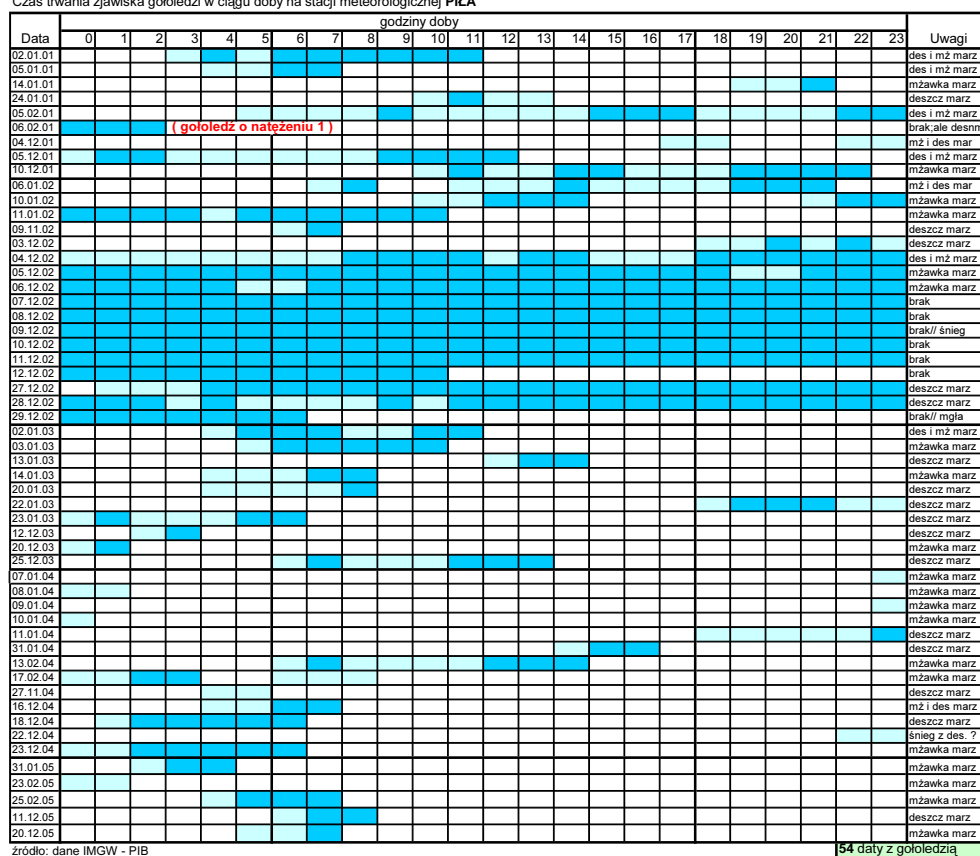
Oznaczałoby to, że zarówno przejścia temperatury powietrza przez 0° C, jak i sama gołoledź częściej pojawiają się w okresie nam współczesnym niż w przeszłości – w latach pięćdziesiątych, czy sześćdziesiątych. Przyczyną może być obserwowany obecnie wzrost i tempo dynamiki pogody.

#### 4.4. Struktura dobowa występowania gołoledzi

Dla stacji meteorologicznych spełniających kryterium częstości wystąpienia co najmniej 7 dni z gołoledzią w sezonie dokonano analizy struktury dobowej. Dla 11 tak zakwalifikowanych stacji określono również długość dobową gołoledzi na podstawie okresu 2001-2005.

KATALOG GROŹNYCH ZJAWISK POGODOWYCH - "GOŁOLEDŹ"  
Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej PIŁA

Załącznik 4.3



źródło: dane IMGW - PIB

54 daty z gołoledzią



**narastanie gołoledzi**  
**zaleganie gołoledzi bez dalszego narastania**

Rys. 8. Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej Piła (przykład)

Jak wcześniej powiedziano praca na podstawie „ręcznie” wykonanych zbiorów jest bardzo czasochłonna. Dlatego wykonano tylko 11 diagramów dla każdego punktu pomiarowego z zaznaczeniem, w której godzinie doby pojawiła się goło-

leń (z rozróżnieniem czy była to gołoledź narastająca, czy też gołoledź zalegająca bez dalszego narastania). Odnotowano również deszcz lub mżawkę marznącą, będącą zwykle przyczynkiem do powstania gołoledzi. Przykład diagramu dobowego dla stacji Piła zamieszczono na rys.. Komplet diagramów obrazujących strukturę dobową gołoledzi na jedenastu wybranych stacjach zamieszczono w *Katalogu Groźnych Zjawisk Pogodowych – Gołoledź* (załącznik 4).

Analizując przebiegi dobowe gołoledzi zauważa się brak wyraźnego związku między porą doby, a pojawianiem się zjawiska. Natomiast śledząc długość trwania tego zjawiska wydaje się, że za przyczynę jego powstawania należy uznać „wahające” się warunki pogodowe i częstość przejść temperatury przez „0” stopni oraz wpływ cyrkulacji atmosfery stymulującej czas trwania gołoledzi. W analizowanym pięcioleciu, w dwóch latach 2002 i 2003, obserwowano długotrwałą gołoledź występującą na dziesięciu spośród 11 uwzględnionych stacji meteorologicznych. Tabele z danymi charakteryzującymi parametry meteorologiczne na powyższych stacjach, można odnaleźć w *Katalogu Groźnych Zjawisk Pogodowych – Gołoledź* (załącznik 5).

## **5. Gołoledź a warunki meteorologiczne jej występowania**

Ważnymi w procesie powstawania gołoledzi czynnikami meteorologicznymi są szybkie zmiany temperatury powietrza, która oscyluje w pobliżu 0°C. Podczas tworzenia się gołoledzi, czyli w fazie jej narastania, występuje opad marznącej mżawki lub deszczu, czasami towarzyszy temu procesowi mgła.

Na podstawie danych zawartych w tab. 3 można stwierdzić, że np. w rejonie Siedlec, w latach 2001-2005, zaobserwowano trzy przypadki gołoledzi długotrwałej: w grudniu 2001 r., styczniu 2002 r. i w lutym 2003 r. Wystąpiły one w warunkach antycyklonalnych, zjawisku towarzyszyły opady marznącej mżawki bądź marznącego deszczu, niekiedy mgła. Przypadek gołoledzi ze stycznia 2002 r., trwającej w dniach 8-15, wystąpił w sytuacji z adwekcją powietrza z północno-zachodu (NWa) z charakterystycznym przejściem temperatury przez 0°C. W pozostałych dwóch przypadkach gołoledzi – gdy tworzyła się ona podczas adwekcji powietrza z południa, wschodu lub północnego wschodu – temperatura minimalna i maksymalna była ujemna.

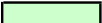
Najdłuższą trwającą gołoledź, ponad 8 dób pod rząd (4-11 grudnia 2002 r.), zanotowano w Pile (rys. 8). Jej wystąpienie było związane z antycyklonalnym typem cyrkulacji SEa i Ea (według klasyfikacji J. Lityńskiego). Podczas pierwszych trzech dób padała marznąca mżawka powodująca narastanie gołoledzi. W kolejnych pięciu dobach odnotowano jedynie zaleganie gołoledzi bez dalszego narastania oraz brak opadów marznących (tab. 4). Spadła natomiast temperatura maksymalna – od -3,8°C (07.12.2002 r.) do -7,5°C (10.12.2002 r.) i minimalna – od -10,1°C (07.12.2002 r.) do -18,0°C (10.12.2002 r.). Zanikanie zjawiska rozpoczęło się w dniu 12.12.2002 r., przy temperaturze maksymalnej -3,5°C i minimalnej -8,8°C.



Gołoledź może wystąpić także w warunkach cyklonalnych. Obserwowano trzy takie przypadki na stacjach meteorologicznych w Pile, Chojnicach i Płocku – Trzepowie, w dniach 27-29.12.2002 r. (*Katalog Groźnych Zjawisk Pogodowych – Gołoledź*).

Tab. 3. Warunki meteorologiczne w czasie wystąpienia gołoledzi, trwającej bez przerwy ponad jedną dobę, w okresie obserwacyjnym 2001-2005, na stacji w Siedlcach

Data	Tmax	Tmin	Opad	Rodzaj	Mgła	Gołoledź	Typ cyrkul.
Gołoledzi	°C		(mm)	opadu	Czas trwania (h)		(Lityński)
04.12.01	-4,6	-8,4	brak		brak	<b>brak</b>	Sa
05.12.01	-4,0	-8,4	0,0	*mżawka m.	brak	<b>0,9</b>	Sa
06.12.01	-4,0	-8,5	0,3	*mżawka m.	brak	<b>24,0</b>	Ea
07.12.01	-7,5	-15,8	brak	brak	brak	<b>7,0</b>	Ea
Data	Tmax	Tmin	Opad	Rodzaj	Mgła	Gołoledź	Typ cyrkul.
Gołoledzi	°C		(mm)	opadu	Czas trwania (h)		(Lityński)
07.01.02	1,0	-0,4	0,1	deszcz	0,3	<b>brak</b>	Na
08.01.02	0,8	-0,8	0,0	*mżawka m.	2,8	<b>5,1</b>	NWa
09.01.02	1,3	-0,7	0,0	mż/deszcz	brak	<b>7,0</b>	NWa
10.01.02	0,7	-1,7	0,0	mżawka	brak	<b>4,2</b>	NWa
11.01.02	-1,1	-3,6	0,0	*mżawka m.	brak	<b>24,0</b>	NWa
12.01.02	-3,5	-5,7	0,0	*mżawka m.	14,7	<b>24,0</b>	NWa
13.01.02	-1,6	-3,9	0,0	*mżawka m.	4,5	<b>24,0</b>	Wa
14.01.02	-2,0	-4,7	0,0	*mżawka m.	brak	<b>24,0</b>	Wa
15.01.02	-4,4	-6,2	brak	*mżawka m.	1,5	<b>9,0</b>	SWa
Data	Tmax	Tmin	Opad	Rodzaj	Mgła	Gołoledź	Typ cyrkul.
Gołoledzi	°C		(mm)	opadu	Czas trwania (h)		(Lityński)
13.02.03	-6,0	-23,7	0,0	śnieg	2,1	<b>brak</b>	NEa
14.02.03	-3,3	-6,7	0,1	**des/mż.m/śn	8,5	<b>23,8</b>	NEa
15.02.03	-1,1	-4,0	0,2	**des/mż.m/śn	brak	<b>24,0</b>	NEa
16.02.03	-2,9	-13,6	0,0	pył diam./śn	brak	<b>8,0</b>	NEa

 warunki meteorologiczne w dobie przed wystąpieniem gołoledzi

\*\*des/mż.m/śn deszcz/ mżawka marznąca/ śnieg

\*mżawka m. mżawka marznąca

źródło: dane IMGW-PIB

W 2001 r. zaobserwowano w sumie 90 zdarzeń gołoledzi. Interesujący jest przypadek z 5 lutego – gołoledź odnotowano wówczas aż na dziewięciu spośród jedenastu wziętych pod uwagę stacji (rys. 9). W tym dniu na obszarze kraju panowała sytuacja synoptyczna określona jako południowa – cyklonalna (Sc).

Nad Polską zalegały wychłodzone masy powietrza (-11°C) znad Białorusi, a od południowego zachodu zaczęły napływać ciepłe masy powietrza (2°C Wiedeń). Padał deszcz, który od południowego zachodu w głąb kraju zaczął przechodzić w marznący deszcz powodując gołoledź. Od południowego zachodu zbliżał się ciepły front, pod którego wpływem Polska znalazła się 6 lutego. Temperatury maksymalna i minimalna, początkowo ujemne, przybrały wartości dodatnie. Amplituda temperatury w tym procesie wyniosła na niektórych stacjach powyżej 10°C. Rozwój sytuacji meteorologicznej, w której powstała gołoledź oraz zanik zjawiska w dniach: 4-6 luty 2001 r, ilustrują załączone mapy synoptyczne dolne (rys. 10, 11, 12).

Tabela 5 pozwala na pełniejsze zrozumienie zależności zachodzących między powstaniem gołoledzi, a warunkami pogodowymi.

Tab. 4. Warunki meteorologiczne w czasie wystąpienia gołoledzi, trwającej bez przerwy ponad jedną dobę, w okresie obserwacyjnym 2001-2005, na stacji w Pile

Data	Tmax	Tmin	Opad	Rodzaj	Mgła	Gołoledź	Typ cyrkul.
Gołoledzi	°C		(mm)	opadu	Czas trwania (h)		(Lityński)
03.12.02	2,3	-2,1	1,4	**deszcz m.		5,8	SEo
04.12.02	-1,0	-2,8	0,3	*des i mż m.	brak	24,0	SEa
05.12.02	-1,2	-6,4	0,3	*des i mż m.	brak	24,0	Ea
06.12.02	-1,0	-5,0	0,0	*des i mż m.	brak	24,0	Ea
07.12.02	-3,8	-10,1	brak	brak	brak	24,0	Ea
08.12.02	-6,6	-10,0	0,0	śnieg	brak	24,0	Ea
09.12.02	-6,3	-12,2	brak	brak	brak	24,0	Ea
10.12.02	-7,5	-18,0	brak	brak	brak	24,0	Ea
11.12.02	-1,6	-16,0	0,0		brak	24,0	Oa
12.12.02	-3,5	-8,8	brak	brak	brak	11,0	Oa
Data	Tmax	Tmin	Opad	Rodzaj	Mgła	Gołoledź	Typ cyrkul.
Gołoledzi	°C		(mm)	opadu	Czas trwania (h)		(Lityński)
26.12.02	-3,7	-15,3	0,2	sadz(osad)	brak	brak	So
27.12.02	1,8	-7,4	0,2	**deszcz m.	brak	22,2	Sc
28.12.02	1,6	-1,1	0,4	**deszcz m.	1,5	24,0	Sc
29.12.02	4,7	-1,1	0,4	deszcz	12,2	7,0	Oc
warunki meteorologiczne w dobie przed wystąpieniem gołoledzi							
*des i mż m.	deszcz i mżawka marznąca						
**deszcz m.	deszcz marznący						źródło: dane IMGW-PIB

Tab. 5. Parametry temperatury i opadów 5 lutego 2001 r. na stacjach synoptycznych, na których wystąpiło zjawisko gołoledzi

Stan pogody od godz.07.00 dnia 05.II.2001 r do godz.07.00 dnia 06.II.2001r	Białystok	Chojnice	Kielce	Mikołajki	Piła	Plock T.	Siedlce	Sulejów	Zielona G.
Charakterystyki									
temperatury i opadów									
Temp. max.w°C	-4,7	-4,5	4,4	-4,7	-0,5	2,4	-1,0	4,1	5,7
Temp. min.w °C	-4,7	-4,5	1,1	-4,9	-0,7	2,3	-1,0	3,7	4,5
Temp. min przy gruncie w °C	-5,0	-5,0	-1,0	-5,0	-4,0	2,0	-1,0	2,0	3,0
Dobowa suma opadów (mm)	4,3	6,0	0,9	2,5	8,0	9,0	4,8	4,0	3,9
Grubość pokryw śnieżnej (cm)	5	6	pl.	9	3	pl.	2	0	pl.

Źródło: dane IMGW, Codzienny Biuletyn Meteorologiczny

W dniu 10 stycznia 2002 r. gołoledź obserwowano na jedenastu wybranych do analizy stacjach, co świadczy o tym, że zjawisko swoim zasięgiem objęło prawie cały obszar kraju. W sezonie 2002 na wszystkich stacjach zaobserwowano łącznie 129 przypadków gołoledzi, w tym 17 w Pile i 16 w Kielcach. Zjawisko powstawało w typie cyrkulacji antycyklonalnej – NWa.

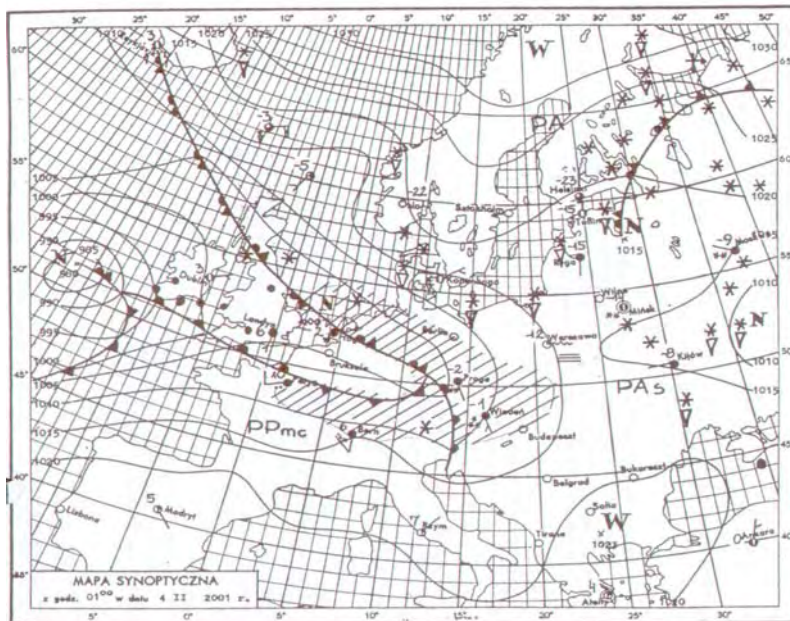
W podobnej sytuacji meteorologicznej (Wa) gołoledź wystąpiła 11 grudnia 2005 r. na ośmiu spośród jedenastu stacji, gdy na południu Europy zaznaczył się układ wysokiego ciśnienia, a część północna i centralna znalazła się w wycinku cieplej i wilgotnej masy powietrza.

Zgodność dat wystąpienia gołoledzi na wybranych stacjach synoptycznych w 2001 roku

Data	ROK 2001									Lp.zyp.		
	Białystok	Chojnice	Kielce	Krosno	Mikołajki	Olsztyn	Pila	Plock T.	Siedlce		Sulejów	Zielona G.
02.01.01												7
03.01.01												4
04.01.01												2
05.01.01												3
14.01.01												2
24.01.01												1
25.01.01												2
05.02.01												9
06.02.01												3
11.02.01												2
12.02.01												1
15.02.01												1
16.02.01												1
17.02.01												1
18.02.01												2
18.03.01												1
24.03.01												1
25.03.01												3
26.03.01												1
21.11.01												1
24.11.01												1
28.11.01												1
30.11.01												1
01.12.01												2
02.12.01												3
04.12.01												3
05.12.01												8
06.12.01												4
07.12.01												2
10.12.01												6
11.12.01												1
12.12.01												1
17.12.01												1
18.12.01												4
19.12.01												4
Liczba dni	8	9	10	2	10	2	9	5	18	8	9	90

W 2001 roku, zjawisko gołoledzi zaobserwowano na znacznym obszarze kraju (9 stacji na 11 wybranych) **5 lutego** źródło: dane IMGW

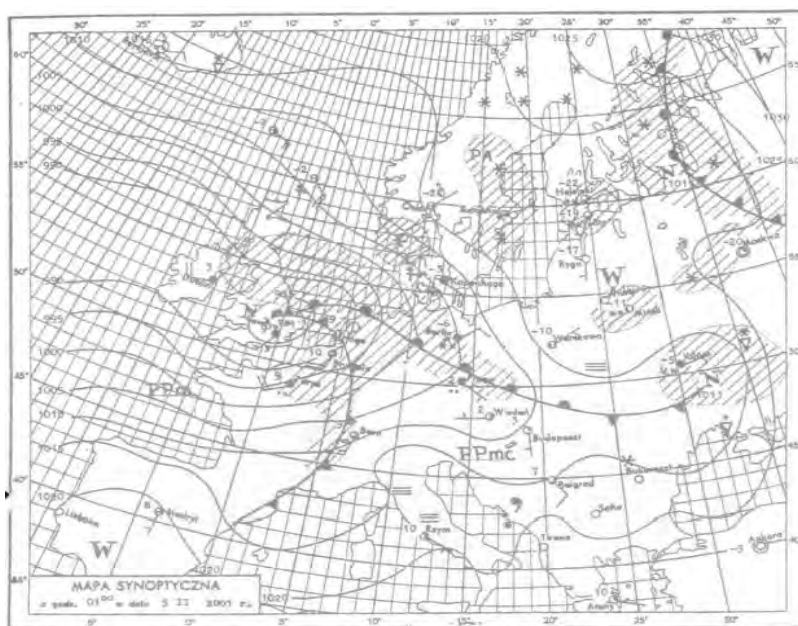
Rys. 9. Zgodność dat wystąpienia gołoledzi na wybranych stacjach synoptycznych w 2001 roku



Rys. 10. Sytuacja meteorologiczna w dniu 4 lutego 2001r poprzedzającym wystąpienie gołoledzi (źródło: dane IMGW-PIB. *Codzienny Biuletyn Meteorologiczny*)

W sezonie 2003 zaobserwowano 122 przypadki gołoledzi, najwięcej w Siedlcach – 21 i w Krośnie – 20 (Załącznik 6 w *Katalogu Groźnych Zjawisk Pogodowych – Gołoledź*). Ważną datą z punktu analizy zjawiska gołoledzi był 2 stycznia 2003 r., kiedy gołoledź wystąpiła na 10 z 11 wybranych stacji. Powstała ona

w warunkach cyklonalnych, a przed jej wystąpieniem na terenie centralnej i południowo-wschodniej Polski znajdował się centrum wyżu. Temperatura w Warszawie wyniosła  $-13^{\circ}\text{C}$ . Natomiast południowe Niemcy znajdowały się pod wpływem niżu, gdzie temperatura kształtowała się powyżej  $0^{\circ}\text{C}$ . Następnego dnia na zachodzie kraju zaznaczył się front ciepły z opadami deszczu i zaczęła tworzyć się gołoledź. W kolejnej dobie przez obszar Polski przeszła fala frontów ciepłych, padał marznący deszcz powodujący gołoledź. Typ cyrkulacji tego dnia określono jako Nc.

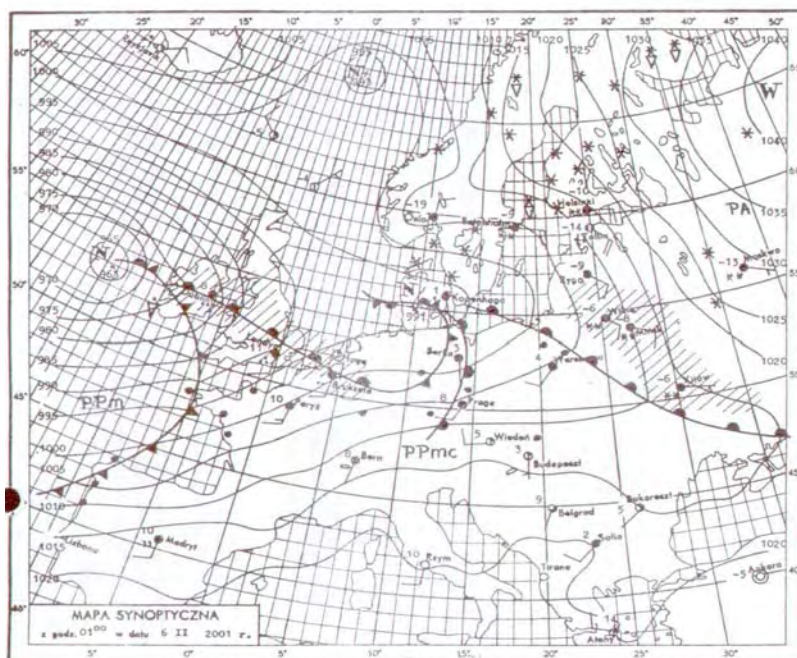


Rys. 11 Sytuacja meteorologiczna w dniu 5 lutego 2001 r., gołoledź wystąpiła na dużym obszarze Polski (źródło: dane IMGW-PIB. *Codzienny Biuletyn Meteorologiczny*)

Gołoledź z 17 lutego 2004 r., która wystąpiła na znacznym obszarze kraju utworzyła się w typie cyrkulacji „O”, przy temperaturze powietrza: maksymalnej od  $0,9^{\circ}\text{C}$  w Białymstoku do  $1,7^{\circ}\text{C}$  w Zielonej Górze i minimalnej od  $-3,5^{\circ}\text{C}$  w Białymstoku do  $-0,6^{\circ}\text{C}$  w Zielonej Górze. Powyższa sytuacja zaistniała przed nasuwającym się frontem ciepłym. Centra wysokiego ciśnienia znajdowały się nad Wyspami Brytyjskimi i na południu Europy. W sezonie 2004 na jedenastu stacjach zarejestrowano 125 dni z gołoledzią, w tym 15 w Kielcach i 14 w Krośnie.

Jak wynika z tych kilku przytoczonych charakterystyk i całego materiału obserwacyjnego zamieszczonego w załączniku 5 i 6 w *Katalogu Groźnych Zjawisk Pogodowych – Gołoledź* zjawisko gołoledzi może wystąpić przede wszystkim:

- w antycyklonalnych typach cyrkulacji atmosfery po „wymianie” mas powietrza, zwykle z chłodnej na ciepłą,
- w typach cyrkulacji cyklonalnej, głównie jednak w typie Sc – 14%, również w strefie frontu ciepłego.



Rys. 12. Sytuacja meteorologiczna w dniu 6 lutego, następnym po wystąpieniu gołodzi (źródło: dane IMGW-PIB *Codzienny Biuletyn Meteorologiczny*)

Proporcje udziału typu cyrkulacji w tworzeniu się gołodzi obrazują dane zestawione w tab. 6.

Tab. 6. Udział dni z gołodzią w poszczególnych typach cyrkulacji atmosfery w okresie 2001-2005

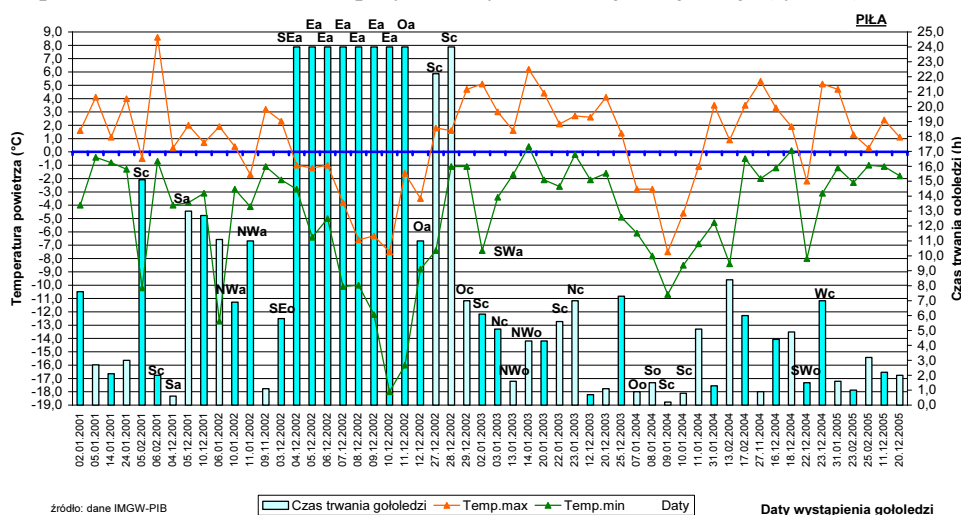
Lp	Typ cyrkulacji wg Lityńskiego	Białystok	Chojnice	Kielce	Krosno	Mikołajki	Olsztyn	Piła	Płock	Siedlce	Sulejów	Zielona G.	SUMA
1	<b>Ea</b>	1	3	5	2	2	1	6	2	4	4	4	34
2	<b>Ec</b>	1	0	2	0	1	1	0	0	0	1	3	9
3	<b>Eo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	3
4	<b>Na</b>	3	4	7	4	5	3	3	5	4	6	6	50
5	<b>Nc</b>	2	0	4	3	2	1	2	0	2	0	0	16
6	<b>NEa</b>	3	1	3	5	3	2	1	0	5	2	2	27
7	<b>NEc</b>	0	0	1	2	0	0	1	0	0	1	2	7
8	<b>NEo</b>	1	0	2	1	2	2	1	1	1	1	3	15
9	<b>No</b>	3	1	5	2	3	2	1	2	2	3	3	27
10	<b>NWa</b>	5	1	6	2	5	2	2	5	7	5	5	45
11	<b>NWc</b>	0	0	2	2	3	2	1	2	1	1	0	14
12	<b>NWo</b>	1	2	1	4	1	2	4	0	1	0	0	16
13	<b>Oa</b>	0	1	2	2	1	1	2	1	3	2	1	16
14	<b>Oc</b>	3	0	2	2	1	1	1	1	2	1	2	16
15	<b>Oo</b>	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	2	6
16	<b>Sa</b>	1	2	2	2	1	1	2	2	3	1	1	18
17	<b>Sc</b>	8	8	4	4	9	5	11	6	9	5	6	75
18	<b>SEa</b>	0	1	3	1	2	0	1	1	2	1	1	13
19	<b>SEc</b>	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	5
20	<b>SEo</b>	1	2	2	0	1	3	1	2	3	2	1	18
21	<b>So</b>	1	0	3	0	1	1	1	1	4	0	2	14
22	<b>SWa</b>	1	1	0	0	1	1	1	0	3	0	1	9
23	<b>SWc</b>	3	1	1	0	2	0	0	1	5	0	3	16
24	<b>SWo</b>	2	1	1	1	1	1	4	2	2	0	0	15
25	<b>Wa</b>	4	2	1	0	5	0	2	2	4	2	2	24
26	<b>Wc</b>	1	2	3	2	2	1	2	1	2	1	1	18
27	<b>Wo</b>	1	1	5	4	2	2	1	0	2	1	0	19
	SUMA	46	34	68	46	57	36	54	37	73	41	53	545

Podsumowując, zjawisko gołodzi najczęściej występuje podczas utrzymywania się następujących typów cyrkulacji atmosfery:

- Sc (14% wszystkich przypadków gołoledzi w okresie 2001-2005), sytuacje z adwekcją powietrza z południa.
- Na (9% 14% wszystkich przypadków gołoledzi w okresie 2001-2005), sytuacje z adwekcją powietrza z północy.
- Nwa (8% 14% wszystkich przypadków gołoledzi w okresie 2001-2005), sytuacja z adwekcją powietrza z północnego-zachodu.

W sumie 44% przypadków stanowią dni z gołoledzią, w których zaznaczyło się oddziaływanie typów cyrkulacji antycyklonalnej, 32% – typów cyrkulacji cyklonalnej i 24% – typów należących do klasy zerowej.

Uzupełnieniem charakterystyki warunków meteorologicznych, w których występuje gołoledź są wykresy słupkowe wykonane dla jedenastu stacji, zamieszczone w *Katalogu Groźnych Zjawisk Pogodowych – Gołoledź*, jako załącznik 7. W opracowaniu zamieszczono przykład wykresu dla jednej stacji (rys. 13).



Rys. 13 Czas trwania gołoledzi w Pile dla dat wystąpienia zjawiska na tle warunków meteorologicznych w okresie 2001-2005

Analizując wykresy dla jedenastu wybranych stacji można zauważyć, iż w okresie 2001-2005 gołoledź długotrwałą odnotowano w sezonach 2001, 2002 i 2003. W 2002 r., w styczniu i grudniu przeważały przypadki gołoledzi trwającej ponad jedną dobę. W styczniu 2002 r. w Siedlcach zjawisko to trwało ponad cztery doby bez przerwy (w typie cyrkulacji Nwa i wa), a w Płocku (Nwa), Sulejowie (Nwa) i Zielonej Górze (Nwa) ponad dwie doby. W grudniu 2002 r. najdłużej gołoledź trwała w Pile – nieprzerwanie ponad osiem dób (SEa, Ea, Oa), w Chojnicach (SEo, SEa) i Sulejowie (SEa, Ea) ponad dwie doby, zaś w Kielcach (SEa i Ea) ponad jedną dobę.

Gołoledź długotrwała najczęściej pojawia się w typach cyrkulacji antycyklonalnych, kiedy temperatura maksymalna i minimalna dobowa osiąga wartości nieco poniżej 0°C i dalej się utrzymuje, tworząc dogodne warunki dla powstawania gołoledzi i zalegania jej nawet przez parę dób.

## 6. Trendy czasowe częstości występowania dni z gołoledzią

Badanie trendu zmian średniej liczby dni z gołoledzią na czterdziestu pięciu stacjach meteorologicznych przeprowadzono na podstawie okresu 1971-2005. Dokonano analizy trendu wyznaczając równania linii trendu tego zjawiska. Istotność statystyczną sprawdzono testem t-Studenta. Spośród 45 stacji meteorologicznych tylko na 16 stacjach zmiany częstości występowania gołoledzi były istotne statystycznie, przy czym na 15 stacjach był to trend rosnący, a jedynie na Śnieżce malejący (tab. 7).

Czy może to oznaczać, że w szczytowych partiach gór, np. na Śnieżce, warunki termiczne są bardziej stabilne i rzadziej temperatura przechodzi przez próg 0°C? Zapewne tak. Szczegóły można by jednak dopiero poznać poświęcając osobne badania tylko tej górze.

Tab. 7. Trendy czasowe średniej liczby dni z gołoledzią istotne statystycznie

Lp.	Stacja meteorologiczna	Średnia liczba dni	Równanie regresji	R <sup>2</sup>	t – test studenta
1	Siedlce	10,3	$y=0,1961x+6,7277$	0,3844	2,392
2	Kielce-Suków	9,1	$y=0,1941x+5,6487$	0,4152	2,622
3	Piła	7,9	$y=0,1429x+5,3143$	0,4044	2,540
4	Mikołajki	7,7	$y=0,137x+5,1916$	0,3833	2,384
5	Włodawa	6,9	$y=0,1619x+4,0286$	0,4755	3,105
6	Lublin-Radawiec	5,9	$y=0,186x+2,5664$	0,4927	3,253
7	Gorzów Wielkopolski	5,9	$y=0,1476x+3,2$	0,4102	2,584
8	Łódź-Lublinek	5,5	$y=0,1465x+2,8202$	0,4069	2,559
9	Wrocław	5,4	$y=0,1221x+3,2303$	0,3593	2,212
10	Kraków-Balice	4,5	$y=0,1874x+1,1412$	0,5723	4,009
11	Koło	4,5	$y=0,1359x+2,0403$	0,4561	2,944
12	Elbląg	4,2	$y=0,0784x+2,7882$	0,3641	2,246
13	Kłodzko	4,2	$y=0,1527x+1,4521$	0,4575	2,956
14	Racibórz-Studzienna	3,3	$y=0,142x+0,7866$	0,4730	3,084
15	Hel	1,4	$y=0,0678x+0,2084$	0,3852	2,398
16	Śnieżka	23,5	$y=-0,4821x+32,134$	0,5046	3,357

## 7. Podsumowanie

Praca poświęcona była występowaniu gołoledzi w Polsce w latach 1971-2005 oraz warunkom fizycznym, które powodują to zjawisko atmosferyczne. Głównym tematem była analiza zróżnicowania przestrzennego i czasowego gołoledzi. W ramach charakterystyki zmian czasowych opracowano strukturę dobową gołoledzi w okresie 2001-2005 dla jedenastu wybranych stacji meteorologicznych. Opracowano rozkład przestrzenny średniej liczby dni z gołoledzią oraz zbadano trendy zmian częstości występowania gołoledzi w Polsce na tle zmieniających się warunków meteorologicznych.

#### Główne wnioski:

- Obserwuje się wzrost liczby dni z gołoledzią w ostatnich 5 latach w stosunku do okresu 1971-2005.
- Wyróżniają się miesiące o najwyższej wartości wskaźnika częstości występowania zjawiska oraz rejony szczególnie narażone na występowanie gołoledzi, które przedstawiono na mapach. Są to:
  - I. Rejon wschodni, z centrami w Siedlcach (10,3 dnia/sezon), Kielcach (9,1 dnia/sezon), Mikołajkach (7,7 dnia/sezon), Olsztynie (7,4 dnia/sezon) i Białymstoku
  - II. Rejon zachodni, z centrami w Zielonej Górze (8,2 dnia/sezon), Chojnicach (8,1 dnia/sezon) i Pile (7,9 dnia/sezon)
- Gołoledź występuje najczęściej w typach cyrkulacji Na, NWa, Ea, oraz Sc wg. klasyfikacji J. Lityńskiego.
- Gołoledź może utrzymywać się przez 8 dób bez przerwy, zawsze w typie cyrkulacji antycyklonalnej.
- Analiza trendu wykazuje brak statystycznie istotnych tendencji malejących, jedynie w szczytowych partiach Karkonoszy trend ten jest ujemny i statystycznie istotny. Natomiast statystycznie istotny trend rosnący zaobserwowano na piętnastu stacjach meteorologicznych spośród czterdziestu pięciu uwzględnionych w analizie (tab. 7).
- Średnia liczba dni z gołoledzią w Polsce kształtuje się od 0 do 10 dni w sezonie od listopada do kwietnia, z maksimum w grudniu i styczniu.
- Opracowano mapę ryzyka występowania gołoledzi w Polsce (rys. 1).
- Integralną częścią opracowania jest załącznik do *Katalogu Groźnych zjawisk pogodowych w Polsce*.

#### Literatura

- Atlas Klimatyczny Elementów i Zjawisk Szkodliwych dla Rolnictwa w Polsce, 1990, Instytut Uprawy i Gleboznawstwa w Puławach, Akademia Rolnicza w Szczecinie, Puławy
- Lityńska Z., Wirkus F., Wirth Z., 1969, Warunki występowania gołoledzi i szadzi w Polsce oraz możliwości prognozy gołoledzi, *Wiad. Służ. Hydrol. i Meteor.*, 1-2
- Lityński J., 1969, Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski, *Prace PIHM*, 97
- Lorenc H. (red.), 2005, *Atlas Klimatu Polski*, IMGW, Warszawa
- Michna E., Skirgajło H., 1974, O osadach atmosferycznych w Lublinie, *Biul. Lubelskiego Tow. Nauk – Geografia*
- Niedźwiedz T., 2003, *Słownik Meteorologiczny*, IMGW, Warszawa
- Stępniewska – Podrażka M., 1975, Statystyczno-klimatologiczna analiza rozkładów elementów pogody w Polsce w różnych typach cyrkulacji dla zimy, IMGW, Warszawa
- Stępniewska – Podrażka M., 1978, *Opracowanie założeń, algorytmów i programów charakterystyk pogodowych*, IMGW, Warszawa
- Stępniewska – Podrażka M., Seweryńska H., 1975, Częstość występowania gołoledzi w odpowiednich przedziałach temperatury i prędkości wiatru w Polsce w latach 1972 – 1974, IMGW, Warszawa
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2009, *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*, IMGW, Warszawa
- Wiszniewski W., 1973, *IMGW – Atlas Klimatyczny Polski*, PPWK, Warszawa
- Zwieriew A.S., 1957, *Meteorologia synoptyczna*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa



#### Spis załączników zawartych w *Katalogu Groźnych Zjawisk Pogodowych –Gołoledź*

1. Średnia liczba dni z gołoledzią według miesięcy i w sezonie występowania zjawiska za lata 1971-2005. Tabela.
2. Średnia liczba dni z gołoledzią na stacjach meteorologicznych z krótszym ciągiem obserwacji niż 35 – lecie (1971-2005). Tabela.
3. Liczba dni z gołoledzią według lat na czterdziestu trzech stacjach meteorologicznych (bez Śnieżki i Kasprowego Wierchu) w okresie 1971-2005. Wykres słupkowy.
4. Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby, w okresie 2001-2005, na jedenastu stacjach synoptycznych. Jedenaście diagramów:
  - 4.1 Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej Siedlce;
  - 4.2 Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej Kielce;
  - 4.3 Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej Piła;
  - 4.4 Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej Olsztyn;
  - 4.5 Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej Mikołajki;
  - 4.6 Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej Białystok;
  - 4.7 Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej Zielona Góra;
  - 4.8 Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej Krosno;
  - 4.9 Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej Sulejów;
  - 4.10. Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej Płock – Trzepowo;
  - 4.11. Czas trwania zjawiska gołoledzi w ciągu doby na stacji meteorologicznej Chojnice.
5. Warunki meteorologiczne w czasie wystąpienia gołoledzi, trwającej bez przerwy ponad jedną dobę, w okresie obserwacyjnym 2001 – 2005. Dziesięć tabel:
  - 5.10. Warunki meteorologiczne – Siedlce;
  - 5.11. Warunki meteorologiczne – Kielce;
  - 5.12. Warunki meteorologiczne – Piła;
  - 5.13. Warunki meteorologiczne – Olsztyn;
  - 5.14. Warunki meteorologiczne – Mikołajki;
  - 5.15. Warunki meteorologiczne – Zielona Góra;
  - 5.16. Warunki meteorologiczne – Krosno;
  - 5.17. Warunki meteorologiczne – Sulejów;
  - 5.18. Warunki meteorologiczne – Płock - Trzepowo;
  - 5.19. Warunki meteorologiczne - Chojnice
6. Zgodność dat wystąpienia gołoledzi na wybranych stacjach meteorologicznych (11 stacji) w latach 2001-2005. Pięć diagramów:
  - 6.10. Zgodność dat wystąpienia gołoledzi na wybranych stacjach meteorologicznych w 2001 roku;
  - 6.11. Zgodność dat wystąpienia gołoledzi na wybranych stacjach meteorologicznych w 2002 roku;
  - 6.12. Zgodność dat wystąpienia gołoledzi na wybranych stacjach meteorologicznych w 2003 roku;
  - 6.13. Zgodność dat wystąpienia gołoledzi na wybranych stacjach meteorologicznych w 2004 roku;
  - 6.14. Zgodność dat wystąpienia gołoledzi na wybranych stacjach meteorologicznych w 2005 roku;
7. Czas trwania gołoledzi (h) w datach wystąpienia zjawiska w okresie 2001 – 2005, na tle warunków meteorologicznych (dobowa temperatura minimalna i maksymalna). Jedenaście wykresów słupkowych:
  - 7.10. Czas trwania gołoledzi na tle warunków meteorologicznych – Siedlce;
  - 7.11. Czas trwania gołoledzi na tle warunków meteorologicznych – Kielce;
  - 7.12. Czas trwania gołoledzi na tle warunków meteorologicznych – Piła;
  - 7.13. Czas trwania gołoledzi na tle warunków meteorologicznych – Olsztyn;
  - 7.14. Czas trwania gołoledzi na tle warunków meteorologicznych – Mikołajki;
  - 7.15. Czas trwania gołoledzi na tle warunków meteorologicznych – Białystok;
  - 7.16. Czas trwania gołoledzi na tle warunków meteorologicznych – Zielona Góra;
  - 7.17. Czas trwania gołoledzi na tle warunków meteorologicznych – Krosno;
  - 7.18. Czas trwania gołoledzi na tle warunków meteorologicznych – Sulejów;
  - 7.19. Czas trwania gołoledzi na tle warunków meteorologicznych – Płock – Trzepowo;
  - 7.20. Czas trwania gołoledzi na tle warunków meteorologicznych – Chojnice.
8. Trendy zmian średniej liczby dni z gołoledzią na czterdziestu pięciu stacjach meteorologicznych w okresie 1971 – 2005. Tabela.



**CZĘŚĆ II.**  
**SKALA I RODZAJ ZAGROZEŃ**



# **Nagle powodzie lokalne (flash flood) w Polsce i skala ich zagrożeń**

*Janusz Ostrowski, Halina Czarnecka,  
Barbara Głowacka, Jolanta Krupa-Marchlewska,  
Monika Zaniewska, Marianna Sasim, Tadeusz Moskwiński,  
Andrzej Dobrowolski (konsultacje merytoryczne)*

## **1. Wprowadzenie**

Zagrożenia wynikające z występujących w Polsce ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych spowodowały podjęcie szerokich działań w celu ochrony przed tymi zagrożeniami oraz złagodzenia ich wpływu na egzystencję ludności, gospodarkę i środowisko.

Jednym z podjętych środków zaradczych była realizacja niniejszego programu badawczego p.n. *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*. W ramach ww. programu przeprowadzono m.in. badania mające na celu rozpoznanie przestrzennego rozkładu i częstości występowania nagłych powodzi lokalnych typu *Flash Flood* (FF) w Polsce oraz opracowano narzędzia wspomagające system ostrzegania przed nimi.

Nagła powódź lokalna (ang. Flash Flood) to powódź o dużej objętości wody i krótkim czasie trwania, występująca po gwałtownym, intensywnym (zwykle burzowym) opadzie deszczu, trwającym od kilkunastu minut do kilku, a nawet kilkunastu godzin. Powódź taka może zdarzyć się praktycznie w każdym rejonie Polski i wcale nie musi być związana z rzeką i wystąpieniem wody z jej koryta. Może to być również powódź miejska, wywołująca podtopienia i zalania pewnych obszarów miasta. Jest to zjawisko bardzo niebezpieczne, powodujące znaczne straty materialne, a nawet ofiary śmiertelne.

Czynnikami sprzyjającymi wystąpieniu nagłej powodzi są rzeźba, pokrywa glebowa i użytkowanie terenu (lasy, łąki, pola orne). Duże nachylenie stoków oraz liczne i wąskie doliny przyspieszają spływ wody i zwiększają niebezpieczeństwo. Powódź typu FF może wystąpić nawet w kilka minut po opadzie, który ją wywołał. Następuje wówczas gwałtowny spływ wody po stokach gór lub zboczach dolin, powodujący wyrwanie drzew, głazów, niszczenie mostów i zabudowań.

Na obszarach zurbanizowanych, zabudowanych materiałami nieprzepuszczalnymi (jezdnie, chodniki), znacznie zwiększa się odpływ (od 2 do 6 razy) w stosun-

ku do terenów o pokryciu naturalnym [Madej 2009] i straty materialne są znacznie większe. W miastach bardzo niebezpiecznymi pułapkami mogą stać się tunele, przejścia podziemne, stacje metra itp.

Ze względu na specyficzny charakter nagłych powodzi typu Flash Flood istnieje potrzeba rozpoznania tego zjawiska w przeszłości, określenia najbardziej zagrożonych terenów i opracowania skutecznych narzędzi, które będą mogły być wykorzystane przez władze lokalne i centra kryzysowe do budowy systemu ostrzegania o nagłych powodziach. Niezbędne jest również prowadzenie na bieżąco systematycznej inwentaryzacji nowych przypadków wystąpienia nagłych powodzi lokalnych w jednolity, zunifikowany sposób dla potrzeb okresowej kontroli i ewentualnej korekty granic zagrożonych obszarów kraju.

## **2. Cel pracy**

- Opracowanie katalogu nagłych powodzi lokalnych Flash Flood (FF) jako skutku opadów o dużej wydajności, obejmującego lata 1971-2010.
- Ocena dynamiki nagłych powodzi lokalnych, ich cykliczności i częstości występowania.
- Opracowanie warstw informacyjnych nagłych powodzi lokalnych i opadów o dużej wydajności w standardzie GIS, stanowiących narzędzie wspomagające system ostrzegania o nagłych powodziach typu Flash Flood.
- Wyznaczenie regionów o wysokim ryzyku występowania powodzi typu FF – na podstawie ww. katalogu.
- Utworzenie map tematycznych przedstawiających rozkład przestrzenny nagłych powodzi lokalnych typu FF w Polsce w czterdziestolecie 1971-2010 oraz map regionów najczęstszego występowania tych zjawisk w układzie zlewniowym i administracyjnym.

## **3. Zakres wykonanych prac**

Zakres wykonanych prac obejmował opracowanie:

- bazy danych zawierającej informacje o opadach o dużej wydajności (Pdw), będących przyczyną nagłych powodzi lokalnych,
- katalogu nagłych powodzi lokalnych Flash Flood (FF), będących skutkiem opadów o dużej wydajności.

Opracowanie obejmuje lata 1971-2010 i zawiera te zjawiska ekstremalne, które traktowane łącznie (opad + powódź) stwarzają zagrożenie dla obszaru kraju, a więc:

- Ocenę dynamiki wystąpień nagłych powodzi lokalnych, ich cykliczność i częstość występowania w badanym okresie.
- Opracowanie warstw informacyjnych nagłych powodzi lokalnych i opadów o dużej wydajności w standardzie GIS (Geographical Information System), stanowiących narzędzie wspomagające system ostrzegania o nagłych powodziach typu Flash Flood.

- Wyznaczenie regionów kraju o wysokim ryzyku występowania powodzi typu FF – na podstawie ww. katalogu.
- Utworzenie map tematycznych przedstawiających rozkład przestrzenny nagłych powodzi lokalnych typu FF w Polsce w czterdziestoleciu 1971-2010 oraz regionów najczęstszego występowania tych zjawisk w układzie zlewniowym i administracyjnym.
- Utworzenie interaktywnej aplikacji, prezentującej zawartość bazy danych o powodziach typu FF w postaci geoprzestrzennego pliku w formacie PDF, dla użytkowników nie mających dostępu do narzędzi środowiska GIS.

## **4. Metodyka badań**

### **4.1. Definicje**

Na potrzeby niniejszego opracowania przyjęto następujące definicje:

Nagła powódź lokalna (Flash Flood) jest to nagłe zalanie lub/i podtopienie terenu (skutek) w wyniku wystąpienia silnego, krótkotrwałego opadu deszczu (przyczyna) o dużej wydajności (objętości, warstwy wody) na stosunkowo niedużym obszarze zlewni rzecznej lub zurbanizowanej zlewni miejskiej (bez udziału cieków wodnych).

Opad o dużej wydajności (wywołujący m.in. nagłe powodzie lokalne FF) jest to opad najczęściej burzowy o wysokości co najmniej 30 mm, który trwa nie dłużej niż 12 godzin, a którego skutkiem są lokalne wezbrania lub powodzie, powodujące konkretne szkody w infrastrukturze środowiska i gospodarce.

Region powodziowy jest to obszar obejmujący zespół zlewni rzecznych, w którym często lub bardzo często występują nagłe powodzie lokalne typu FF.

### **4.2. Katalog nagłych powodzi lokalnych (FF) i baza danych opadów (Pdw) dla czterdziestolecia 1971-2010**

#### **4.2.1. Katalog nagłych powodzi lokalnych (FF)**

Obserwuje się, że nagłe powodzie lokalne powtarzają się coraz częściej na obszarze Polski. Dla poznania tego zjawiska zajęto się więc tworzeniem specjalnych zbiorów danych dotyczących tego typu powodzi. Wszystkie dostępne informacje opracowano w postaci katalogu, który zawiera dane z lat 1971-2010. Strukturę katalogu prezentuje tab. 1.

Katalog zawiera następujące informacje: numer katalogowy, datę, nazwę rzeki (w zlewni, w której wystąpiło zjawisko powodzi FF wraz z jej unikalnym identyfikatorem hydrograficznym i usytuowaniem w strukturze hierarchicznej cieków dorzecza), miejsce wystąpienia zjawiska, datę wystąpienia opadu będącego przyczyną powodzi, wysokość opadu w mm i czas jego trwania, nazwę stacji opadowej, opis opadu, współczynnik K. Chomicza [1951], natężenie opadu wg H. Lorenc [2005], skutki wywołane powodzią oraz typ cyrkulacji atmosferycznej wg J. Lityńskiego [1969], jaki panował w tym dniu na terenie Polski. Informacje zawarte w kolum-

nach „Opis opadu” oraz „Skutki powodzi FF” pochodzą z materiałów źródłowych wykorzystanych w pracy.

Katalog powodzi FF powstawał sukcesywnie. Pierwotny katalog zawierał informacje niepełne z powodu braku wielu danych. Były to informacje dotyczące jedynie zaistnienia samego zjawiska powodzi. Informacje te były stopniowo uzupełniane o dane opadowe pochodzące z utworzonej bazy danych opadów o dużej wydajności ( $\geq 20$ ,  $\geq 40$  i  $\geq 50$  mm w danym czasie trwania) lub o sumy dobowe opadów z Centralnej Bazy Danych Hydrologiczno-Meteorologicznych IMGW-PIB (CBDHM).

W znacznym stopniu rozszerzono i uzupełniono katalog nagłych powodzi lokalnych (FF) dla lat 1971-1998 na podstawie archiwum Głównego Komitetu Przeciwpowodziowego, a dla okresu 2006-2010 z materiałów Związku Powiatów Polskich. Dzięki temu uzyskano zwiększenie liczby przypadków wystąpienia FF w okresie 2006-2010, a w szczególności w latach 2009-2010. Z pewnością zaistniała sytuacja ma przełożenie na ogólną ocenę liczby wystąpień FF w poszczególnych dekadach analizowanego okresu 1971-2010.

Wyżej wymienione materiały dostarczyły informacji o szkodach w zlewniach i miejscowościach dotkniętych powodzią oraz – często – o charakterze opadu powodującego powódź i czasie jego trwania. Są też w katalogu takie przypadki, kiedy zjawisko powodzi FF wystąpiło w danym regionie i jest ono dobrze udokumentowane, a pobliska stacja opadowa nie zanotowała opadu.

Za skutki opadu i powodzi FF uznano: zniszczone i zablokowane drogi, uszkodzone mosty i linie sieci energetycznej, zalane domy, budynki użyteczności publicznej i podwórka, uszkodzone podkłady pod torami kolejowymi, podtopienia piwnic, przepełnione studzienki kanalizacyjne powodujące zalania np. piwnic wodą z rur kanalizacyjnych, zalane ulice, tunele, parkingi podziemne, przerwane wały przeciwpowodziowe, zniszczone uprawy w wyniku zalania pól, rozmyte brzozy potoków, a nawet zmiany biegu koryta potoków, osuwiska skalne, ofiary śmiertelne i straty w inwentarzu.

Jako miejsce wystąpienia zjawiska powodzi FF przyjęto miejscowość lub region (np. gminy), w których zanotowano skutki tego opadu. Jeśli nie było danych o opadzie o dużej wydajności i jego czasie trwania z miejsca objętego powodzią i jej skutkami, to wówczas przyjmowano sumę dobową opadu z CBDHM ze stacji opadowej położonej w pobliżu.

Utworzony katalog jest pierwszym tego typu zbiorem danych i zawiera wszelkie dostępne informacje dotyczące nagłych powodzi lokalnych (FF) znajdujące się w różnych źródłach. Wyżej wymieniony katalog w postaci pliku PDF stanowi załącznik do raportu końcowego z podzadania 4.7 i jest dostępny u Koordynatora zadania 4.

#### 4.2.2. Baza danych opadów powodziowych

Dla potrzeb realizacji zadania przygotowano bazę danych opadów o dużej wydajności na podstawie zbiorów danych CBDHM z lat 1971-2010. Zgodnie



z przyjętymi kryteriami pierwotnie do bazy wybrano sumy opadu  $\geq 40$  i 50 mm, gdyż uznano, że jest to potencjalna wielkość opadu mogąca spowodować powódź. Następnie rozszerzono bazę o opady niższe ( $\geq 20$  mm), ponieważ okazało się, że one także powodują skutki w postaci szkód w terenie.

Strukturę bazy danych opadów z lat 1971-2010 prezentuje tab. 2. Baza zawiera następujące informacje dotyczące opadów powodziowych: datę, nazwę dorzecza, nazwę stacji opadowej, wysokość opadu w mm i czas jego trwania, współczynnik K. Chomicza [1951], natężenie opadu wg H. Lorenc [2005] skutki wywołane opadem, jeśli takie zaobserwowano oraz typ cyrkulacji atmosferycznej wg J. Lityńskiego [1969].

Dane do tej bazy z lat 1971-1980 pochodzą z roczników IMGW OPAD ATMOSFERYCZNY. W rocznikach nie ma jednak informacji o skutkach wywołanych opadem. Dane dla lat 1981-2010 pochodzą z meldunków przysyłanych do IMGW przez obserwatorów (kartki z informacjami o opadzie: wielkość i czas trwania wraz ze skutkami w przyrodzie i infrastrukturze). Dane te uzupełniono sumami dobowymi opadów z bazy CBDHM.

Tab. 1. Struktura katalogu nagłych powodzi lokalnych (FF)

Numer katalogowy	Data powodzi FF		Rzeka (identyfikator hydrograficzny) - recipient	Miejscowość	Data opadu		Opad		Opis opadu	Wsp. Chronicza	Natęż. opadu	Skutki powodzi FF	Typ cyrk.
	rok	mies			mies	dzień	wys. [mm]	czas [min]					
20090622.2			Smardawa (1332) - Odra	Biestrykowice, Świerczów (gmina)			107,50	300	obrawanie chmury	6,21	0,36	złazne piwnice, budynki mieszkalne i użyteczności publi., duże straty w rolnictwie w gminie	NEa
20090622.3			Dunajec (214) - Wiśla	Złotychy (gmina)			43,20	50	nawalny deszcz	6,11	0,86	złazne piwnice, ogrody, pola	NEa
20090622.3.1			Kowalówka (213952) - Uszwica - Wiśla	Peręba Szyłkowska (gm. Brzesko)			55,30	1440	uwemy deszcz	0,00	0,00	podpopy budynek szkoły, sklep, przedszkole	NEa
20090622.3.2		22	Grodna (213956) - Uszwica - Wiśla	Jadowniki (okolice Brzeska)			55,30	1440	uwemy deszcz	0,00	0,00	podpopyna posesja i budynek mieszkalny w całej gminie (okolice podtopienia gospodarstw, zakładów pracy)	NEa
20090622.3.3		22	Dopl. s. g. Kamionka (213968) - Niedzwiedz - Uszwica	Dębno (gmina)			55,30	1440	uwemy deszcz	0,00	0,00	lokalne podtopienia	NEa
20090622.3.4		22	Uszwica (2196) - Wiśla	Borzęcin			55,30	1440	uwemy deszcz	0,00	0,00	podtopienia budynków, uszkodzenia dróg, mostów, przepustów	NEa
20090622.3.5		22	Uszwica (2196) - Wiśla	Gnojnik (gmina)			55,30	1440	uwemy deszcz	0,00	0,00	podtopienia budynków, uszkodzenia dróg, mostów, przepustów	NEa
20090623.1	2009	6	Tanawka (13498) - Strzegomka - Bystrzyca - Odra	Jaworzyna Śląska (gmina)		6	69,00	1440		0,00	0,00	w gm. Jaworzyna Śląska uszkodzone drogi, złazne budynki, podtopienia przychodni, szkoły, złazne łąki i pola	NEo
20090623.1.1		6	Witoszówka (13438) - Bystrzyca - Odra	Świdnica (powiat)		6	69,00	1440		0,00	0,00	w okolicach Świdnicy uszkodzenia dróg, mostu, urządzeń melior., podtopienia budynków i gospodarstw, zniszczenia upraw	NEo
20090623.1.2		6	Pława (1344) - Bystrzyca - Odra	Grodziszce, Wilków, Panków		6	69,00	1440		0,00	0,00	liczne podtopienia, uszkodzenia dróg, zniszczenia upraw	NEo
20090623.1.3		6	Czarna Woda (1346) - Bystrzyca - Odra	Sobótka (rejon)		6	41,00	15		10,59	2,73	podtopienia domów, silne stumienie wody wyrwały asfalt	NEo
20090623.1.4		6	Czarna Woda (1346) - Bystrzyca - Odra	Sobótka (rejon), Wity, Ząbry dów, Chwałków		6	41,00	15		10,59	2,73	liczne podtopienia, uszkodzenia dróg, zniszczenia upraw	NEo
20090623.1.5		6	Młota Śląska (13364) - Śląza - Odra	Kondrabowice (cała gmina), Karczyn, Małeszków		6	61,70	1440	nawalny deszcz	0,00	0,00	zniszczenia upraw w wielu rolników w całym powiecie Strzeżin, szczególnie w gminie Kondrabowice	NEo
20090623.1.6		6	Trawna (1338196) - Śląza - Odra	Podgaj (pow. Strzeżin)		6	61,70	1440	nawalny deszcz	0,00	0,00	zniszczenia upraw	NEo
20090623.1.7		6	Oława (1334) - Odra	Strzeżin (miastb i gmina)		6	69,80	1440	nawalny deszcz	0,00	0,00	złazne piwnice, magazyny, pomieszczenia klubu sportowego	NEo

Tab. 2. Struktura bazy danych opadów powodziowych

Kod SZS	Rodzaj stacji	Rzęd stacji	Nazwa Stacji	Długość geogr.	Szer. geogr.	Wys. n.p.m	Wys. n.p.m	Dozrzesze	Id_hyd_r	Id_hyd_r	Region oparowania dowy	Rok założenia dęgi	Rok Typ stacji	Data opadu	Wysokość opadu [mm]	Czas trwania opadu [min]	Wsp. Chemiczna	Netżenie opadu	Skutki	Cyркуladja	
350200570	S	I	KELCE-SUKÓW	204132	504837	260	216445	CZARNA NDA	2164	21645	143	1974	0	RSMH	2009-05-22	15,8	1,4	0,12	ulica zmieniły się w strumienia, woda w Siłnicy spłynęła brzegów	Wc	
251210150	O	V	CIEPEŁÓW	218527	511519	160	23875	ŁŻANKA	238	23875	145	1956	0		2009-05-22	51,5	0	0		Wc	
251230060	O	V	UHNIN	230406	513417	155	2482373	TYSMIENICA	248	2482373	154	1992	0			61,7	0	0			
250180470	O	V	LEWIN KŁODZKI	161738	502415	460	94642	LABA	9	94642	211	1955	0			22,0	3,27	0,49	drogami płynęła woda, zamulenia		
251160510	O	V	KĄTY WROCŁAWSKIE	164613	510205	130	13473	BYSTRZYCA	134	13473	235	1947	0		2009-05-31	14,4	3,22	0,72	zalne opadki, niesprawnia kanalizacja, kłótkowale rozlewkła	Ea	
352200375	S	I	WARSZAWA-OKĘCIE	206740	520946	107	259241	WBSŁA	2	259241	156	1918	0	LSM		16,0	2,06	0,27	w ciągu kilku minut ulice zmieniły się w potoki, w Wawrze konieczna była amfibia, zalane domy, pwnice	Ea	
243210020	O	V	ŁĘŻANY	210822	535801	120	58488279	GUBER	5848	58488279	176	1949	0		2009-06-01	22,8	3,84	0,64	zamulena wazy w	Ea	
253200060	O	V	OLSZTYNEK	201770	533446	175	561343	PASŁĘKA	56	561343	182	1946	0	ATSO	2009-06-02	6,5	0,83	0,1	zalana Ostęda (obierwanie chmury) - podtopione ulice, pwnice, sklepy, zalany urząd gminy, uwęziony autobus z pasażerami	Nc	
352180330	S	I	POZNAN	165005	522500	88	18576	WARTA	18	18576	249	1946	0	LSM	2009-06-07	15,0	0	0	zalne pwnice i gęzże, nieprzejrzalne ulice	Sc	
251180010	O	V	UNIEŚÓW	184721	515837	115	185199	WARTA	18	185199	263	1946	0			54,0	0	0		So	
25270270	O	V	SREM	170215	520451	75	185549	WARTA	18	185549	249	1975	0		2009-06-09	23,2	1,92	0,15	podtopione pwnice, woda na ulicach i polach		
349190600	S	I	BIELSKO-BIALA	190004	494629	398	2114	BIALA	2114	211472	118	1947	0	ATSMS		32,3	0	0	zalane ulice, polamane drzewa, nawalnica		
250190440	O	V	OSNĘCIM	191451	500225	247	213321	WBSŁA	2	213321	132	1946	0			5,2	0,67	0,09	nawalnica gradowa - szkody w uprawach, uszkodzone drogi		
249190060	K	IV	INWALD	192320	495202	350	21348829	SKAWA	2134	21348829	119	1975	0	ATSM	2009-06-10	13,5	1,74	0,23	nawalnica gradowa - szkody w uprawach młnych, uszkodzone drogi	So	
250190390	K	III	KRAKÓW-OBSERWATORIUM	198731	500351	206	21373	WBSŁA	2	21373	134	1792	0			8,6	0	0	zalane ulice, polamane drzewa, uszkodzone dachy		
251210150	O	V	CIEPEŁÓW	218527	511519	160	23875	ŁŻANKA	238	23875	145	1956	0			52,8	0	0			
251230060	O	V	GARBATÓWKA	230600	512110	170	24532	SWINKA	2496	24532	147	1946	0			50,2	0	0			
243200170	O	V	JASIENNA	204947	494243	370	21841	DUNAJEC	214	21841	111	1963	0			15,1	15	3,9	1	drogi żwirowe zniszczone, zamulone rowy, uprawy strawy w infrastrukturze komunalnej (drogi, przepisy, kładki)	Nc
24910230	K	IV	WYSOWA	211021	492617	519	21821	WBSŁOKA	218	21821	112	1951	0	ATSM	2009-06-11	72,7	0	0			

### **4.3. Metodyka tworzenia warstw informacyjnych w systemie GIS**

Na podstawie zbiorów danych omówionych w poprzednich rozdziałach utworzono warstwy informacyjne w systemie GIS dotyczące zjawisk powodzi lokalnych typu FF oraz opadów.

Zgodnie z ustaleniami przyjęto, że prezentacja zjawisk nagłych powodzi i opadów powiązanych relacją przyczyna-skutek będzie odbywać się na podkładzie mapowym, jaki stanowią warstwy informacyjne wchodzące w skład cyfrowej mapy podziału hydrograficznego Polski (MPHP). Obecnie mapa ta, zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z listopada 2005 r., stanowi referencję hydrograficzną dla działań związanych z gospodarką wodną.

Biorąc pod uwagę możliwy zakres prezentacji zjawisk powodziowych i opadowych, ich rozkład i zasięg przestrzenny, skalę oraz wielkość map zamieszczanych w opracowaniu ustalono, że sieć wodna MPHP zostanie ograniczona do cieków o długości powyżej 50 km.

System informacyjny o nagłych powodziach lokalnych został zbudowany z dwóch warstw w systemie GIS:

- warstwy głównej, ze zjawiskami nagłych powodzi lokalnych (FF), pokazującej rozkład przestrzenno-czasowy występowania powodzi FF powiązanych z opadami o dużej wydajności relacją przyczyna-skutek,
- warstwy pomocniczej, z opadami powodziowymi, która posłużyła do utworzenia głównej cyfrowej mapy tematycznej.

Wyżej wymienione warstwy GIS są ciągłe dla całej Polski i dla wszystkich analizowanych lat.

Przy tworzeniu warstwy głównej zastosowano niżej opisane kryteria.

Jeśli zjawisko nagłej powodzi lokalnej FF występuje w danym dniu w jednym miejscu lub miejscowości, to jest zjawiskiem jednopunktowym i opisuje je tylko jeden rekord bazy danych i jeden punkt w warstwie informacyjnej POWODZIE\_FF (wystąpienie FF w jednej miejscowości).

Często jednak zjawisko nagłej powodzi lokalnej występujące w danym dniu obejmuje swym zasięgiem kilka miejscowości. Traktowano je wówczas jako jedno zjawisko wielopunktowe, pod warunkiem jednak, że miejscowości takie nie były oddalone od siebie o więcej niż 30 km i zjawisko to wywołane było tą samą falą opadu. Na warstwie informacyjnej POWODZIE\_FF zjawiska wielopunktowe reprezentowane są przez kilka punktów i opisywane kilkoma rekordami bazy danych (wystąpienie FF w wielu miejscowościach). Jeśli miejsca te zlokalizowane były w odległości większej, wówczas traktowano je jako oddzielne zjawiska powodzi.

Aby rozróżnić zjawisko powodzi FF występujące w jednym miejscu (zjawisko jednopunktowe) od zjawiska powodzi FF występującego w wielu miejscowościach (zjawisko wielopunktowe), wprowadzono do bazy danych atrybut o nazwie „Numer katalogowy”. Atrybut ten składa się z daty (rrrrmmdd) i (po kropce) kolejnego numeru wystąpienia zjawiska powodzi FF w danym dniu oraz ewentualnie (po drugiej kropce) numeru zjawiska wielopunktowego, tzn.:

- dla jednopunktowego zjawiska FF atrybut „Numer katalogowy” ma np. wartość równą 20070811.1,
- dla zjawiska wielopunktowego, spełniającego kryterium odległości mniejszej niż 30 km, przyjmuje się dla jednego z odpowiadających rekordów atrybut „Numer katalogowy” równy np. 20070811.2, a dla pozostałych atrybut równy np. 20070811.2.1. Nadanie ww. atrybutowi tej samej wartości daty pozwala łączyć wystąpienie zjawiska FF w danym dniu w wielu okolicznych miejscach jako jedno zjawisko powodzi FF, wywołane tym samym opadem o dużej wydajności.

## 5. Informacje o danych

Do tworzenia katalogu nagłych powodzi FF wykorzystano następujące źródła informacji:

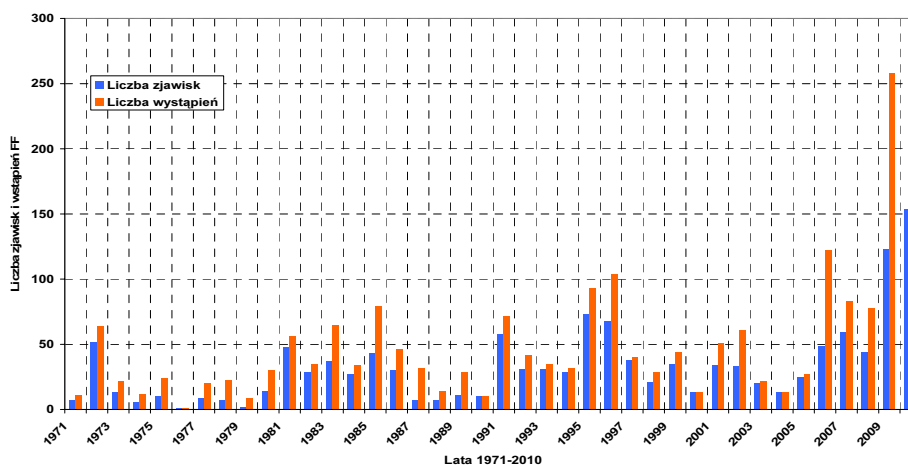
- Archiwum Głównego Komitetu Przeciwpowodziowego (materiały archiwalne z lat 70, 80, 90-tych).
- Opracowanie pt.: *Monografia katastrofalnych powodzi w Polsce w latach 1946-1998*, wykonane w IMGW na zlecenie Ministra Środowiska (nagroda Ministra Środowiska w 2001 r.), (niepublikowane).
- Katalog powodzi lokalnych w małych zlewniach, opracowany bez weryfikacji w ramach realizowanego w latach 2007-2008 tematu *Gwałtowne powodzie – podstawy metodyczne*.
- Rozkład przestrzenny i częstotliwość występowania powodzi katastrofalnych w Polsce w latach 1946-2001 jako podstawa planowania i kontroli stanu zabezpieczenia przed powodzią oraz prowadzenia operacyjnych działań przeciwpowodziowych [2003, niepublikowane].
- Media: prasa, radio, internet, telewizja.
- Informacje z powiatów i gmin w Polsce. (W pozyskiwaniu informacji nt. występowania nagłych powodzi w okresie 2006-2010 bardzo pomogła współpraca z Związkiem Powiatów Polskich. Nadsyłane informacje pozwoliły na uzupełnienie katalogu o wystąpieniach nagłych powodzi w wyżej wspomnianym okresie).
- Bazy danych CBDHM (Centralna Baza Danych Hydrologiczno-Meteorologicznych) i SH (System Hydrologii) funkcjonujące w IMGW-PIB.

## 6. Charakterystyka osiągniętych wyników

### 6.1. Dynamika wystąpień nagłych powodzi lokalnych, ich cykliczność i częstość w latach 1971-2010

Opracowany, w ramach niniejszych badań, katalog nagłych powodzi lokalnych w Polsce (1971-2010) zawiera 1321 zjawisk powodziowych jedno i wielopunktowych, które uwzględniły aż 2104 przypadki wystąpień nagłych powodzi lokalnych w konkretnych miejscach.

Wieloletnią dynamikę zmian ilości powodzi FF w czterdziestoleciu 1971-2010 prezentuje rys. 1.



Rys. 1. Ilość zjawisk nagłych powodzi lokalnych typu Flash Flood w porównaniu z ilością wszystkich miejsc wystąpień w poszczególnych miejscowościach w Polsce w latach 1971-2010

Wyraźną tendencję wzrostu, zarówno liczby zjawisk powodzi FF jak i miejsc ich wystąpienia w Polsce, w badanym czterdziestoleciu, widać na rys. 1, nawet bez określenia linii trendu. Narastającą liczbę wystąpień, zarówno zjawisk, jak i FF, w kolejnych dekadach czterdziestolecia 1971-2010 potwierdza także tab. 3.

Tab. 3. Liczba zjawisk nagłych powodzi lokalnych FF oraz miejsc wystąpień w Polsce w poszczególnych dekadach okresu 1971-2010

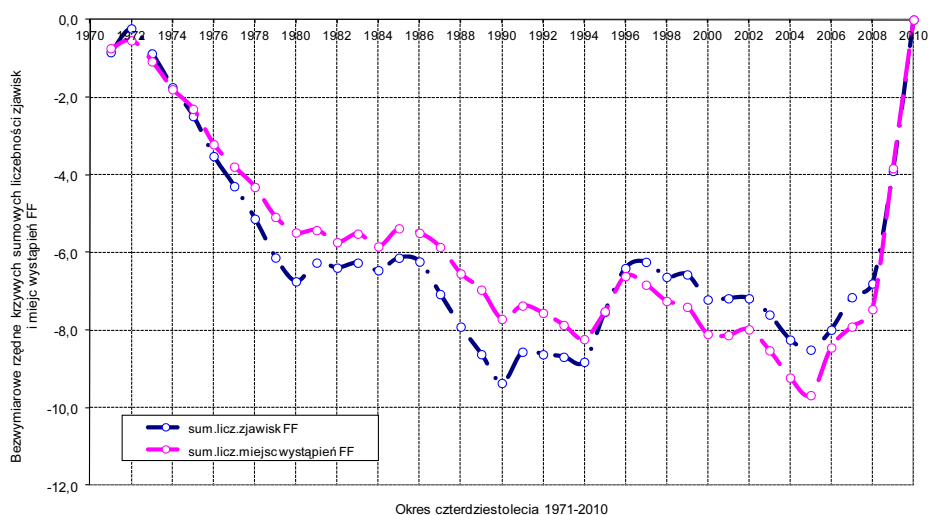
Okres	Liczba zjawisk	Liczba wystąpień FF
1971-1980	121	216
1981-1990	249	400
1991-2000	397	504
2001-2010	554	984
1971-2010	1321	2104

Cykliczność występowania zarówno liczby nagłych powodzi lokalnych FF, jak i związanych z nimi liczby miejsc wystąpień można analizować m.in. za pomocą bezwymiarowych krzywych tych elementów (wygładzonych krzywych ich czasowego przebiegu) określanych za pomocą algorytmu RAPS (ang. rescaled adjusted partial sums) – podanego przez Garbrechta i Fernandez [Byczkowski, Banasik 2001, Ostrowski 2003, 2010].

Bezspornym walorem metody RAPS jest zmniejszenie, bądź eliminacja zmienności krótkookresowych (np. rocznych) i umożliwienie identyfikacji zmian długookresowych, czego przykładem jest wykres (rys. 2), na którym przedstawiono wieloletnie fluktuacje ilości zjawisk nagłych powodzi lokalnych FF i odpowiadających im miejsc wystąpień w latach 1971-2010. W przypadku ww. analizy można w zasadzie wyodrębnić trzy charakterystyczne, wieloletnie okresy o różnych ten-

dencjach: zmniejszania, zwiększania i stabilizowania się liczby zjawisk FF i liczby wystąpień w rozpatrywanym czterdziestoleciu.

I tak, w okresie 1972-1980 obserwuje się stopniowy spadek analizowanych wielkości, w latach 1981-1985 wystąpiła stabilizacja (na zbliżonym poziomie) rozpatrywanych wielkości, aby znów ulec spadkowi w latach 1986-1990. Okres 1991-1994 to mniejsza liczba zarówno miejsc wystąpień jak i zjawisk FF, natomiast w kolejnych latach (1995-1997) nastąpił gwałtowny ich wzrost. W latach 1998-2005 stwierdzono zmniejszenie miejsc wystąpień i zjawisk FF, a w latach 2006-2010 wyraźny wzrost badanych wielkości. Należy zaakcentować fakt, że lata 1984-1993 to w przybliżeniu okres występowania długotrwałej niżówki (suszy hydrologicznej) – zmniejszanie przepływów rzecznych na znacznych obszarach Polski – spowodowanej mniejszymi opadami atmosferycznymi w tym okresie.



Rys. 2. Ocena powtarzalności (cykliczności) występowania zjawisk nagłych powodzi lokalnych w Polsce w latach 1971-2010

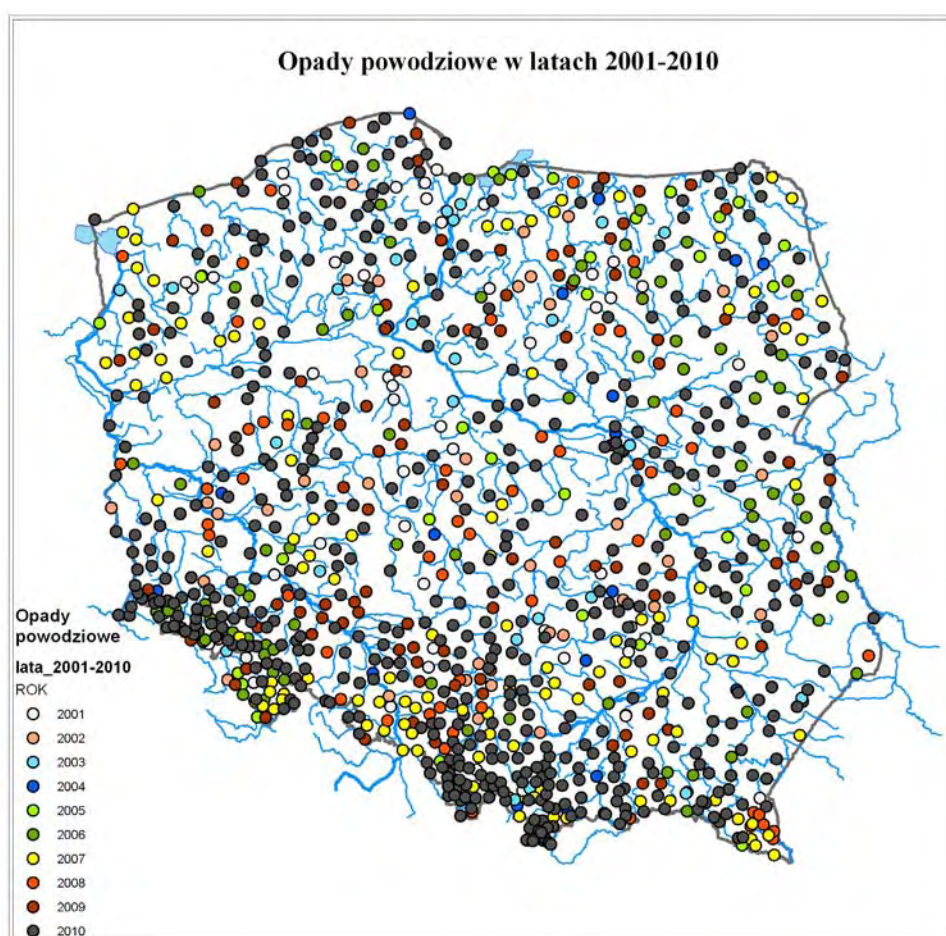
Powyższy rysunek ułatwia rozpoznanie okresów zmian liczby zarówno zjawisk nagłych powodzi lokalnych FF jak i miejsc ich wystąpień w badanym 40-leciu.

## 6.2. Warstwa informacyjna w systemie GIS z opadami o dużej wydajności

Warstwa GIS pod nazwą OPADY POWODZIOWE zawiera podstawowe dane o stacji, m.in.: współrzędne geograficzne, dorzecze, wysokość n.p.m., region opadowy, kod SZS umożliwiający identyfikację stacji w Systemie Zarządzania Siecią PSHM oraz dodatkowo informacje o dacie wystąpienia opadu nawalnego, jego wysokości, czasie trwania, natężeniu, współczynnika wydajności Chomicza, skutkach wywołanych przez dany opad i cyrkulacji powietrza przy jakiej wystąpił.

Ciągłość bazy dla całej Polski i wszystkich analizowanych lat pozwala na dowolny wybór opadów (poprzez zapytanie do bazy) spełniających zadane kryteria, np. rok wystąpienia.

W warstwie OPADY POWODZIOWE zamieszczono opady potencjalnie groźne, tzn. takie, które mogłyby spowodować powódź nagłą typu Flash Food. Z reguły były to opady o znacznej wysokości (powyżej 20 mm) i krótkim czasie trwania (od kilku minut do kilku godzin). W warstwie znalazły się też opady o niższej wysokości, jeśli potwierdzały one wystąpienie zjawiska FF. W bazie znajdują się także dobowe sumy opadów. Podano je wówczas, gdy nie udało się ustalić konkretnego czasu trwania opadu, a informacje o zjawisku FF zanotowano.



Rys. 3. Występowanie opadów powodziowych w wieloleciu 2001-2010

Nie wszystkie potencjalnie groźne opady zawarte w warstwie OPADY POWODZIOWE wywołały zjawisko FF. Zależy to głównie od rejonu w jakim taki opad wystąpił. Stosunkowo niewysoki opad może spowodować gwałtowną powódź FF, jeśli wystąpi na obszarze zurbanizowanym lub w obszarach o dużym

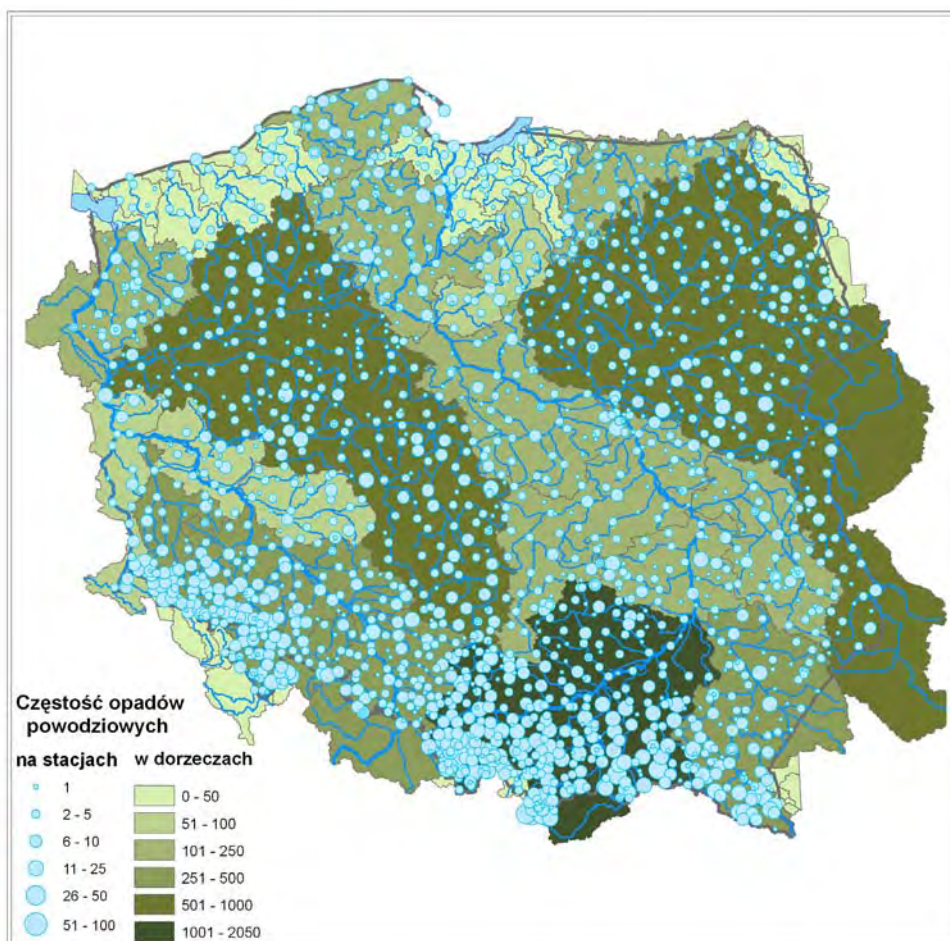


nachyleniu stoków. Z kolei nawet gwałtowna ulewa nad obszarami leśnymi może nie być groźna.

Z ww. warstwy wygenerowano podzbiory danych dotyczące poszczególnych lat. Umożliwiło to wykonanie map rozmieszczenia opadów potencjalnie groźnych, tzn. takich, które mogłyby wywołać zjawisko nagłej powodzi, dla poszczególnych lat i dla całych wieloleci (rys. 3).

Wygenerowano również mapy rozmieszczenia opadów powodziowych dla dni ich wystąpienia w latach 1971-2010 oraz tabele zawierające stacje opadowe z wysokością opadu i czasem trwania. Mapy te były pomocne w analizie przestrzennej i przyczynowo skutkowej rozmieszczenia nagłych powodzi FF w poszczególnych dniach badanego okresu.

Efektom pracy jest baza danych o opadach powodziowych, która umożliwia dokonywanie dowolnych analiz czasowych i przestrzennych. Na rys. 4 przedstawiono występowanie takich opadów w całym 40-leciu 1971-2010.



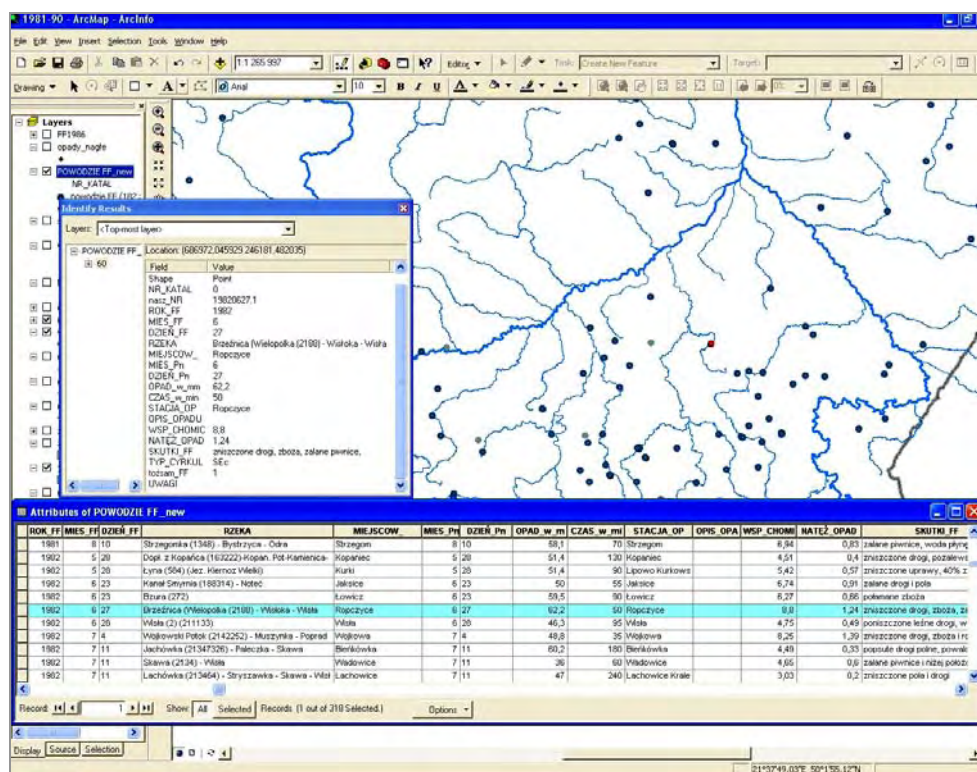
Rys. 4. Częstość występowania opadów powodziowych w latach 1971-2010

Na rys. 4 kolorami (od najjaśniejszego do najciemniejszego) zaznaczono częstotliwość występowania opadów powodziowych w dorzeczach. W badanym 40-leciu najczęściej przypadków występowania takich opadów zanotowano w dorzeczu górnej Wisły (2018). Niebieskimi kółkami o różnej średnicy zaznaczono stacje, na których występowały opady powodziowe – od najmniejszego kółka symbolizującego pojedyncze przypadki takich opadów, do największego symbolizującego te stacje, na których takie opady zanotowano ponad 50 razy. Wielokrotne występowanie opadów powodziowych notowano głównie w obszarach górskich górnej Wisły i Odry.

### 6.3. Warstwa informacyjna w systemie GIS z nagłymi powodziami lokalnymi FF

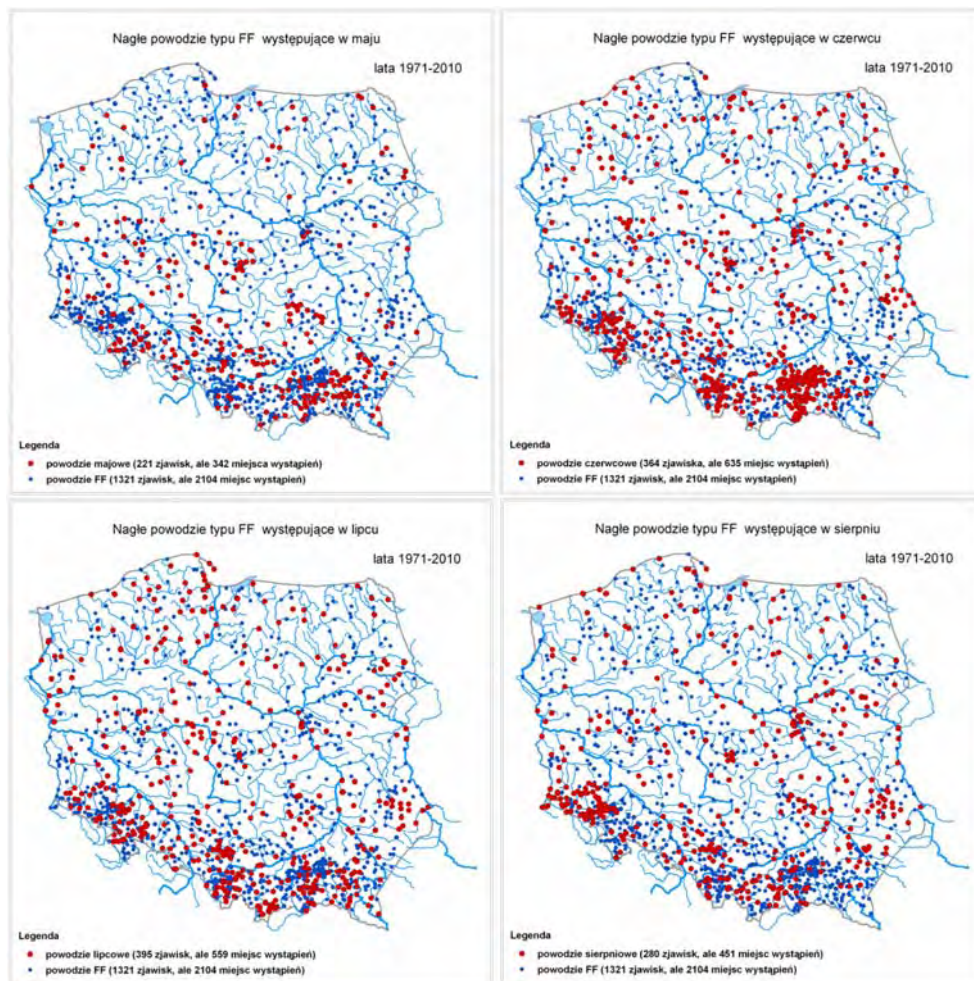
Na podstawie katalogu nagłych powodzi lokalnych FF utworzono warstwę informacyjną w systemie GIS (z georeferencją), zawierającą powodzie FF w latach 1971-2010. Relacyjna baza danych warstwy informacyjnej nagłych powodzi lokalnych FF zawiera wszystkie informacje zebrane w katalogu (patrz roz. *Metodyka...*).

Strukturę bazy danych warstwy informacyjnej POWODZIE\_FF oraz fragment jej zawartości przedstawia poniższy rysunek.



Rys. 5. Struktura relacyjnej bazy danych warstwy POWODZIE\_FF na tle mapy

Na fragmencie mapy, dla przykładu, wyróżniono kolorem czerwonym punkt przedstawiający zjawisko powodzi FF w dniu 27 czerwca 1982 r. Okienko o nagłówku „Identify Results” pokazuje wszystkie informacje z relacyjnej bazy danych opisujące to zjawisko. Natomiast wyróżniony rekord, w tabeli atrybutów warstwy informacyjnej POWODZIE\_FF, wskazuje to zjawisko wśród innych zjawisk umieszczonych w bazie danych.

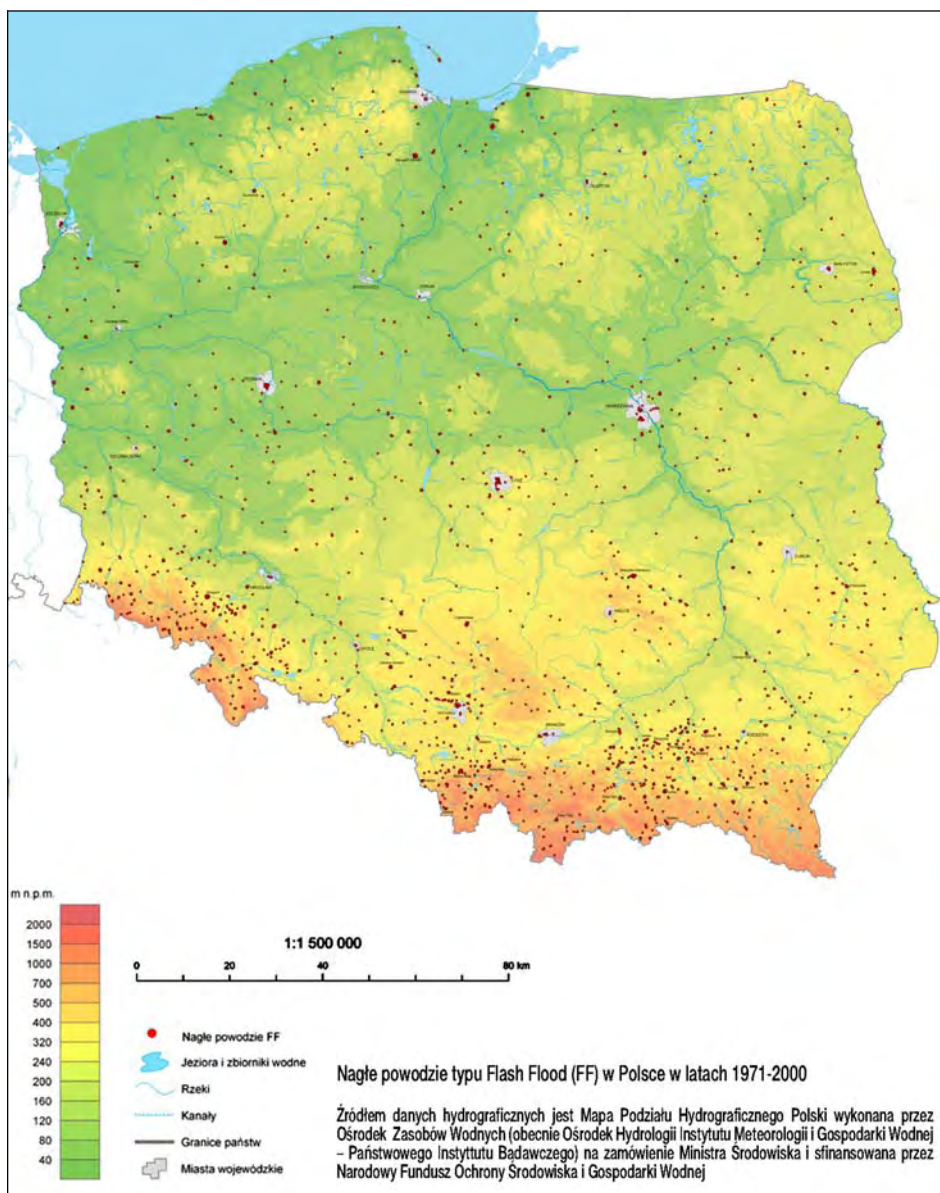


Rys. 6. Liczebność i przestrzenny rozkład zjawisk nagłych powodzi lokalnych FF w miesiącach: od maja do sierpnia w czterdziestoleciu 1971-2010

Odpowiednio sformułowane zapytania do bazy danych (w języku strukturalnym SQL) pozwalają dobrowolnie wybierać informacje spełniające zadane kryteria, na podstawie których można wykonywać różnego typu analizy przestrzenno-czasowe oraz przyczynowo-skutkowe i generować podzbiory danych, służące do tworzenia map tematycznych.

Przykładem takiej analizy może być przestrzenny rozkład powodzi FF w poszczególnych miesiącach w czterdziestoleciu 1971-2010. Prezentują to powyższe mapy. Na mapach wszystkie powodzie FF w czterdziestoleciu są oznaczone kolorem niebieskim, a te, które wystąpiły w danym miesiącu (od maja do sierpnia) kolorem czerwonym.

Przykładem mapy tematycznej jest mapa analogowa p.t. *Nagle powodzie typu Flash Flood (FF) w Polsce w latach 1971-2010* w skali 1:1 500 000. Obraz tej mapy przedstawiono poniżej.



Na mapie umieszczono udokumentowane miejsca wystąpienia nagłych powodzi lokalnych w Polsce, zestawionych w katalogu nagłych powodzi FF zaobserwowanych głównie w miesiącach letnich od początku maja do końca sierpnia w latach 1971-2010. Miejsca te obejmują zarówno powodzie wywołane małoobszarowymi ulewami, które dotknęły np. tylko jedną wieś, ale także powodzie lokalne wywołane rozległymi ulewami, które objęły kilka sąsiednich miejscowości w promieniu do 30 km. W przypadku ulew wielkoobszarowych uwzględniono miejscowości, w których były stwierdzone szkody popowodziowe.

#### **6.4. Wyznaczenie regionów kraju o wysokim ryzyku występowania powodzi typu FF**

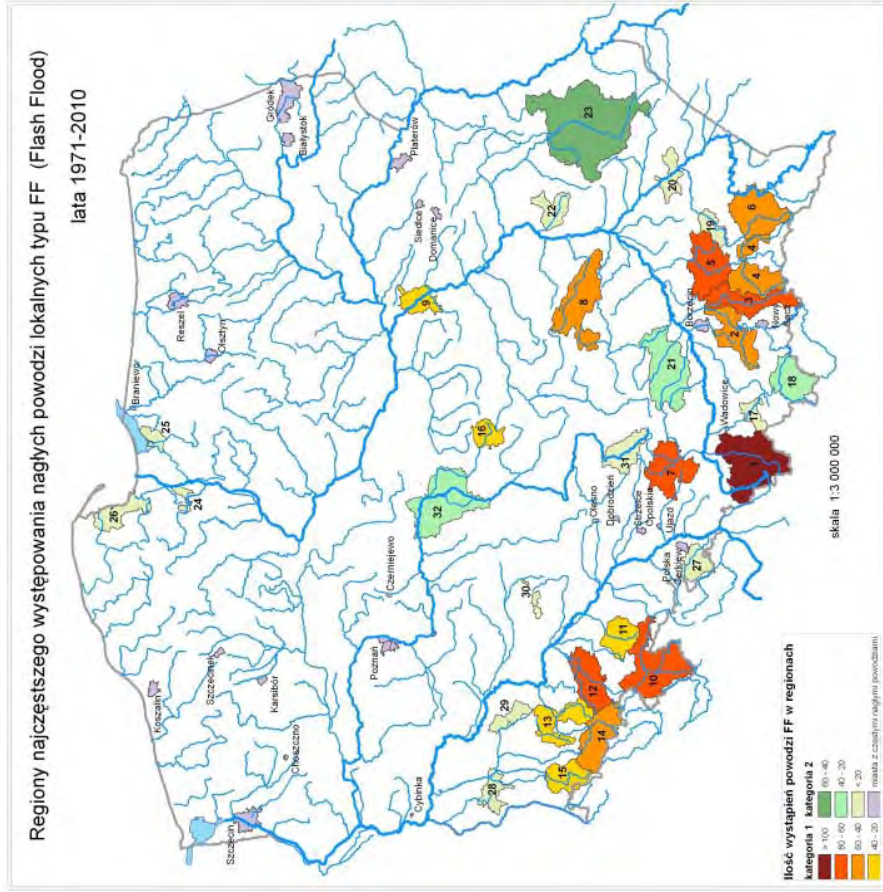
##### **6.4.1. Regiony najczęstszego występowania nagłych powodzi lokalnych typu FF**

Utworzona warstwa informacyjna nagłych powodzi lokalnych FF pozwoliła, z jednej strony na wyróżnienie regionów o wyraźnym zagęszczeniu miejsc wystąpienia nagłych powodzi lokalnych, z drugiej strony na wskazanie pewnych elementów orografii terenu sprzyjających powstawaniu warunków tworzenia się burz, których skutkiem są nagłe powodzie lokalne typu FF. Przy wyznaczaniu regionów wzięto pod uwagę zagęszczenie miejsc wystąpienia powodzi oraz jego zlewniowy zasięg terytorialny. Wszystkie miejsca wystąpienia nagłych powodzi lokalnych zlokalizowano w zlewniach elementarnych podziału hydrograficznego Polski. W ten sposób każda powódź lokalna została „przypisana” do właściwego recypienta. Informacja ta może być przydatna przy zabezpieczaniu terenów przed powodzią. Granicami regionów są działy wodne wydzielające części dorzeczy, w których w badanym okresie powodzie lokalne wystąpiły najczęściej.

Analiza wykazała, że nagłe powodzie lokalne typu FF zdarzały się na terenie całej Polski. Jednak na przeważającym obszarze kraju były to zjawiska, które wystąpiły w danej miejscowości raz lub dwa razy w całym czterdziestoleciu. Największe skupiska powodzi typu FF obserwuje się na obszarach górskich – w Karpatach i Sudetach, na Wyżynie Małopolskiej oraz w kilkunastu miastach.

Biorąc pod uwagę rozmieszczenie powodzi typu FF, ich zagęszczenie na niektórych terenach, liczbę powodzi i skutki jakie one powodują, wydzielono na terenie Polski 32 regiony. Regiony te, w układzie zlewniowym, wraz z opisem przedstawiono na rys. 7.

Rys. 7. Regiony najczęstszego występowania nagłych powodzi lokalnych typu FF (Flash Flood) w latach 1971-2010



**Regiony kategorii 1.**

- Zlewnia Małej Warty, Białej, Soły i Wierzowią w Beskidach (Bieliko-Biała, Andrychów)
- Zlewnia dolnego Dunajca i górnej Uzarzycy na Pogórz (Czechow, Brzesko)
- Zlewnia Białej (Tarnowskie) (dopł. Dunajca) w Beskidach i na Pogórz (Bobowa, Tarnów)
- Zlewnia Ropy; dolnej Jasolki w Beskidzie na Pogórz i w Kotlinie Jasielsko-Kozińskiej (Hanczowa, Gonić, Jasło)
- Zlewnia Wzłoka na Pogórz (Jodłowa, Brzeszy, Ropczyce)
- Zlewnia górnego Wzłoka i środkowego Sum w obrębie Beskidu (Kozno, Brzesów)
- Zlewnia środkowej Przanicy na Wyżynie Śląskiej (główna ciek: Łąka) (Kątowno)
- Zlewnia górnej i środkowej Kamiennej na Wyżynie Sandomierskiej (Szarzako-Kamienna)
- Zlewnia Wzły w Kotlinie Warszawskiej (Warszawa)
- Zlewnia Nysy Kłodzkiej w Kotlinie Kłodzkiej (Kamieniec Zabłotnicki)
- Zlewnia Olawy na Przedgórzach Sudetów (Ząbkowa, Strzalin)
- Zlewnia Brzawy i Stereżówki w Sudetach i na Przedgórzach Sudetów (Strzawa, Sobótka)
- Zlewnia Nysy Szalowej i Skawy (dopł. Kaczawy) w Sudetach i na Przedgórzach Sudetów (Chojów)
- Zlewnia Bobru w obrębie Sudetów (Boguszów)
- Zlewnia Kory w Sudetach (Karkonosze) i na Pogórzach Łaskim (Skarżycze)
- Zlewnia Neru w regionie miasta Łodzi i okolic (Łódź)

**Regiony kategorii 2.**

- Zlewnia środkowej Skawy w Beskidach
- Zlewnia Dunajca w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej (Nowy Targ)
- Zlewnia Wzłoka w rejonie Rzeszowa
- Zlewnia Sum poniżej Wzłoka
- Zlewnie rzek Wyżyny Mięchowskiej
- Zlewnia Chodaki w Kotlinie Chodalskiej
- Zlewnia górnego Wispra na Wyżynie Lubelskiej (Kranystaw)
- Zlewnia środkowej Wiarzycy w rejonie Starogardu Gdańskiego (Starogard Gdański)
- Zlewnia Elbląga na Wycozynie Elbląskiej (Elbląg)
- Zlewnia wybrza od Gdańska do Redy
- Zlewnia Pawy na Płaskowyżu Głubczyckim
- Zlewnia Bobru koło Za na Wzniesieniu Żarkim
- Zlewnia Sprotawy na południowym stoku Wzgorza Dalkowickich
- Zlewnia Widawy na południowym stoku Wzgorza Trzebońskich
- Zlewnia Warty do Cegotłochy (Cegotłochy)
- Zlewnia Warty w Kotlinie Kolskiej

Szesnaście regionów zaliczono do pierwszej kategorii ze względu na olbrzymie zniszczenia (zerwane mosty, drogi, zniszczone domy, podtopione piwnice, pola itp.), jakie powodował opad nawałny na terenie ich występowania. Są to przede wszystkim regiony położone w Karpatach i Sudetach oraz na Wyżynie Małopolskiej. Powodzie w górach, gdzie duże spadki stoków i gęsta sieć dolin sprzyjają szybkiemu przemieszczaniu się wody deszczowej i to nie tylko dolinami, ale także po powierzchni stoków, są szczególnie niebezpieczne. Szybko przemieszczające się masy wody niszczą wszystko na swojej drodze powodując klęski żywiołowe. W regionach zaliczonych do pierwszej kategorii zanotowano aż 854 miejsc wystąpień nagłych powodzi typu FF. Wynosi to średnio 53,4 wystąpienia w regionie. Najwięcej powodzi lokalnych zanotowano w regionie 1 – 108 razy i w regionie 5 – 80 razy oraz w regionie 12 – 73 razy. Istotną cechą regionów pierwszej kategorii jest występowanie dużych skupisk miejscowości, w których zanotowano od jednej do kilkunastu powodzi FF w badanym okresie.

Tab. 4. Liczba nagłych powodzi typu FF w latach 1971-2010

Numer regionu kategorii 1	Liczba wystąpień nagłych powodzi FF	Numer regionu kategorii 2	Liczba wystąpień nagłych powodzi FF	Miasto lub gmina	Liczba wystąpień nagłych powodzi FF
1	108	17	12	m. Białystok	5
2	54	18	24	m. Koszalin	6
3	69	19	14	m. Nowy Sącz	5
4	53	20	14	m. Olszyn	4
5	80	21	27	m. Poznań	11
6	58	22	11	m. Siedlce	4
7	60	23	51	m. Szczecin	5
8	46	24	15	Borzęcin	7
9	32	25	11	Braniewo	7
10	64	26	15	Choszczno	6
11	28	27	10	Cybinka	8
12	73	28	15	Czerniejewo	6
13	27	29	6	Dobrodzień	11
14	49	30	7	Domanice	5
15	29	31	16	Gródek	9
16	24	32	32	Karsibór	10
	Σ 854		Σ 280	Olesno	6
	śr. 53,4		śr. 17,5	Platerów	5
Polska Cerkiew		6			
Reszel		6			
Strzelce Opolskie		7			
Śrem		7			
Ujazd		4			
Wadowice	5				

Do kategorii drugiej zaliczono regiony o mniejszej liczbie wystąpień powodzi FF skupionych na danym obszarze. Ta kategoria regionów jest najbardziej zróżnicowana pod względem powierzchni i ilości powodzi. Powodzie typu FF, występu-

jące dwu lub trzykrotnie w danej miejscowości, są tu bardzo rzadkie lub nie występują w ogóle. Dostyc częste natomiast są powodzie pojedyncze, które np. na terenach pokrytych lasem na Wyżynie Lubelskiej i Wyżynie Miechowskiej są bardzo niebezpieczne, zwłaszcza po gwałtownych opadach burzowych. W 16 regionach zaliczonych do drugiej kategorii nagłe powodzie typu FF zanotowano 280 razy. Wynosi to średnio 17,5 razy w regionie. Największą liczbę wystąpień powodzi FF zarejestrowano w regionie 23.

Dodatkowo wydzielono grupę miast i gmin, w których w badanym czterdziestolecu wyjątkowo często występowały zjawiska nagłych powodzi typu FF. Wśród nich są miasta i gminy, w których powódź wystąpiła powyżej 10 razy, np. gminy Karsibór i Dobrodzień oraz miasto Poznań. Zestawienie liczby nagłych powodzi typu FF w latach 1971-2010 w poszczególnych regionach oraz wydzielonych miastach i gminach poza regionami przedstawia tab. 4.

Tabela 5 zawiera liczebność wystąpienia nagłych powodzi lokalnych FF i częstość ich pojawiania się w poszczególnych regionach kategorii 1, określone jako wskaźnik zagrożenia.

Tab. 5. Ocena zagrożenia w regionach kategorii 1 występowaniem nagłych powodzi lokalnych

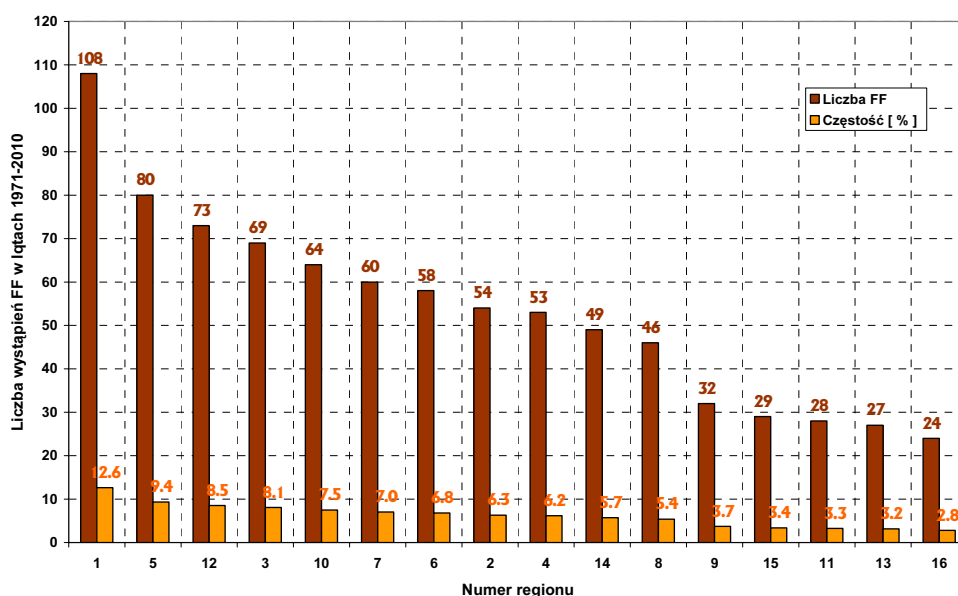
Lp.	Nr regionu	Liczba FF	Częstość [-]	Częstość [%]	Regiony zagrożenia wystąpieniem nagłych powodzi lokalnych typu Flash Flood
1	1	108	0,126	12,6	Zlewnia Małej Wisły, Białej, Soty i Wieprzówki w Beskidach (Bielsko Biała, Andrychów)
2	5	80	0,094	9,6	Zlewnia Wisłoki na Pogórzu (Jodłowa, Brzeziny, Ropczyce)
3	12	73	0,085	8,5	Zlewnie Bystrzycy i Strzegomki w Sudetach i na Przedgórzu Sudeckim (Strzegom, Sobótka)
4	3	69	0,081	8,1	Zlewnia Białej (Tamowskiej) (dopł. Dunajca) w Beskidach i na Pogórzu (Bobowa, Tamów)
5	10	64	0,075	7,5	Zlewnia Nysy Kłodzkiej w Kotlinie Kłodzkiej (Kamieniec Ząbkowicki)
6	7	60	0,070	7,0	Zlewnia środkowej Przemszy na Wyżynie Śląskiej (aglomeracja śląska) (Katowice)
7	6	58	0,068	6,8	Zlewnia górnej Wisłoka i środkowego Sanu w obrębie Beskidu (Krosno, Brzozów)
8	2	54	0,063	6,3	Zlewnia dolnego Dunajca i górnej Uszwicy na Pogórzu (Czchów, Brzesko)
9	4	53	0,062	6,2	Zlewnia Ropy i dolnej Jasiołki w Beskidzie, na Pogórzu i w Kotlinie Jasielsko-Krośnienskiej (Hańczowa, Gorlice, Jasło)
10	14	49	0,057	5,7	Zlewnia Bobru w obrębie Sudetów (Boguszów)
11	8	46	0,054	5,4	Zlewnia górnej i środkowej Kamiennej na Wyżynie Sandomierskiej (Skarżysko-Kamienna)
12	9	32	0,037	3,7	Zlewnia Wisły w Kotlinie Warszawskiej (Warszawa)
13	15	29	0,034	3,4	Zlewnia Kwisy w Sudetach (Karkonosze) i na Pogórzu Izerskim (Siekierczyn)
14	11	28	0,033	3,3	Zlewnia Olawy na Przedgórzu Sudeckim (Ziębice, Strzelin)
15	13	27	0,032	3,2	Zlewnia Nysy Szalonej i Skory (dopł. Kaczawy) w Sudetach i na Przedgórzu Sudeckim (Chojnów)
16	16	24	0,028	2,8	Zlewnia Neru w rejonie miasta Łodzi i okolic (Łódź)
Suma		854	1,0	100	
Min		24	0,028	2,8	
Średnia		53,4	0,063	6,3	
Max		108	0,126	12,6	



Z przeprowadzonej analizy częstości występowania nagłych powodzi lokalnych FF (tab. 5, rys. 8) określono, na przykładzie regionów kategorii 1, hierarchię zagrożenia tymi zjawiskami meteorologiczno-hydrologicznymi.

Z tab. 5 wynika, że największe zagrożenie pojawienia się nagłych powodzi lokalnych typu Flash Flood w regionach kategorii 1 wynosi 12,6% i obejmuje zlewnię Małej Wisły, Białej Soły i Wieprzówki w Beskidach. Najbardziej zagrożone miasta to Bielsko Biała i Andrychów. Drugim pod względem zagrożenia, z częstością 9,4%, jest region nr 5 obejmujący zlewnię Wisłoki na Pogórze Karpackim i miejscowości: Jodłowa, Brzeziny, Ropczyce. Trzecim jest region nr 12 z częstością 8,5% obejmującym zlewnie Bystrzycy i Strzegomki w Sudetach i na Przedgórzu Sudeckim oraz miejscowości Strzegom i Sobótka.

Graficznie ocenę zagrożenia wystąpieniem nagłych powodzi lokalnych FF w regionach kategorii 1 prezentuje poniższy rysunek.



Rys. 8. Ocena zagrożenia występowaniem nagłych powodzi lokalnych Flash Flood w regionach kategorii 1 w latach 1971-2010

Analizując rozmieszczenie nagłych powodzi lokalnych typu FF na terenie Polski można zauważyć związek ich występowania z ukształtowaniem terenu, czyli z rzeźbą. Zależność ta przejawia się w następujący sposób:

- a) W dorzeczeniach rzek karpackich z głębokimi dolinami o południkowym przebiegu obserwuje się większą niż w przypadku innych rzek ilość wystąpień nagłych powodzi typu FF, np. Mała Wisła, Biała, Biała Tarnowska, górny Wisłok, górna Uszwica.
- b) Północna granica Beskidów na linii Cieszyn, Bielsko-Biała, Wadowice, Czchów i północna granica Pogórza na linii Brzesko, Tarnów, Dębica, Rzeszów są zarazem północnymi granicami zasięgów najczęstszego występowania

nia nagłych powodzi typu FF. W granicach tych obszarów leżą miejscowości wielokrotnie nękane gwałtownymi burzami i powodziami np.: Bielsko-Biała, Andrychów, Tarnów, Dębica, Rzeszów. Poza północną granicą liczba powodzi typu FF gwałtownie się zmniejsza. W Sudetach sytuacja jest podobna. Najliczniejsze powodzie typu FF zanotowano w Strzegomiu, Sobótce i Strzeżynie.

- c) Mniejsze formy rzeźby terenu, takie jak krawędzie wyżyn, kotliny śródgórskie i inne, szerokie doliny rzeczne z wysokimi zboczami, itp., sprzyjają tworzeniu się warunków dogodnych do powstawania zachmurzenia orograficznego i opadów atmosferycznych powodujących nagłe powodzie typu FF. Przykłady powyższych sytuacji można prześledzić na mapie *Nagle powodzie typu Flash Flood w Polsce w latach 1971-2010* (załącznik 1).

#### 6.4.2. Powiaty o największym zagrożeniu nagłymi powodziami lokalnymi typu FF

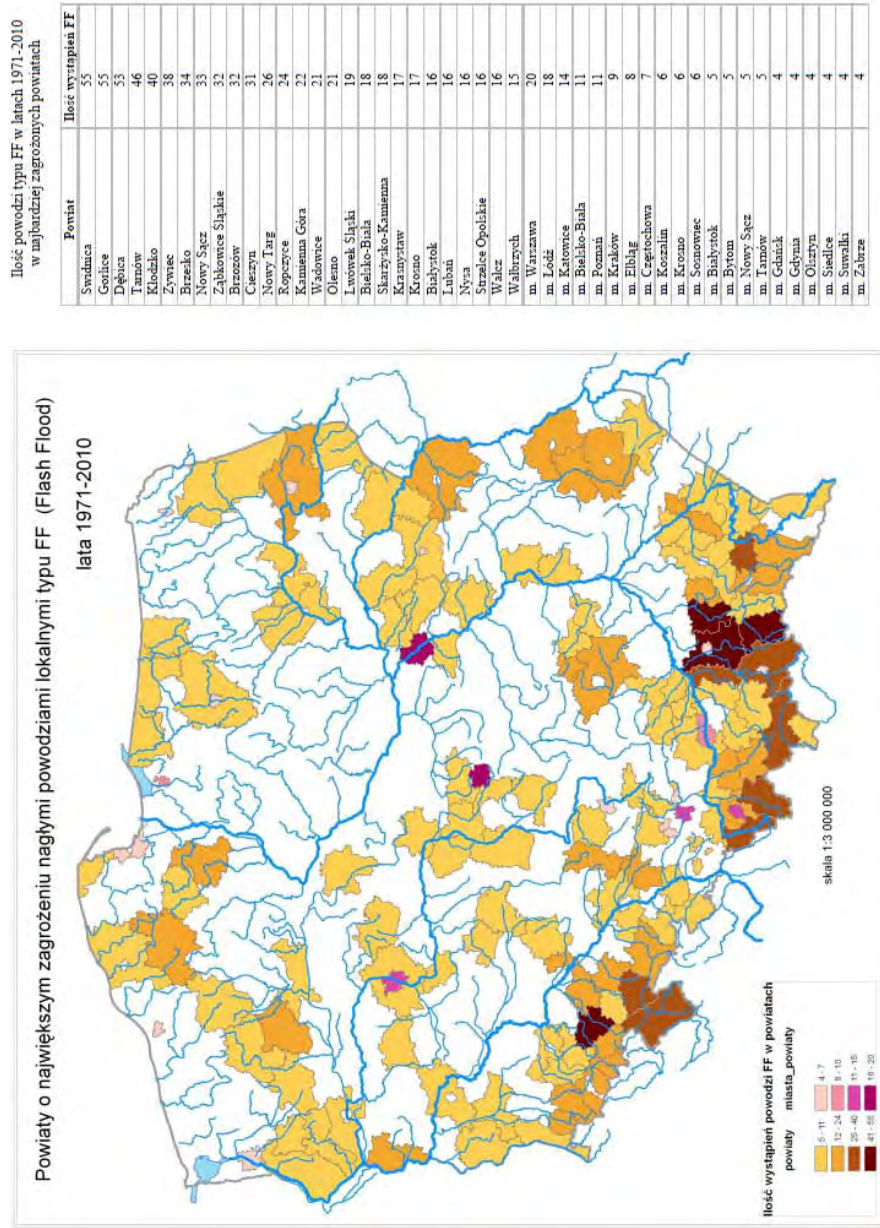
Warstwa informacyjna nagłych powodzi lokalnych FF była również podstawą do opracowania mapy zagrożeń nagłymi powodziami w ujęciu administracyjnym (rys. 9). Jako jednostki administracyjne przyjęto powiaty. Obliczono ilość wystąpień nagłych powodzi typu FF w każdym powiecie i połączono w grupy (według ilości) miejscowości nimi dotkniętych.

Z mapy wynika, że największe zagrożenie powodziami lokalnymi typu FF występuje w powiecie świdnickim (woj. dolnośląskie), gorlickim i tarnowskim (woj. małopolskie) oraz dębickim (woj. podkarpackie), gdzie liczba miejsc dotkniętych skutkami powodzi przekroczyła 40. Druga grupa powiatów zagrożona ponad 25-krotnym wystąpieniem powodzi FF dotyczy 8 powiatów położonych w woj. małopolskim, śląskim i dolnośląskim.

Na mapie zagrożeń wyróżniono także miasta, które są najbardziej narażone na skutki nagłych powodzi typu FF. Do najbardziej zagrożonych miast należą Warszawa, Łódź i Poznań. Zanotowano w tych miastach od 15 do 20 takich powodzi.

Mapa zagrożeń nagłymi powodziami w ujęciu administracyjnym będzie mogła być wykorzystywana przez władze lokalne w pracach ich służb kryzysowych, ostrzeżeniach ludności oraz umożliwi racjonalne planowanie przestrzenne w zależności od stopnia zagrożenia.

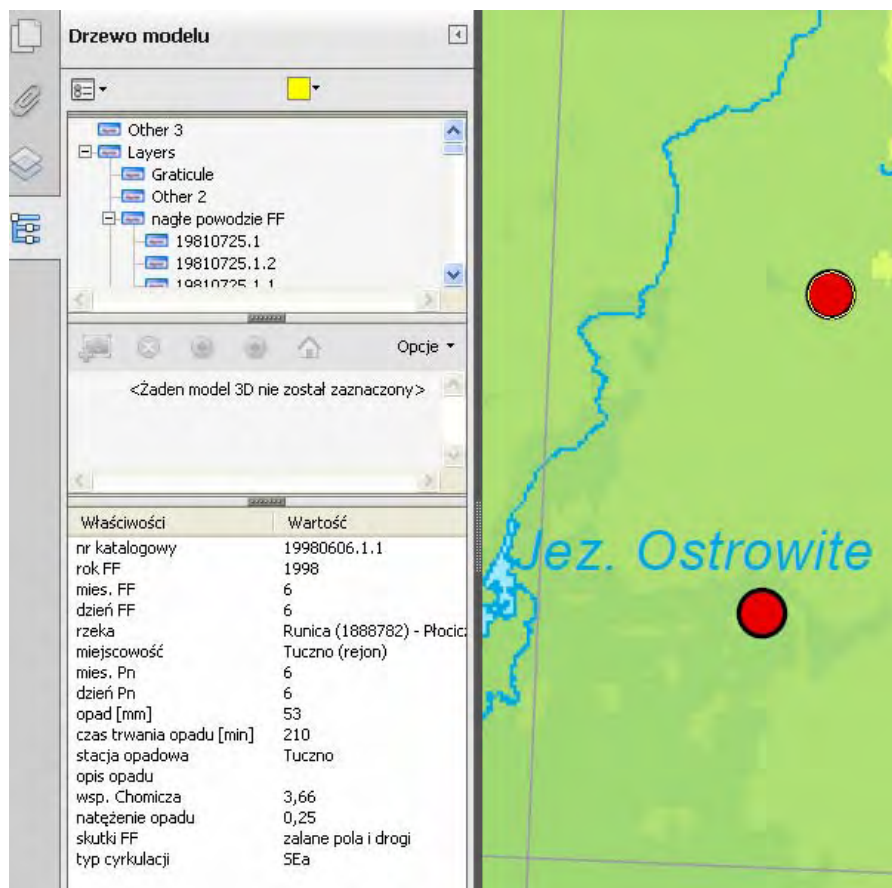
Rys. 9. Powiaty o największym zagrożeniu nagłymi powodziami lokalnymi typu Flash Flood w latach 1971-2010



### 6.4.3. Mapa nagłych powodzi lokalnych FF w formacie geoprzestrzennego pliku PDF

Omówiona wcześniej warstwa informacyjna o nagłych powodziach FF ma pełną funkcjonalność jedynie w programach typu ArcGIS. Ponieważ oprogramowanie to nie jest powszechnie dostępne, w celu umożliwienia zapoznania się z wynikami pracy szerszemu gronu zainteresowanych, przygotowano dodatkowo mapę nagłych powodzi FF w postaci geoprzestrzennego pliku w formacie PDF. Podstawową zaletą, oprócz powszechności stosowania tego formatu, jest możliwość odczytu dokumentu przy użyciu bezpłatnego oprogramowania Adobe Reader. Oprócz przeglądania mapy jako obrazka, geoprzestrzenny plik PDF pozwala na powiązanie treści graficznej mapy z danymi tabelarycznymi z relacyjnej bazy danych warstwy powodzi FF. Można także odczytywać współrzędne geograficzne. Adobe Reader staje się w ten sposób prostą przeglądarką GIS.

Poniższy rysunek przedstawia przykładowe okno aplikacji.



Aplikacja w postaci geoprzestrzennego pliku w formacie PDF wraz z instrukcją użytkownika jest dostępna u Koordynatora zadania 4 projektu KLIMAT.

## **7. Podsumowanie i wnioski**

- a) Po raz pierwszy w dotychczasowych badaniach utworzono empiryczny katalog występowania nagłych powodzi lokalnych (FF) i bazę danych opadów powodziowych w Polsce dla czterdziestolecia 1971-2010. W tym celu wykorzystano m.in. bazy danych meteorologicznych i hydrologicznych PSHM, nowy podział hydrograficzny kraju (MPHP), dane archiwalne byłego Głównego Komitetu Przeciwpowodziowego i wszelkie dostępne informacje dotyczące nagłych powodzi lokalnych (FF) znajdujące się w różnych źródłach. Powyższe zbiory danych stanowią podstawę do analizy tego rodzaju groźnych zjawisk przyrodniczych.
- b) Analiza i zestawienie wystąpień połączonych zdarzeń, tzn. opadów powodziowych (przyczyna) i nagłych powodzi FF (skutek) były podstawą do opracowania mapy przestrzennego rozkładu nagłych powodzi lokalnych na obszarze Polski (w systemie ArcGIS).
- c) Dokonano, dla zjawisk zebranych w katalogu, oceny dynamiki i cykliczności (powtarzalności) wystąpień nagłych powodzi lokalnych FF.
- d) Ustalono liczbę zjawisk nagłych powodzi lokalnych FF oraz liczbę wystąpień w poszczególnych miejscowościach, co umożliwiło ocenę częstości ich pojawiania się w wydzielonych regionach. Było to podstawą do wskazania regionów najbardziej narażonych na skutki wystąpień nagłych powodzi lokalnych.
- e) Opracowano szereg map tematycznych dla czterdziestolecia 1971-2010, będących efektem analiz i zapytań do bazy danych warstwy informacyjnej POWODZIE\_FF.
- f) Opracowano: mapę przestrzennego rozmieszczenia nagłych powodzi lokalnych FF; mapę regionów najczęstszego występowania w Polsce nagłych powodzi lokalnych FF w układzie zlewniowym; mapę największego zagrożenia nagłymi powodziami lokalnymi w układzie powiatowym; mapę częstości opadów powodziowych.
- g) W efekcie końcowym dla czterdziestolecia 1971-2010 utworzona została w systemie GIS warstwa informacyjna (wraz z pełną relacyjną bazą danych) z rozkładem przestrzennym i czasowym występowania nagłych powodzi lokalnych typu FF, powiązanych relacją przyczyna-skutek z opadami powodziowymi.
- h) Wyżej wymieniona warstwa informacyjna, w powiązaniu z utworzonymi mapami największego zagrożenia powodziami lokalnymi typu FF w układzie zlewniowym i administracyjnym, będzie stanowić aktywne narzędzie wspomagające w systemach ostrzegania o nagłych zjawiskach typu Flash Flood.

## **8. Propozycje działań adaptacyjnych**

- a) Katalog nagłych powodzi lokalnych powinien być wykorzystywany w operacyjnych analizach PSHM IMGW-PIB i opracowywaniu map ryzyka powodziowego – zgodnie z Dyrektywą powodziową UE.
- b) Zaleca się prowadzenie bieżącej (na podstawie aparatury telemetrycznej)

i wstecznej (nie opracowane dotąd pomiarowe materiały archiwalne, informacje medialne i inne) aktualizacji zarówno katalogu występowania nagłych powodzi lokalnych typu Flash Flood, jak i bazy danych opadów powodziowych (nawalnych i ulewnych) – m.in. przez Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej i Krajowe Centrum Koordynacji Ratownictwa i Ochrony Ludności we współpracy z IMGW-PIB.

- c) W przyszłości wydaje się konieczne podjęcie przez IMGW-PIB wyzwania ciągłego monitorowania w trybie operacyjnym zarówno występowania opadów powodziowych (przyczyna), jak i nagłych powodzi lokalnych typu FF (skutek), łącznie z uwarunkowaniami decydującymi o powstaniu nagłych powodzi lokalnych, tzn. uwarunkowaniami fizjograficznymi terenu, uwilgotnieniem i retencyjnością zlewni.
- d) Wobec potrzeby uzyskania dokładniejszych danych o FF, należy poszerzyć zakres informacji gromadzonych przez PSHM o notowanie faktycznego czasu trwania intensywnego opadu deszczu (okres doby dla FF jest zbyt mało dokładny), określenia jego przybliżonego zasięgu oraz skutków zalań i podtopień, szczególnie na terenach zurbanizowanych. Wskazane byłoby przyjęcie ujednoczonego formularza rejestru powodzi FF, który mógłby być również wykorzystywany przez organy administracji terenowej, gospodarki wodnej i zarządzania kryzysowego.
- e) Wykorzystanie modelu regionalnego MOREMAZ-2 (relacja opad-odpływ) do oceny potencjalnych rejonów występowania w Polsce gwałtownych powodzi lokalnych, spowodowanych opadami powodziowymi.
- f) Warstwy informacyjne GIS, przedstawiające opady powodziowe i zjawiska nagłych powodzi lokalnych, powiązane z warstwami GIS mapy podziału hydrograficznego Polski MPHP (m.in. sieć wodna i zlewnie) wraz z ich relacyjnymi bazami danych, stanowią aktywne narzędzie wspomagające w systemach ostrzegania o nagłych powodziach lokalnych typu Flash Flood. Należałoby aktualizować na bieżąco ww. zasoby danych o powodziach FF i nagłych opadach w bazach stworzonych dla potrzeb zad. 4.

#### Literatura

- Byczkowski A., Banasik K., 2001, Wieloletnie tendencje zmian procesów opadu i odpływu w małych zlewniach nizinnych (na przykładzie rzeki Zagożdżonki), w: Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, 43-52
- Cebulak E., Pyrc R., 2006, Metody opracowania zdarzeń ekstremalnych na przykładzie opadów atmosferycznych o natężeniu  $\geq 100$  mm/dobę w dorzeczu górnej Wisły w XX i XXI wieku, w: Zagrożenia środowiska naturalnymi zjawiskami ekstremalnymi, IMGW, Warszawa
- Chomicz K., 1951, Ulewy i deszcze nawalne w Polsce. Wiad. Służby Hydr. i Meteo., II (1)
- Dubicki A., Malinowska – Małek J., 2005, Opady nawalne i ich skutki w dorzeczu środkowej Odry na przełomie XX i XXI wieku, w: Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne., PT-Geof., Warszawa
- Gwałtowne powodzie – podstawy metodyczne, Raporty roczne z realizacji tematu DS-H.11 w latach 2007 i 2008, IMGW, Warszawa, niepublikowane
- Kondracki J., 1977, Regiony fizycznogeograficzne Polski, Uniwersytet Warszawski, Warszawa

- Kupczyk E., Suligowski R., Kasprzyk A., 2005, Typowe warunki meteorologiczne pojawiania się wysokich opadów i wzebrań rzek zachodnich Beskidów i środkowych Sudetów, w: *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, PTGeof., Warszawa
- Lityński J., 1969, Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody w Polsce, *Prace PIHM*, 97, 3-14
- Lorenc H. (red.), 2005, *Atlas Klimatu Polski*, IMGW, Warszawa
- Madej P., Konieczny R. i in., 2009, *Zarządzanie szybkimi powodziami. Doświadczenia Europy Środkowo-Wschodniej*, IMGW, Warszawa
- Monografia katastrofalnych powodzi w Polsce w latach 1946-1998, IMGW, Warszawa 2001, niepublikowane
- Ostrowski J., 2003, Dynamika i wieloletnie tendencje zmian zasobów wodnych, w: *Rzeka Bug – zasoby wodne i przyrodnicze*, IMGW i WSEiZ, Warszawa
- Ostrowski J., Plenzler W., 2010, *Walory poznawcze wieloletnich badań terenowych Stacji Hydrologicznej IMGW w Radzynie na przykładzie zlewni rzeki Cienicy z Pojezierza Sławskiego*, IMGW, Warszawa – Poznań, niepublikowany
- Paszyński J., Niedźwiedz T., 1991, *Klimat*, w: *Geografia Polski. Środowisko Przyrodnicze*, PWN, Warszawa
- Rozkład przestrzenny i częstotliwość występowania powodzi katastrofalnych w Polsce w latach 1946-2001, jako podstawa planowania i kontroli stany zabezpieczenia przed powodzią oraz prowadzenia operacyjnych działań przeciwpowodziowych, 2003, PTGeof., Warszawa, niepublikowane
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2009, *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i sytuacji synoptycznych w Polsce*, IMGW, Warszawa
- Wrona B., 2008, *Meteorologiczne i morfologiczne uwarunkowania ekstremalnych opadów atmosferycznych w dorzeczu Górnej i Środkowej Odry*, *Materiały badawcze - Seria: Meteorologia*, IMGW, 41
- Maciejewski M., Ostojki M.S. (red.), 2006, *Zagrożenia środowiska naturalnymi zjawiskami ekstremalnymi*, 2006, IMGW, Warszawa

# Ocena zagrożenia suszą w Polsce i prognoza jej rozwoju

Tamara Tokarczyk, Wiwiana Szalińska, Irena Otop

## 1. Wprowadzenie

Ogólne pojęcie suszy rozumiane jest jako zauważalny brak wody, który powoduje szkody w środowisku i gospodarce, a także wyraźną uciążliwość lub nawet zagrożenie dla ludności. W odróżnieniu od powodzi susza jest rezultatem wielu czynników wzajemnie oddziaływujących na siebie. Definicję suszy, jako zjawiska ciągłego o zasięgu regionalnym, które charakteryzuje odchylenie od warunków normalnych opadów, wilgotności, stanów wody gruntowej, przepływów w rzekach, podał zespół badawczy skupiony w projekcie *Flow Regimes From International Experimental and Network Data* (FRIEND). Przebieg warunków pogodowych, którym towarzyszy deficyt lub brak opadów, wysoka temperatura powietrza itp. powoduje wystąpienie pierwszej fazy suszy, którą jest suszą meteorologiczną. Zwiększający się niedobór opadów oraz wzrost parowania i transpiracji zwiastuje suszę glebową. W kolejnej fazie następuje szczypanie retencji wód podziemnych, zmniejszanie się przepływów w rzekach – w literaturze nazywana jest ona fazą suszy hydrologicznej. Faza ta, w praktyce, najczęściej utożsamiana jest z długotrwałymi niżówkami [Dębski 1970].

Problematyka susz jest zagadnieniem często podejmowanym w literaturze polskiej i zagranicznej [Changnon 1987, Zelenhasic, Salvai 1987, Farat i in. 1995, Kogan 1995, Mager i in. 1999, Hisdal, Tallaksen 2000, Tate, Gustard 2000, Stahl 2001, Dubicki i in. 2002, Lloyd-Hughes, Saunders 2002, Łabędzki 2004, Lorenc i in. 2006]. W świetle badań literaturowych, wśród metod które stosuje się do monitorowania i oceny suszy, wyróżnić można podejście konceptualne oraz podejście statystyczne. W metodach statystycznych badanie rozpoczyna się od pomiarów. Odpowiednio długie ciągi pomiarowe są podstawowym źródłem informacji wymaganych do zbudowania statystycznego modelu i sformułowania opisu matematycznego badanego zjawiska. Opis ten może przyjmować różną postać, np. krzywej prawdopodobieństwa występowania zjawiska, wielowymiarowego rozkładu prawdopodobieństwa, procesu stochastycznego, pola losowego, zależności regresyjnej,



itp. Ograniczeniem podejścia statystycznego jest brak opisu powiązań pomiędzy czynnikami, które dane zjawisko determinują.

Do powszechnie stosowanych metod oceny suszy, które bazują na podejściu statystycznym zaliczyć można wskaźniki suszy [Gibbs, Maher 1967, Shafer, Dezman 1982, Alley 1984, Friederichs, Hense 2008]. Wśród wskaźników wykorzystywanych do monitorowania suszy wyróżnia się wskaźniki bazujące na opadach, bazujące na wilgotności glebowej oraz na przepływach w rzekach. W zależności od dostępności danych, możliwości obliczeniowych i celu badań stosuje się wskaźniki oparte na jednym, dwóch lub wielu parametrach. Wartości wskaźnikowe wnoszą wartość informacyjną łatwą do interpretacji w procesach podejmowania decyzji.

Podejście konceptualne natomiast opiera się jedynie na przesłankach o przebiegu badanego zjawiska, na symptomach zachowania się badanego obiektu. Niejednokrotnie jedynym źródłem informacji o jego działaniu są zmienne wejścia i wyjścia, których analiza pozwala wnioskować o pewnych jego własnościach i zbudować na tej podstawie model konceptualny zjawiska. Struktura i postać operatorów w tych modelach wynikają więc z przyjętej koncepcji działania modelowanego obiektu, opracowanej na podstawie symptomów zachowania się oryginału [Kaczmarek 1970, Ozga – Zielińska 1990, Ozga – Zielińska, Brzeziński 1997], nie stanowią jednak matematycznego opisu rzeczywistych zależności istniejących pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi.

W opracowywanym systemie oceny i prognozy suszy zastosowano zarówno modele konceptualne jak i statystyczne, co pozwoliło uzyskać korzyści oraz eliminować ograniczenia obu podejść. Podejście konceptualne wykorzystano do budowy schematu zależności pomiędzy poszczególnymi komponentami systemu, natomiast podejście statystyczne wykorzystano do wyznaczania wartości wskaźnikowych

## **2. Cel i zakres**

Celem pracy była ocena zagrożenia suszą w Polsce oraz opracowanie metod do prognozy jej rozwoju. W tym celu przeprowadzono analizy częstości pojawiania się susz oraz zasięgu przestrzennego susz historycznych, które wystąpiły w Polsce zarówno w okresie przedinstrumentalnym, jak i w okresie, w którym zaczęto prowadzić regularne pomiary parametrów meteorologicznych i hydrologicznych. Na podstawie okresu pomiarowego 1966-2005 przeprowadzono szczegółową analizę okresów występowania oraz rozkładu przestrzennego susz atmosferycznych i hydrologicznych. Uzyskane wyniki wykorzystano do opracowania map podatności na tworzenie się suszy w danym regionie. Analiza podatności regionalnej na suszę umożliwiła dobór wskaźników wielokryterialnej oceny suszy, które pozwalają na odwzorowanie zmienności czasowej i przestrzennej zagrożenia suszą w Polsce. Zbiór wskaźników wielokryterialnej oceny suszy stał się następnie podstawą do opracowania systemu prognozy rozwoju i oceny suszy. System ten stanowi konceptualny model powiązań pomiędzy wybranymi parametrami meteorologicznymi i hydrologicznymi, wpływającymi na wielkość zagrożenia suszą. Został

on przystosowany do pracy w trybie operacyjnym, a kluczowe wyniki uzyskiwane za pomocą systemu prezentowane są na stronie internetowej POSUCH@ i aktualizowane w czasie rzeczywistym.

Szczegółowy zakres prac obejmował następujące zadania:

1. Ocena susz historycznych w okresie przedinstrumentalnym do roku 1850 oraz w okresie objętym obserwacjami.
2. Opracowanie rozkładu przestrzennego i czasowego susz meteorologicznych w wieloletnim referencyjnym (1966-2005).
3. Opracowanie rozkładu przestrzennego i czasowego susz hydrologicznych w wieloletnim referencyjnym (1966-2005).
4. Analiza podatności na zagrożenie suszą.
5. Opracowanie operacyjnego systemu prognozy rozwoju i oceny suszy.
6. Przygotowanie witryny internetowej POSUCH@ (Prognostyczno-Operacyjny System Udostępniania Charakterystyk suszy).

### **3. Metodyka badań**

Metodyka pracy obejmowała realizację następujących zadań badawczych:

- i) analizę zapisów w kronikach, dziennikach pogody, dokumentach historycznych z okresu X-XVIII wieku do oceny susz historycznych w okresie przedinstrumentalnym,
- ii) przegląd metod referencyjnych i dobór wskaźników do wielokryterialnej oceny suszy na potrzeby oceny podatności na suszę oraz opracowania schematu prognostycznego modelu rozwoju suszy,
- iii) wybór stacji opadowych i zlewni badawczych na obszarze Polski, spełniających zadane kryteria długości i jednorodności ciągów pomiarowych oraz lokalizacji w różnych regionach geograficznych i klimatycznych,
- iv) zastosowanie technik GIS do analizy zmienności przestrzennej suszy atmosferycznej i hydrologicznej,
- v) badanie zmienności czasowej i synchroniczności suszy atmosferycznej i hydrologicznej,
- vi) opracowanie koncepcji systemu i budowę narzędzi informatycznych bazujących na wartościach wybranych wskaźników meteorologicznych i hydrologicznych do monitorowania czasowo-przestrzennej zmienności zagrożenia wystąpienia suszy w trzech klasach natężenia: umiarkowanej, silnej oraz ekstremalnej.

Podstawą prowadzonych badań były następujące założenia:

- susza jest zjawiskiem ciągłym o zasięgu regionalnym i oznacza dostępność wody poniżej średniej w określonych warunkach naturalnych i charakteryzowana jest jako odchylenie od warunków normalnych opadów oraz przepływów w rzekach,
- rozwój suszy obejmuje jej kolejne fazy – suszę atmosferyczną oraz hydrologiczną,

- możliwy jest odpowiedni dobór wskaźników do oceny zagrożenia suszą uwzględniający następujące uwarunkowania: (i) bazodanowe – wynikające z dostępności danych pomiarowych operacyjnych i historycznych oraz jednorodności i długości serii pomiarowych oraz rozmieszczenia punktów pomiarowych, (ii) jakościowe – pozwalające na odwzorowanie czasowej i przestrzennej zmienności suszy atmosferycznej oraz hydrologicznej, (iii) funkcjonalne – obejmujące stopień złożoności algorytmów obliczeniowych, wpływający na możliwość wdrożenia do pracy operacyjnej oraz możliwość uzyskiwania wartości standaryzowanych, pozwalających na obiektywną ocenę i analizę porównawczą pomiędzy poszczególnymi regionami.

Tab. 1. Zestawienie wybranych wskaźników suszy

Nazwa	Wymagane parametry	Skala czasowa	Założenia, uwagi
SPI Wskaźnik standaryzowanego opadu	opad	3, 6, 12, 24, 48 miesięcy	Ilościowa ocena deficytu opadu w różnej skali czasowej. Skala czasowa odzwierciedla wpływ suszy na dostępność różnych zasobów wodnych (wilgotność gleby, przepływy w rzekach, wody podziemne). Wartości opadu standaryzowane, co umożliwia porównywanie w różnych regionach. Wskaźnik SPI w postaci map jest używany operacyjnie do monitorowania warunków suszy.
EDI Efektywny wskaźnik suszy	opad	dzień	Ocena warunków obecnych w stosunku do całego okresu obserwacji na podstawie codziennych opadów. Wartości opadu standaryzowane. Może być również używany do oceny sumarycznej wielkości opadu potrzebnej do uzupełnienia deficytu od początku trwania suszy, czyli jest wskaźnikiem powrotu do warunków normalnych. Krok czasowy 1-dzień ułatwia operacyjne zastosowanie tego wskaźnika.
FDC Krzywa sum czasów trwania średnich dobowych przepływów dla jednoimiennych dni kalendarzowych	przepływ	dzień	Krzywa kumulacyjna częstości przepływów charakteryzuje reżim hydrologiczny rzeki w odniesieniu do czasu. Jest ona stosowana do przedstawienia reżimu hydrologicznego obecnego w stosunku do całego okresu obserwacji. Dla wszystkich jednoimiennych dni roku sporządza się krzywe kumulacyjne częstości przepływów z wielolecia. Na tych krzywych wydziela się 5 klas. Klasy odpowiadają warunkom wilgotnościowym, którym przyporządkowuje się przedziały prawdopodobieństwa przewyższenia przepływów.
Niżówka	przepływ	dzień	Wydzielone okresy niżówkowe opisane są parametrami charakteryzującymi czas trwania, objętość niedoboru oraz przepływ najniższy niżówki. Charakterystyki te służą do ilościowej oceny suszy hydrologicznej. Objętość niedoboru podzielona przez czas trwania określa intensywność suszy.

Wybór wskaźników do wielokryterialnej oceny suszy atmosferycznej i hydrologicznej został przeprowadzony na podstawie przeglądu metod referencyjnych stosowanych w Polsce i na świecie. Przyjęte uwarunkowania bazodanowe, jakościowe i funkcjonalne wpłynęły na wybór tych wskaźników, które wyznaczane są na podstawie opadów oraz przepływów w rzekach. W tab. 1 zestawiono wybrane wskaźniki do oceny zagrożenia suszą.

Poniżej przedstawiono szczegółowy opis poszczególnych wskaźników zastosowanych w ocenie zagrożenia i prognozie rozwoju suszy.

#### Wskaźnik standaryzowanego opadu (SPI Standardized Precipitation Index)

Został opracowany przez McKee, Doeskeniego i Kleista [1993] do ilościowej oceny deficytu opadu w różnej skali czasowej. Skala czasowa odzwierciedla wpływ suszy na dostępność różnych zasobów wodnych (wilgotność gleby, przepływy w rzekach, wody podziemne). Warunki wilgotnościowe gleb odpowiadają anomalii opadowym w relatywnie krótkim czasie, zaś przepływ w rzekach, wody podziemne oraz zasilanie zbiorników reagują na anomalie opadowe trwające dłuższy czas. Wskaźnik SPI dla dowolnego obszaru określa się na podstawie długich szeregów opadowych dla żądanych okresów, dla których dobiera się rozkład prawdopodobieństwa Gamma, który jest następnie transformowany w rozkład normalny. Parametry rozkładu szacowane są metodą największej wiarygodności. Dodatnie wartości wskaźnika SPI wskazują na większy opad niż mediana, zaś ujemne na mniejszy. Każdej pojawiającej się suszy odpowiada stała ujemna wartość wskaźnika SPI, która wynosi -0,5 lub mniej. Koniec suszy określa się w momencie, gdy wskaźnik przyjmuje wartość dodatnią. Zatem każdy okres suszy ma swój czas trwania, początek i koniec oraz określoną intensywność w każdym okresie jej występowania. Wskaźnik SPI w postaci map jest używany operacyjnie do monitorowania suszy w Colorado od 1994 r. [McKee i in. 1993]. W Polsce wykorzystuje się go od 2000 r. do monitorowania suszy na Kujawach [Łabędzki, Bąk 2002]. Zaletą wskaźnika SPI jest to, że może on być określony dla różnych kroków czasowych i dla różnych warunków klimatycznych. Ponadto może dostarczać informacji dla wczesnego ostrzegania o suszy i może być pomocny w ocenie surowości suszy. W opracowaniu podstawowym krokiem czasowym wskaźnika SPI jest miesiąc.

Dla warunków Polski Bąk i Łabędzki [2004] zaproponowali zmodyfikowany zakres przedziałów ostrości suszy (tab. 2).

Tab. 2. Klasyfikacja suszy według wskaźnika standaryzowanego opadu SPI [Łabędzki i Bąk, 2004]

Klasa suszy	SPI
umiarkowana	-0,5 ÷ -1,49
silna	-1,50 ÷ -1,99
ekstremalna	≤ -2,0

Materiał źródłowy opracowania stanowiły sumy miesięczne opadów ze 109 stacji z obszaru Polski, z wielolecia referencyjnego 1966-2005. Niedobór opadów analizowano w miesiącach, dla których wyznaczano wartości wskaźnika SPI. Do

obliczenia wartości wskaźnika SPI wykorzystano program komputerowy *SPI* autorstwa P. Djakówa i W. Szalińskiej [2010].

Efektywny wskaźnik suszy EDI (Effective Drought Index)

Został opracowany przez Byuna i Wilhite'a w 1999 r. do oceny warunków obecnych w stosunku do całego okresu obserwacji, na podstawie codziennych opadów. Może być również stosowany do oceny sumarycznej wielkości opadu potrzebnej do uzupełnienia deficytu od początku trwania suszy, czyli powrotu do warunków normalnych. Wartości są standaryzowane, co pozwala na porównanie wyników w różnych regionach. Wartości wskaźnika EDI mieszczą się w zakresie od -2 do +2, przy czym dla warunków ekstremalnie suchych EDI wynosi  $< -2$ , bardzo suchych  $-1,5 < EDI < 1,99$ , umiarkowanie suchych  $-1 < EDI < -1,49$ . Warunki normalne występują dla zakresu  $-0,99 < EDI < 0,99$ . EDI jako miara suszy zalecany jest do stosowania w monitoringu regionalnym.

Krzywa sum czasów trwania przepływów średnich dobowych, jednoimiennych FDC (Flow Duration Curve)

Zwana również krzywą kumulacyjną częstości przepływów, charakteryzuje reżim hydrologiczny rzeki w odniesieniu do czasu. Jest ona stosowana do przedstawienia reżimu hydrologicznego obecnego, w stosunku do całego okresu obserwacji, przez służby amerykańskie US Geological Survey [<http://water.usgs.gov>]. Dla wszystkich jednoimiennych dni roku sporządza się krzywe kumulacyjne częstości przepływów z wielolecia. Na tych krzywych wydziela się 5 klas. Klasy odpowiadają warunkom wilgotnościowym, którym przyporządkowuje się przedziały prawdopodobieństwa przewyższenia przepływów. I tak klasa od 0 do 10 % – reprezentuje warunki bardzo mokre, klasa 10-25% – warunki mokre, klasa 25-75% – warunki przeciętne, klasa 75-90% warunki suche, natomiast klasa od 90-100% – warunki bardzo suche. Nałożenie na wykres codziennych przepływów roku bieżącego pozwala na szybką ocenę obecnego reżimu w odniesieniu do warunków określonych na podstawie wielolecia.

Wskaźnik suszy hydrologicznej

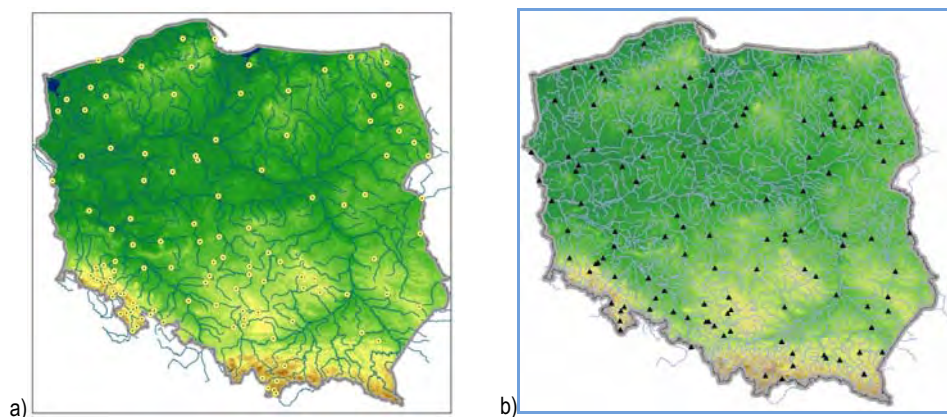
Opis suszy hydrologicznej został dokonany na podstawie wydzielonych niżówek w wieloleciu 1966-2005. Parametry niżówek, w postaci objętości niedoboru przepływu niżówki oraz czasu trwania, wyznaczono stosując model NIŻÓWKA 2003 [Jakubowski 1997]. Do wydzielenia okresów niżówkowych zastosowano metodę przepływu granicznego [Zielińska 1962, 1964, Tokarczyk 2001, Tokarczyk, Jakubowski 2006] z zastosowaniem kryterium hydrologicznego z krzywej sum czasów trwania przepływów wraz z wyższymi na poziomie  $Q_{70\%}$ . Liczbę niżówek opisano rozkładem Pascala lub Poissona. Czas trwania i objętość niedoboru przepływu niżówki opisano rozkładami Pearsona III lub Pareto. Parametry rozkładów estymowano metodą największej wiarygodności. Do wyznaczania parametrów rozkładu niżówki wybierano tylko te rozkłady, które uzyskały najlepsze dopasowanie ze względu na wartość  $\chi^2$ .

Wydzielone niżówki opisano następującymi cechami mierzalnymi:

- data początku i końca niżówki,
- czas trwania niżówki,  $T_i$ , (dni),
- objętość niedoboru przepływu niżówki,  $D_i$  (tys. m<sup>3</sup>),
- prawdopodobieństwo maksymalnego niedoboru przepływu niżówki,  $ppD_{max}$ ,
- prawdopodobieństwo czasu trwania maksymalnego niedoboru przepływu niżówki,  $ppT_{max}$ ,
- objętość niedoboru przepływu niżówki o zadanym prawdopodobieństwie nieosiągnięcia  $D_{p\%}$ ,
- czas trwania niżówki o zadanym prawdopodobieństwie nieosiągnięcia,  $T_{p\%}$ .

Wskaźnik suszy hydrologicznej wyznaczono w postaci ilorazu objętości niedoboru przepływu niżówki  $D_i$  do objętości niedoboru przepływu niżówki maksymalnej  $D_{max}$  z badanego wielolecia, czyli  $WSH_D = D_i/D_{max}$  oraz jako iloraz czasu trwania niżówki  $T_i$  do czasu trwania niżówki maksymalnej  $T_{max}$ , czyli  $WSH_T = T_i/T_{max}$ .

Wskaźnik SPI zastosowano do analizy czasowej i przestrzennej zmienności suszy atmosferycznej i oznaczenia obszarów o zwiększonej podatności na występowanie susz atmosferycznych, jak również do długoterminowej prognozy zagrożenia suszą. Wskaźnik EDI zastosowany został do operacyjnej oceny zmienności czasowej suszy atmosferycznej z dziennym krokiem czasowym oraz w krótkoterminowej prognozie zagrożenia suszą. Wskaźnik suszy hydrologicznej zastosowano do określenia czasowej i przestrzennej zmienności suszy hydrologicznej oraz oznaczenia obszarów o zwiększonej podatności na występowanie susz hydrologicznych. Wskaźnik FDC zastosowany został do operacyjnej oceny suszy hydrologicznej.



Rys. 1. Lokalizacja wybranych stacji opadowych (a) oraz stacji wodowskazowych (b) w Polsce

Uwarunkowania bazodanowe, dotyczące jednorodności i długości serii pomiarowych wymaganych do przeprowadzenia oceny wskaźnikowej suszy, wpłynęły na wybór stacji pomiarowych wykorzystanych w ocenie zagrożenia suszą. Lokalizację wybranych 109 stacji opadowych oraz 118 stacji wodowskazowych przedstawia rys. 1.

## 4. Wyniki

### 4.1. Ocena susz historycznych w okresie przedinstrumentalnym do roku 1850 oraz w okresie objętym obserwacjami

Opisy klimatu Polski z okresu przedinstrumentalnych obserwacji pogody, tj. sprzed 1850 r., były dokonywane przez wielu autorów [Namaczyńska 1937, Girguś, Strupczewski 1965; Inglot 1968, Przybylak i in. 2004]. Podstawą określenia warunków pogodowych były zapisy notowane w kronikach, dziennikach pogody, dokumentach historycznych z okresu X-XVIII wieku, które zawierały opisy poszczególnych zjawisk pogodowych, w tym również ekstremalnych. Regularne instrumentalne obserwacje pogody rozpoczęły się po 1850 r.

Wszelkiego rodzaju zapiski pogodowe mogą posłużyć do ogólnego opisu minionych epok, określenia częstości występowania danych zjawisk meteorologicznych, czy ich zasięgu regionalnego. W ostatnim 1000-leciu Sadowski i Kuźmińska [Młostek 1987] wyróżniają, bardzo ogólnie, 4 okresy klimatyczne dla Europy Zachodniej, tj.:

1. od 1000 do 1150 r. – chłodne i suche zimy, ciepłe lato,
2. od 1150 do 1300 r. – zimy łagodne i wilgotne, lata bardzo ciepłe i suche,
3. od 1300 do 1850 r. – Mała Epoka Lodowa:
  - I faza – 1300-1350 r. – zimy chłodne i suche, lata o bardzo zmiennych warunkach opadowych i termicznych,
  - II faza – 1550-1700 r. – zimy ostre i suche, lata chłodne i wilgotne,
  - III faza – 1700-1850 r. – zimy ostre i suche, lato ze zmiennymi warunkami termicznymi i opadowymi.
4. od 1850 r. najcieplejszy w całej historii nowożytnej, łagodne zimy i ciepłe lata.

Ponadto autorzy wydzielili 6 odrębnych okresów klimatycznych w Polsce na podstawie częstości występowania susz i ostrych zim. Czas trwania wydzielonych okresów przedstawia się następująco:

1. od 980 do 1200 r.
2. od 1200 do 1300 r.
3. od 1300 do 1480 r.
4. od 1480 do 1780 r.
5. od 1780 do 1860 r.
6. od 1860 do 1980 r.

Wydzielone okresy klimatyczne w większości pokrywają się z okresami opracowanymi dla Europy Zachodniej. Różnice dotyczą tzw. Małej Epoki Lodowej. W związku z tym, do ogólnej oceny klimatu Polski w okresie przedinstrumentalnym można posłużyć się informacjami dotyczącymi Europy Zachodniej i Europy Wschodniej.

Badania przeprowadzone przez zespół Przybylaka [Przybylak i in. 2004] wykazały, iż w okresie 1501-1840 warunki klimatyczne w Polsce podlegały wielu fluktuacjom. W badanym okresie, liczącym 340 lat, do ekstremalnych pod wzglę-

dem pogodowym (skrajnie: ciepłe, mroźne, wilgotne, suche – indeksy +3 i -3 oraz bardzo: ciepłe, mroźne, wilgotne i suche – indeksy +2 i -2) sezonów zimowych i letnich zaliczono 231 sezony, co stanowi 17% całkowitej ich liczby. Jak pokazuje tab. 3 więcej informacji uzyskano o sezonach ekstremalnych pod względem termicznym (55,9%), niż opadowym (44,1%). Najwięcej (34,2%) danych dotyczyło skrajnie mroźnych i bardzo mroźnych zim. W przypadku danych odnoszących się do opadów atmosferycznych, znacznie więcej informacji znaleziono dla sezonu letniego niż zimowego, co zapewne jest związane z faktem, iż opady latem są istotniejsze dla wegetacji roślin. Wyraźnie uwidacznia się także przewaga częstości występowania sytuacji anomalnie wilgotnych (28,5%) nad anomalnie suchymi (15,6%).

Tab. 3. Częstość występowania ekstremalnie ciepłych i wilgotnych oraz chłodnych i suchych sezonów zimowych (XII-II) i letnich (VI-VIII) w Polsce w okresie 1501-1840 [Przybylak i in. 2004]

Okres	Temperatura powietrza				Opad atmosferyczny				Ekstremalne sytuacje	
	XII - II		VI - VIII		XII - II		VI - VIII			
	+2 i +3	-2 i -3	+2 i +3	-2 i -3	+2 i +3	-2 i -3	+2 i +3	-2 i -3	Suma	%
1501-1550	7	12	2	0	7	7	17	4	56	24,2
1551-1600	1	14	7	0	1	3	10	9	45	19,5
1601-1650	0	11	10	0	0	0	3	0	24	10,4
1651-1700	4	11	3	1	1	0	4	3	27	11,7
1701-1750	2	12	1	3	6	0	9	3	36	15,6
1751-1800	0	10	0	0	1	0	1	0	12	5,2
1801-1840	0	9	7	2	2	1	4	6	31	13,4
1501-1840	14	79	30	6	18	11	48	25	231	100
%	6,1	34,2	13,3	2,6	7,8	4,8	20,7	10,8	100	

Dane o suszach, które wystąpiły na obszarze Polski w przeciągu 8 wieków obejmujących okres przedinstrumentalny, tj. od XII do XIX wieku, oceniono 3-stopniową skalą, na podstawie zasięgu przestrzennego zjawiska. W przyjętej skali 1 – odpowiada zasięgowi lokalnemu, 2 – regionalnemu, 3 – krajowemu. Zasięg przestrzenny pośrednio odpowiada intensywności suszy. Jeśli susza objęła cały kraj, to zwykle jej czas trwania był znacznie dłuższy od suszy lokalnej, czy regionalnej. Następnie dla poszczególnych wieków oraz wydzielonych okresów określono częstość występowania susz z określoną klasą intensywności.

Różnica w liczbie susz w okresach klimatycznych dla Europy Zachodniej i Polski jest niewielka (tab. 5 i 6). Na obszarze Polski najwięcej susz o zasięgu krajowym wystąpiło w okresie od 1480 do 1780 r. Okres ten charakteryzował się długimi, ostrymi i suchymi zimami oraz latami o zmiennych warunkach pogodowych. W tym okresie zarejestrowano również najwięcej susz o zasięgu regionalnym. Natomiast najwięcej susz o zasięgu lokalnym zarejestrowano w okresie od 1780 do 1880 r.

Susze historyczne w okresie objętym obserwacjami przedstawiono z podziałem na dwa okresy, tj. okres obejmujący lata 1851-1950 oraz powojenny 1951-2005.



Tab. 4. Liczba susz w poszczególnych klasach w 50-leciach w okresie od XVI-XIX w.

Rok	Liczba susz w poszczególnych klasach		
	1	2	3
1501 - 1550	2	6	5
1551 - 1600	3	10	7
1601 - 1650	1	10	2
1651 - 1700	0	9	10
1701 - 1750	4	12	3
1751 - 1800	0	4	2
1801 - 1850	16	6	8
1851 - 1900	0	7	5
<b>Razem</b>	<b>26</b>	<b>64</b>	<b>43</b>

Tab. 5. Liczba susz w poszczególnych klasach w wydzielonych okresach klimatycznych Europy Zachodniej

Lata	Liczba susz w poszczególnych klasach		
	1	2	3
1000 - 1150	0	0	1
1150 - 1300	b.d.	b.d.	b.d.
1300 - 1550	5	14	6
1550 - 1700	4	29	19
1700 - 1850	20	23	13
<b>Razem</b>	<b>29</b>	<b>66</b>	<b>39</b>

W okresie obejmującym lata 1851-1950 prowadzono już instrumentalne obserwacje meteorologiczne i hydrologiczne, jednak materiał pomiarowy z tego okresu jest bardzo niejednorodny i często niekompletny. Dane z tego okresu są niewystarczające do jakościowej oceny suszy, a przedstawiane opisy odnoszą się tylko do wybranych zdarzeń.

Tab. 6. Liczba susz w poszczególnych klasach w wydzielonych okresach klimatycznych Polski

Lata	Liczba susz w poszczególnych klasach		
	1	2	3
980 - 1200	0	0	1
1200 - 1300	b.d.	b.d.	b.d.
1300 - 1480	3	8	1
1480 - 1780	10	48	26
1780 - 1860	16	12	9
<b>Razem</b>	<b>29</b>	<b>68</b>	<b>37</b>

Lata 1851-1900 charakteryzowały się kilkoma okresami posusznymi, z czego najdłużej trwający wystąpił w okresie 1872-1876 i swoim zasięgiem objął cały kraj. Lata 90-te XIX wieku również należały do suchych. W pierwszej połowie XX wieku warunkami posusznymi charakteryzowały się lata 20-te. Susze obejmowały

wtedy znaczną część, a w 1921 r. cały kraj. Początek następnego dziesięciolecia również zaliczamy do okresu suchego.

W latach 1951-2005 wystąpiło kilka okresów posusznych obejmujących zasięgiem cały obszar Polski lub znaczną jego część. W omawianym okresie susze atmosferyczne wystąpiły w latach: 1951, 1953, 1954, 1959, 1963, 1964, 1969, 1976, 1982, 1983, 1989, 1992, 1994, 2002, 2005-2006, a swym zasięgiem objęły przeważający obszar kraju [Farat i in. 1995, Dubicki i in. 2002].

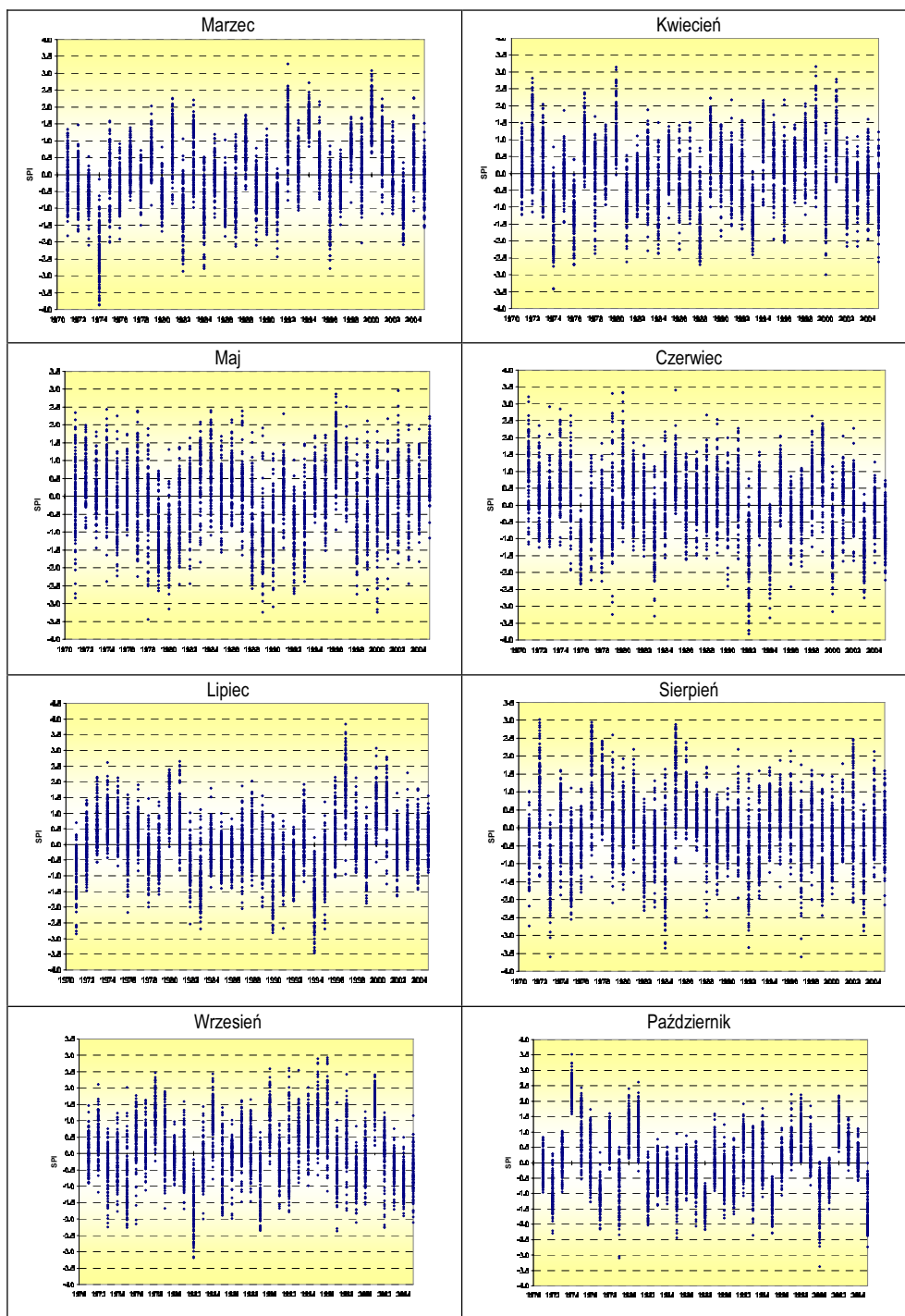
Szczegółowe określenie zmienności czasowej i przestrzennej podatności na suszę, wpływające na wielkość zagrożenia suszą, jak również opracowanie systemu oceny i prognozy rozwoju suszy wymagało przeprowadzenia oceny wskaźnikowej suszy. Do wyznaczenia wartości wskaźnikowych konieczne jest przyjęcie okresu referencyjnego, dla którego dostępna będzie kompletna i jednorodna seria danych pomiarowych. Analizując dostępne serie pomiarowe dla wyznaczonych stacji meteorologicznych i hydrologicznych wybrano okres 1966-2005 jako okres referencyjny.

#### **4.2. Rozkład przestrzenny i czasowy susz meteorologicznych w wieloleciu referencyjnym**

Susza atmosferyczna w warunkach klimatycznych Polski jest zjawiskiem naturalnym, które pojawia się nieregularnie, z różną intensywnością oraz z różnym zasięgiem przestrzennym. Zagrożenie suszą jest związane zarówno z prawdopodobieństwem jej wystąpienia w danym regionie, jak również z podatnością (wrażliwością) obszaru na jej działanie. Podatność danego obszaru na negatywne skutki wystąpienia suszy zależy od wielu czynników: społecznych, gospodarczych i technologicznych. Czynniki te zmieniają się w czasie, dlatego też wrażliwość na suszę i jej negatywne skutki może być różna, nawet jeśli czas trwania, natężenie i zasięg suszy są identyczne [Łabędzki 2004]. Przeciwdziałanie negatywnym skutkom suszy oraz podejmowanie działań prewencyjnych wymaga właściwego rozpoznania częstości i natężenia tego zjawiska na podstawie obiektywnych, porównywalnych dla różnych obszarów metod.

W wieloleciu 1971-2005, na podstawie wartości wskaźnika SPI stwierdzono, że miesiące o różnej intensywności niedoboru opadów stanowiły około 30%. Do miesięcy charakteryzujących się największą, około 35% frekwencją suszy atmosferycznej należały październik i listopad. Natomiast susze silne i ekstremalne, wartość wskaźnika  $SPI \leq -1,5$ , najczęściej występowały w maju. Na analizowanych stacjach łączna liczba miesięcy z suszą silną i ekstremalną w wieloleciu 1971-2005 wynosiła od 38 (Łębork, Olsztyn) do 24 miesięcy (Biebrza).

Zmienność warunków opadowych na podstawie wartości wskaźnika SPI, w przedziałach miesięcznych od marca do października w wieloleciu 1971-2005, przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wartości wskaźnika SPI na analizowanych stacjach w okresie od marca do października w latach 1971-2005 (znaczniki przedstawiają wartości SPI dla analizowanych stacji w danym roku)

W analizowanym wieloleciu marzec charakteryzował się znacznym niedoborem opadów. W latach: 1974, 1982, 1984 i 1996 na przynajmniej 20% stacji obserwowano suszę silną lub ekstremalną. Szczególnie w marcu 1974 r. wartości SPI były niższe lub równe -1,5 na prawie 85% stacji. W kwietniu największy niedobór opadów wystąpił w latach 1974, 1976, 1984, 1988, 1993 i 2000. Najbardziej suchym był kwiecień w 1988 r., gdy na ponad 40% stacji obserwowano suszę silną lub ekstremalną. W maju, w latach: 1979, 1980, 1988, 1989, 1990, 1992, 1993 na ponad 20% stacji wartości SPI były niższe lub równe -1,5. Natomiast w czerwcu susze silne i ekstremalne obserwowano w latach: 1976, 1983, 1992, 1994, 2000 i 2003. Najbardziej suchy zaś był czerwiec 1992 r., na 45% analizowanych stacji wartości SPI były niższe lub równe -1,5. W lipcu największym niedoborem opadów charakteryzowały się lata: 1971, 1983, 1990 i 1994. W 1994 r. silna i ekstremalna susza wystąpiła na ponad 60% analizowanych stacji. Natomiast w sierpniu największy niedobór opadów wystąpił w latach: 1973, 1984, 1992, 1999 i 2003. Najwięcej stacji (ponad 35%) charakteryzowało się największym deficytem opadów w latach 1973 i 1984. We wrześniu suszę silną lub ekstremalną na ponad 20% stacji obserwowano w latach: 1975, 1982 i 1989. Szczególnie suchym miesiącem był wrzesień 1982 r., gdy na prawie 60% stacji notowano suszę silną lub ekstremalną. Natomiast w październiku największy deficyt opadów wystąpił w latach: 1977, 1979, 1988, 1995, 2000 i 2005. W październiku 2005 r. suszę silną lub ekstremalną obserwowano na ponad 60% analizowanych stacji.

Zasięg suszy atmosferycznej obrazuje rozkład wartości wskaźnika SPI opracowany dla poszczególnych miesięcy wielolecia 1971-2005. Rys. 3 przedstawia susze silne i ekstremalne o największym zasięgu przestrzennym w Polsce.

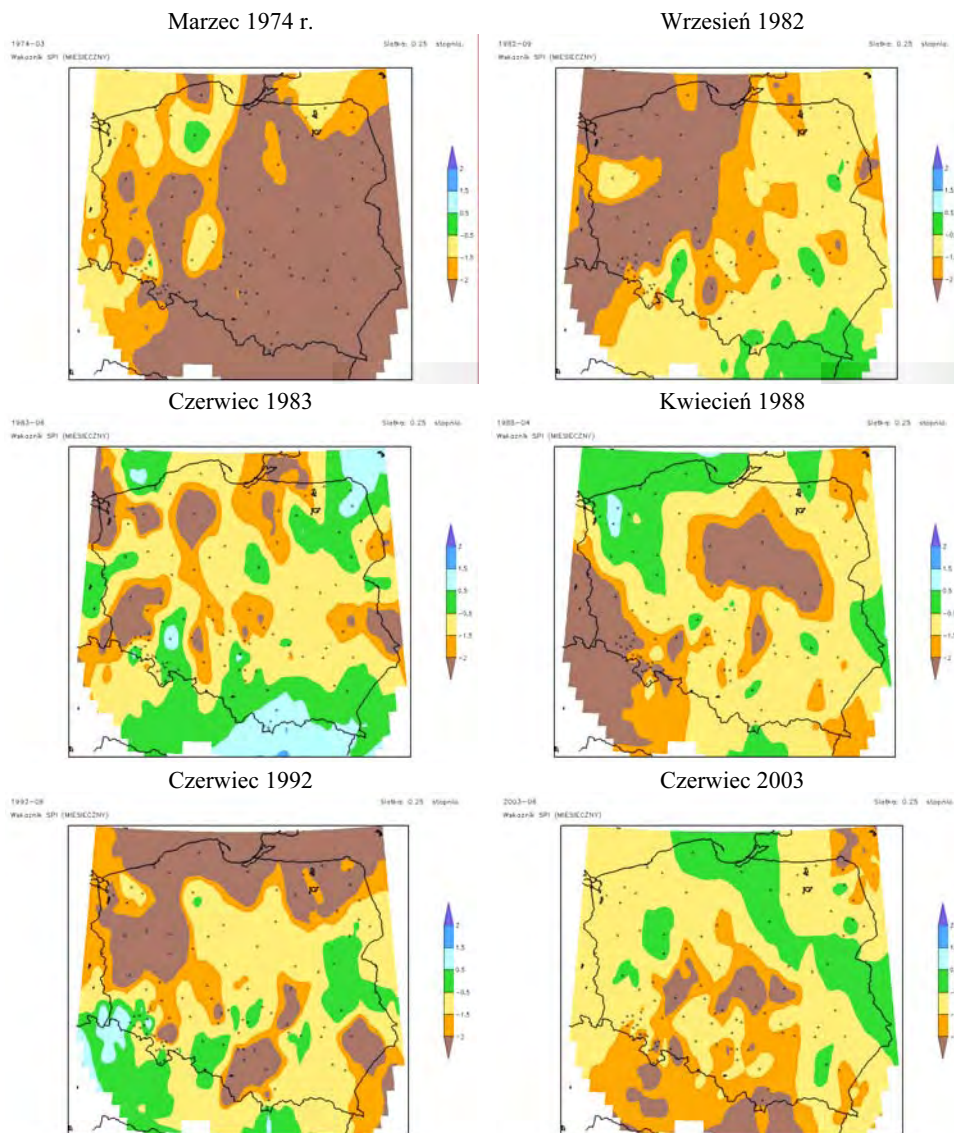
W roku 1974 miesiące wiosenne charakteryzowały się dużym niedoborem opadów. Susza ekstremalna (wartości  $SPI \leq -2,0$ ) na przeważającym obszarze Polski wystąpiła w marcu.

Kolejnym okresem ze znacznym niedoborem opadów były miesiące letnie 1982 r., gdy na przeważającym obszarze Polski utrzymywała się susza o różnym stopniu natężenia, a silna i ekstremalna wystąpiła również we wrześniu. Niedoborem opadów charakteryzował się także rok 1983, z największym natężeniem suszy zwłaszcza w czerwcu i lipcu. W tych miesiącach susza silna wystąpiła niemal we wszystkich regionach Polski, za wyjątkiem części południowo-wschodniej.

Następna ekstremalna susza pojawiła się wiosną 1988 r. W kwietniu tego roku susza swoim zasięgiem objęła Polskę południowo-zachodnią oraz środkową. W maju 1988 r. nadal utrzymywała się w Polsce południowo-zachodniej i wystąpiła również w części zachodniej.

Pierwsza połowa lat 90-tych, a zwłaszcza lata 1992, 1993 i 1994, to okres znacznej frekwencji susz atmosferycznych o różnym natężeniu na całym obszarze Polski.

Początek nowego wieku (2000-2003) również zaznaczył się znacznym niedoborem opadów. Susza silna i ekstremalna wystąpiła w kwietniu i maju 2000 r. w Polsce południowo-zachodniej oraz północno-wschodniej. Natomiast w 2003 r. wystąpiła susza silna i ekstremalna w marcu i w miesiącach letnich.

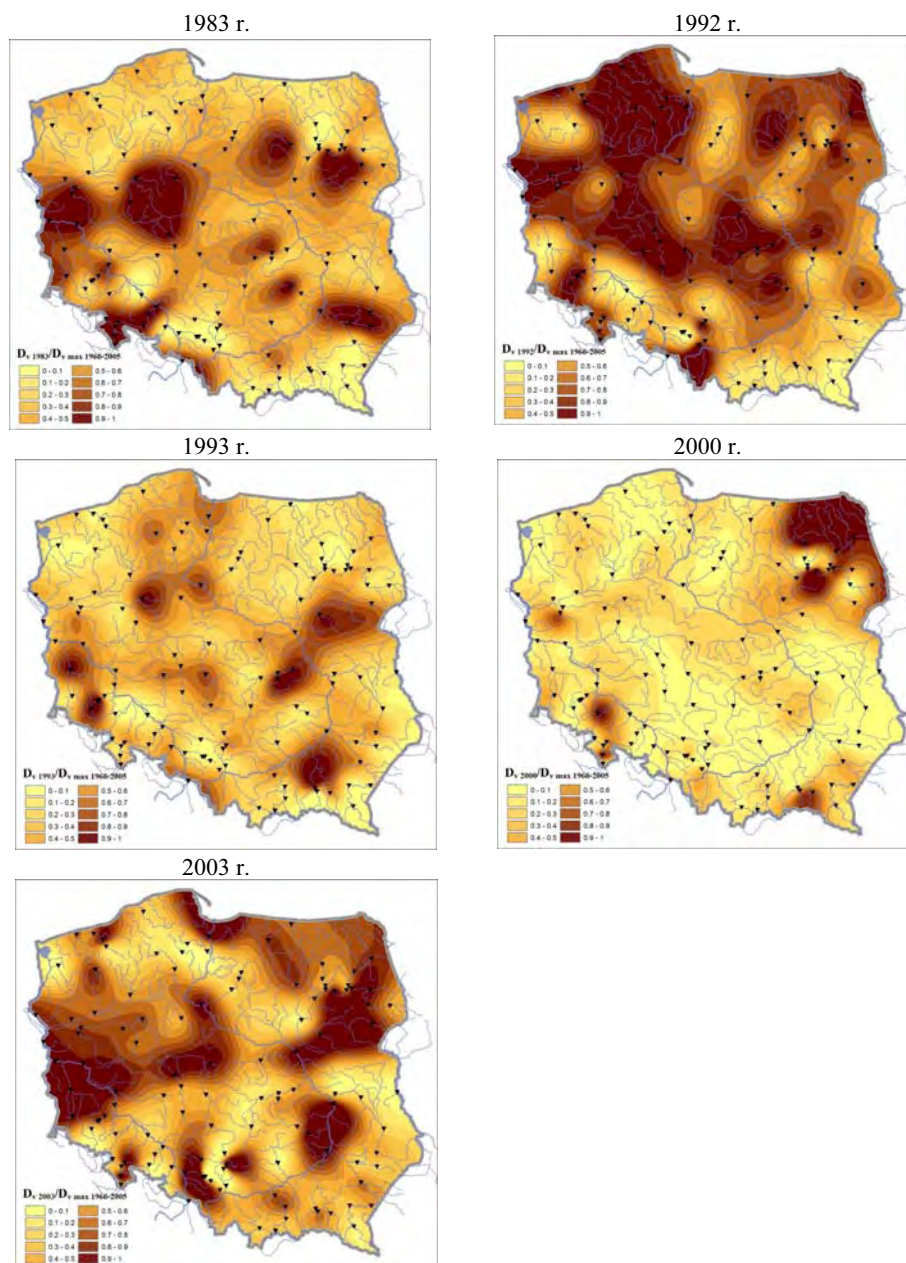


Rys. 3. Susze silne i ekstremalne o największym zasięgu przestrzennym w Polsce w wieloleciu 1971-2000

### 4.3. Rozkład przestrzenny i czasowy susz hydrologicznych w wieloleciu referencyjnym

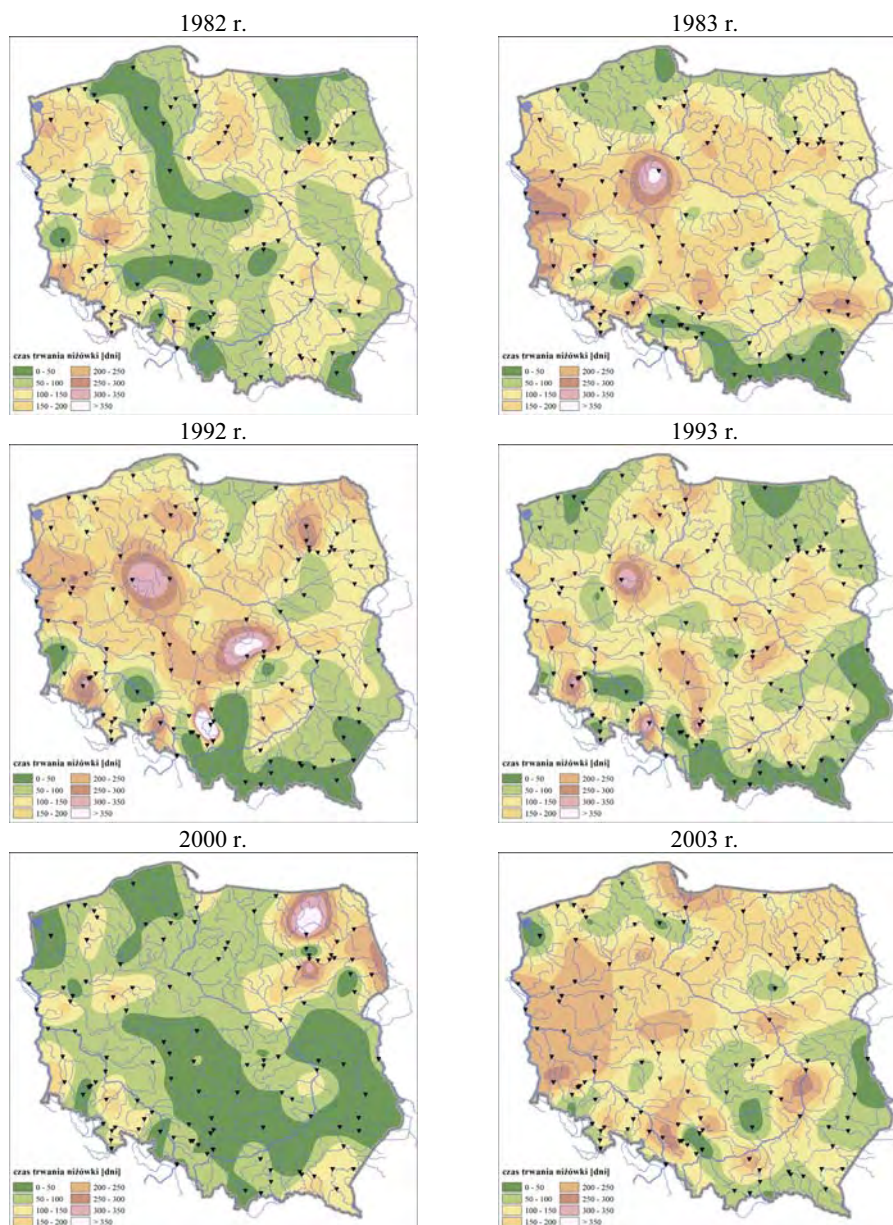
Susza hydrologiczna utożsamiana jest najczęściej ze znacznym obniżaniem stanów wody w rzekach [Byczkowski 1999]. Z hydrologicznego punktu widzenia istotnym problemem w podejściu do rozpatrywania przepływów niżówkowych jest podanie początku i końca niżówki oraz wartości granicznej, od której można mówić o występowaniu tego zjawiska. Analizie poddano tylko te okresy niżówkowe,

które były poprzedzone suszą atmosferyczną silną i ekstremalną, dla których SPI osiągała wartości  $\leq -1,5$  w półroczu letnim. Przyjęto założenie, że obserwowane wtedy niżówki reprezentują susze hydrologiczne i stanowią kontynuację suszy atmosferycznej.



Rys. 4. Rozkład przestrzenny wskaźnika suszy hydrologicznej na obszarze Polski dla wybranych lat

Największe objętości niedoboru przepływu niżówek notowane były w latach 1983-1984, 1993, 1994 oraz 2000 i 2003. Były to niżówki długotrwałe od około 100 dni w zlewni rzeki Wieprz do ponad 500 dni w zlewni rzeki Przemsza. Natężenie suszy hydrologicznej zostało przedstawione w postaci wskaźnika suszy hydrologicznej, jako iloraz objętości niedoboru niżówki w danym roku do objętości niedoboru niżówki maksymalnej w badanym wieloleciu.



Rys. 5. Rozkład czasów trwania wybranych niżówek na obszarze Polski

W 1983 r. odnotowana susza hydrologiczna miała charakter intensywny i wystąpiła na znacznym obszarze Polski. W zlewni górnej Nysy Kłodzkiej była to susza maksymalna z największą objętością niedoboru przepływu w badanym wieloleciu. Najintensywniejsza susza hydrologiczna wystąpiła w 1992 r. Swym zasięgiem objęła niemal całą Polskę, z wyłączeniem południowej, górskiej części kraju. W pasie nizin i pojezierza miała charakter maksymalnej, o największej objętości niedoboru przepływu w badanym wieloleciu. Kolejne obserwowane susze hydrologiczne z lat 1993 i 2000 miały znacznie mniejsze natężenie i wystąpiły lokalnie. Susza hydrologiczna, która wystąpiła w 2003 r. należała do intensywnych. Objęła swym zasięgiem przede wszystkim pas nizin oraz wystąpiła lokalnie na południu Polski, rys. 4.

Czasy trwania mają podobny rozkład do rozkładu niedoborów przepływu. Najdłużej trwające niżówki występują w obszarze Nizy Polskiego. Rozkład czasów trwania wybranych niżówek obrazuje rys. 5.

Na podstawie analizy rozkładu przestrzennego wskaźnika suszy hydrologicznej można stwierdzić, że na obszarze Polski susze pojawiają się dość często, jednak najczęściej obejmują tylko fazę suszy atmosferycznej. Susze, które mają kontynuację w dalszych fazach i swym zasięgiem obejmują większe obszary kraju, są zjawiskiem rzadszym, a w omawianym wieloleciu wystąpiły w latach 1982, 1983, 1992, 1993, 1994, 2000 oraz 2003, rys. 6.

meteorologicznej



hydrologicznej

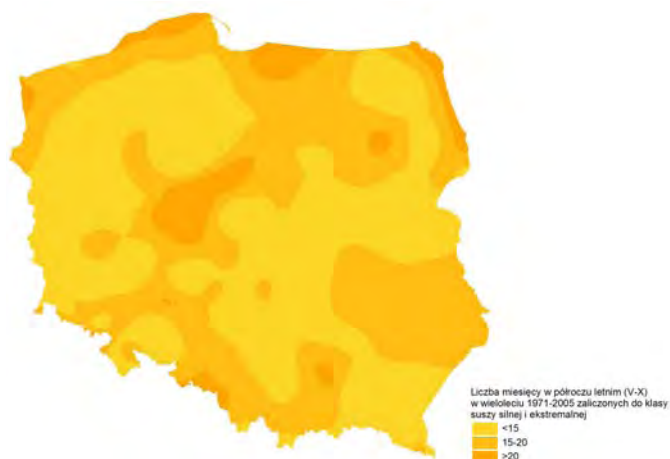
Rys. 6. Okresy wystąpienia atmosferycznej suszy silnej i ekstremalnej w wieloleciu 1971-2005 oraz suszy hydrologicznej

Podatność na zagrożenie suszą została określona na podstawie wskaźnikowej oceny suszy atmosferycznej i hydrologicznej. Analiza przestrzennego rozkładu wartości wskaźnika SPI w miesiącach półrocza letniego pozwoliła na stwierdzenie, że zwiększona frekwencja silnych, a lokalnie ekstremalnych susz atmosferycznych jest obserwowana na obszarze rozciągającym się od Dolnego Śląska przez Nizinę Wielkopolską i Kujawy po Pojezierze Mazurskie. Zwiększoną frekwencję susz obserwuje się również na Wyżynie Lubelskiej oraz w Polsce Północnej tj. na Nizinie Podlaskiej w części Pojezierza Pomorskiego (rys. 7).

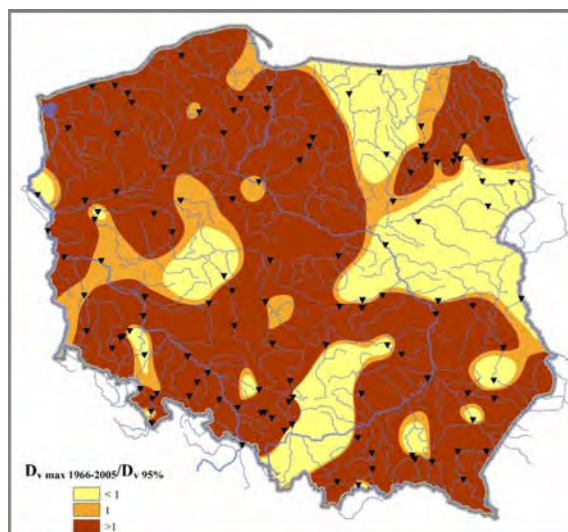
Występowanie niżówki maksymalnej w wieloleciu 1966-2005 obrazuje rozkład wskaźnika suszy hydrologicznej w postaci ilorazu  $D_{vmax}/D_{v95\%}$  (rys. 8).



Wskaźnik ten, z wydzielonymi 3 klasami, pozwala na identyfikację obszarów, na których objętość niedoboru przepływu była większa od objętości niedoboru przepływu z prawdopodobieństwem nieosiągnięcia 95%. Na większości obszaru Polski prawdopodobieństwo nieosiągnięcia objętości niedoboru przepływu niżówki maksymalnej było mniejsze niż 95% i zawierało się najczęściej w granicach 96-98%.



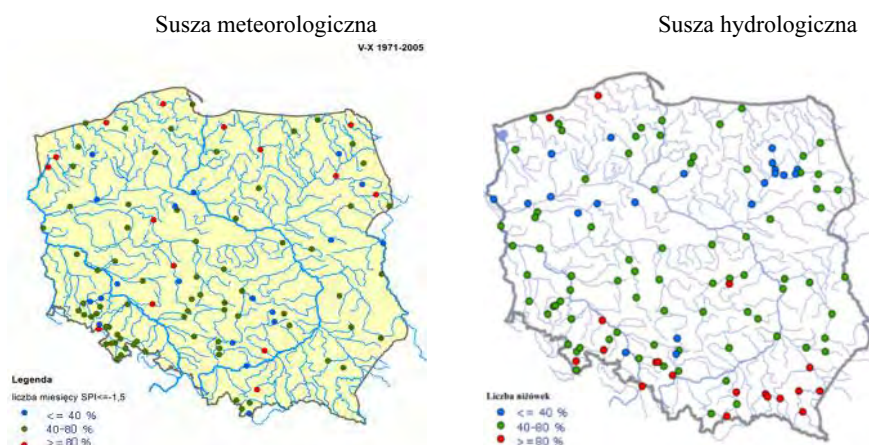
Rys. 7. Rozkład przestrzenny liczby miesięcy z suszą silną i ekstremalną ( $SPI \leq -1,5$ ) w półroczu letnim (V-X) w wieloleciu 1975-2001



Rys. 8. Rozkład przestrzenny wskaźnika  $D_{v \max} / D_{v 95\%}$ , na obszarze Polski

Podatność na zagrożenie wystąpienia susz została określona na podstawie liczby zdarzeń obserwowanych na danej stacji oraz maksymalnej liczby zdarzeń na obszarze Polski. Podatność na susze wyrażona została jako ilość wystąpień suszy na zaobserwowanej na danej stacji do maksymalnej liczby zdarzeń zaobserwowa-

nych w wieloleciu referencyjnym na obszarze Polski. Za kryterium suszy meteorologicznej przyjęto wartości wskaźnika SPI  $\leq -1,5$ , natomiast jako wskaźnik suszy hydrologicznej przyjęto liczbę zaobserwowanych okresów niżówkowych. Otrzymane wartości podzielono na 3 klasy oznaczające małą (do 40%), średnią (40% -80 %) i dużą podatność (od 80%) - rys. 9.



Rys. 9. Podatność na zagrożenie suszą w Polsce

Obszarami najbardziej podatnymi na występowanie susz atmosferycznych i hydrologicznych jest pas nizin oraz południe Polski.

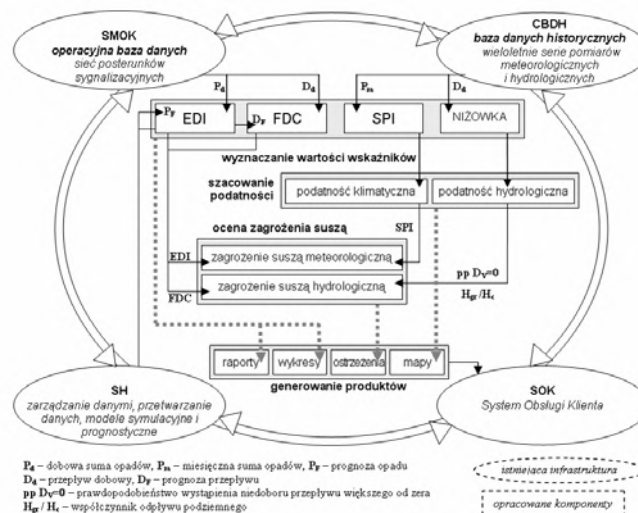
#### 4.4. Operacyjny system prognozy rozwoju i oceny suszy

Zadaniem systemu jest ocena zagrożenia suszą na podstawie operacyjnie wyznaczonych wskaźników meteorologicznych i hydrologicznych. Schemat ideowy systemu przedstawia rys. 10. Schemat wpisany jest w istniejącą infrastrukturę informatyczno-techniczną funkcjonującą w IMGW-PIB. Opracowane komponenty systemu obejmują procedury: wyznaczania wybranych wartości wskaźników, szacowania podatności na suszę, prognozy zagrożenia suszą i generowania produktów końcowych. Ze względu na funkcje wejścia/wyjścia poszczególne moduły funkcyjne można podzielić na procedury mające na celu:

- asymilację danych, w tym danych operacyjnych z Systemu Hydrologii (SH), oraz danych historycznych z Centralnej Bazy Danych Historycznych (CBDH), danych przestrzennych z cyfrowej Mapy Podziału Hydrograficznego Polski;
- analizę danych i przetwarzanie informacji;
- wizualizacji wyników.

System złożony jest z aplikacji informatycznych, których wzajemne powiązania tworzą konceptualny model oceny i prognozy rozwoju suszy uwzględniający fazę atmosferyczną i hydrologiczną suszy [Tokarczyk, Szalińska 2010].

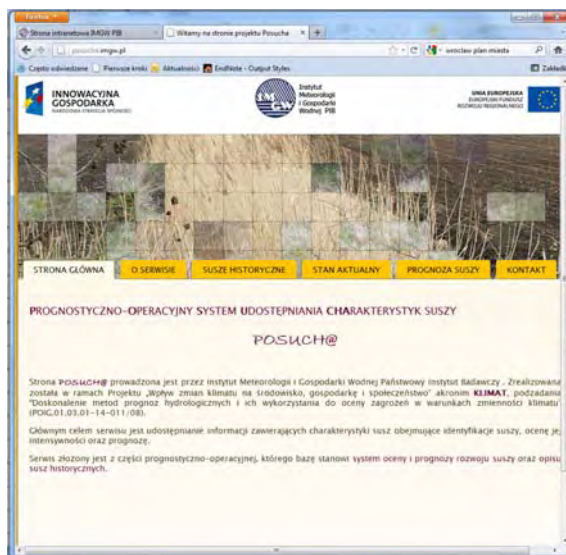
Kluczowe wyniki uzyskiwane na podstawie opracowanego operacyjnego systemu prognozy rozwoju i oceny suszy udostępniane są za pomocą serwisu internetowego POSUCH@ (<http://posucha.imgw.pl/>).



Rys. 10. Architektura systemu oceny i prognozy zagrożenia suszą

#### 4.5. Progностyczno-Operacyjny System Udostępniania Charakterystyk Suszy POSUCH@

Głównym celem serwisu jest udostępnianie informacji zawierających charakterystyki susz, obejmujące identyfikację suszy, ocenę jej intensywności oraz prognozę. Dane wejściowe dla serwisu pochodzą z przygotowanego opisu susz historycznych oraz z wyników uzyskiwanych z systemu prognozy rozwoju i oceny suszy. Struktura serwisu złożona jest z trzech podstawowych modułów funkcjonalnych: opisu susz historycznych, stanu aktualnego oraz prognozy suszy (rys. 11).

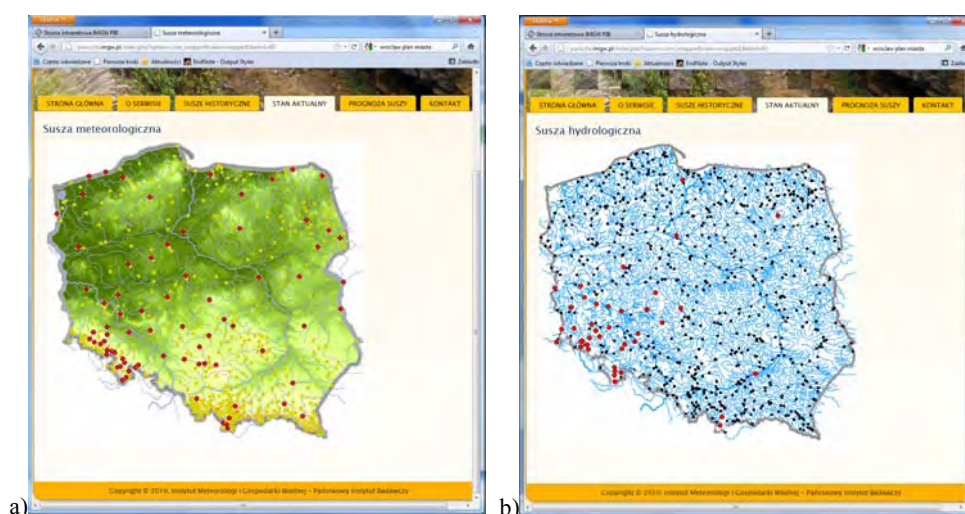


Rys. 11. Obraz witryny internetowej POSUCHA

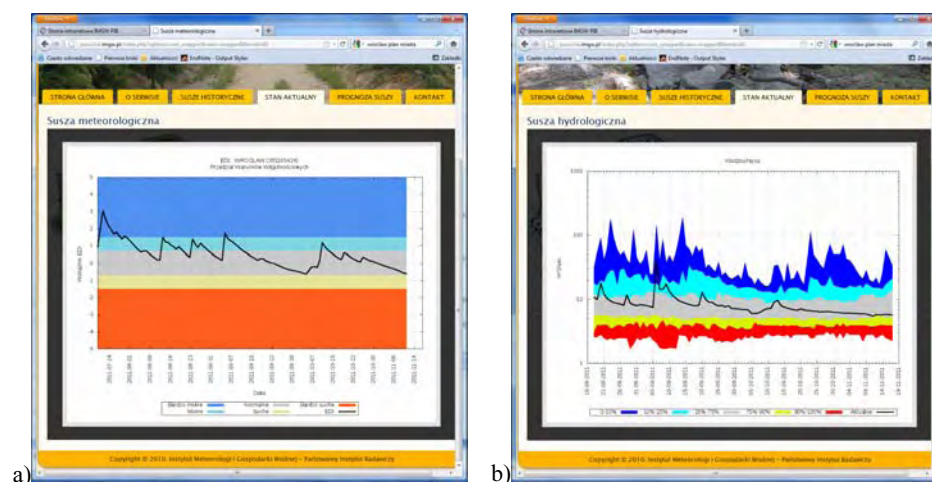


wym (dobowym, miesięcznym) z tą różnicą, że aktualizacja obiektów quasi-operacyjnych odbywa się po przeprowadzeniu weryfikacji aktualizowanego obiektu. Obiekty operacyjne wprowadzane są automatycznie w czasie rzeczywistym.

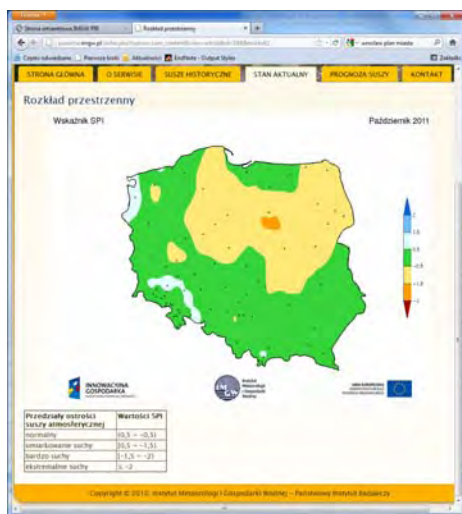
Rys. 12 a i b przedstawia odpowiednio sieć stacji meteorologicznych i hydrologicznych, dla których udostępniana jest informacja dotycząca zagrożenia suszą. Każdy posterunek na tej mapie jest opisany linkiem, pozwalającym na wizualizację zmienności czasowej wartości wskaźnika EDI (dla stacji meteorologicznych) i wskaźnika FDC (dla stacji hydrologicznych) w ciągu ostatnich trzech miesięcy (rys. 13 a i b). Wartości tych wskaźników wyznaczone są na podstawie danych operacyjnych.



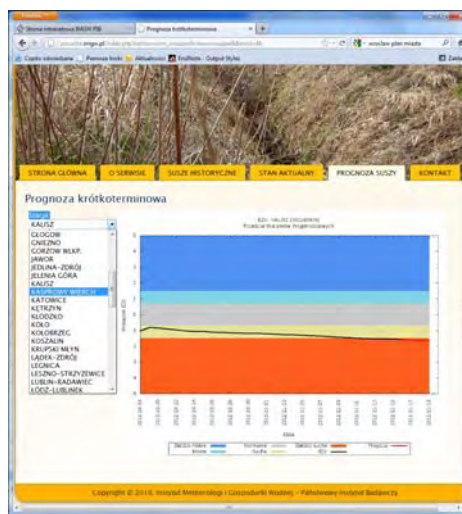
Rys. 12. Lokalizacja wybranych stacji meteorologicznych (a) i hydrologicznych (b) prezentowanych w serwisie.



Rys. 13. Wizualizacja zmienności czasowa wartości wskaźnika EDI (a) i FDC (b) dla stacji meteorologicznych i hydrologicznych dostępnych w serwisie



Rys. 14. Mapa rozkładu przestrzennego wskaźnika SPI prezentowana i aktualizowana w serwisie



Rys. 15. Wizualizacja schematu prezentacji prognozy krótkoterminowej

Rozkład przestrzenny wskaźnika SPI jest obiektem quasi-operacyjnym aktualizowanym po zakończeniu każdego miesiąca (rys. 14).

Moduł PROGNOZA SUSZY obejmuje dwa komponenty prognozę krótkoterminową oraz prognozę zagrożenia. Prognoza krótkoterminowa przedstawiana jest dla wybranej stacji w postaci przebiegu wartości wskaźnika EDI. Wartość wskaźnika jest ekstrapolowana na kolejne 3 dni z wykorzystaniem informacji o prognozie wysokości opadu z numerycznego modelu prognozy pogody (rys. 15). Informacja aktualizowana jest operacyjnie z dziennym krokiem czasowym.

Prognoza długoterminowa zamieszczona jest na stronie internetowej jako obiekt quasi-operacyjny aktualizowany na zakończenie miesiąca. Forma prezentacji pozwala na interaktywny wybór stacji, dla której oczekiwana jest informacja. Wynik przedstawiony jest w postaci tabeli, w której umieszczone są wartości prawdopodobieństwa przejścia do warunków wilgotnych, normalnych i suchych. Wartości prawdopodobieństwa uwarunkowane są klasą wilgotności dla danej lokalizacji w miesiącu poprzedzającym prognozę (rys. 16). Długoterminowa prognoza zagrożenia suszą dostępna jest wyłącznie dla miesięcy letnich.

Stacja: BARDO ŚLĄSKIE

Nazwa stacji	Zlewnia	Warunki w poprzednim miesiącu Październik 2011	Prawdopodobieństwo przejścia do warunków wilgotnych Listopad 2011	Prawdopodobieństwo przejścia do warunków normalnych Listopad 2011	Prawdopodobieństwo przejścia do warunków suchych Listopad 2011
BARDO ŚLĄSKIE	Nysa Kłodzka	normalne	26%	53%	21%

Rys. 16. Wizualizacja schematu prezentacji prognozy długoterminowej.

Strona internetowa dostępna jest publicznie w wersji on-line. Pełni ona ważne źródło informacji dotyczące stanu warunków wilgotnościowych na obszarze Polski

pod kątem stopnia zagrożenia suszą. Skierowana jest do szerokiego grona użytkowników zajmujących się zawodowo oraz do zainteresowanych osób indywidualnych problematyką susz w Polsce, jak również oceną i prognozą zagrożenia suszą.

## 5. Podsumowanie

Zastosowana wskaźnikowa ocena umożliwiła łatwe porównywanie przebiegu czasowego jak również zróżnicowania przestrzennego zarówno niedoborów opadów, jak i niedoborów przepływu. Wskaźnik standaryzowanego opadu SPI pozwolił ocenić intensywności suszy w analizowanym wieloleciu oraz jej zasięg przestrzenny i czas trwania. Natomiast zastosowanie wskaźnika suszy hydrologicznej umożliwia detekcję i ocenę intensywności okresów suszy hydrologicznej. Ponadto pozwala na obiektywną, porównywalną ocenę w różnych warunkach klimatycznych i różnych okresach i odpowiada okresom niżówkowym o danym prawdopodobieństwie nieosiągnięcia.

Przeprowadzone analizy pozwalają na wysunięcie następujących wniosków:

- zastosowanie wskaźników do oceny suszy ułatwia interpretację wyników,
- zastosowanie standaryzacji umożliwia obiektywną, porównywalną ocenę w różnych warunkach klimatycznych i różnych okresach,
- stwierdzono synchroniczność terminów występowania susz atmosferycznych i susz hydrologicznych,
- susze atmosferyczne najczęściej pojawiają się wiosną i jesienią, natomiast susze hydrologiczne w okresie letnio-jesiennym,
- rozkład przestrzenny podatności na zagrożenie suszą nawiązuje do pasmowego układu krain geograficznych.

Wybrane wskaźniki oraz przyjęte obszary ich zastosowań stały się podstawą do opracowania koncepcji operacyjnego systemu prognozy rozwoju i oceny suszy. System spełnia trzy podstawowe wymogi przyjęte przy jego tworzeniu: (i) wykorzystuje metody oparte na standardowych pomiarach parametrów hydrologicznych i meteorologicznych wykonywanych w IMGW, (ii) jest kompatybilny z istniejącą infrastrukturą informatyczną i techniczną, (iii) odpowiada na wymogi użytkowników końcowych Biur Prognoz Hydrologicznych. Elementami systemu są narzędzia informatyczne do detekcji suszy, analizy czasu trwania i intensywności suszy, oceny podatności na suszę oraz prognozy zagrożenia suszą. Wybór zlewni badawczych, położonych na obszarze Polski o zróżnicowanym charakterze klimatycznym i hydrologicznym, stworzył możliwość testowania opracowanych metod w różnych warunkach.

Planowany rozwój systemu prognozy rozwoju i oceny suszy obejmuje zarówno dalszy rozwój wdrożonych metod i procedur operacyjnych, jak również pozyskiwanie dodatkowych danych m.in. z pomiarów satelitarnych. Przetworzone dane satelitarne mogą być wykorzystane do określania niekorzystnych warunków wzrostu roślin wywołanych suszą [Dąbkowska – Zielińska, Ciołkosz 2007, Ciołkosz, Białousz 2008] i rozbudowania systemu o komponent monitoringu i prognozy suszy rolniczej.

## Literatura

- Alley, W.M., 1984, The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 1100-1109
- Byczkowski A., 1999, *Hydrologia, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa*
- Byun H.R., Wilhite D.A., 1999, Objective quantification of drought severity and duration, *Journal of Climate*, 12, 2747-2756
- Changnon S.A., 1987, Detecting Drought Conditions in Illinois, *Illinois State Survey Circular*, 164-87
- Ciołkosz A., Białousz S., 2008, Zastosowanie teledetekcji satelitarnej w badaniach środowiska w Polsce, *Nauka*, 3, 79-96
- Dąbkowska – Zielińska K., Ciołkosz A., 2007, Zastosowanie zdjęć satelitarnych do monitoringu suszy w Polsce, *Przegląd Geofizyczny*, 3/4, 161-178
- Dębski, K., 1970, *Hydrologia, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa*
- Dubicki A. (red.), 2002, *Zasoby wodne w dorzeczu górnej i środkowej Odry w warunkach suszy*, IMGW, Warszawa
- Farat R., Kepińska – Kasprzak M., Kowalczak P., Mager P., 1995, Susze na obszarze Polski w latach 1951-1990, *Mat. Bad. IMGW, Seria: Gospodarka wodna i ochrona wód*, 16
- Friederichs P., Hense A., 2008, A Probabilistic Forecast Approach for Daily Precipitation Totals, *Weather and Forecasting*, 23
- Gibbs, W.J.; and Maher J.V., 1967, Rainfall deciles as drought indicators, *Commonwealth of Australia, Melbourne, Bureau of Meteorology Bulletin*, 48
- Girguś R., Strupczewski R., 1965, Wyjątki ze źródeł historycznych o nadzwyczajnych zjawiskach hydrologiczno-meteorologicznych na ziemiach polskich w wiekach X-XVI, Warszawa
- Hisdal H., Tallaksen L.M., 2000, Drought Event Definition, *Technical Report*, 6
- Inglot S., 1962, Historyczne aspekty zjawisk klimatyczno-meteorologicznych na Śląsku od XVI-XIX wieku, *Spraw. Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego, Ser. A*, 17
- Jakubowski W., 1997, *Rozkłady niżówki – program komputerowy*.
- Kaczmarek Z., 1970, *Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa
- Kogan, F.N. 1995, Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76(5), 655–668
- Lloyd-Hughes B., Saunders M., 2002, A drought climatology for Europe. *Inter, Journal of Climatology*, 22
- Lorenc H., Ceran M., Mierkiewicz M., Sasim M., 2006, *Susza w Polsce – 2006 (przyczyny, natężenie, zasięg, wnioski na przyszłość)*, raport IMGW, dokument elektroniczny, [[www.bip.minrol.gov.pl/.../FileRepozytoryMainGetItem.aspx?item\\_id...](http://www.bip.minrol.gov.pl/.../FileRepozytoryMainGetItem.aspx?item_id...), 18.04.2012]
- Łabędzki L., 2004, Problematyka susz w Polsce, *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 4(1), 10
- Łabędzki L., Bąk B., 2002, Monitorowanie suszy za pomocą standaryzowanego opadu, *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 2(5), 9-19
- Łabędzki L., Bąk B., 2004, Zróżnicowanie wskaźnika suszy atmosferycznej SPI w sezonie wegetacyjnym, *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, 4(2a), 11
- Mager P., Kepińska-Kasprzak M., Farat R., Kuźnicka M., 1999, Zmiany natężenia i częstości pojawiania się susz w Polsce (1891-1995), w: *Zmiany i zmienność klimatu Polski – ich wpływ na gospodarkę, ekosystemy i człowieka*, Ogólnopolska konferencja naukowa, Łódź 4-6.XI.1999 r.
- McKee, T.B.; N.J. Doesken; and J. Kleist., 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 179–184
- Młostek E., 1987, *Warunki termiczne Wrocławia i okolicy w XVIII w.*, Zakład Meteorologii i Klimatologii, Uniwersytet Wrocławski, niepublikowane
- Namaczyńska S., 1937, *Kronika klęsk elementarnych w Polsce i krajach sąsiednich 1648-1696*, Lwów
- Ozga – Zielińska M., 1990, *Niżówki i wezbrania – ich definiowanie i modelowanie*, *Przegląd Geofizyczny, Rocznik XXXV* (1-2)
- Ozga – Zielińska M., Brzeziński J., 1997, *Hydrologia stosowana*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa



- Przybylak R., Wójcik G., Marciniak K., Chrażyczewski W., Nowosad W, Oliński P., Syta K., 2004, Zmienność warunków termiczno-opadowych w Polsce w okresie 1501–1840 w świetle danych historycznych, *Przegląd Geograficzny*, 76(1), 5-28
- Shafer, B.A. and Dezman L.E., 1982, Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In *Proceedings of the Western Snow Conference*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 164–175
- Stahl K., 2001, *Hydrological Drought – a study across Europe*, PhD Thesis Albert-Ludwigs Universität Freiburg, *Freiburger Schriften zur Hydrologie*, 15
- Tallaksen L.M., van Lanen H.A.J. (eds), 2004, *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*, *Developments in Water Science*, 48
- Tate E., Gustard A., 2000, Drought definition: a hydrological perspective, in: *Drought and Drought Mitigation in Europe*, Ed. by J.V. Vogt & F. Somme, Kluwer Academic Publisher, 23-48
- Tokarczyk T., 2001, Zmienność przepływów niskich na obszarze Kotliny Kłodzkiej, *Zeszyty Nauk. AR we Wrocławiu, Inż. Środ.* XII (413)
- Tokarczyk T., Jakubowski W., 2006, Temporal and spatial variability of drought In mountain catchemnts of Nysa Kłodzka basin, *IAHS Publication* 308, 139-144
- Tokarczyk T., Szalińska W., 2010, Operacyjny system oceny zagrożenia suszą, w: *Hydrologia w inżynierii i gospodarce wodnej*, *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN*, 68, 285-294
- Zelenhasic E., Salvai A., 1987, A method of steamflow drought analysis, *Water Resources Research*, 23(1), 156-168
- Zielińska M., 1962, Niżówki letnie rzek polskich, *Gospodarka Wodna*, 3/62
- Zielińska M., 1964, Statystyczne metody opracowania niżówek, *Przegląd Geofizyczny, Rocznik* IX(2)

# **Lawiny śnieżne jako katastrofy naturalne na obszarze gór polskich, na przykładzie Tatr**

*Maciej Karzyński, Anna Fiema, Tomasz Nodzyński,  
Piotr Drzewiecki*

## **1. Cel badań**

Lawiny śnieżne są jednym z naturalnych zagrożeń. Oprócz bezpośredniego zagrożenia życia i zdrowia człowieka powodują zmiany w środowisku naturalnym, niszczą zabudowania i infrastrukturę turystyczną. Zasięg ich występowania ma wybitnie lokalny charakter i jest ograniczony wyłącznie do obszarów górskich. W Polsce, ze względu na stały, a ostatnimi laty gwałtowny rozwój turystyki i narciarstwa problem ten nabiera szczególnej wagi. Lawiny są poważnym niebezpieczeństwem dla coraz to większej liczby ludzi przebywających w górach. Skuteczność minimalizowania strat i zwiększania bezpieczeństwa zależy od usprawniania procesów zbierania, przekazywania i przetwarzania danych, wprowadzania nowoczesnych technik prognozowania, ale przede wszystkim od dogłębnego poznania praw rządzących tym groźnym zjawiskiem.

Głównym celem realizowanego tematu jest wzbogacenie istniejącej wiedzy dotyczącej procesów lawinotwórczych oraz wdrożenie nowych metod prognozowania zagrożenia lawinowego dla zwiększenia bezpieczeństwa osób przebywających w górach polskich.

Cel tematu realizowany jest poprzez:

- wzbogacenie istniejącej wiedzy na temat procesów zachodzących w pokrywie śnieżnej, mających bezpośredni wpływ na wyzwolenie lawiny,
- opracowanie danych topograficznych, które będą miały zastosowanie w planowaniu przestrzeni gór dla ruchu turystycznego w zimie,
- unowocześnienie systemu wspomaganie decyzji w oparciu o GIS, który stanowić będzie narzędzie optymalizujące proces decyzyjny wykorzystywany m.in. przez służby ratownicze,
- dostarczenie społeczeństwu odpowiedniej wiedzy na temat największych zagrożeń naturalnych jakimi zimą w górach są lawiny śnieżne,

- wdrożenie nowych metod prognozowania zagrożenia lawinowego zgodnych z obowiązującymi w krajach alpejskich,
- zwiększenie bezpieczeństwa osób przebywających zimą w górach.

## 2. Zakres wykonanych prac, metodyka, wyniki badań

Szczegółowych danych dotyczących budowy i stabilności pokrywy śnieżnej dostarczyły pomiary profili stratygraficznych na terenie Tatr Polskich.

Wybrane lokalizacje reprezentują różne, a niekiedy skrajne warunki śnieżne. Dzięki temu prowadzone badania pozwoliły na wyselekcjonowanie obszarów bardziej i mniej zagrożonych występowaniem lawin śnieżnych. Profil stratygraficzny obejmował określenie i pomiary elementów pokrywy śnieżnej przyjętych wg międzynarodowych standardów stosowanych w tego typu pomiarach.

Miejsce wykonania pomiaru	m n.p.m.
Kasprowy Wierch	1991
Beskid	1946
Liliowe	1761
Hala Gąsienicowa	1520
Morskie Oko	1408
Bobrowiecka Przełęcz	1340

### 2.1. Typy pogody a stabilność pokrywy śnieżnej

Pokrywa śnieżna to dynamiczny, niestabilny system otwarty, jedno lub wielowarstwowy, złożony z wody, a także powietrza atmosferycznego i różnego rodzaju zanieczyszczeń, powstający przy ujemnych temperaturach powietrza w procesie odkładania się śniegu na powierzchni gruntu. Każda nowo powstała warstwa pokrywy śnieżnej podlega działaniu czynników meteorologicznych (czynniki zmienne), których intensywność jest modyfikowana przez czynniki niemeteorologiczne (czynniki stałe), m.in. wysokość n.p.m., ekspozycję, nachylenie, rzeźbę terenu, czy użytkowanie gruntu. Odkładanie się kolejnych opadów śniegu na wcześniej utworzonych warstwach doprowadza do wykształcenia się poziomów o różnicowanych właściwościach fizyko-chemicznych. Plastyczność i odmienność poszczególnych części profilu śnieżnego zależą od wielkości i właściwości kolejnych opadów śniegu oraz intensywności i czasu oddziaływania na nie czynników zewnętrznych.

Pokrywa śnieżna, która utworzyła się na płaszczyźnie płaskiej, nie pochyłej, jest w stanie równowagi. To znaczy, że siły zatrzymujące masy śniegu w miejscu równoważą siły ściągające masy śniegu w dół. Żeby powstała lawina śnieżna musi zostać zachwiana równowaga w pokrywie śnieżnej, która sprawia, że masy śniegu poruszają się z pewną prędkością po płaszczyźnie o większym bądź mniejszym nachyleniu pod wpływem własnego ciężaru.

Śnieżność zimy związana jest ze wzrostem częstości występowania cyrkulacji cyklonalnych i zmniejszeniem częstości cyrkulacji antycyklonalnych. Ustabilizowana, trwała pokrywa śnieżna o znacznej grubości, utworzona w wyższych wyso-

kościach n.p.m. wydaje się nie ulegać – przynajmniej nie w sposób gwałtowny – wpływom zjawisk synoptycznych czy też meteorologicznych, bowiem każdy z osobna rozpatrywany czynnik meteorologiczny wpływa na pokrywę śnieżną w sposób pośredni. Dopiero zespół zjawisk rozpatrywanych łącznie oddziałuje na pokrywę śnieżną w sposób bezpośredni. Inaczej wygląda sytuacja, gdy mamy do czynienia z pokrywą śnieżną o niewielkiej grubości, która pod wpływem poszczególnych czynników zachowuje się znacznie dynamiczniej aniżeli pokrywa śnieżna o znacznej grubości. Zatem cyrkulacja atmosfery wpływa na pokrywę śnieżną, a tym samym na aktywność lawinową, w sposób pośredni poprzez kształtowanie warunków radiacyjnych, termicznych i opadowych, które już w sposób bezpośredni wpływają na pokrywę śnieżną.

Określenie sytuacji synoptycznej sprzyjającej aktywności lawinowej oparto na rodzaju mas powietrza i typie cyrkulacji. W tym celu wykorzystano kalendarz typów cyrkulacji wg T. Niedźwiedzia, których kryterium decydującym był kierunek adwekcji mas powietrznych, a także rodzaj układu barycznego. Kalendarz zawiera jedenaście typów sytuacji synoptycznych. Analizę rozpoczęto od sezonu zimowego 1966/67, a zakończono na sezonie zimowym 20010/11. Okres ten wydaje się być wystarczającym dla zaobserwowania tendencji zmian czasowych analizowanych typów pogody, sprzyjających powstaniu lawin śnieżnych w Tatrach Polskich. Do określenia kierunku zmian czasowych wybrano również krótszy okres czasu (1997/98-2007/08). Analizie poddano dwa czynniki meteorologiczne – opady atmosferyczne i prędkość wiatru. Do zbadania wpływu czynnika opadowego na zmienność wieloletnią warunków sprzyjających i niesprzyjających aktywności lawinowej wzięto pod uwagę tylko jedną charakterystykę opadową – dobową sumę opadów atmosferycznych w dniach z pokrywą śnieżną.

Tab. 1. Typy pogody i ich kryteria

Typ pogody-kryterium podziału - Średni opad atmosferyczny [mm]		Typ pogody-kryterium podziału - Średnia zmiana dobowa pokrywy śnieżnej [cm/dobę]	
A <sub>1</sub> O	od 0 do <5	A <sub>1</sub> S	od 0 do <5
A <sub>2</sub> O	od 5 do <10	A <sub>2</sub> S	od 5 do <10
A <sub>3</sub> O	od 10 do <15	A <sub>3</sub> S	od 10 do <15
A <sub>4</sub> O	>15	A <sub>4</sub> S	>15
A	Dana sytuacja synoptyczna nie wystąpiła	A	Dana sytuacja synoptyczna nie wystąpiła

Typ pogody - kryterium podziału –średnia prędkość wiatru [m/s]	
A <sub>1</sub> W	od 0 do 2,5
A <sub>2</sub> W	od >2,5 do 5
A <sub>3</sub> W	od >5 do 7,5
A <sub>4</sub> W	>7,5
A	Dana sytuacja synoptyczna nie wystąpiła

Spośród analizowanych sezonów zimowych przeprowadzono badania tylko w dniach, w których pokrywa śnieżna wystąpiła w dłuższych okresach czasu. Określono po cztery typy pogody dla każdego czynnika. Kryterium decydującym o typie pogody były, obliczone z wielolecia, średnie wartości krytyczne parametrów meteorologicznych (opady atmosferyczne, prędkość wiatru), których przekroczenie na zwiększa ryzyko wyzwolenia lawiny śnieżnej. Zbadano również średnią

dobową zmianę pokrywy śnieżnej. Element ten, zestawiony z opadem atmosferycznym i prędkością wiatru, pomógł wyodrębnić typy pogody szczególnie sprzyjające aktywności lawinowej.

Opady śniegu powodują powstanie i przyrost pokrywy śnieżnej. Za krytyczną wartość grubości pokrywy śnieżnej, przy której mogą zejść lawiny przyjmuje się około 50 cm. Im więcej świeżego śniegu spadnie w krótszym okresie czasu, tym bardziej wzrasta zagrożenie lawinowe. Dochodzi bowiem wówczas do samostabilizacji pokrywy śnieżnej. Nagły przyrost nowej warstwy śniegu do wysokości około 25 cm jest sygnałem zagrożenia lawinowego. Przy długotrwałych i intensywnych opadach śniegu krytyczna wartość przyrostu świeżego śniegu wynosi do 5 cm/godz. Duże znaczenie dla zagrożeń lawinowych spowodowanych opadami śniegu ma stosunek przyrostu pokrywy śnieżnej do tempa jej osiadania. Wolniejszy przyrost powoduje prawidłowe wiązanie się kryształów śniegu i powstanie nowej warstwy na starym podkładzie. Zapewnia to pokrywie śnieżnej stan równowagi. Jeśli natomiast przyrost świeżej warstwy jest szybszy niż proces osiadania śniegu wówczas ma miejsce zachwianie równowagi.

Tab. 2. Typy pogody - opady atmosferyczne

okres 1966/67-2010/11

MPC	N+NEa	E+SEa	S+Swa	W+NWa	Ca+Ka	N+NEc	E+SEc	S+SWc	W+NWc	Bc+Cc	X
PA											
PPm											
PPms											
PPk											
PPmc											
PZ											
zmiennie											

okres 1996/97-2007/08

MPC	N+NEa	E+SEa	S+Swa	W+NWa	Ca+Ka	N+NEc	E+SEc	S+SWc	W+NWc	Bc+Cc	X
PA											
PPm											
PPms											
PPk											
PPmc											
PZ											
zmiennie											

Typ pogody A<sub>4</sub>O, zgodnie z przyjętym kryterium, uznany został w niniejszym opracowaniu za najbardziej wpływający na zwiększenie zagrożenia lawinowego pod względem opadowym. W typie pogody A<sub>4</sub>O wyróżniła się cyrkulacja północna, północno-wschodnia, cyklonalna (N+NEc). Osiągnięte średnie wartości przy tym typie cyrkulacji były najwyższe przy wszystkich rodzajach mas powietrza, oprócz przetransformowanego powietrza polarno-morskiego (PPmc) i powietrza zwrotnikowego (PZ), które to sytuacje nie wystąpiły w ciągu badanych sezonów zimowych (N+NEc + PPmc i N+NEc + PZ). W badanym wieloleciu częstość na-

plywu mas powietrza z północnego wschodu była mała. Jeśli jednak wystąpiły takie cyrkulacje to przynosiły ze sobą bardzo wilgotne powietrze, a tym samym duże opady atmosferyczne. Z punktu widzenia zagrożenia lawinowego cyrkulacja N+NEc była bardzo istotna zwłaszcza, że występowała każdej zimy na poziomie około 5% wszystkich dni z pokrywą śnieżną, przynosząc jej znaczny dobowy wzrost (średnio 9,4 cm na dobę przy masie powietrza arktycznego PA, i średnio 6,8 cm na dobę przy powietrzu polarno-kontynentalnym PPk). W krótszym okresie czasu (1996/97-2007/08), w stosunku do wielolecia (1966/67-2010/11) można zaobserwować, że cyrkulacja północna, północno-wschodnia, antycyklonalna (N+NEa) prezentuje większe wartości opadowe niż w okresie dłuższym. Nie przełożyło się to na zwiększenie częstości jej występowania. W krótszym okresie (1996/97-2007/08) zaobserwowano zwiększenie średnich wartości występujących przy napływie mas powietrza arktycznego (PA) i cyrkulacji z kierunków zachodniego i północno-zachodniego. Zestawiając powyższe wyniki z datami zejścia lawin zaobserwowano, że te sytuacje synoptyczne wpłynęły w sposób szczególny na aktywność lawinową w okresie nam współczesnym.

Tab. 3. Typy pogody – dobowa zmiana pokrywy śnieżnej okres 1966/67-2010/11

MPC	N+NEa	E+SEa	S+SWa	W+NWa	Ca+Ka	N+NEc	E+SEc	S+SWc	W+NWc	Bc+Cc	X
PA											
PPm											
PPms											
PPk											
PPmc											
PZ											
zmienne											

okres 1996/97-2007/08

MPC	N+NEa	E+SEa	S+SWa	W+NWa	Ca+Ka	N+NEc	E+SEc	S+SWc	W+NWc	Bc+Cc	X
PA											
PPm											
PPms											
PPk											
PPmc											
PZ											
zmienne											

Wiatr – głównie jego prędkość – w powiązaniu z warunkami terenowymi jest jednym z bardziej istotnych czynników sprzyjających powstawaniu lawin. Wywiewa i ubija śnieg na stokach dowietrznych, przenosi i prowadzi do osiadania śniegu na graniach (nawisy) i stokach zawietrznych (kliny, poduszki) oraz rozdrabnia i rozbija kryształki śniegu podczas ich transportu.

Badania wykazały, że występowanie dużych prędkości wiatru związane jest z genetycznie różnymi sytuacjami synoptycznymi:

- a. działalnością cyklonalną wyróżnionych podczas badań typów pogody, z którymi związane jest występowanie silnych wiatrów porywistych, a w trakcie których dochodzi do przenoszenia mas śniegu z miejsc wypukłych i akumulowania ich na przykład w miejscach wklęsłych.
- b. utworzeniem się w rejonach górskich zaburzeń w ogólnej cyrkulacji atmosfery spowodowanych barierą orograficzną gór i stwarzających dogodną sytuację do powstania ciepłego, suchego, silnego i porywistego wiatru spadającego w dół – wiatru halnego – z maksimum występowania w sezonie zimowo-wiosennym.

Analiza 44-letnich serii danych (1966/67-2010/11) wykazała, że wiatr o wartości krytycznej – biorąc pod uwagę zagrożenie lawinowe – związany jest głównie z wystąpieniem dwóch typów cyrkulacji atmosfery: południowej i południowo-zachodniej (S+SWc, S+Swa) oraz zachodniej i północno-zachodniej (W+NWc, W+NWa). Podobna sytuacja ma miejsce w krótszym przedziale czasu chociaż wymienione wcześniej cyrkulacje, zwłaszcza antycyklonalne, nieco zmniejszyły swoje średnie wartości, zwłaszcza przy cyrkulacji antycyklonalnej z kierunku południowego i południowo-zachodniego (S+Swa).

Tab. 4. Typy pogody – wiatr

okres 1966/67-2010/11

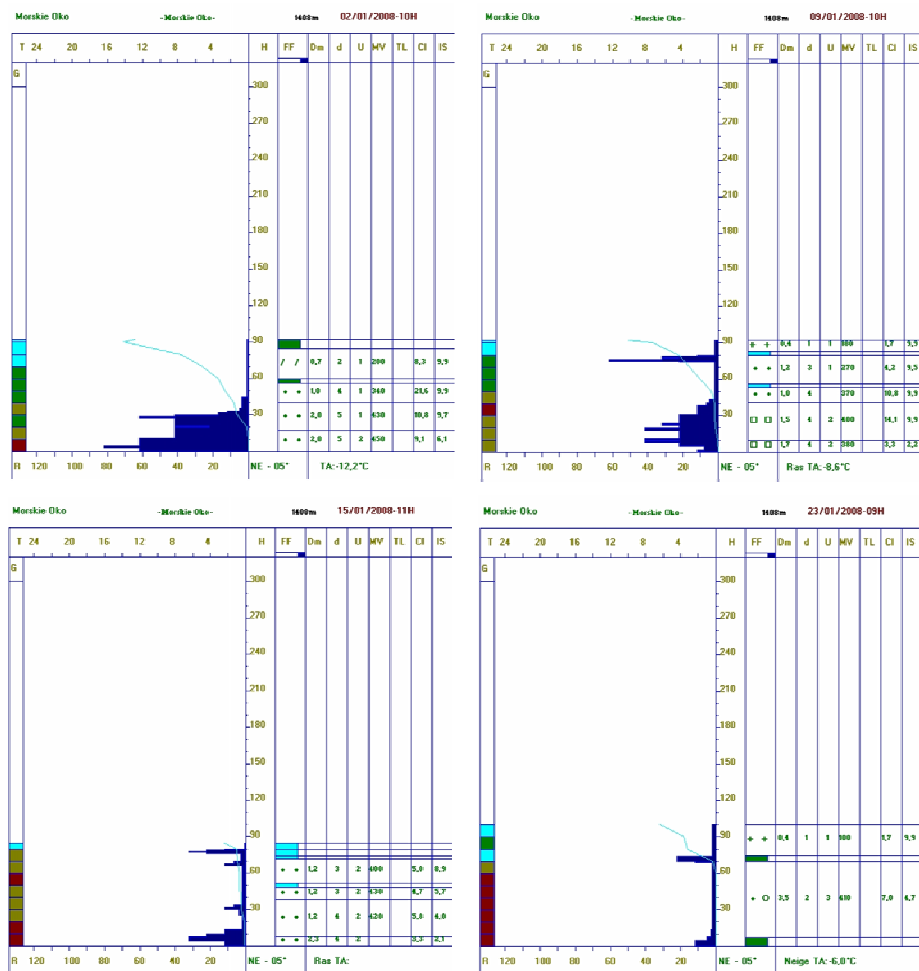
MPC	N+NEa	E+SEa	S+SWa	W+NWa	Ca+Ka	N+NEc	E+SEc	S+SWc	W+NWc	Bc+Cc	X
PA											
PPm											
PPms											
PPk											
PPmc											
PZ											
zmienne											

1996/97-2007/0

MPC	N+NEa	E+SEa	S+SWa	W+NWa	Ca+Ka	N+NEc	E+SEc	S+SWc	W+NWc	Bc+Cc	X
PA											
PPm											
PPms											
PPk											
PPmc											
PZ											
zmienne											

Jak już wspomniano każda nowo powstała warstwa pokrywy śnieżnej poddawana jest działaniu czynników meteorologicznych, które są zmienne, i których intensywność jest modyfikowana przez czynniki niemeteorologiczne, jak wysokość n.p.m., ekspozycję, nachylenie, itd. Tak naprawdę trudno jest określić jedną przyczynę wyzwolenia lawiny. Nawet, gdy połączenie między warstwami wykazuje bardzo dobrą spójność to wpływ czasu i zmieniające się warunki, którym podlega

pokrywa śnieżna powodują wewnętrzne przekształcenia, mogące osłabić stabilność tych warstw. Zawsze dominuje jeden z typów sił – te, które zatrzymują śnieg na stoku, lub te, które wprawiają go w ruch. Poniżej przedstawiono przykłady profilu śnieżnego wykonanego w styczniu, czterokrotnie co 7 dni (od 2 do 23.01.2008 r.), w rejonie Morskiego Oka na wysokości 1408 m n.p.m.



Rys. 1. Szczegółowe profile pokrywy śnieżnej – Morskie Oko, 1408 m n.p.m.

Kształty profili śnieżnych (rys. 1) wskazują, że pokrywa śnieżna była niestabilna i istniało realne ryzyko wyzwolenia lawin. Zwłaszcza w drugiej połowie miesiąca, ryzyko było bardzo duże. Jednak lawiny w tym rejonie nie schodziły. W sumie w styczniu 2008 r., w Tatrach, lawin polskich było bardzo mało – zaobserwowano tylko dwie!

W tab. 5 przedstawiono wyniki badań nad lawinami śnieżnymi – ich datami zejścia. Badaniu poddano 120 przypadków lawin, których data obserwacji lawiny była w tym samym dniu, w którym zeszała.



Na specjalną uwagę zasługuje cyrkulacja z kierunków zachodniego i północno-zachodniego oraz z kierunków południowego i południowo-zachodniego, (W+NWa, W+NWc i S+SWa, S+SWc). W sumie stanowiły one 60% badanych przypadków zejścia lawin śnieżnych w Tatrach polskich (S+SWa i S+SWc – 30%, oraz W+NWc i W+NWa – 30%). Największa liczba lawin wystąpiła przy cyrkulacji z kierunków południowego i południowo-zachodniego oraz napływie przetransformowanego powietrza polarno-morskiego (S+SWc i PPms – 22 przypadki zejścia lawin), co daje 19% wszystkich lawin poddanych badaniu. Należy również zaznaczyć, że w różnych fazach występowania pokrywy śnieżnej – jej tworzenia, trwania i zaniku – dominuje inny czynnik, który powoduje wyzwolenie lawiny. I tak, podczas tworzenia się pokrywy śnieżnej będzie dominował czynnik opadu śnieżnego, który zazwyczaj przynosi cyrkulacja z kierunku zachodniego, a wiosną uaktywniał się będzie czynnik solarny, który gwarantuje centrum wyżu (Ca+Ka). Przy tym typie cyrkulacji (Ca+Ka) wiosną wystąpiło aż 17% badanych przypadków lawin.

Tab. 5. Liczba lawin śnieżnych w Tatrach Polskich w określonych typach cyrkulacji

Rodzaje mas powietrza	Antycyklonalne					Cyklonalne					X
	N+NEa	E+SEa	S+SWa	W+NWa	Ca+Ka	N+NEc	E+SEc	S+SWc	W+NWc	Bc+Cc	
PA	1			5		2					
PPm					7	1			9	2	
PPms		1	1	1	9	2	2	22	12	11	1
PPk	2	1	3	1	4		2	4			
PPmc			1					2	2		
PZ											
Zmienne									3	4	

Powyższa analiza przypadków lawin w określonym typie pogody oraz kształtu profilu pokrywy śnieżnej doprowadziła do następujących wniosków:

- Większa liczba przypadków lawin śnieżnych obserwowanych była podczas słonecznej, wczesnowiosennej pory roku.
- Informacje o zaobserwowanych lawinach często pochodziły z tzw. miejsc „poza szlakiem”, co wskazuje na zwiększoną zimową aktywność „freeraidową”. Osoby poruszające się poza wyznaczonymi szlakami są bardziej narażone na przypadkowe wyzwolenie lawiny.
- Zaobserwowano, że przy małych grubościach pokrywy śnieżnej przyczyną wyzwolenia lawiny prawie zawsze jest człowiek.

Analizie poddano również częstość występowania typów cyrkulacji i kształtów profili śnieżnych, które uznano za jedną z charakterystyk stabilności pokrywy śnieżnej. Wykazała ona, że cyrkulacja z kierunków zachodniego i północno-zachodniego (W+NWc i W+NWa) bardziej niż inne cyrkulacje wpływa na pogorszenie stabilności pokrywy śnieżnej. Przy tej właśnie cyrkulacji zaobserwowano występowanie profili śnieżnych, których stabilność z dużym prawdopodobieństwem może być uznana za zagrożoną, a skutkiem może być wyzwolenie lawiny.

Zauważono również, że cyrkulacja ta ma większy wpływ na pogorszenie stabilności pokrywy śnieżnej w wyższych wysokościach n.p.m. niż w niższych. Kolejną cyrkulacją, którą można uznać za wpływającą niekorzystnie na stabilność pokrywy śnieżnej jest bruzda cyklonalna (Bc+Cc).

Podobną analizę przeprowadzono dla określonych przedziałów grubości pokrywy śnieżnej ( $>30 \leq 60$ ;  $>60 \leq 90$ ;  $>90 \leq 120$ ;  $>120 \leq 150$ ;  $>150$ ) oraz kształtu profilu śnieżnego i częstości występowania typów cyrkulacji. W przedziale  $>30 \leq 60$  cm grubości pokrywy śnieżnej, czyli w fazie formowania się pokrywy śnieżnej, pogorszenie jej stabilności zaobserwowano przy bruzdzie cyklonalnej (Bc+Cc). W kolejnym przedziale grubości pokrywy śnieżnej  $>60 \leq 90$  cm niestabilną i słabo stabilną pokrywą śnieżną zaobserwowano przy cyrkulacji z kierunków zachodniego i północno-zachodniego cyklonalnego (W+NWc) oraz bruzdy cyklonalnej (Bc+Cc). Słabą stabilność w tym przedziale zaobserwowano również przy cyrkulacji z kierunków południowego i południowo-zachodniego (S+SWa). W przedziale  $>90 \leq 120$  cm w centrum wyżu (Ca+Ka) wystąpiły profile charakteryzujące się słabo stabilną pokrywą śnieżną. W przedziałach  $>120 \leq 150$  cm i  $>150$  cm niekorzystnie na stabilność pokrywy śnieżnej wpłynęły: cyrkulacja z kierunków zachodniego i północno-zachodniego (W+NWc i W+NWa) oraz cyrkulacja z kierunków wschodniego i południowo-wschodniego (E+SEa i E+SEc).

Niewątpliwie należy zaznaczyć, że badania były prowadzone na stosunkowo krótkiej serii danych (z 5 sezonów zimowych) dlatego wnioski w tym zakresie powinny być uznane za wstępne i dające wskazówkę do kontynuacji badań.

Powyższe wnioski skłoniły do opracowania mapy i określenia obszarów niebezpiecznych ze względu na występowanie na nich lawin śnieżnych. Na przykładzie dwóch sezonów zimowych, w których aktywność lawinowa była na poziomie umiarkowanym określono fragmenty zimowych szlaków turystycznych o podwyższonym ryzyku oraz obszary niebezpieczne.

## **2.2. Mapy potencjalnego zagrożenia lawinowego**

Wydzielenie obszarów potencjalnej aktywności lawinowej było możliwe również dzięki danym o lawinach zeszłych na obszarze polskich Tatr, zgromadzonym w opracowanym *Katalogu lawin*. Katalog ten, w zamierzeniu, ma obejmować jak najpełniejsze dane nie tylko o lawinach zaobserwowanych od 2005 roku, kiedy to IMGW zorganizował sieć obserwacyjną i system przekazywania informacji o lawinie, ale także informacje historyczne o lawinach zeszłych od roku 1937.

Zgodnie ze standardami obowiązującymi w krajach alpejskich system monitoringu powinien spełniać trzy podstawowe warunki wiarygodność (pełne zaufanie do otrzymanych informacji), poprawność (informacje poprawne merytorycznie) oraz systematyczność (regularność w otrzymywaniu informacji i danych). Informacje w katalogu pochodzą z obserwacji głównie pracowników Tatrzańskiego Parku Narodowego, przewodników górskich oraz, w niewielkim stopniu, przez ratowników TOPR. Otrzymane z terenu meldunki poddawane były weryfikacji i analizie tak, aby baza danych zawierała wyłącznie rzetelne informacje. Szczegół-

ny nacisk położono na datę zejścia lawiny oraz odtworzenie – możliwie jak najdokładniej – toru lawinowego. Charakterystyki i klasyfikację lawin zeszlých opracowuje się według międzynarodowych kryteriów stosowanych we wszystkich krajach europejskich, a zatwierdzonych przez międzynarodową organizację śniegu i lawin ANENA (Association Nationale pour l'Etude de la Neige et des Aualanches). Informacje zawarte w katalogu zasilają równocześnie bazę GIS.

Podczas prac podjęto także próbę dotarcia do jak największej ilości danych archiwalnych, spełniających postawione wymagania.

Pierwsze sporadyczne wzmianki o lawinach z obszaru Tatr Polskich można już odnaleźć w źródłach historycznych z drugiej połowy XIX wieku (*Kronika parafii zakopiańskiej* ks. J. Stolarczyka). Są one jednak – z oczywistych powodów – szcążkowe i nie zawierają pełnego opisu zarówno lawiny, jak i nawet dokładniejszej lokalizacji miejsca jej wystąpienia. W literaturze z początku XX wieku (Zaruski, Karłowicz) pojawiają się już bardziej szczegółowe informacje o zaobserwowanych przez turystów lawinach. Są one niestety fragmentaryczne i mało dokładne. W 1906 r. powstaje Tatrzański Ochotnicze Pogotowie Ratunkowe, które prowadzi Księgę Wypraw ratunkowych, zawierającą regularny i pełny spis wypadków lawinowych. Informacje te dotyczą jednak wyłącznie lawin, po których konieczna była interwencja Pogotowia Górskiego.

Niestety, poza sporadycznymi przypadkami z lat 60-tych i 70-tych ubiegłego wieku, gdy regularne obserwacje lawinowe były prowadzone przez Stację Badań Niwalnych IMGW na Hali Gąsienicowej, aż do 2005 r. nie istnieje inne, wystarczająco wiarygodne i kompletne źródło informacji o lawinach, które nie spowodowały ofiar w ludziach.

Ze względu na niepełne informacje dotyczące lawin „historycznych” zdecydowano się zawęzić wymaganą ilość danych niezbędnych do wiarygodnego zarejestrowania lawiny w katalogu. Przyjęto, że są to informacje o dacie zaobserwowania lawiny i miejscu zejścia lawiny. Natomiast pełny opis lawiny zawiera:

- kolejny numer lawiny,
- datę obserwacji,
- rodzaj lawiny,
- miejsce zejścia lawiny,
- przyczynę zejścia,
- ekspozycję stoku,
- nachylenie stoku,
- długość toru,
- szerokość toru,
- grubość czoła lawiny,
- wysokość w (m n.p.m.) na której wystąpił obryw,
- ilość osób zaspanych i rodzaj obrażeń,
- szkody materialne,
- dokumentację fotograficzną.



Rys. 2. Przykłady stron z Katalogu Lawin

Regularne obserwacje schodzenia lawin i ich ewidencja mają istotne znaczenie przy wyznaczaniu zarówno torów lawinowych, jak i obszarów aktywnych lawinowo. Są też elementami umożliwiającymi bieżącą weryfikację prognoz stopnia zagrożenia lawinowego.

### 2.3 Adaptacja zespołu modeli numerycznych SCM

Specjalistycznym, zaawansowanym technicznie i merytorycznie narzędziem do wykonania prognozy stopnia zagrożenia lawinowego jest zespół francuskich modeli numerycznych Safran-Crocus-Mepra (SCM). Biorąc pod uwagę stopień złożoności zagadnienia oraz w kontekście braku wcześniejszych doświadczeń związanych z wdrożeniem narzędzia typu Crocus w Polsce, w ramach prac wstępnych nieodzowne było szczegółowe zapoznanie się z podstawami fizycznymi działania modelu.

Kolejnym etapem było uruchomienie modelu na danych testowych, pochodzących z obserwacji meteorologicznych z SPM Hala Gąsienicowa. Dane pomiarowe pozyskane wg standardów pomiarów i obserwacji polskiej sieci należało dostosować do wymagań wejściowych modelu Crocus (dookreślenie zakresu znaczeniowego pól zasilających model, a następnie zapisanie ich do formatu pliku wejściowego).

Dla potrzeb analizy poprawności działania modelu wykonano pomiary referencyjnych profili pokrywy śnieżnej, które następnie porównano z wynikami obliczeń modelu Crocus.

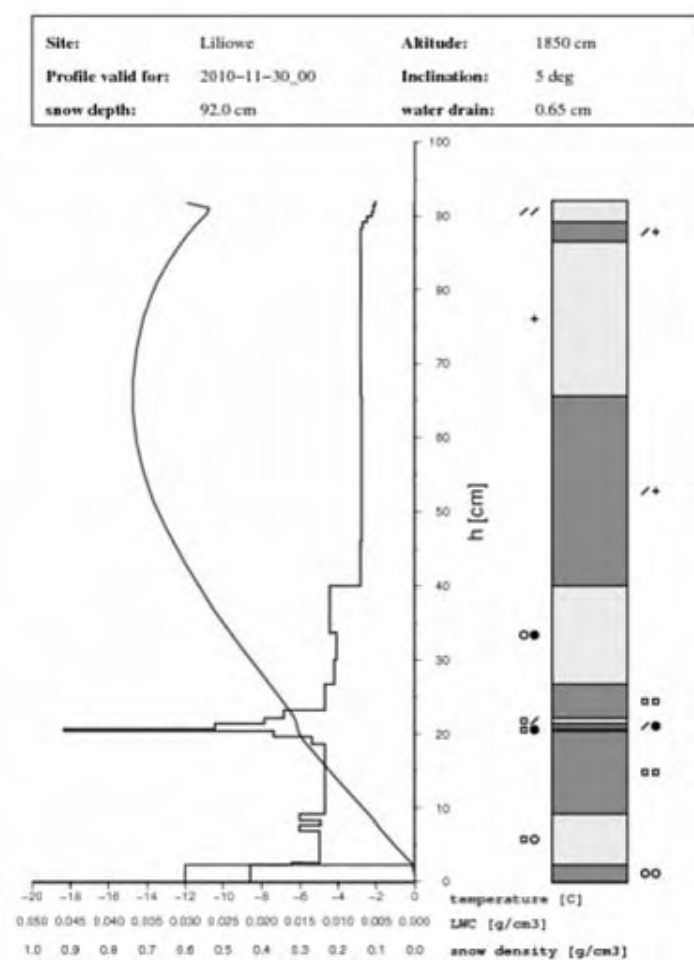
Przeprowadzone prace testowe dla sezonu zimowego 2008/2009 wykazały wysoki stopień poprawności działania modelu CrocusPC, co zgodnie z zaleceniami twórców z CEN Meteo France stanowiło element wstępny dla wdrożenia modelu w wersji UNIX.

Na wstępie, w ramach prac wdrożeniowych, dokonano sprawdzenia dostępności wymaganych przez SCM formatów z modelu Aladin – w oparciu o dokumentację modelu Crocus. Jednoznacznie zdefiniowano wymagane pola z danymi wejściowymi, a następnie sprecyzowano charakterystyki udostępniania i archiwizacji danych pochodzących z prognozy pogody modelu Aladin. W kolejnym etapie przeprowadzono prace programistyczne (stworzenie systemu skryptów w języku

Pearl), niezbędne dla konwersji formatów uzyskiwanych z polskiej instalacji modelu Aladin do formatu wymaganego przez model Crocus-UNIX.

Dalszym krokiem było zaprojektowanie oraz zaprogramowanie środowiska uruchomieniowo-archiwizującego dla quasi operacyjnej (tj. uruchamianej automatycznie) instalacji modelu. Ostatnim etapem wdrożenia było stworzenie wizualizacji wyników, czego dokonano w oparciu o system skryptów w języku GMT.

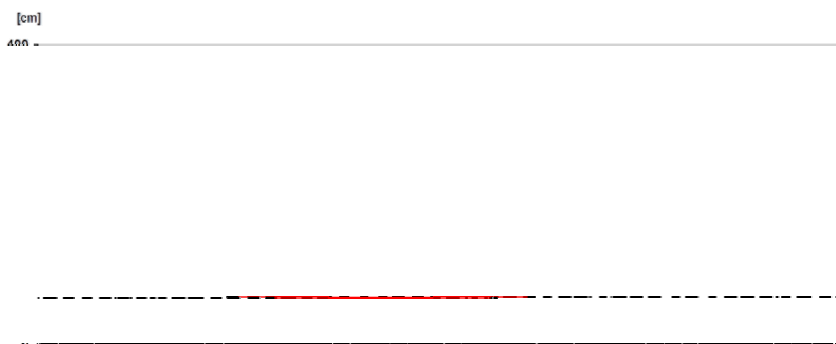
Aktualnie, implementacja modelu Crocus zrealizowana jest w trybie quasi operacyjnym – automatyczne uruchomienie 2 razy na dobę, z wynikiem w postaci 12 h prognozy parametrów w profilu pokrywy śnieżnej (temperatura, gęstość, zawartość wody ciekłej, typ ziarna dla poszczególnych warstw), z codziennym raportem wyjściowym w postaci plików graficznych i tekstowych – dla lokalizacji w pobliżu przełęczy Liliowe w Tatrach Polskich. Przykładowe wyniki obliczeń modelu przedstawia rys. 3.



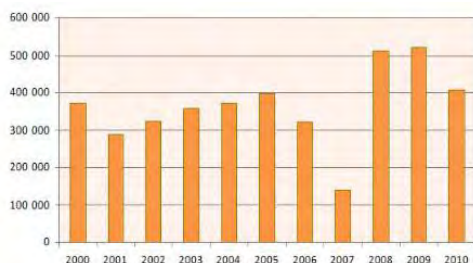
Rys. 3. Wykres profilu stratygraficznego obliczonego przez model SCM

### 3. Wnioski dotyczące zagrożenia lawinowego w perspektywie najbliższych lat

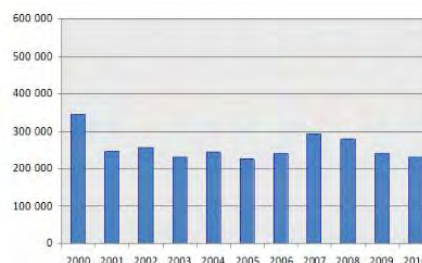
Na podstawie zgromadzonych danych i wykonanych na ich podstawie analiz trudno jest sformułować jednoznaczne wnioski dotyczące tendencji „wzrostu lub spadku zagrożenia lawinowego w górach”, a tym samym bezpieczeństwa osób w nich przebywających. Z przedstawionego poniżej (rys. 4) wieloletniego przebiegu wysokości pokrywy śnieżnej dla Kasprowego Wierchu wynika, iż generalnie nie obserwuje się znaczącego zaniku pokrywy śnieżnej. Obserwowane są jedynie przesunięcia w czasie jej występowania w obrębie sezonu. Tak więc realne zagrożenie lawinami śnieżnymi istnieje.



Rys. 4. Przebieg wysokości pokrywy śnieżnej w latach 1966 -2010 dla Kasprowego Wierchu



Rys. 5. Liczba sprzedanych biletów „w górę” przez PKL w latach 2000-2010

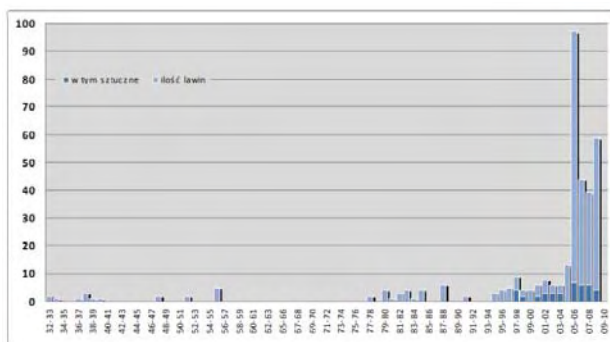


Rys. 6. Liczba sprzedanych biletów do TPN w latach 2000-2010

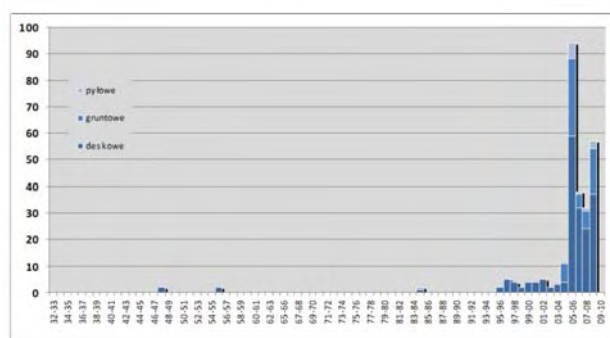
Rozpatrując powyższe zagadnienie dla Tatr Polskich należy mieć na uwadze, iż cały ich obszar znajduje się w granicach parku narodowego. Zagrożone są więc przede wszystkim osoby odwiedzające i pracujące w parku (głównie narciarze, turyści, taternicy itp.) oraz w mniejszym stopniu infrastruktura narciarska (trasy narciarskie, wyciągi, pojedyncze budynki).

Dane dotyczące wielkości sprzedaży biletów do TPN oraz wyjazdów kolejką „w górę” (co przyjęto z powodu braku innych badań, jako wyjazd turystyczno-sportowy) wskazują na utrzymywanie się poziomu osiągniętego w latach 2007

i 2008. Niewielka liczba wyjazdów kolejką w roku 2007 spowodowana była modernizacją kolejki (rys. 5-6).

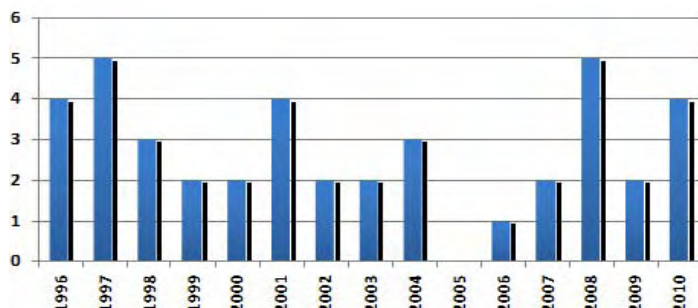


Rys. 7. Liczba lawin zaobserwowanych w Tatrach Polskich w latach 1932-2010



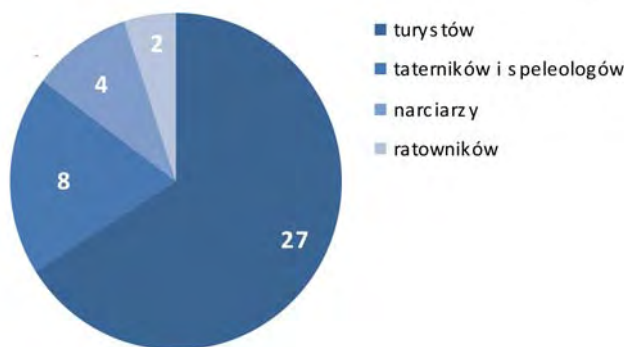
Rys. 8. Liczba lawin w Tatrach Polskich wg typów w latach 1932-2010

Analizując liczbę lawin w poszczególnych latach (rys. 7 i 8) należy zwrócić uwagę na wzrost liczby lawin wywołanych sztucznie, począwszy od sezonu 1997/1998. Koniec lat 90. charakteryzował się wzrostem zainteresowania snowboardem oraz rosnącą popularnością narciarstwa „freeride”. Miłośnicy zjazdów po świeżo spadłym śniegu zwiększają zasięg faktycznego użytkowania terenów narciarskich (dla turystyki narciarskiej udostępniono wszystkie szlaki turystyczne i narciarskie z wyjątkiem niektórych fragmentów zamykanych z przyczyn przyrodniczych), a w niesprzyjających warunkach meteorologicznych i przy mało stabilnej pokrywie śnieżnej często powodują wyzwolenie lawiny.

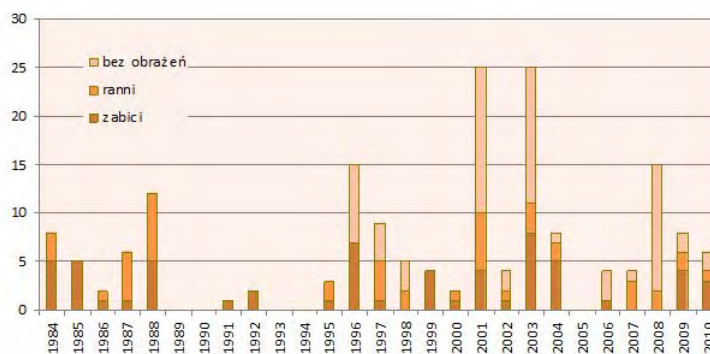


Rys. 9. Liczba wypadków lawinowych w sezonach (dane TOPR)

W latach 1996-2010 według statystyk TOPR miało miejsce 41 wypadków lawinowych. Rozkład liczby wypadków nie przedstawia wyraźnej prawidłowości lub tendencji. Porwanych przez lawiny zostało 133 osoby. 39 osób poniosło śmierć, rany odniosło 27 osób, natomiast 67 osób nie odniosło obrażeń. 27 lawin spowodowali turyści, 8 – taternicy i speleolodzy, 4 – narciarze. Największa liczba wypadków wystąpiła przy obowiązującym drugim stopniu zagrożenia lawinowego (22) oraz trzecim stopniu zagrożenia lawinowego (13). Przy najniższym, pierwszym stopniu zanotowano 6 wypadków lawinowych, a przy czwartym i piątym stopniu nie zanotowano ich w ogóle. Wydaje się, że taki rozkład można tłumaczyć tym, iż drugi stopień zagrożenia lawinowego przez większość zwykłych turystów odbierany jest jako stopień w miarę bezpieczny. W rzeczywistości tak niestety nie jest, drugi stopień wprowadza bowiem szereg ograniczeń. Po jego ogłoszeniu użytkownicy gór powinni brać pod uwagę szereg czynników przy planowaniu wycieczek, m.in. to czy posiadają odpowiedni zakres wiedzy o lawinach.



Rys. 10. Liczba wypadków lawinowych (1996-2010) spowodowanych przez poszczególne grupy

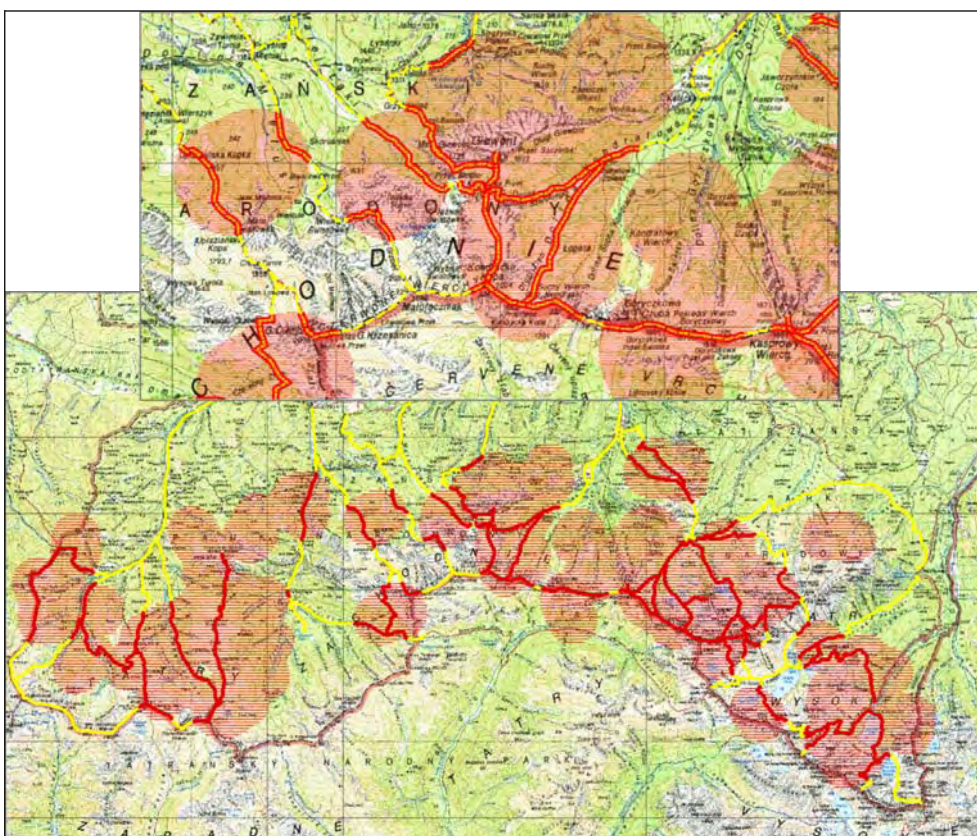


Rys. 11. Liczba ofiar wypadków lawinowych (dane TOPR)

Analiza map obszarów wystąpienia potencjalnego zagrożenia lawinowego (rys. 12) wskazuje, iż teren ten powiększa się w stosunku do lat ubiegłych, a lawiny śnieżne w ostatnim czasie pojawiają się w miejscach ,w których wcześniej nie występowały. Oznacza to, iż tereny uważane dotąd za obszary bezpieczne wcale



takimi nie są i należy to mieć na uwadze podczas pobytu w górach. Najbardziej znamienym tego przykładem – oprócz kilku innych o mniejszym wydźwignięciu – jest przykład lawiny która zeszła w dniu 25.03.2009 r. z Uhrocia Kasprowego (rys. 13, 14)



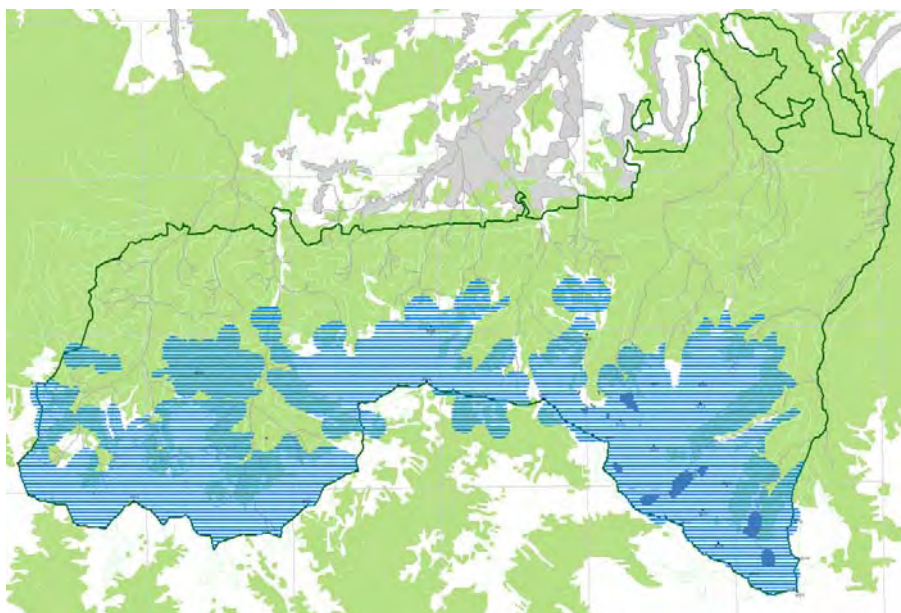
Rys. 12. Mapa obszarów podwyższonego ryzyka (rejon Kasprowego Wierchu w powiększeniu)



Rys. 13. Zasypana przez lawinę „Betlejemka”

Rys. 14. Linia obrywu lawiny z Uhrocia Kasprowego

Była to lawina deskowa o grubości czoła 200 cm i szerokości toru 1200 m. Przyczyną jej wystąpienia były potężne nawisy śnieżne na grani ze śniegu odkładanego przez długotrwałe, silne wiatry z kierunku północnego. Lawina zeszła po podłożu pokrytym kosówką, zasypując i wybijając okno w tzw. „Betlejemce” oraz łamiąc kilkanaście drzew na Hali Gąsienicowej. Osobom w niej przebywającym na szczęście nic się nie stało. W dostępnych materiałach i zapisach dotyczących występowania lawin w Tatrach brak jest jakiegokolwiek informacji o wystąpieniu lawiny w tym miejscu. Faktu takiego nie pamiętają również osoby przez wiele lat z tym terenem związane.



Rys. 15. Mapa obszarów potencjalnej aktywności lawinowej w latach 2005-2011

#### **4. Wnioski i propozycje dotyczące praktycznego wykorzystania wyników badań**

- Cotygodniowe, szczegółowe pomiary pokrywy śnieżnej wraz z danymi meteorologicznymi wykorzystywane są do analizy stabilności pokrywy śnieżnej, a wyniki przedstawiane są w Tygodniowym Biuletynie Śniegowym na stronie internetowej IMGW ([www.pogodynka.pl/biuroprasowe/biuletyn-sniegowy](http://www.pogodynka.pl/biuroprasowe/biuletyn-sniegowy)).
- Na podstawie analiz pokrywy śnieżnej i prowadzonej ewidencji lawin zaobserwowanych stopień zagrożenia lawinowego należy prognozować osobno dla Tatr Zachodnich i dla Tatr Wysokich, jak również w piętrach hipsometrycznych.
- Prace nad mapami obszaru zagrożenia lawinowego oraz katalog lawin ze szczyłach powinny być kontynuowane ze względu na zmieniający się obszar objęty zagrożeniem.

- Adaptacja i uruchomienie francuskich modeli numerycznych Safran-Crocus-Mepa pozwoli na dokładniejszą prognozę zagrożenia lawinowego w obszarach górskich, jak również bieżące śledzenie ewolucji pokrywy śnieżnej.
- Edukację w zakresie zagrożenia lawinowego należy rozpowszechniać nie tylko wśród osób dorosłych, ale także wśród dzieci młodszych. Konieczne jest opracowanie ulotki, podręcznika, który pozwoli przyswoić tą trudną wiedzę. Opracowania powinny być dostosowane do poziomu wiekowego osób, do których wiedza będzie kierowana.

# **Wezbrania sztormowe – geneza, tendencje i skutki działania w strefie brzegowej Bałtyku**

*Marzenna Sztobryn, Beata Kowalska, Ida Stanisławczyk,  
Katarzyna Krzysztofik*

## **1. Wprowadzenie**

Zmiany klimatyczne są jednym z ważniejszych problemów środowiskowych, społecznych i gospodarczych. Efektem tych zmian jest występowanie ekstremalnych zdarzeń hydrologiczno-meteorologicznych, do których zaliczmy powodzie sztormowe. Wezbrania sztormowe są generowane wiatrami dolądowymi (w warunkach polskich z sektora północnego), jednakże ich intensywność zależy również od stopnia napelnienia Bałtyku i batymetrii poszczególnych odcinków.

Wezbrania sztormowe powodują zniszczenia w strefie brzegowej zarówno na plażach, jak i na wybrzeżach klifowych oraz utrudniają prace w portach. Zauważalny w ostatnich 25 latach wzrost wezbrań sztormowych na południowym Bałtyku oraz przewidywane zmiany (wzrost liczby sztormów i średniego poziomu morza) świadczą o zwiększającym się zagrożeniu tymi zjawiskami. Konieczne jest opracowanie strategii minimalizującej potencjalne, negatywne skutki jakie mogą spowodować procesy klimatyczne, tak w skali regionalnej, jak i lokalnej.

## **2. Cel pracy**

Celem pracy była analiza genezy i skutków oddziaływania wezbrań sztormowych oraz tendencje ich występowania pod kątem zagrożenia dla brzegów klifowych. Jako odcinek testowy został wybrany klif na wyspie Wolin, ze względu na jego położenie na terenie parku narodowego (minimalizacja oddziaływań antropogenicznych) oraz bliskość stacji hydrologiczno-meteorologicznych w Świnoujściu, Szczecinie, Wolinie, Trzebieży oraz w Dziwnowie. Ponadto opracowano koncepcję włączenia wyników projektu KLIMAT do systemu wczesnego ostrzegania Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej.

## **3. Zakres prac**

Wykonane prace objęły: identyfikację i kryteria klasyfikacji wezbrań sztormowych oraz meteorologiczne przyczyny ich występowania (utworzono katalog najbardziej groźnych wezbrań sztormowych oraz przeanalizowano napelnienie

Bałtyku w ciągu ostatnich 53 lat); ze względu na fakt, że wezbrania sztormowe nie zawsze występują w tym samym czasie wzdłuż wybrzeża oraz ich dużą zależność od batymetrii wyprowadzono specjalnie dla potrzeb projektu współczynnik wezbraniowości [Stanisławczyk 2011], reprezentujący zarówno wysokość wezbrania, jak prędkość generującego wezbranie wiatru; określenie hydrologiczno-meteorologicznych uwarunkowań zniszczeń brzegów klifowych oraz analiza związków między zmianami morfologicznymi wybrzeża klifowego wyspy Wolin (roczne wartości cofania się klifu i ubytków w latach 1985-2009 – dane z opracowań UAM), a czynnikami hydrologicznymi i meteorologicznymi (IMGW); wytypowanie hydro-meteorologicznych czynników najbardziej zagrażających wybrzeżom klifowym, opracowanie koncepcji włączenia wyników prac do systemu wczesnego ostrzegania.

#### **4. Wezbrania sztormowe i ich geneza**

Bezpośrednią przyczyną powodzi sztormowych są wezbrania sztormowe, spowodowane silnymi wiatrami doładowymi. Pojawiają się one w pasie nadbrzeżnym Bałtyku, gdzie poza bezpośrednim zagrożeniem zalania brzegów powodują “wpychanie” wody w głąb rzek Przymorza i jezior przymorskich [Majewski, Dziadziuszko, Wiśniewska 1983, Sztobryn, Stigge i in. 2005]. W przypadku wybrzeża polskiego wiatry doładowe wieją z kierunku od północno-zachodniego poprzez północny do północno-wschodniego (z sektora północnego). Gdy sytuacja taka nakłada się na wysoki poziom morza, spowodowany dopływem wody z Morza Północnego (długotrwałe, silne wiatry z sektora zachodniego), mogą powstać bardzo wysokie, nawet ekstremalne wezbrania sztormowe.

Poziomy morza podczas wezbrania sztormowego przeważnie osiągają różne wartości wzdłuż całego wybrzeża, najczęściej spiętrzenie występuje tylko we wschodniej lub zachodniej części wybrzeża. Może wystąpić również przemieszczanie się wezbrania wzdłuż wybrzeża. Równoczesne podniesienie się poziomów morza wzdłuż całego wybrzeża jest spowodowane działaniem długotrwałych, silnych sztormów.

Wezbrania sztormowe na południowym wybrzeżu Bałtyku powstają najczęściej przy przechodzeniu ośrodka niżowego z układami frontów atmosferycznych. W przypadku wystąpienia układu niżowego o małym promieniu kierunku w polu wiatru towarzyszącemu takiemu niżowi mogą się w przedniej jego części różnić od kierunków na jego tyłach nawet o 180°. Tym samym, jeśli niż przemieszcza się wzdłuż określonego wybrzeża, to na jego obszarach, odległych od siebie o kilkadziesiąt do kilkuset kilometrów, mogą jednocześnie występować silne wiatry o przeciwnych kierunkach. Strefa zmiany kierunku wiatru, istotna dla zmiany (wzrostu lub spadku) poziomu wody, przemieszcza się wtedy na ogół wraz z ruchem ośrodka niżowego. Istotne znaczenie ma również prędkość przemieszczania się ośrodka niżowego [Stanisławczyk 2002].

Najbardziej niebezpieczne wezbrania były wynikiem przemieszczania się układu niskiego ciśnienia znad Morza Norweskiego poprzez Skandynawię i Morze Bałtyckie w kierunku południowo-wschodnim. Przejście układu powodowało

wzrost poziomu morza odpowiadający zmianie ciśnienia atmosferycznego, a także spiętrzenie wody powodowane przez wiatrowe tarcie powierzchniowe.

Wyróżnione zostały 3 typy sytuacji barycznych [Sztobryn M, Stigge i in. 2005], które towarzyszą wiatrom z sektora północnego:

- północny spływ powietrza o charakterze antycyklonalnym bądź cyklonalnym nad Skandynawią i Bałtykiem,
- aktywne układy niżowe, przemieszczające się przez centralny i południowy obszar Bałtyku w przybliżeniu z zachodu na wschód,
- sztormy z sektora wschodniego (od wschodniego do północno-wschodniego), powodujące silne spiętrzenia wody głównie na południowo-zachodnim wybrzeżu Bałtyku.

Najczęściej spotykaną kategorią sytuacji barycznych, powodujących najwyższe spiętrzenia (około 40%) były aktywne układy niżowe przemieszczające się przeważnie z północnego-zachodu na południowy wschód, po których przejściu nad południowymi obszarami Bałtyku ustalał się północny spływ powietrza o sile sztormu z sektora NW do NE [Stanisławczyk 2002, Sztobryn M, Stigge i in. 2005]. Niżej te tworzyły się nad północną Skandynawią lub przyległymi morzami – czasem przybywały nawet z rejonu Islandii. Po przejściu przez góry regenerowały się i najczęściej obierały drogę na południowy wschód: przez Półwysep Skandynawski, Bałtyk lub wzdłuż jego wschodnich wybrzeży ku równinom rosyjskim. Sztormy takie wystąpiły m.in. w XII 1976 r., XI 1988 r. oraz I i XI 1995 r.

Kolejna grupa sytuacji barycznych, które powodują silne spiętrzenia wód u południowych i południowo-wschodnich wybrzeży Bałtyku obejmuje przypadki, kiedy sztormowy ośrodek niżowy przemieszcza się przez Bałtyk z zachodu na wschód, a czasem na koniec skręca na północny-wschód. To, w której (doładowej czy odlądowej) części sztormowego pola wiatru takiego układu barycznego znajduje się określona część południowego wybrzeża zależy w dużej mierze od trasy samego ośrodka niżowego. Może ona bowiem prowadzić przez południową Szwecję i dalej przez Bałtyk, czyli na północ od równoleżnikowej osi akwenu nad samym morzem, nie schodząc jednak na wybrzeża południowe. Może też przebiegać nad lądem, w przybliżeniu równoległe do wybrzeży południowych. Ośrodkiem takim towarzyszy na ogół układ frontów, modyfikujący regularny rozkład pola wiatru wokół nich. Efekt przejścia większości takich układów uwidoczni się wzdłuż wybrzeża jako zaburzenie poziomu morza – najpierw jego spadek, a potem wzrost, przemieszczające się z zachodu ku wschodowi. Długość zaś czasu trwania i natężenia poszczególnych faz spiętrzeń zależy głównie od trasy niżu względem akwenu – północnej, centralnej lub południowej. Około 55% silnych wezbrań spowodowały sztormy wywołane przez przejście niżu z zachodu na wschód, ale nad południową częścią Bałtyku.

Trzecią grupą sytuacji barycznych, których pole wiatru może generować silne spiętrzenie wody u południowych, a zwłaszcza południowo-zachodnich wybrzeży są układy wyżowe sięgające znad Rosji nad Skandynawię tak, że nad Bałtykiem i Skandynawią ustala się intensywny wschodni spływ powietrza. Przy podchodzą-

cych od południa układach niżowych gradient nad obszarem Bałtyku okresami bardzo się zacieśnia, powodując wzrost E lub NE wiatru do siły sztormu. Przy dłuższym (2-3 dniowym) utrzymywaniu się zbliżonych warunków reakcją jest stopniowy, ale silny wzrost poziomów morza w najbardziej zachodniej części południowego wybrzeża, np. Zatoce Meklemburskiej, której częścią jest Zatoka Wiśmarska. Sytuacje takie stanowią jedynie 5% wszystkich wezbrań.

Tab. 1. Katalog wezbrań sztormowych (10 najwyższych wezbrań sztormowych)

HEL					
Lp.	rok	miesiąc	dni		Max (cm)
			od	do	
1	1983	1	17	20	620
2	1992	1	17	20	616
3	1981	11	2		615
4	1962	2	17	18	607
5	2007	1	18	25	607
6	1988	11	29	30	606
7	1983	1	29	30	605
8	2004	11	23	24	605
9	1964	11	25		604
10	1976	1	11	15	604

USTKA					
Lp.	rok	miesiąc	dni		Max (cm)
			od	do	
1	2004	11	23	24	636
2	1983	1	19	20	635
3	2006	11	1	2	628
4	1992	1	17		625
5	1988	11	29	30	624
6	1976	1	3		622
7	1962	2	17	18	621
8	1995	4	8		620
9	2002	1	2		620
10	1955	11	24	25	619

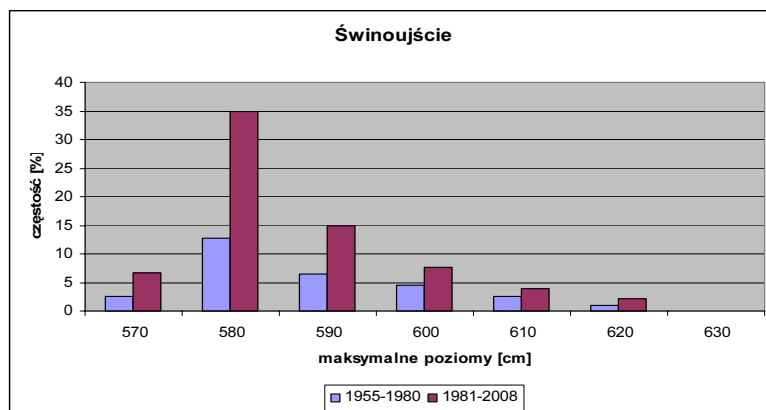
ŚWINOUJŚCIE					
Lp.	rok	miesiąc	dni		Max (cm)
			od	do	
1	1995	11	3	4	669
2	2002	2	21		648
3	1993	2	20	22	641
4	1968	1	11	12	639
5	1976	1	3	4	628
6	2007	1	19	25	628
7	1983	1	19	20	623
8	2006	11	1	2	622
9	1988	11	29	30	621
10	1983	2	2		620

W prezentowanej pracy, obejmującej 3 akweny – Świnoujście (zachodnie wybrzeże), Ustka (wybrzeże środkowe) oraz Hel (wybrzeże wschodnie) – za wezbrania sztormowe przyjęto wszystkie sytuacje hydrologiczne, podczas których pozio-

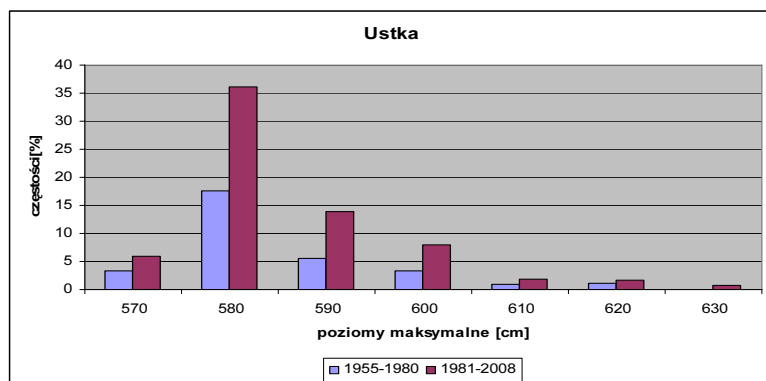
my morza osiągnęły lub przekroczyły na stacjach polskich 570 cm [Majewski 1983]. Zgodnie z tym kryterium wyselekcjonowano po 10 najwyższych zaobserwowanych wezbrań sztormowych z każdego akwenu z lat 1955-2008 (tab. 1), dla których odnotowano daty wystąpienia (dzień, miesiąc, rok) oraz maksymalną wartość poziomu morza podczas wezbrania.

W okresie od 1955 r. do 2008 r. na Helu najwyższą wartość poziomu morza – 620 cm – zaobserwowano w styczniu 1983 r. W Uście maksymalna wartość – 640 cm – wystąpiła podczas wezbrania sztormowego w listopadzie 2004 r. Najwyższe wartości poziomu morza występowały w zachodniej części polskiego wybrzeża. W Świnoujściu maksymalny poziom wyniósł 669 cm w listopadzie 1995 r.

Rozkład częstości występowania maksymalnych poziomów w przedziałach, podczas wezbrań sztormowych w latach 1955-1980 i 1981-2008 w Świnoujściu Uście i Helu, przedstawiono na rys. 1, 2 i 3. W obu okresach na wszystkich posterunkach maksymalne poziomy wody występowały najczęściej w przedziale 570-580 cm. Zauważalny jest również wzrost częstości występowania wezbrań sztormowych w drugim okresie (1981-2008).

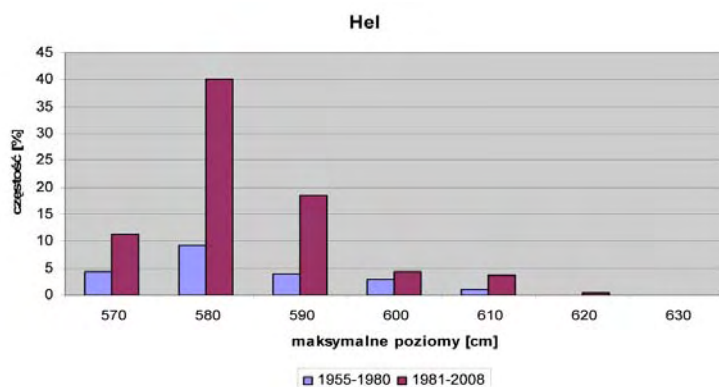


Rys. 1. Częstość występowania maksymalnych obserwowanych poziomów morza podczas wezbrań sztormowych w Świnoujściu w latach 1955-1980 i 1981-2008



Rys. 2. Częstość występowania maksymalnych obserwowanych poziomów morza podczas wezbrań sztormowych w Uście w latach 1955-1980 i 1981-2008



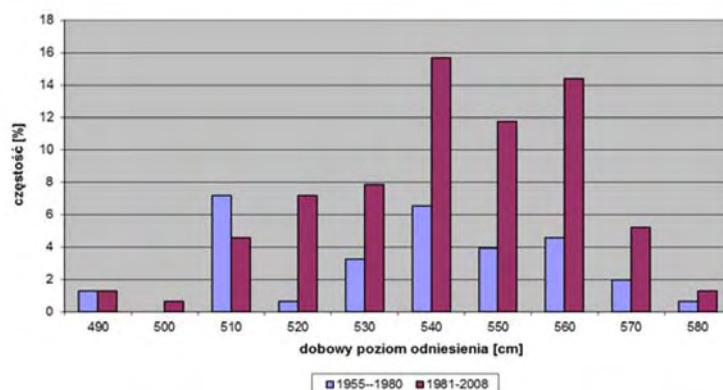


Rys. 3. Częstość występowania maksymalnych obserwowanych poziomów morza podczas wczesnych sztormowych w Helu w latach 1955-1980 i 1981-2008

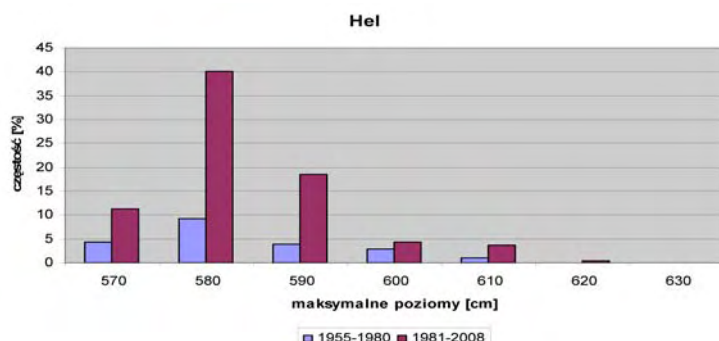
## 5. Napełnienie Bałtyku

Dobowy poziom odniesienia charakteryzuje wpływ aktualnego, średniego poziomu wody całego morza Bałtyckiego na wartość poziomu morza wzdłuż południowego wybrzeża. Jest jednym z najważniejszych wskaźników możliwości wystąpienia wczesnych sztormowych (silny wiatr może wywołać wczesne w przypadku wysokiej wartości tego wskaźnika, zaś przy niskiej mogą nie być osiągnięte nawet stany ostrzegawcze). W operacyjnej służbie prognoz hydrologicznych potocznie parametr ten nazywany jest „napełnieniem” i był określony empirycznie przez Malińskiego (Prace własne PIHM w Gdyni) pod koniec lat sześćdziesiątych ostatniego stulecia. Wartość liczbową tego parametru (cm) obliczana jest codziennie w Biurze Prognoz Hydrologicznych Oddziału Morskiego IMGW w Gdyni pozwalając między innymi na określenie prognozy początku i końca wczesnych sztormowych.

Częstość występowania dobowego poziomu odniesienia dla poszczególnych, analizowanych wczesnych sztormowych w Świnoujściu przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Częstość występowania dobowego poziomu odniesienia podczas wczesnych sztormowych w Świnoujściu

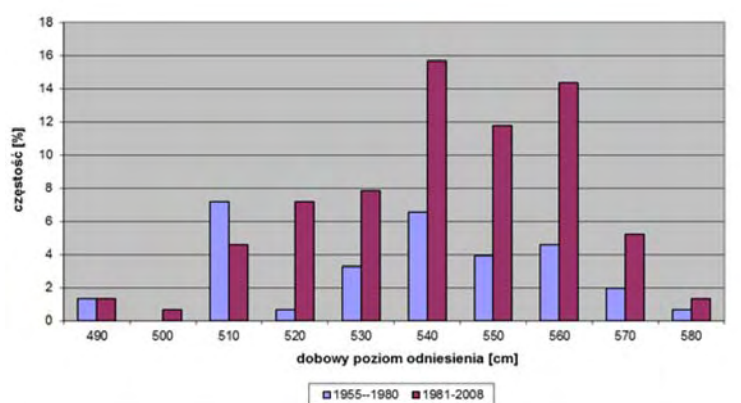


Rys. 3. Częstość występowania maksymalnych obserwowanych poziomów morza podczas wezbrań sztormowych w Helu w latach 1955-1980 i 1981-2008

## 5. Napęlenie Bałtyku

Dobowy poziom odniesienia charakteryzuje wpływ aktualnego, średniego poziomu wody całego morza Bałtyckiego na wartość poziomu morza wzdłuż południowego wybrzeża. Jest jednym z najważniejszych wskaźników możliwości wystąpienia wezbrania sztormowego (silny wiatr może wywołać wezbranie w przypadku wysokiej wartości tego wskaźnika, zaś przy niskiej mogą nie być osiągnięte nawet stany ostrzegawcze). W operacyjnej służbie prognoz hydrologicznych potocznie parametr ten nazywany jest „napęleniem” i był określony empirycznie przez Malińskiego (Prace własne PIHM w Gdyni) pod koniec lat sześćdziesiątych ostatniego stulecia. Wartość liczbową tego parametru (cm) obliczana jest codziennie w Biurze Prognoz Hydrologicznych Oddziału Morskiego IMGW w Gdyni pozwalając między innymi na określenie prognozy początku i końca wezbrania sztormowego.

Częstość występowania dobowego poziomu odniesienia dla poszczególnych, analizowanych wezbrań sztormowych w Świnoujściu przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Częstość występowania dobowego poziomu odniesienia podczas wezbrań sztormowych w Świnoujściu

Analiza wartości ekstremalnych oraz średnich dobowego poziomu odniesienia w kolejnych dziesięcioleciach w okresie 1950-1989 [Kowalska 1997] wskazuje na widoczny wzrost średniej wartości wymienionego parametru w latach osiemdziesiątych.

Podczas około połowy badanych wezbrań wartość dobowego poziomu odniesienia wynosiła od 521-550 cm. W 18% przypadków wartości parametru wahały się między 491 a 520 cm, a wartości poniżej 490 cm wystąpiły tylko w 2% analizowanych wezbrań. Niskie wartości (poniżej 510 cm) dobowego poziomu odniesienia podczas sztormu wskazują na dużą dynamikę wezbrania i bardzo szybki przyrost poziomu morza. Natomiast wysokie wartości tego parametru (powyżej 550 cm) jeszcze przed kulminacją mogą sugerować, że w niektórych przypadkach wezbranie sztormowe może zostać zaobserwowane nawet przy niedużej sile wiatrów.

Porównanie dwóch okresów obserwacji, tj. 1955-1980 i 1981-2008 wykazuje, że w tym ostatnim okresie wezbrania sztormowe powstawały częściej przy dobowym poziomie odniesienia rzędu 511-560 cm oraz przy ekstremalnych wartościach omawianego parametru, tj. powyżej 560 cm. Zdecydowanie natomiast zmalała w okresie 1981-2008 liczba wezbrań sztormowych o dobowym poziomie odniesienia 510 cm.

## **6. Wskaźnik wezbraniowości**

Wezbrania sztormowe stanowią poważne zagrożenie dla wybrzeży, a w zależności od szeregu czynników osiągają różne rozmiary, charakterystyczne dla poszczególnych rejonów wybrzeża. Obserwowane zmiany klimatyczne charakteryzują się większą dynamiką zjawisk pogodowych. Ich występowanie charakteryzuje się już teraz wzrostem częstości i intensywności klęsk żywiołowych. Wezbrania sztormowe pojawiają się w strefie przybrzeżnej Bałtyku, gdzie poza bezpośrednim zagrożeniem brzegów i zalaniem terenów nadmorskich powodują podniesienie poziomu wody w ujściowych odcinkach rzek Przymorza i jezior przymorskich. Badaniami objęto akweny południowego Bałtyku, zróżnicowane ze względu na występujące tam warunki hydrometeorologiczne oraz warunki lokalne. Aby porównać zagrożenie związane z występowaniem wezbrań sztormowych na różnych akwenach i odcinkach wybrzeża, opracowano wskaźnik wezbraniowości dla południowego wybrzeża Bałtyku. Prawidłowa klasyfikacja, ze względu na warunki występowania sztormów, daje możliwość porównania i oceny ryzyka na różnych obszarach, położonych często w sporej odległości od siebie obszarów morskich. Wskaźnik wezbraniowości „W” został opracowany dla badań klimatu, prognoz pogody, planowanie nawigacji i operacji w portach morskich. Głównym celem jest rozwój innowacyjnych metod ograniczania zagrożenia, w kontekście wzrostu częstości sztormów i wzrostu poziomu morza. Ponadto, prace badawcze miały na celu ocenę zagrożenia sztormowego dla różnych obszarów wód polskiej strefy przybrzeżnej Bałtyku i współzależności regionalnych wskaźników oraz zmienności klimatu. Właściwa klasyfikacja regionów, w odniesieniu do warunków występo-

wania przepięć, oferuje możliwość porównania i oceny zagrożenia dla różnicy, a w przyszłości prognozowania sezonowych fal sztormowych.

W powyższych badaniach analizowano dane z okresu ponad 50 lat, od 1955 r. do 2008 r., ze stacji w Świnoujściu, Ustce i Helu. Przyjęto (zgodnie z definicją podaną przez A. Majewskiego), że każda sytuacja hydrologiczna, w której poziom morza osiąga lub przekracza 570 cm oznacza wezbranie sztormowe (na Helu poziomie alarmowy – 570 cm, w Ustce – 600 cm i w Świnoujściu – 580 cm). Dokonano identyfikacji czynników meteorologicznych i hydrologicznych, warunkujących występowanie wezbrań sztormowych na polskim wybrzeżu, takich jak: ciśnienie atmosferyczne, prędkość i kierunek wiatru, temperatura powietrza, temperatura wody. Przeprowadzono analizę wybranych parametrów i ich wpływu na wysokość wezbrania. Zbadano metodą korelacji liniowej zmienność parametrów i opracowano wzór określający wskaźnik wezbraniowości „W”.

$$W = \frac{1}{i} \sum \left( \frac{V^2}{0.1H} \right)_i$$

gdzie:

W – wskaźnik wezbraniowości,

i – liczba wezbrań w miesiącu lub sezonie, na podstawie której określa się wskaźnik wezbraniowości,

V – maksymalna prędkość wiatru zaobserwowana podczas pojedynczego wezbrania,

H – maksymalna wysokość poziomu morza zaobserwowana podczas pojedynczego wezbrania,

0,1 – współczynnik numeryczny.

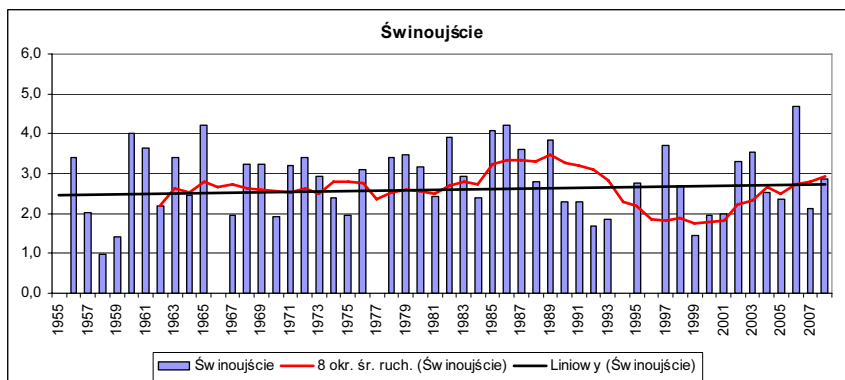
Aby określić wskaźnik wezbraniowości dla Południowego Bałtyku (wybrzeże Polski) zostały wybrane stacje, reprezentujące odmienne warunki hydrograficzne: Świnoujście (Zatoka Pomorska), Ustka (wybrzeże środkowe) i Hel (obszar otwartego morza). Wartość wskaźnika „W” zmienia się w zakresie od zera do wartości powyżej 7. Wartość powyżej 4 świadczy o występowaniu dużych wezbrań podczas sztormów o znacznej sile. Wartość ok. 1 wskazuje na sztorm, podczas którego wystąpiło nieznaczne przekroczenie stanu alarmowego.

Wartości wskaźnika „W” dla wybrzeża polskiego, w poszczególnych jego regionach, są różne. Wyniki przedstawiono w tab. 2.

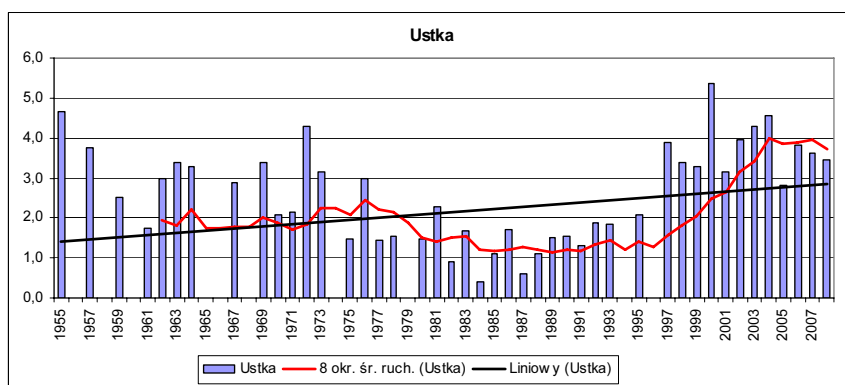
Tab. 2. Wartości wskaźnika „W” dla wybrzeża polskiego dla okresu: 1955-2008, 1955-1989, 1990-2008

Rejon	Wskaźniki regionalne okres 1955-2008			Wskaźniki regionalne okres 1955-1989			Wskaźniki regionalne okres 1990-2008		
	max	min	śr.	max	min	śr.	max	min	śr.
Świnoujście	7,4	0,2	2,8	6,3	0,8	3,0	7,4	0,2	2,5
Ustka	7,5	0,2	2,6	6,6	0,2	2,2	7,5	0,6	3,1
Hel	6,8	0,2	2,2	6,8	0,3	2,4	5,0	0,2	2,0

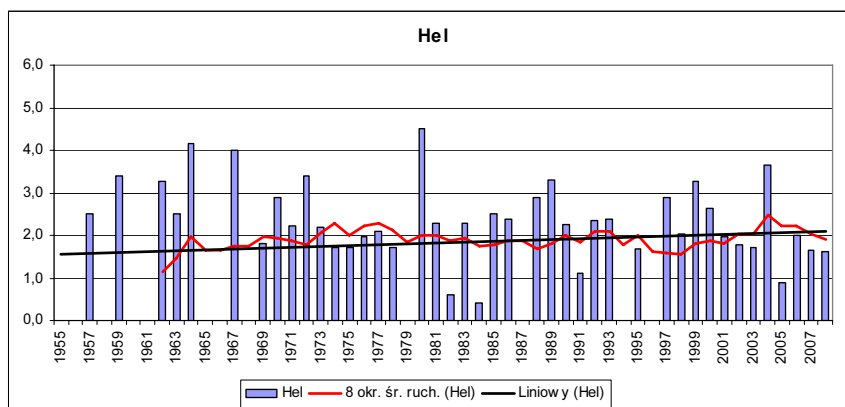
Wartości średniego wieloletniego współczynnika wezbraniowości z okresu 1955-2008 wyniosły: 2,8 – w Świnoujściu, 2,6 – w Ustce i 2,2 – w Helu.



Rys. 5. Wieloletnie zmiany rocznego wskaźnika wezbraniowości w Świnoujściu, 1955-2008



Rys. 6. Wieloletnie zmiany rocznego wskaźnika wezbraniowości w Ustce, 1955-2008



Rys. 7. Wieloletnie zmiany rocznego wskaźnika wezbraniowości w Helu, 1955-2008

Wartość wskaźnika rocznego może zmieniać się znacząco nawet z roku na rok od wartości  $W=0$  do  $W>5$ . Wartość powyżej 4 świadczy o występowaniu dużych wezbrań podczas sztormów o znacznej sile. 1966, 1994 i 1996 r. to lata bez wysokich wezbrań

Badania nad zastosowaniem metodyki wskaźnika wezbraniowości „W” wykazały jego przydatność do porównywania zagrożenia wezbraniem sztormowym na różnych akwenach, a nawet do szacowania zmian klimatu.

Wysoka wartość wskaźnika (w przypadku wskaźnika rocznego – powyżej 3) świadczy o zwiększonym zagrożeniu występowania dużych i bardzo dużych wezbrań podczas sztormów o znacznej sile w danym rejonie wybrzeża. W przypadku Świnoujścia zagrożenie jest największe i utrzymuje się na mniej więcej stałym poziomie. Natomiast w rejonie wybrzeża środkowego (Ustka) obserwuje się wyraźnie rosnący trend w przebiegu rocznego wskaźnika wezbraniowości. Najmniejsze zagrożenie występuje na Helu, w przebiegu wieloletnim wskaźnika rocznego widać tylko nieznacznie rosnący trend i dosyć niskie wartości wskaźnika.

## **7. Oddziaływanie wezbrań sztormowych na brzegi Bałtyku**

Wybrzeże południowego Bałtyku jest wysoce zróżnicowane – od piaszczystych, często podmokłych brzegów, po wysokie klify. Oddziaływanie wezbrań sztormowych najbardziej uwidacznia się na wybrzeżach klifowych. Jak już wspomniano za odcinek testowy wybrano klif na wyspie Wolin.

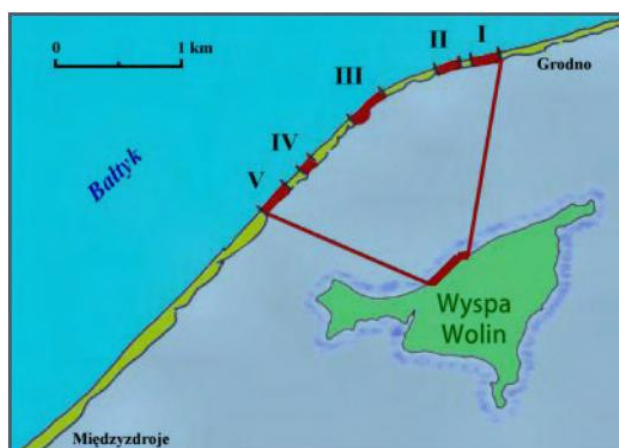
Wzdłuż wybrzeża polskiego brzegi klifowe zajmują około 45 km, występują w rejonie bezpośredniej granicy wysoczyzny morenowej i linii brzegowej. Stan wybrzeży klifowych zależy m.in. od: litologii, morfologii, warunków hydrometeorologicznych, roślinności, a także działalności człowieka. Tempo cofania się wybrzeża klifowego w rejonie Wolina wynosi od 0,25 do 0,6 m/rok.

Badania nad czynnikami hydro-meteorologicznymi wskazują, że zjawiskami powodującymi najbardziej znaczące zmiany w strukturze brzegów klifowych są wezbrania sztormowe oraz zmiany średniego poziomu morza. Jednak naprawdę poważne zniszczenia następują w przypadku koincydencji kilku zjawisk hydrologiczno-meteorologicznych. W ciągu ostatnich 25 lat znacznie wzrosła częstość występowania wezbrań sztormowych na zachodnim wybrzeżu, ponadto nastąpiło przesunięcie największej intensywności występowania sztormów z listopada (w okresie 1950-1978) na styczeń (w okresie 1979-2007). Na wybrzeżu zachodnim w ostatnim 25-leciu XX wieku zaobserwowano wzrost częstości występowania bardzo wysokich wezbrań sztormowych (z maksimum powyżej 640 cm), przy jednoczesnym spadku wezbrań sztormowych o maksymalnych wartościach poziomu morza około 570 cm (a więc najmniej niebezpiecznych dla brzegów). W zakresie badań nad zmianami średnich poziomów morza w rejonie zachodniego wybrzeża stwierdzono wzrost częstości występowania średniego rocznego poziomu morza w przedziale 510-520 cm, co nie jest obojętne dla tempa cofania się korony klifu i wpływa na zmiany położenia stoku klifu.

W ramach współpracy z profesorem Andrzejem Kostrzewskim i jego zespołem z Instytutu Paleogeografii i Geoekologii Uniwersytetu im. A. Mickiewicza w Poznaniu pozyskano dane, dotyczące pomiarów tempa cofania się korony klifu w rejonie Wolińskiego Parku Narodowego.

Otrzymane dane dotyczyły okresu 1982-2008 i odnosiły się do 5 odcinków testowych, zlokalizowanych wzdłuż wybrzeży klifowych i wyodrębnionych ze względu na czynniki geomorfologiczne.

W okresie tym badano zmiany położenia korony klifu. Podsumowując wyniki badań można stwierdzić, że średnie tempo abrazji klifów na wyspie Wolin w okresie 1985-2008 wynosiło: odcinek 1 – 0,25 m/rok, odcinek 2 – 0,17 m/rok, odcinek 3 – 0,15 m/rok, odcinek 4 – 0,37 m/rok, odcinek 5 – 0,32 m/rok.



Rys. 8. Lokalizacja odcinków pomiarowych wykorzystywanych do badania tempa cofania korony klifu na wyspie Wolin (opracowanie UAM)

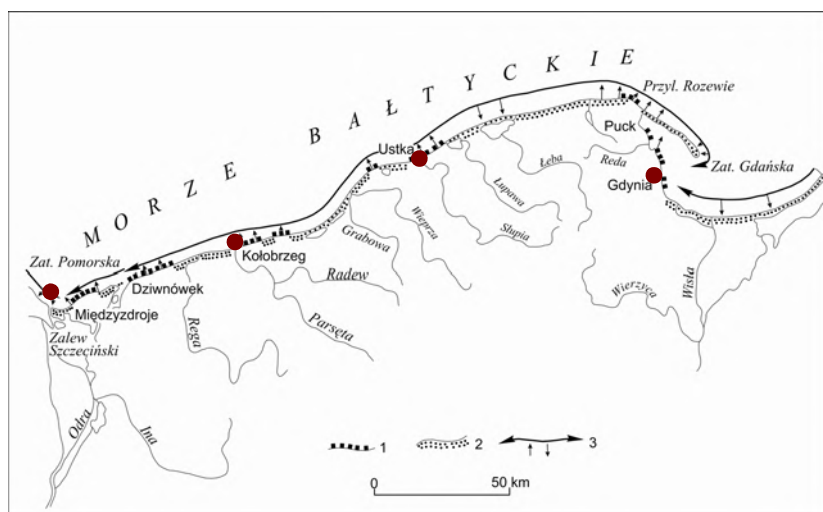
Geomorfologiczne przemiany wybrzeża klifowego w Polsce [Kostrzewski, Zwoliński i.in. 2011] spowodowane są głównie występowaniem ekstremalnych zdarzeń hydrometeorologicznych. Występowanie procesów abrazji (procesy litoralne) i erozji (procesy stokowe – erozja wodna i ruchy masowe) brzegu klifowego w Polsce warunkowane jest intensywnością obiegu wody (opady atmosferyczne, roztopy śnieżne i wezbrania sztormowe) oraz działalnością wiatru (deflacja i akumulacja eoliczna).

Określenie ekstremów absolutnych zdarzeń hydrometeorologicznych brzegu klifowego w Polsce nawiązuje do rozmieszczenia przestrzennego klifów oraz stacji meteorologicznych i mareograficznych: Świnoujście (klif Wyspa Wolin), Kołobrzeg (klif Sarbinowo – Kołobrzeg), Ustka (klif Rowy – Ustka) i Gdynia (klif zachodnie wybrzeże Zatoki Gdańskiej) – rys. 9.

Do czynników rzeźbotwórczych o największej na wybrzeżu klifowym roli zaliczamy:

- intensywne wezbrania sztormowe (podcinają podnóże klifu, naruszają stabilność brzegu klifowego i powodują abrazję),

- wydajne opady atmosferyczne (inicjują proces spłukiwania na zboczach gliniastych, powodują osuwiska),
- silne wiatry (wzmagają procesy deflacji, ale ich znaczenie jest mniejsze niż dla brzegu wydmowego).



Rys. 9. Przestrzenne rozmieszczenie brzegów klifowych w Polsce (Subotowicz 1982, zmienione), kolorem zaznaczono nadmorskie (najbliższe odcinkom brzegu klifowego) stacje hydrometeorologiczne (opracowanie UAM)

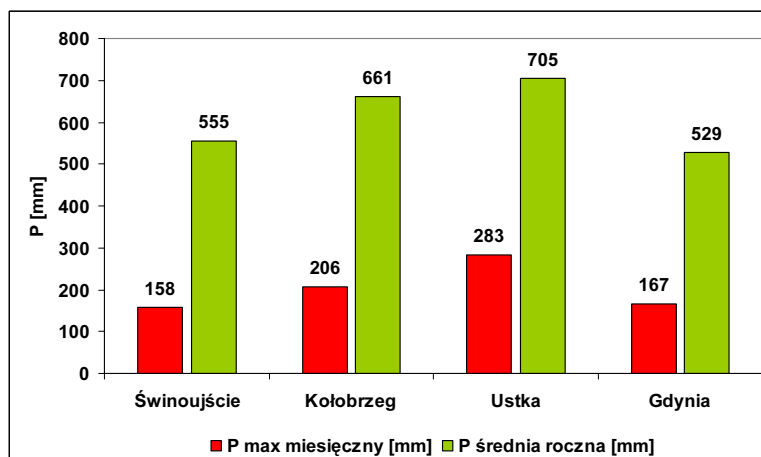
W opracowaniu UAM określono roczne i sezonowe ekstrema absolutne opadów atmosferycznych (wzmoczona erozja wodna i ruchy masowe na klifach) i poziomu morza (wezbrania sztormowe – abrazja klifów) dla brzegu klifowego w Polsce, na stacjach: Świnoujście (klif Wyspa Wolin), Kołobrzeg (klif Sarbinowo – Kołobrzeg), Ustka (klif Rowy – Ustka) i Gdynia (klif zachodnie wybrzeże Zatoki Gdańskiej). Do analizy wykorzystano wieloletnie dane z literatury [Wiśniewski, Wolski 2009, Girjatowicz i.in. 2011].

Przestrzenna zmienność średniej rocznej sumy opadów za lata 1951-2000 [Girjatowicz, Świątek, Olechwir 2011] wykazała wyższą (o około 150 mm) wydajność opadów w centralnej części polskiego wybrzeża (średnia roczna suma opadów w Kołobrzegu 661 mm i Ustce 705 mm) niż w częściach zatokowych (średnia roczna suma opadów w Świnoujściu 555 mm i Gdyni 529 mm). Również maksymalny miesięczny opad atmosferyczny osiąga wyższą wartość w Ustce (283 mm) i Kołobrzegu (206 mm) niż w Gdyni (167 mm) i Świnoujściu (158 mm). W oparciu o powyższą analizę można założyć potencjalnie zwiększoną erozję wodną i występowanie ruchów masowych (np. osuwisk) w obrębie klifu Rowy – Ustka i Sarbinowo Kołobrzeg, większą – na odcinkach brzegu klifowego zachodniego, wybrzeża Zatoki Gdańskiej oraz wyspy Wolin.

Czasowa zmienność średniej miesięcznej sumy opadów za lata 1951-2000 [Girjatowicz i.in. 2011] wykazała najwyższą wydajność opadów w okresie letnim

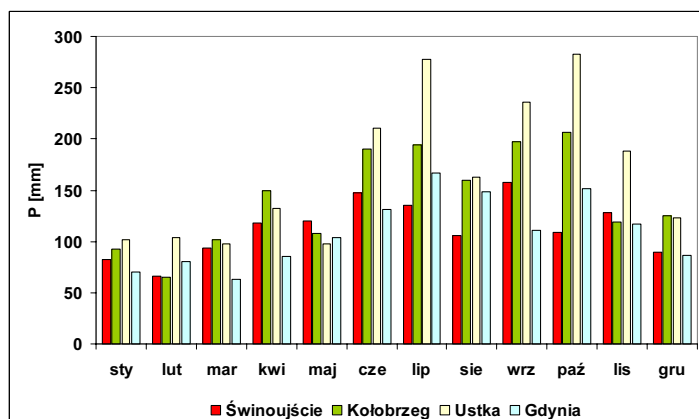


(średnia miesięczna dla polskiego wybrzeża około 70 mm od lipca do września). Najwyższa średnia miesięczna suma opadów występuje w lipcu (Świnoujście 56 mm, Kołobrzeg 84 mm, Ustka 82 mm i Gdynia 66 mm).

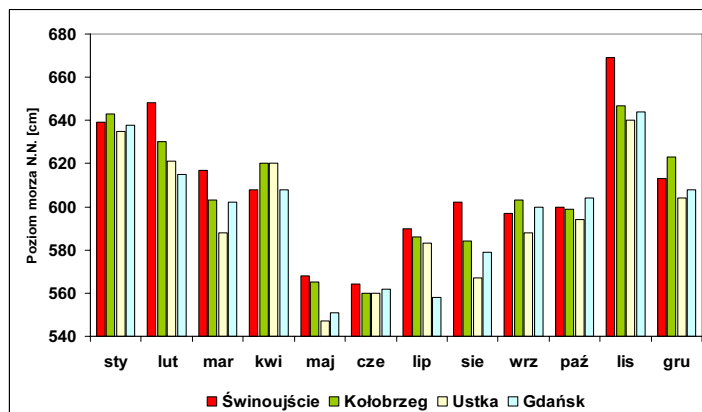


Rys. 10. Średnia roczna suma opadów atmosferycznych i maksymalna miesięczna suma opadów atmosferycznych na polskim wybrzeżu Bałtyku (1951-2000). Świnoujście (klif Wyspa Wolin), Kołobrzeg (klif Sarbinowo – Kołobrzeg), Ustka (klif Rowy – Ustka) i Gdynia (klif zachodnie wybrzeże Zatoki Gdańskiej). Źródło: opracowanie UAM

Z punktu widzenia morfogenetycznej roli opadów atmosferycznych najbardziej erozyjną energię opadów oddaje sezonowy wskaźnik maksymalnych miesięcznych sum opadów atmosferycznych (rys. 11). Największą potencjalnie erozję wodną i intensyfikację ruchów masowych obserwować można w okresie letnio-jesiennym (od czerwca do października). Maksymalne wartości dla poszczególnych odcinków są następujące: Gdynia – 167 mm w lipcu 1980 r. i 152 w październiku 1974 r., Ustka – 283 mm w październiku 1974 r. i 278 w lipcu 1954 r., Kołobrzeg – 206 mm w październiku 1974 r. i 197 mm w 1978 r., i Świnoujście – 158 mm we wrześniu 1968 r. i 147 mm w czerwcu 1980 r.



Rys. 11. Maksymalna miesięczna suma opadów atmosferycznych na polskim wybrzeżu Bałtyku (1951-2000). Świnoujście (klif Wyspa Wolin), Kołobrzeg (klif Sarbinowo – Kołobrzeg), Ustka (klif Rowy – Ustka) i Gdynia (klif zachodnie wybrzeże Zatoki Gdańskiej). Źródło: opracowanie UAM



Rys. 12. Maksymalny miesięczny poziom morza (P.z.=500 cm N.N.) na polskim wybrzeżu Bałtyku (1947-2006). Świnoujście (klif Wyspa Wolin), Kołobrzeg (klif Sarbinowo – Kołobrzeg), Ustka (klif Rowy – Ustka) i Gdańsk (klif zachodnie wybrzeże Zatoki Gdańskiej). Źródło: opracowanie UAM

Wysoki poziom morza nie odgrywa dużej roli w różnicowaniu przestrzennym potencjalnej abrazyj badanych odcinków brzegu klifowego w Polsce. Bardzo duży wpływ na morfogenetyczną, abrazyjną rolę wezbrań sztormowych wywierają uwarunkowania lokalne związane m.in. z budową litologiczną, hydrogeologią, ekspozycją brzegu, fazą rozwoju klifu i typem podbrzeża [Subotowicz 1982].

Analiza zmienności czasowej maksymalnego poziomu morza wykazuje potencjalnie najwyższą abrazyję w sezonie sztormowym – zimowym, trwającym od listopada do lutego (średnia miesięczna z wartości maksymalnych dla całego wybrzeża 632 cm, rys. 12).

Określając prawidłowości zmienności czasowej i przestrzennej absolutnych ekstremów opadowych i poziomu morza dla brzegu klifowego w Polsce można stwierdzić rozłączność systemu abrazyjnego i systemu erozji wodnej (stokowego). Wskutek wysokiego poziomu morza potencjalnie największe prawdopodobieństwo abrazyjnego niszczenia klifów występuje w sezonie zimowym, natomiast największa erozyjna rola opadów notowana jest w pozasztorowym okresie letnim.

Na rys. 13 przedstawiono porównanie wartości cofania się korony klifu na odcinku nr 4 z przebiegiem maksymalnych oraz średnich rocznych poziomów morza w analogicznym okresie czasu tzn. 1982-2008 r.

Można zauważyć wyraźną korelację zmian brzegu z przebiegiem maksymalnych rocznych poziomów morza. Korelacja ta jest zauważalna zwłaszcza dla okresu 1994-1996. W okresie tym, dokładnie 3-5 XI 1995 r., wzdłuż całego wybrzeża wystąpiło jedno z najbardziej niebezpiecznych wezbrań sztormowych, połączone z obfitymi opadami deszczu.

W IMGW przeprowadzono analizę związków między zmianami morfologicznymi wybrzeża klifowego wyspy Wolin, a czynnikami hydrologiczno-meteorologicznymi i dokonano wyboru najbardziej podatnych na oddziaływanie tych czynników odcinków klifu.

Badania wykazały, że najmniejszą wrażliwością charakteryzują się odcinki II i III. odcinki IV i V wykazują brak wrażliwości na opady, natomiast największą podatność na czynniki hydrologiczno-meteorologiczne stwierdzono na odcinku I i IV.



Rys. 13. Porównanie maksymalnych i średnich rocznych stanów wody w Świnoujściu z wartościami cofania się korony klifu na odcinku nr 4 – Wolin

Współczynniki korelacji pomiędzy cofaniem się klifu na odcinku I, a poziomami wody charakteryzują się wysokimi wartościami (dla maksymalnych poziomów rzędu 0,74-0,73 w Szczecinie i Świnoujściu) i, co należy podkreślić, te najwyższe wartości zostały obliczone dla okresu czasu do 2 miesięcy wstecz. Wykazano również wysoką zależność cofania się klifu od średnich poziomów morza (rzędu 0,7 w Świnoujściu) z tym, że najwyższe wartości zostały wyprowadzone dla okresu 4 miesięcy wstecz. Natomiast analiza zależności pomiędzy poziomami wody, a ubytkiem klifu na odcinku I wykazały większą reprezentatywność danych ze stacji Wolin (0,71) oraz Świnoujście (0,67).

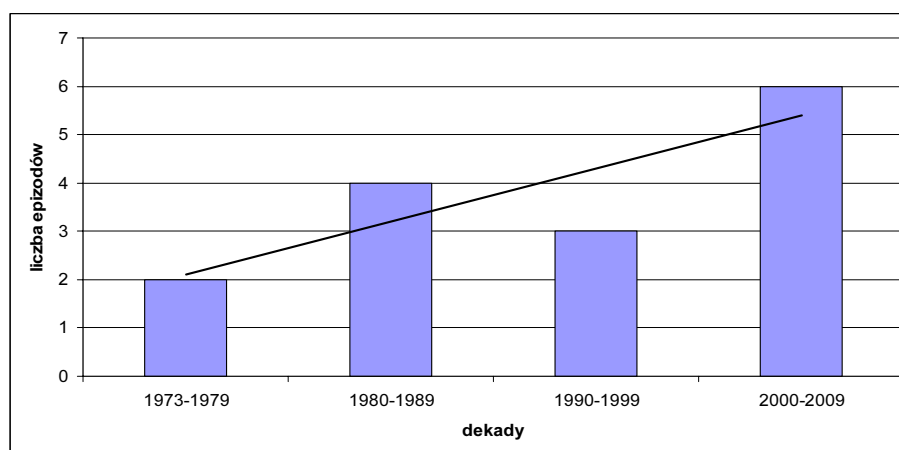
Zależności pomiędzy temperaturą powietrza, a cofaniem się klifu na odcinku I charakteryzują się bardzo wysokimi wartościami współczynnika korelacji (powyżej 0,8, a dla ubytku powyżej 0,7) dla średniej i maksymalnej temperatury pomierzonej w Szczecinie. Również dla pozostałych czynników termicznych (temperatury gruntu i temperatury wody) otrzymano wysokie wartości współczynnika korelacji. Tak wysokie wartości są częściowo determinowane przez otrzymany zbiór danych, w którym największe ubytki zostały zanotowane w listopadzie 1995 r. Analiza poszczególnych przypadków wykazała, że większość dużych strat została zaobserwowana po wezbraniach sztormowych z intensywnymi opadami lub zjawiskami topnienia pokrywy śnieżnej. Oznacza to, że drugim czynnikiem determinującym starty w brzegach klifowych jest najprawdopodobniej szybki wzrost poziomu wód gruntowych, oddziałujący różnie na poszczególne odcinki brzegu, w zależności od ich budowy geomorfologicznej [Winowski 2008].

Procesy o charakterze ekstremalnym są czynnikiem inicjującym rozwój wybrzeży morskich, w tym głównie klifowych. W efekcie oddziaływania morza i czynników pogodowych na brzegach klifowych obserwuje się intensyfikację procesów morfotwórczych.

Obserwowane w latach 1983 i 1995 wezbrania sztormowe w dużym stopniu przyczyniły się do przemodelowania rzeźby wolińskich klifów – powstały rozległe podcięcia i nisze abrazyjne, które doprowadziły do zwiększenia nachylenia stoku. Wysoki potencjał morfogenetyczny posiadają także opady atmosferyczne, czego dowodem jest epizod z kwietnia 2008 r. [Winowski 2008]. Wysoki opad śniegu

utworzył wówczas zwartą pokrywę śnieżną, a po jej wytopieniu doszło do uruchomienia licznych procesów stokowych, które przyczyniły się do utworzenia zespołów form związanych z osuwaniem, osiadaniem, spłukiwaniem oraz obrywaniem.

Przeprowadzone przez Winowskiego badania zmienności i natężenia procesów ekstremalnych [2008, 2011] oraz ich wpływu na funkcjonowanie osuwisk klifowych pozwoliły na przedstawienie progów odpornościowych brzegu klifowego wyspy Wolin na oddziaływanie czynników hydrometeorologicznych [Winowski 2011]. Z dużym prawdopodobieństwem można uznać, iż przekroczenie wydzielonych wartości progowych skutkuje wykształceniem systemów osuwisk klifowych, powodujących rozległe zniszczenia brzegowe. Autor powyższych opracowań zauważył także, że w okresie 1973-2009 piętnaście razy doszło do przekroczenia wartości progowych (dziewięć epizodów sztormowych oraz sześć epizodów opadowych, tab. 11). Ekstremalne zdarzenia sztormowe występowały średnio co 3 lata i 8 miesięcy, zaś zdarzenia opadowe co 5 lat i 3 miesiące. Należy przy tym zaznaczyć, iż częstotliwość tych zdarzeń na przestrzeni ostatnich czterech dekad wzrosła aż trzykrotnie (rys. 14).



Rys. 14. Frekwencja ekstremalnych zdarzeń hydrometeorologicznych na przestrzeni ostatnich czterech dekad (1973-2009) dla wybrzeża klifowego wyspy Wolin [Winowski 2011], źródło: opracowanie UAM

Występowanie zdarzeń hydrometeorologicznych o wysokim potencjale morfogenetycznym charakteryzuje się wyraźną sezonowością w skali roku. Według Winowskiego [2011] najwyższy potencjał morfogenetyczny wezbrań sztormowych na brzegu klifowym wyspy Wolin obserwuje się w okresie od 2 listopada do 14 lutego. Prawdopodobieństwo przekroczenia stanu alarmowego (580 cm) wynosi wówczas 7,7%, zaś ostrzegawczego (560 cm) 11,2%. W efekcie dochodzi do znacznego przemodelowania geometrii skłonu klifu i zaburzenia jego stateczności oraz do procesów osuwiskowych i obrywowych, które powodują rozległe zniszczenia brzegowe. Z drugiej strony najwyższy potencjał erozyjny, związany z ulewnymi opadami, obserwuje się w okresie letnim (10 czerwiec – 19 lipiec).

Prawdopodobieństwo wystąpienia warunków o wysokiej aktywności geomorficznej erozji wodnej kształtuje się wówczas na poziomie 25%. W efekcie wystąpienia intensywnych opadów atmosferycznych dochodzi do znacznego zasilenia podłoża klifu w wodę gruntową, co zwiększa podatność klifu na procesy niszczące [Winowski 2011].

Największe przekształcenia w obrębie morfosystemu wybrzeży klifowych wyspy Wolin występują w przypadku jednoczesnego wystąpienia wysokich wzebrań sztormowych oraz intensywnych opadów atmosferycznych). Okres taki występuje tylko raz w roku i trwa niecałe dwa miesiące (2 listopad – 31 grudzień) [Winowski 2011].

## **8. Koncepcja włączenia wyników prac do systemu wczesnego ostrzegania**

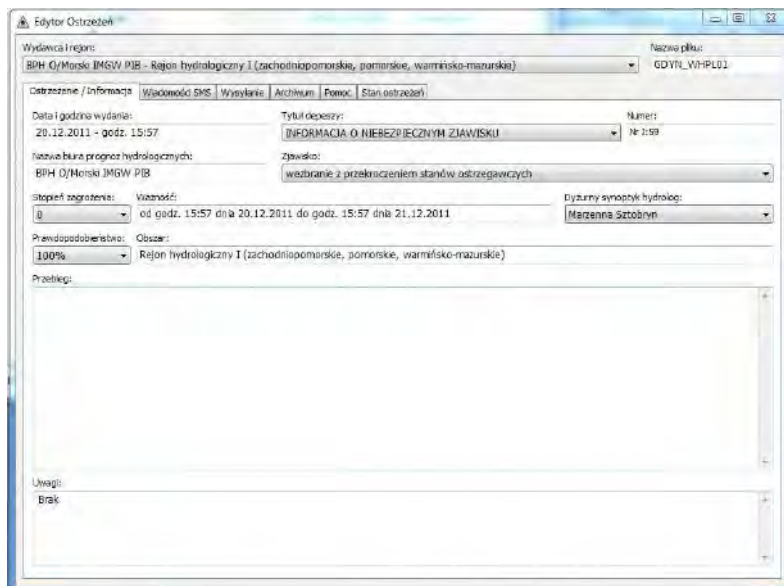
Jednym z głównych zadań IMGW-PIB jest opracowywanie i rozpowszechnianie prognoz oraz ostrzeżeń dla osłony ludności oraz gospodarki narodowej i obronności Państwa.

Zgodnie z Regulaminem Organizacyjnym IMGW-PIB Biuro Prognoz Hydrologicznych Oddziału Morskiego IMGW-PIB w Gdyni prowadzi osłonę hydrologiczną na obszarze polskiej strefy przybrzeżnej oraz terenach przymorskich. Osłona hydrologiczna wybrzeża RP opiera się na dwóch umowach przeciwpowodziowej i morskiej. Odcinki pasa technicznego (przeważnie około 200 m od linii brzegowej) podlegają administracji morskiej (osłona morska), z wykluczeniem ujściowych odcinków rzek, które podlegają RZGW (osłona przeciwpowodziowa). W przypadku możliwości wystąpienia wzebrania sztormowego zarówno organy administracji państwowej, jak i morskiej zostają powiadomione o przewidywanym zagrożeniu.

W celu zapewnienia naszym odbiorcom najwyższej jakości produktów został wprowadzony w IMGW-PIB jednolity system ostrzeżeń hydrologicznych i meteorologicznych oraz system alertów. Zgodnie z najnowszym zarządzeniem, dotyczącym opracowywania ostrzeżeń hydrologicznych w IMGW-PIB (Zarządzenie Nr 35/2011 Dyrektora IMGW-PIB z dnia 1 lipca 2011 r.) pojęcie „ostrzeżenie hydrologiczne” obejmuje:

- Informacje o niebezpiecznym zjawisku hydrologicznym (w przypadku prognozowanego wystąpienia gwałtownych wzrostów stanów wody poniżej stanów alarmowych).
- Ostrzeżenia hydrologiczne (w przypadku prognozowanego wystąpienia gwałtownych wzrostów stanów wody przekraczających stany alarmowe).
- Komunikaty o bieżącej sytuacji hydrologicznej wydawane w stanie zagrożenia hydrologicznego lub alarmu hydrologicznego.

Jednocześnie powstał nowy Edytor Ostrzeżeń – program, który służy do opracowywania i wysyłania ostrzeżeń hydrologicznych. Edytor Ostrzeżeń jest używany również w Biurze Prognoz Hydrologicznych w Gdyni.



Rys. 15. Edytor Ostrzeżeń

Program jest funkcjonalny i ułatwia synoptykowi wydawanie ostrzeżeń hydrologicznych. Ostrzeżenia są wysyłane automatycznie przez System Obsługi Klienta do odbiorców przez usługę SMS i na strony internetowe [www.imgw.pl](http://www.imgw.pl) oraz [www.pogodynka.pl](http://www.pogodynka.pl). Prognozowany przebieg zjawiska (treść ostrzeżenia) jest redagowany przez synoptyka.



Rys. 16. Przykład ostrzeżenia wydanego przez BPH w Gdyni w grudniu 2011 r. z uwzględnieniem informacji dotyczącej niszczenia brzegów klifowych

Ze względu na wyniki prac wykonanych przez Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu, które wskazują na wezbrania sztormowe jako główną przyczynę niszczenia wybrzeży klifowych, można zastosować Edytor Ostrzeżeń, użytkowany przez BPH w Gdyni, do ostrzegania o zniszczeniach klifów. BPH w Gdyni wydaje ostrzeżenia w razie zagrożenia, czyli prognozowanego przekroczenia stanów ostrzegawczych i alarmowych. Te same wartości zostały zakwalifikowane jako najważniejsze zagrożenia dla brzegów klifowych. Przewiduje się ujmowanie w treści ostrzeżeń hydrologicznych informacji dotyczącej możliwości niszczenia wybrzeży klifowych. Przykład ostrzeżenia, zawierającego informację o możliwości niszczenia brzegów klifowych, został pokazany na rys. 16.

Głównymi odbiorcami ostrzeżeń wydawanych przez BPH są Wydziały Bezpieczeństwa i Zarządzania Kryzysowego w Gdańsku, Szczecinie i Elblągu, RZGW w Gdańsku i Szczecinie, ZMiUW w Gdańsku i Szczecinie, Urzędy Morskie w Gdańsku, Szczecinie i Słupsku oraz kapitanaty portów. Większość tych odbiorców (szczególnie organy administracji morskiej i centra zarządzania kryzysowego) byłyby na pewno zainteresowane otrzymywaniem informacji o prognozowanych zniszczeniach brzegów klifowych.

## 9. Wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz można stwierdzić, że:

- Wezbrania sztormowe stanowią poważne zagrożenie powodziowe i ekologiczne dla wybrzeża Rzeczypospolitej Polskiej. Zagrożenie wezbraniem na południowym Bałtyku wzrosło pod koniec XX wieku prawie dwukrotnie w porównaniu do połowy XX wieku. W okresie 1950-1979 wystąpiło 72 sztormów, natomiast w 1980-2008 aż 129.
- Przekroczenie stanów alarmowych (Świnoujście 580 cm, Ustka 600 cm, Hel 570 cm) powoduje poważne utrudnienia w prowadzeniu prac hydrotechnicznych, zniszczenia brzegów i plaż, występowanie zjawiska cofki w ujściach rzecznych, podtopienie i zalewanie miast oraz obszarów nadbrzeżnych. Utrzymywanie się poziomów morza powyżej stanów alarmowych może spowodować utrudnienia w żegludze oraz pracy portów i stoczni, duże szkody materialne, a nawet zagrożenie życia.
- Prawdopodobieństwo i częstość występowania ekstremalnych poziomów morza są ważnymi źródłami informacji dla planowania działań przeciwpowodziowych i efektywnej, bezpiecznej eksploatacji infrastruktury brzegowej.
- W ciągu ostatnich 25 lat znacznie wzrosła częstość występowania wezbrań sztormowych na zachodnim wybrzeżu i nastąpiło przesunięcie największej intensywności występowania sztormów z listopada (w okresie 1950-1978) na styczeń (w okresie 1979-2007).
- Na wybrzeżu zachodnim w ostatnim 25-leciu XX wieku zaobserwowano wzrost częstości występowania bardzo wysokich wezbrań sztormowych (z maksimum powyżej 640 cm), przy jednoczesnym spadku wezbrań sztormowych o maksymalnych wartościach poziomu morza około 570 cm.

- Wskaźnik wezbraniowości służy do porównania zagrożenia wezbraniem sztormowymi na różnych akwenach. Wysoka wartość wskaźnika (w przypadku wskaźnika rocznego – powyżej 3) świadczy o zwiększonym zagrożeniu występowania bardzo dużych wezbrań podczas sztormów o znacznej sile w danym rejonie wybrzeża.
- Największe zagrożenie wezbraniem sztormowymi występuje w Świnoujściu, a najmniejsze w Helu, co potwierdzają wartości średniego wieloletniego współczynnika wezbraniowości z okresu 1955-2008: największy 2,8 – w Świnoujściu, następnie 2,6 – w Uście i 2,2 – w Helu
- W rejonie zachodniego wybrzeża w ostatnich 25 latach stwierdzono wzrost częstości występowania średniego rocznego poziomu morza w przedziale 510-520 cm, co nie jest obojętne dla tempa cofania się korony klifu i wpływa na zmiany położenia stoku klifu.
- Badania wykazały, że największą rolę rzeźbotwórczą na wybrzeżu klifowym wykazują intensywne wezbrania sztormowe i wydajne opady atmosferyczne
- Wykonane pomiary tempa cofania się korony klifu na testowanych odcinkach badawczych dowiodły, że aktualny rozwój wybrzeża klifowego wyspy Wolin podlega zróżnicowaniu czasoprzestrzennemu.
- W okresie dwudziestu pięciu lat wystąpiły dwa okresy zwiększonej dynamiki brzegów klifowych – 1983 i 1995 r. – przedzielone okresami zmniejszonej aktywności morfodynamicznej.
- Natężenie procesów morfogenetycznych wykazywało wyraźną zmienność sezonową:
  - ✓ w sezonach jesienno-zimowych dominowały procesy ekstremalne, które w znaczącym stopniu przyczyniły się do modelowania klifu,
  - ✓ w sezonach letnich dominowały procesy o charakterze przeciętnym, które jedynie przekształcały zasadniczą rzeźbę klifu.
- Zaproponowana została klasyfikacja zagrożeń brzegów klifowych oraz system ostrzeżeń o zmianach brzegowych wywołanych ekstremalnymi zmianami hydrometeorologicznymi.
- W oparciu o zgromadzony materiał pomiarowy i dokumentacyjny trudno określić prognozę rozwoju brzegu klifowego wyspy Wolin. Trudności te wynikają przede wszystkim ze skomplikowanego charakteru procesów morfodynamicznych, które warunkowane są głównie czynnikami lokalnymi oraz efemerycznymi zdarzeniami hydrometeorologicznymi o charakterze ekstremalnym, które trudno jest przewidzieć.
- Procesy morfodynamiczne uwarunkowane są głównie czynnikami lokalnymi oraz efemerycznymi, trudnymi do przewidzenia zdarzeniami hydrometeorologicznymi o charakterze ekstremalnym, co nie pozwala na określenie prognozy rozwoju brzegu klifowego wyspy Wolin.
- Analiza warunków hydrometeorologicznych pozwoliła na wyznaczenie progowych wartości opadów (ok. 30 mm) i poziomów morza (powyżej 560 cm) odpowiedzialnych za przeobrażenia brzegów klifowych.



- Istnieje potrzeba prowadzenia stałego monitoringu meteorologicznego i geomorfologicznego, którego celem jest prognozowanie ekstremalnych zdarzeń hydrometeorologicznych, wywołujących katastrofalne skutki geomorfologiczne oraz ostrzeganie społeczeństwa przed bezpośrednim zagrożeniem życia i zdrowia.
- Edytor Ostrzeżeń, stosowany w BPH w Gdyni do wydawania ostrzeżeń o przekroczeniu stanów ostrzegawczych i alarmowych, można wykorzystać do ostrzegania o zniszczeniach klifów.

## 10. Strategia działań

Ograniczenia skutków procesów o charakterze ekstremalnym w polskiej strefie brzegowej, a w szczególności na wybrzeżach klifowych powinny opierać się przede wszystkim o system ostrzeżeń. Ciągły monitoring warunków hydrometeorologicznych daje najlepszą możliwość określenia wystąpienia procesów ekstremalnych.

System ostrzeżeń powinien opierać się o:

- systematyczne tworzenie prognoz długo i krótkookresowych, dotyczących zagrożeń związanych z długotrwałymi i silnymi wiatrami, sztormami, opadami, potencjalnym wystąpieniem osuwisk,
- publikowanie prognoz w prasie lokalnej i regionalnej, stacjach radiowych, telewizyjnych oraz na odpowiednich pasmach krótkofalowych,
- monitoring skutków występowania długotrwałych i silnych wiatrów, sztormów, opadów oraz osuwisk w strefie brzegowej,
- symulacje możliwych procesów ekstremalnych za pomocą eksperymentów terenowych oraz laboratoryjnych,
- publikowanie map potencjalnego zagrożenia procesami ekstremalnymi,
- stworzenie oraz wystawienie w terenie tablic informacyjnych, zawierających wskazówki jak rozpoznać zagrożenie (sztorm, silny wiatr, duży opad deszczu) i jak się wobec niego zachować,
- stworzenie modeli potencjalnego rozwoju zjawisk ekstremalnych w różnych warunkach hydrometeorologicznych, litologicznych i geomorfologicznych.

Opracowywane prognozy krótkookresowe, kilkugodzinne lub kilkudniowe powinny być przygotowywane na podstawie bezpośrednich i pośrednich obserwacji warunków meteorologicznych. Natomiast dla prognoz długoterminowych niezbędne są terenowe obserwacje geologiczne, geomorfologiczne, kartograficzne oraz badania eksperymentalne.

Wypracowana w ramach prezentowanej pracy koncepcja wczesnego ostrzegania przez IMGW-PIB jest możliwa do realizacji zarówno ze względu na posiadana infrastrukturę, jak i możliwość dotarcia do odbiorców. Przygotowanie metodyki prognoz i włączenie do systemu monitoringu danych nie tylko ze stacji IMGW-PIB wymagać będzie ścisłej współpracy zarówno z ośrodkami naukowo-badawczymi, specjalizującymi się w zagadnieniach ochrony brzegów morskich, jaki i z administracją morską.

## **11. Wskazówki dla resortów: gospodarka, energetyka, zdrowie, rolnictwo, gospodarka komunalna, środowisko, gospodarka morska, bezpieczeństwo**

Wnioski wynikające z realizacji prezentowanych prac stanowią wskazówki dotyczące głównie resortu gospodarki morskiej. Największe niebezpieczeństwo dla gospodarki w rejonie wybrzeży klifowych stanowią osuwiska. W związku z tym Urząd Morski w Gdyni podjął odpowiednie działania na różnych etapach procesów planowania i wydawania decyzji, dotyczących pasa nadbrzeżnego i portów. Działania te mają zastosowanie na wybrzeżach klifowych wzdłuż polskiego wybrzeża.

W ramach planów zagospodarowania przestrzennego powinny zostać wyznaczone granice bezpośredniego zagrożenia osuwiskami oraz granice bezpiecznego inwestowania, związane z możliwością wystąpienia osuwisk na danym terenie. Decyzje dotyczące zabudowy terenu wymagają również odpowiedniego gospodarowania wodami opadowymi i roztopowymi. Obiekty zlokalizowane po odwodnej stronie systemu ochrony przeciwpowodziowej i na obszarze zagrożenia osuwiskami powinny być objęte zakazem remontu.

## **12. Propozycje działań adaptacyjnych**

W świetle wyników badań wykonanych w ramach zadania 4.5 wskazane jest doskonalenie zapisów prawnych. Prawo geologiczne powinno zawierać zapisy umożliwiające wyznaczenie stref zagrożenia i granic bezpiecznego inwestowania na klifach nadmorskich zagrożonych występowaniem osuwisk. Działania adaptacyjne powinny objąć również:

- ostrzeganie władz i społeczeństwa o przewidywanych długotrwałych i silnych wiatrach, sztormach, opadach oraz osuwiskach,
- wytypowanie najbardziej prawdopodobnych obszarów narażonych na procesy ekstremalne oraz wyposażenie ich w syreny ostrzegawcze, bezprzewodowe systemy łączności i własne zasilanie,
- pomoc jednostkom samorządowym w opracowywaniu planów zagospodarowania przestrzennego w strefie brzegowej,
- edukacja i informowanie społeczeństwa o efektach działalności długotrwałych i silnych wiatrów, sztormów, opadów i osuwisk w strefie brzegowej,
- stworzenie bazy danych zawierającej informacje o dostępnych środkach i gotowości sił do usuwania skutków długotrwałych i silnych wiatrów, sztormów, opadów oraz osuwisk,
- opracowanie analiz dotyczących obszarów w strefie brzegowej, predysponowanych na narażenia związane z działalnością długotrwałych i silnych wiatrów, sztormów, opadów oraz osuwisk.

### **Literatura**

Girjatowicz J. P., Świątek M., Olechwir T., 2011, Katalog cyrkulacji i opadów atmosferycznych na polskim wybrzeżu Bałtyku, Wyd. Nauk. US

- Kostrzewski A., Zwoliński Z., Tylkowski J., Winowski M., 2010, Sprawozdanie z realizacji opracowania naukowo – badawczego pt. Wskaźniki i szacunki utraty naturalnych brzegów i klifów na skutek powodzi sztormowych, szacunki i prognoza strat, Zadanie 2. Określenie tendencji zmian geomorfologicznych wybrzeży klifowych na przykładzie wyspy Wolin. Ocena stanu aktualnego cofania wybrzeży klifowych na przykładzie wyspy Wolin, niepublikowane
- Kostrzewski A., Zwoliński Z., Winowski M., Tylkowski J., Samołyk M., 2011, Sprawozdanie z realizacji opracowania naukowo – badawczego pt. Wskaźniki i szacunki utraty naturalnych brzegów i klifów na skutek powodzi sztormowych, szacunki i prognoza strat, Zadanie 4. Ocena możliwości wprowadzenia systemu ostrzeżeń o zmianach brzegów klifowych wywołanych ekstremalnymi zmianami hydrometeorologicznymi, niepublikowane
- Kostrzewski A., Zwoliński Z., Winowski M., 2010, Sprawozdanie z realizacji opracowania naukowo – badawczego pt. Wskaźniki i szacunki utraty naturalnych brzegów i klifów na skutek powodzi sztormowych, szacunki i prognoza strat, Zadanie 1 – Określenie tempa cofania korony klifu morskiego w celu zbadania rozkładu czasowego największych zmian geomorfologicznych w strukturze brzegów morskich w rejonie wyspy Wolin, niepublikowane
- Kowalska, B., 1997, Parametr Malińskiego charakterystyka i długoterminowe zmiany, II Sympozjum Nawigacyjne, Wyższa Szkoła Morska, Gdynia
- Majewski A., Dziadziuszko Z., 1985, Niskie poziomy morza na południowym wybrzeżu Bałtyku, IMGW, Warszawa
- Majewski A.; Dziadziuszko Z.; Wiśniewska A., 1983, Monografia powodzi sztormowych 1951-1975, Ogólna charakterystyka powodzi sztormowych u polskiego wybrzeża Bałtyku, WKiŁ, Warszawa
- Majewski, A., Dziadziuszko, Z., Wiśniewska, A., 1983. The catalogue of storm surges on the Polish coasts in the years 1951-1975 (in Polish), Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa
- Stanisławczyk I. 2002, Meteorologiczne uwarunkowania występowania wzebrań sztormowych na południowym wybrzeżu Bałtyku w okresie 1976-2000, Konferencja NT Bezpieczeństwo morskie i ochrona naturalnego środowiska morskiego, I Forum Morskie w Kołobrzegu, Środkowopomorska Rada NOT w Koszalinie, 95-102
- Stanisławczyk I., 2003, Niskie poziomy morza, a bezpieczeństwo nawigacji na torze wodnym Świnoujście-Szczecin, X Międzynarodowa Konferencja NT, Inżynieria Ruchu Morskiego, Świnoujście-Szczecin, Wyższa Szkoła Morska, 221-228
- Stanisławczyk I., 2010. Występowanie niskich poziomów morza na południowym wybrzeżu Bałtyku. Monografie Nr 69. Hydrologia w ochronie i kształtowaniu środowiska, T2, Komitet Inżynierii Środowiska PAN, red. A. Magnuszewski. 409-418, Warszawa 2010, rys.8, bibl.22
- Stanisławczyk I. 2011, Storm Surge Indicator for the Polish Baltic Sea. In *Miscellaneous Problems in Maritime Navigation. Transport and shipping*, CRC Press Balkema, Taylor & Francis Group, Londyn, Nowy Jork, Leiden, 17-24
- Stanisławczyk I., Kowalska B., Mykita M., 2009, Low sea level occurrence of the southern Baltic Sea coast, In: *Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Weintrit A. (ed.), CRC Press/Balkema, 473-478
- Stanisławczyk I., Sztobryn M., Kowalska B., Mykita M., 2008, Climate of Low Sea Levels on the Southern Baltic Sea Coast, *Polish Journal of Environmental Studies*, Olsztyn, 205-212
- Subotowicz W., 1982, Litodynamika brzegów klifowych, Wyd. PAN Ossolineum, Gdańsk
- Sztobryn, M., Kowalska B., 2005, Średni sezonowy poziom morza wzdłuż polskiego wybrzeża, Konferencja naukowa Hydrologia, meteorologia klimatologia-badania naukowe i prognozy w erze informatyzacji, Polskie Towarzystwo Geofizyczne, IMGW, 72-78
- Sztobryn M., Stigge H-J. i in., 2005, Storm surges in the southern Baltic Sea (western and central parts), *Bundesamets für Seeschiffahrt und Hydrographie*, 39
- Sztobryn M., Weidig B., Stanisławczyk I., Holfort J., Kowalska B., Mykita M., Kańska A., Krzysztofik K., Perlet I., 2009, Negative surges in the southern Baltic Sea (western and central parts), *Berichte des Bundesamtes für Seeschiffahrt und Hydrographie*, 45
- Wielbińska, D., 1964, Influence of atmospheric situation on sea level, *Bull. PIHM 2*
- Winowski M., 2008, Geomorfologiczne skutki tajania pokrywy śniegu na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin, *Landform Analysis*, 9, 222-225

- Winowski M., 2009, Wybrane przejawy funkcjonowania osuwisk translacyjnych na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin w: Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych, A. Kostrzewski (red.), Wyd. Nauk. UAM, Poznań, 591-606
- Winowski M., 2011, Morfodynamika zerw na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin, Biblioteka Główna UAM, praca doktorska, niepublikowane
- Wiśniewski B., Wolski T., 2009, Katalogi wezbrań i obniżeń sztormowych poziomów morza oraz ekstremalne poziomy wód na polskim wybrzeżu, Wyd. Nauk. Akademii Morskiej, Szczecin

# **Sezonowa ocena zagrożeń zdrowia publicznego na podstawie reakcji naturalnych wskaźników roślinnych**

*Katarzyna Jatczak*

## **1. Wprowadzenie**

Ocieplenie klimatu, ze wzrostem temperatury sięgającym prawie 1°C w ostatnim stuleciu, już dzisiaj staje się widoczne w całej Europie. Tendencja ta wywiera duży wpływ na gospodarkę i społeczeństwo jako całość, poprzez swoje skutki dla fizycznych i biologicznych składników ekosystemów, takich jak: woda, gleba, powietrze i bioróżnorodność. Stwarza również wiele zagrożeń dla zdrowia ludzkiego, szczególnie w przypadku gatunków o silnych właściwościach alergicznych, których przyspieszenie terminu pylenia wiąże się z wydłużeniem okresu objawów alergicznych i pogorszeniem się stanu zdrowia u osób cierpiących na alergię.

W procesie ustalania priorytetów adaptacji ważna jest odpowiednia wiedza na temat skali oraz perspektywy czasowej, w jakiej możemy się spodziewać negatywnych skutków zmian klimatu, które w niniejszym opracowaniu scharakteryzowano na podstawie reakcji naturalnych wskaźników roślinnych.

Obserwacje fenologiczne stanowią istotny element systemu monitoringu klimatu. Tego rodzaju spostrzeżenia dostarczają informacji o ważnym elemencie biosfery, jakim jest roślinna wegetacja.

## **2. Cel pracy**

Celem pracy było określenie zmian w fenologii gatunków zależnych od elementów i zjawisk meteorologicznych oraz wskazanie wynikających z nich zagrożeń w zakresie ochrony zdrowia publicznego.

## **3. Zakres prac**

- a. Scharakteryzowano przestrzennie termin początku kwitnienia leszczyny w Polsce w wieloleciu 1951-1990. Określono tempo zmian kwitnienia leszczyny pospolitej w Polsce w badanym wieloleciu. Współczynnik liniowej re-

gresji (model regresji i korelacji) przeanalizowano w histogramach oraz na mapach.

- b. Przeprowadzono predykcję terminów kwitnienia leszczyny do 2030 r. z uwzględnieniem zmian średniej temperatury lutego.
- c. Przeprowadzono kompleksową analizę danych fenologiczno-aerobotanicznych, z genezą meteorologiczną tych zjawisk w latach 2009-2010, w celu potwierdzenia hipotezy o zbieżności czasowej przebiegu fenofaz i przebiegu sezonu pyłkowego.
- d. W trakcie realizacji zadania prowadzono rozszerzone obserwacje fenologiczne roślin alergenogennych wraz z dokumentacją fotograficzną zjawisk oraz uaktualniano zbiory danych fenologicznych.

#### **4. Informacje o danych**

W prowadzonych analizach jako indyktor zastosowano roślinę wskaźnikową dla zarańca wiosny – leszczynę (*Corylus avellana*). Termin kwitnienia leszczyny ma duże znaczenie dla planowania i monitorowania terapii osób cierpiących na alergię. Długość sezonu pyłkowego zależy bowiem od daty jego początku. Krótszy, ale charakteryzujący się większym stężeniem ziaren pyłków w powietrzu, sezon pyłkowy jest dla alergików mniej korzystny niż trwający dłużej, za to z mniejszą ilością ziaren pyłków unoszących się w powietrzu [Piotrowicz, Myszkowska 2008].

Wykorzystano archiwalne dane fenologiczne kwitnienia żeńskich kwiatów leszczyny (*Corylus avellana*) z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowego Instytutu Badawczego z okresu 1951-1990.

Dla danych aktualnych (2009, 2010) rozpatrywano szczegółowy rozwój procesu pylenia kwiatów męskich z uwzględnieniem dwóch faz ( $F_2$  –początek pylenia,  $F_3$  –pełnia pylenia), wyróżnianych na podstawie subiektywnych obserwacji według metody Łukasiewicza.

Początek pylenia i kwitnienia leszczyny uważane są w fenologii za jedną z najważniejszych cech dla określania początku wegetacji [Łukasiewicz 1967].

Dane aerobotaniczne, dotyczące stężenia pyłku zawieszonego w powietrzu pochodziły z Instytutu Badania Alergenów Środowiskowych oraz Wojskowego Instytutu Medycznego.

Dane meteorologiczne, w postaci średniej miesięcznej temperatury grudnia, stycznia i lutego (1951-1990; 2009-2010), pochodziły z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB.

#### **5. Metodyka**

Na wstępie sporządzono mapę przestrzennego zróżnicowania początku kwitnienia leszczyny w Polsce w wieloleciu 1951-1990. Dla każdej z analizowanych stacji obliczono średnią wieloletnią ( $\bar{x}_{1951-1990} \pm 1\sigma$ ) oraz najwcześniejszą i najpóźniejszą zaobserwowaną datę w badanym wieloleciu. W celu zbadania ogólnych

prawidłowości w procesie zmian fenologicznych oraz w ramach analizy wyjaśniającej te procesy obliczono liniowe trendy regresji z wykorzystaniem dwóch modeli:

- modelu regresji – do opisanego trendu zmian terminów występowania faz fenologicznych (zmienna losowa) w czasie (wielolecie 1951-90 – zmienna nielosowa), wyrażanego kierunkiem i wartością współczynnika kierunkowego trendu w dniach/rok,
- modelu korelacji – do zbadania istotności współzależności zmian terminów faz fenologicznych od zmian średniej miesięcznej temperatury (obie zmienne losowe) w badanym okresie. W tym modelu jako zmienną niezależną arbitralnie ustalono średnią miesięczną temperaturę powietrza.

Przy wnioskowaniu o wskaźnikowych właściwościach roślin świadczących o zmianach klimatu przyjęto otrzymane parametry równania regresji:

- współczynnik liniowej regresji (model regresji i korelacji),
- współczynnik korelacji liniowej  $r$  Pearsona (model korelacji).

Wymienione parametry przeanalizowano w histogramach oraz na mapach.

Dokonano analizy obliczonych statystyk pod kątem prognozowania terminów pojawów fenologicznych w zadanym okresie badawczym, z uwzględnieniem zmian średniej miesięcznej temperatury powietrza.

Wybrano stacje z dobrym dopasowaniem modelu regresji liniowej do danych empirycznych.

W celu potwierdzenia hipotezy o zbieżności czasowej przebiegu fenofaz z przebiegiem sezonu pyłkowego w latach 2009-2010 określono także daty początku, końca oraz maksimum pylenia w sezonie pyłkowym. Sezon pyłkowy definiowany był jako okres, w którym 95% ziaren pyłku utrzymywało się w powietrzu.

Statystyczne analizy dotyczyły także archiwalnych danych fenologicznych kwitnienia leszczyny z 25 posterunków obserwacyjnych oraz danych meteorologicznych w postaci średniej miesięcznej temperatury lutego z odpowiednich 14 stacji IMGW. Stacje meteorologiczne dobierane były do posterunków fenologicznych na zasadzie najbliższego sąsiedztwa.

Okresem badawczym było wielolecie 1951-1990 oraz dane bieżące z lat 2009-2010. Analizy z 2009 i 2010 r. dotyczyły tylko Warszawy.

## **6. Diagnoza stanu badanego elementu**

W badanym wieloleciu (1951-1990) kwitnienie leszczyny najwcześniej – w pierwszej dekadzie marca – pojawiało się na zachodzie Polski (Międzyrzecz, Koźla), północnym zachodzie (Resko) i południowym zachodzie (Olza). W tym samym czasie kwitnienie leszczyny pojawiało się na południu (Ustroń, Piwniczna) i lokalnie w nizinnej części Polski (Odolanów, Teofilów) (rys. 1, tab. 1).

Następnie proces rozwijał się w kierunku północno-wschodnim, obejmując w drugiej dekadzie marca pozostałą część zachodnich pojezierzy i nizin (Warnice, Starzyce, Krzeszyce, Janikowo, Ostrów Wielkopolski, Bobrowniki, Meszcze) oraz Małopolskę (Wiślica) i Podkarpacie (Karsy), by dotrzeć na końcu do Polski północno-wschodniej w trzeciej dekadzie marca (Dąbrowa Białostocka, Mielnik, Wę-

gorzewo, Bartoszyce) z opóźnieniem do pierwszej dekady kwietnia na stacji w Kartuzach.



Rys. 1. Średnie terminy kwitnienia leszczyny w Polsce w wieloleciu 1951-1990

Termin kwitnienia leszczyny w badanym wieloleciu charakteryzował się dużym rozproszeniem dat. Odchylenie standardowe w przypadku 25-ciu badanych stacji wahało się od 12 (Piwniczna) do 23 dni (Resko), co świadczy o dużym zróżnicowaniu dat w poszczególnych latach w stosunku do średniej wieloletniej (1951-1990, rys. 2).

Najwcześniejsze kwitnienie leszczyny wystąpiło 10.01.1975 r. Była to konsekwencja bardzo ciepłego sezonu zimowego 1974/75. Natomiast najpóźniejszy termin kwitnienia – 30.04 – wystąpił w latach z bardzo chłodnymi zimami 1962/1963 r. i 1963/1964 r. (Kartuszy) oraz w roku 1958 (Bartoszyce).

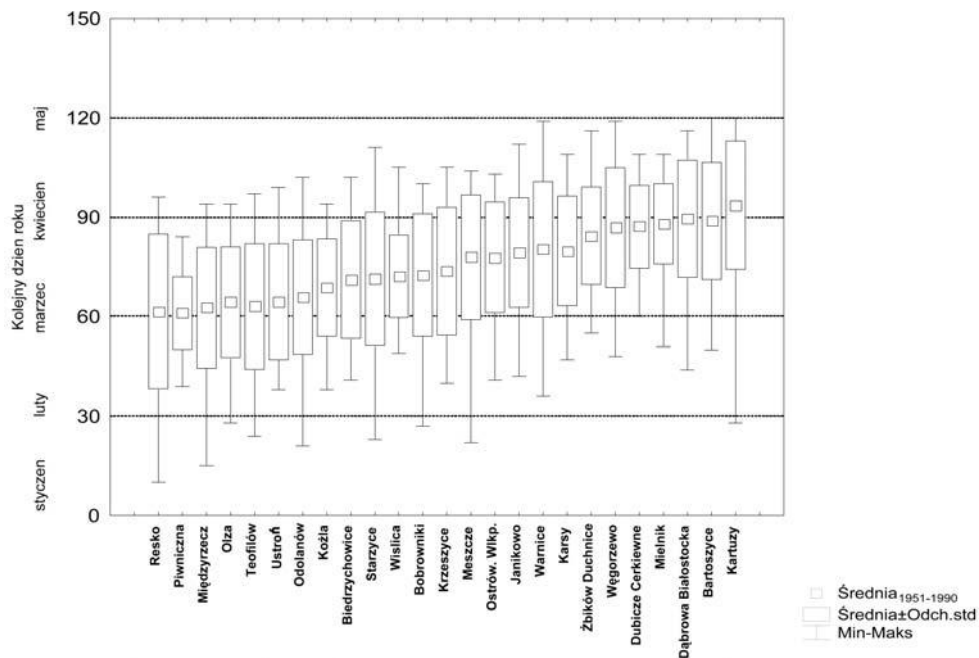
Na przeważającym obszarze kraju tempo zmian kwitnienia leszczyny osiągało wartości z zakresu od -4 do 0 dni/10lat (16 stacji). Największe przyspieszenie wystąpiło na zachodzie (Warnice -6,4; Resko -5 dni/dekadę), południowym zachodzie (Olza -6 dni/dekadę) i północno-wschodnich regionach kraju (Dubicze Cerkiewne -4,8; Węgorzewo – 4,6 dni/dekadę) oraz lokalnie na nizinach (Odolanów -4,2 dni/dekadę). I właśnie na tych stacjach (z wyjątkiem Reska) potwierdzono istotność statystyczną trendu (rys. 3, 4, tab. 1).

Trendy dodatnie wystąpiły na trzech stacjach – w Krzeszycach, Kartuzach i Mielniku – gdzie zanotowano tendencję do opóźniania procesu kwitnienia leszczyny.

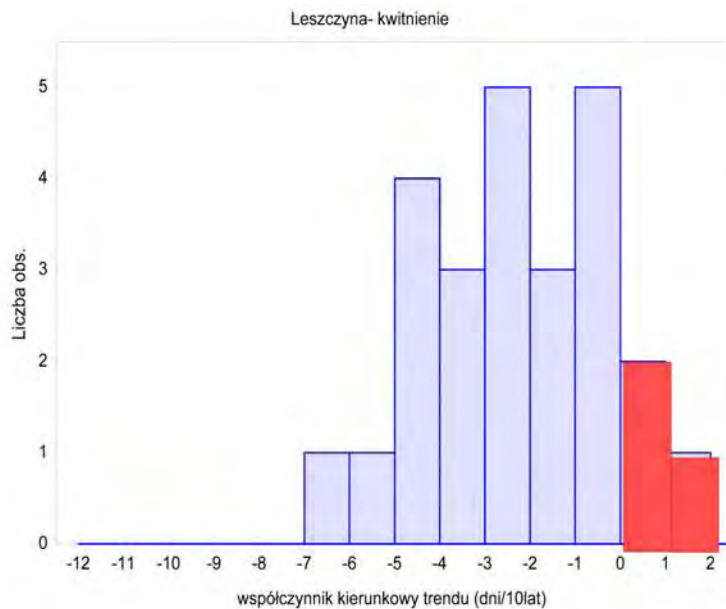
W celu wykazania związku pomiędzy zmianami w terminach występowania faz fenologicznych w Polsce, a zmianami średniej miesięcznej temperatury zastosowano analizę korelacji. Daty kwitnienia leszczyny w badanym wieloleciu (1951-1990) korelowano ze średnią temperaturą w grudniu, styczniu i lutym. Do szczególnych analiz (w histogramie oraz na mapie) wybrano wyniki korelacji ze średnią



miesięczną temperaturą w lutym ze względu na najwyższe, istotne wartości współczynnika korelacji spośród wszystkich korelowanych miesięcy.



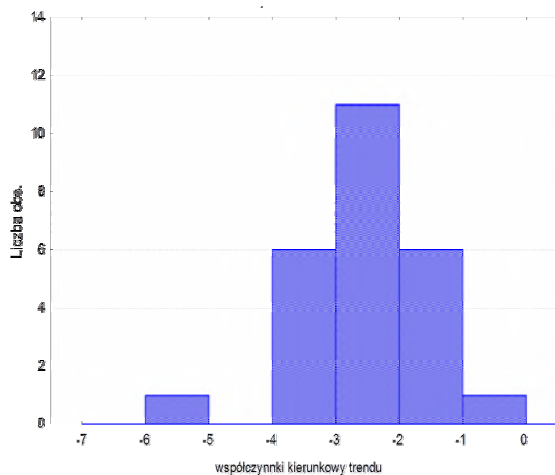
Rys. 2. Charakterystyka kwitnienia leszczyny na poszczególnych stacjach w okresie 1951-90



Rys. 3. Histogram rozkładu wartości współczynników kierunkowych trendu (dni/10 lat) –zakwitanie leszczyny

Tab. 1. Podstawowe statystyki analizy trendu liniowej regresji (zakwitanie leszczyny)

Nazwa łacińska	Nazwa polska	Faza fenologiczna	Nr	Nazwa stacji	Okres badawczy	Liczba lat	Średnia data	odchylenie standardowe (dni)	Współczynnik kierunkowy trendu (dni / 10 lat)	Wsp. kierunkowy trendu [dni / 10°C]	Prognozowany termin kwitnienia w 2020r. z uwzględnieniem zmian średniej miesięcznej temperatury lutego
			1	Kartuzy	1951-1990	40	4-04	19	1,5	-2,6	1-04
			2	Bartoszyce	1951-1990	40	30-03	17	-0,8	-2,3	27-03
			3	Węgorzewo	1951-1990	40	30-03	18	-4,6	-3,4	24-03
			4	Resko	1951-1990	40	2-03	23	-5	-5,2	27-02
			5	Dąbrowa Białostocka	1951-1990	40	30-03	18	-3,8	-2,7	28-03
			6	Starzyce	1951-1990	39	12-03	20	-0,7	-2,8	10-03
			7	Warmice	1951-1990	40	20-03	20	-6,4	-2,6	19-03
			8	Janikowo	1951-1990	40	19-03	20	-1,2	-2,6	17-03
			9	Dubicze Cerkiewne	1951-1990	40	30-03	13	-4,8	-1,6	26-03
			10	Krzyszczycy	1951-1990	40	15-03	19	0,2	-4	11-03
			11	Międzyrzecz	1951-1990	40	4-03	18	-3	-4	29-02
			12	Mielnik	1951-1990	40	29-03	12	0,4	-1,8	27-03
			13	Żbików Duchnice	1951-1990	40	25-03	15	-3,5	-2,4	24-03
			14	Koźła	1951-1990	40	10-03	15	-1,5	-2,9	7-03
			15	Ostrów, Wlkp.	1951-1990	40	18-03	16	-1	-2	16-03
			16	Odolanów	1951-1990	40	7-03	17	-4,2	-3,2	3-03
			17	Bobrowniki	1951-1990	40	13-03	18	-2,4	-3,2	9-03
			18	Łęszcze	1951-1990	40	19-03	19	-3,6	-3,7	14-03
			19	Teofilów	1951-1990	40	5-03	19	-0,4	-3	29-02
			20	Wisłica	1951-1990	40	13-03	17	-2,5	-0,9	12-03
			21	Biedrzychowice	1951-1990	40	12-03	18	-1,9	-1,6	11-03
			22	Karsy	1951-1990	40	19-03	17	-2,3	-2,3	18-03
			23	Olza	1951-1990	40	4-03	16	-6	-1,8	4-03
			24	Ustroń	1951-1990	40	5-03	17	-2,5	-2,5	3-03
			25	Piwniczna	1951-1990	39	3-03	12	-0,5	-1,7	28-02



Rys. 4. Histogram rozkładu wartości współczynników trendu (dni/1°C) – kwitnienie leszczyny

Na podstawie analizy zmian terminów występowania pojavów fenologicznych, jako funkcji średniej miesięcznej temperatury określono, iż w badanym wieloleciu zmiany kwitnienia leszczyny, związane ze zmianami średniej miesięcznej temperatury, zachodziły najczęściej w tempie od -4 do -2 dni/1°C na przeważającym obszarze Polski (17 stacji). Największe zmiany zaobserwowano w północno-zachodniej Polsce (Resko: -5,2 dnia/1°C) (rys. 5, 6, tab. 1)



Rys. 5. Zmienność przestrzenna współczynników kierunkowych trendu (dni/10 lat) – kwitnienie leszczyny

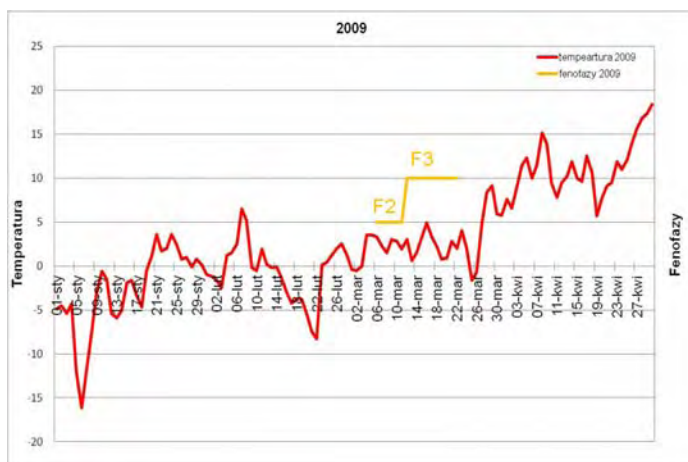


Rys. 6. Zmienność przestrzenna współczynników kierunkowych trendu (dni/1°C) – kwitnienie leszczyny

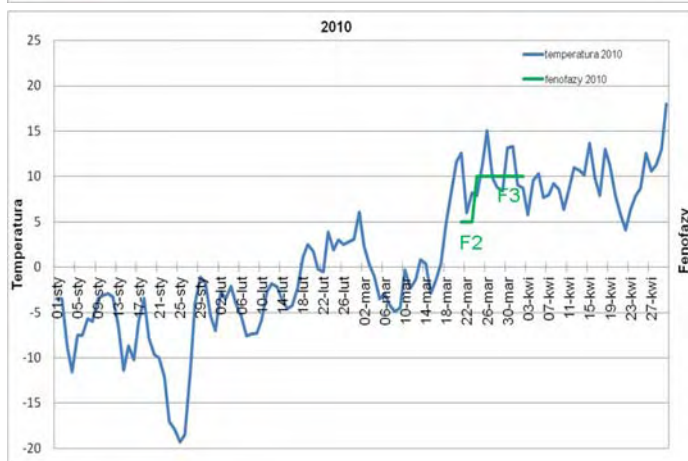
W kolejnym etapie badań przeanalizowano obliczone statystyki pod kątem prognozowania terminów pojawów fenologicznych w zadanym okresie badawczym (do 2030 r.).

Wybrano stacje z dobrym dopasowaniem modelu regresji liniowej do danych empirycznych. Na podstawie wybranych stacji wykonano prognozy terminu pojawów fenologicznych.

Przeprowadzono także kompleksową analizę danych fenologiczno-aerobotanicznych z genezą meteorologiczną tych zjawisk w latach 2009-2010, w celu potwierdzenia hipotezy o zbieżności czasowej przebiegu fenofaz i przebiegu sezonu pyłkowego.



Rys. 7. Przebieg średniej dobowej temperatury powietrza oraz fenofaz F2, F3 w Warszawie w roku 2009, [Jabłońska, Rapiejko 2010]



Rys. 8. Przebieg średniej dobowej temperatury powietrza oraz fenofaz F2, F3 w Warszawie w roku 2010, [Jabłońska, Rapiejko 2010]

W konsekwencji bardzo chłodnej zimy 2009/2010 wegetacja roślin oraz sezon pyłkowy rozpoczęły się znacznie później niż miało to miejsce w roku 2009 (o ponad 2 tygodnie).

Pylenie leszczyny (faza F2) w 2009 r. pojawiło się 6 marca, w ciągu następnego sześciu dni przekształciło się w fazę F3 (12 marca). Sezon pyłkowy leszczyny rozpoczął się 27 lutego 2009 r. i trwał do 24 marca. Maksymalną koncentrację ziaren pyłku w powietrzu ( $114 \text{ ziaren} \times \text{m}^{-3}$ ) zaobserwowano 10 marca, czyli w trakcie fenofazy F2 (rys. 7-9).

Po chłodniejszej zimie 2009/2010 w roku 2010 obydwie procesy, fenologiczne pylenie i koncentracja ziaren pyłku w powietrzu, pojawiły się później niż w roku ubiegłym (2009).

W 2010 r. pylenie leszczyny (faza F2) wystąpiło 21 marca, czyli 15 dni później niż w 2009 r. (rys. 8-10) [Jabłońska, Rapiejko 2010]. W efekcie gwałtownego wzrostu średniej dobowej temperatury w drugiej połowie marca 2010 r. (od 18 marca) zaobserwowano dużą dynamikę w przebiegu fenofaz. Początek pylenia (F2) przekształcił się w pełnię pylenia (F3) w ciągu trzech dni (rys. 8, 10).

Na podstawie kompleksowej analizy danych fenologicznych i aerobotanicznych z lat 2009-2010 stwierdzić można, że fenologiczne kwitnienie oddaje terminowo charakterystykę sezonu pyłkowego.

Fenofaza F2	Fenofaza F3	Charakterystyki 2009	<i>Corylusavellana</i> – sezon pyłkowy
06.03	12.03	Początek	27.02
11.03	22.03	Koniec	24.03
6	11	Długość (dni)	26
		stężenie pyłków	10.03

Rys. 9. Charakterystyka sezonu pyłkowego oraz fenofaz F2, F3 w Warszawie w roku 2009, [Jabłońska, Rapiejko 2010]

Fenofaza F2	Fenofaza F3	Charakterystyki 2010	<i>Corylusavellana</i> – sezon pyłkowy
21.03	24.03	Początek	18.03
23.03	02.04	Koniec	31.03
3	10	Długość (dni)	14
		2tężenie pyłków	21.03

Rys. 10. Charakterystyka sezonu pyłkowego oraz fenofaz F2, F3 w Warszawie w roku 2010, [Jabłońska, Rapiejko 2010]

## 7. Prognoza w odniesieniu do scenariuszy

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono także, że w perspektywie następnych 20 lat (predykcja do 2030 r.), nie należy się spodziewać istotnych zmian w terminach kwitnienia leszczyny, przy uwzględnieniu zmian średniej miesięcznej temperatury lutego do 2030 r. Przesunięcia terminowe wynosiły od 1 (Wiślica, Biedrzychowice) do 5 dni (Mszczęce, Teofilów) w stosunku do średniej wieloletniej (tab. 1).

W większości nieistotne statystycznie wyniki liniowej regresji dla zmian fenologicznych w badanym wieloleciu, obliczone z wykorzystaniem modelu regresji, nie upoważniły do zastosowania predykcji (tab. 1).

## 8. Strategia działań

Przystosowanie do zmian fenologicznych stanowi czynnik, który powinien być uwzględniany w odpowiednim planowaniu terminów szczepień antyalergicznymi.

Liczne badania z zakresu alergologii dowodzą, że ujawnianie się cech alergii i związana z tym zachorowalność, np. na astmę, systematycznie wzrasta [Droszcz 2005], (tab. 2).

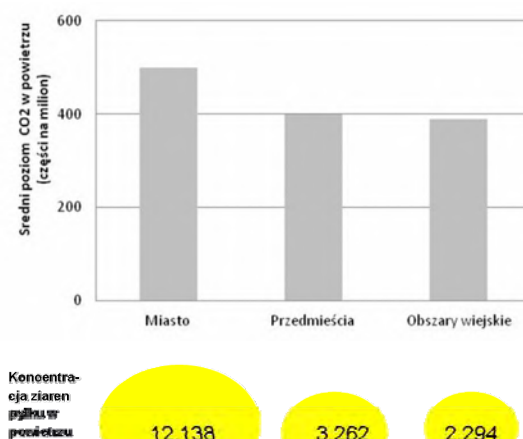
W Polsce 18% dorosłych i 23 % dzieci jest stygmatyzowane alergią. Brak jest wiarygodnych badań o dynamice narastania astmy i alergii w Polsce. Opierając się na badaniach brytyjskich z ostatniego ćwierćwiecza można przyjąć, że liczba cho-

rych na astmę systematycznie wzrasta. Należy przypuszczać, że w naszej populacji zaznacza się podobny kierunek zmian [Droszcz 2005].

Tab. 2. Zmiana zapadalności na astmę i alergię u dzieci i młodzieży [Droszcz 2005]

Kraj	Rok	%	Rok	%
Austria	1964	19,1	1990	46
Kanada	1980	3,8	1983	6,5
Anglia	1956	1,8	1975	6,3
USA	1971	4,8	1976	7,6

Głównym czynnikiem sprawczym wzrostu częstości występowania alergii jest wzrost zanieczyszczenia powietrza. Zwiększony stres środowiskowy powoduje natomiast, że pyłki roślinne mogą być bardziej alergenne ze względu na większą koncentrację ziaren pyłków w powietrzu [Nature... 2004, Naik 2007] (rys. 11).



Rys. 11. Poziom CO<sub>2</sub> oraz koncentracja ziaren pyłku na obszarach o różnym stopniu urbanizacji

## 9. Wnioski

- Na podstawie analizy przestrzennej początku kwitnienia leszczyny w Polsce w wieloleciu 1951-1990 uzyskano obraz rozwoju fenofazy z południowego zachodu ku północnemu wschodowi.
- Na przeważającym obszarze kraju tempo zmian kwitnienia leszczyny osiągało wartości z zakresu od -4 do 0 dni/10lat (w większości trendy nieistotnie statystycznie) oraz -4 do -2 dni/1°C (trendy istotnie statystycznie z wyjątkiem jednej stacji).

- W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono także, że w perspektywie następnych 20 lat (predykcja do 2030 r.) nie należy się spodziewać istotnych zmian w terminach kwitnienia leszczyny, przy uwzględnieniu zmian średniej miesięcznej temperatury lutego – miesiąca który najbardziej wpływa na fenologię tego gatunku.
- Na podstawie kompleksowej analizy danych fenologicznych i aerobotanicznych z lat 2009-2010 stwierdzić można, że fenologiczne kwitnienie oddaje terminowo charakterystykę sezonu pyłkowego. Dlatego z uwagi na brak długoletnich serii danych aerobotanicznych można przyjąć, że charakterystyki sezonu pyłkowego leszczyny zmieniały się podobnie jak zmieniała się fenologia kwitnienia tego gatunku w badanym wieloleciu.
- Przystosowanie do zmian fenologicznych stanowi czynnik, który powinien być uwzględniany przy planowaniu strategii działań adaptacyjnych. Właściwa profilaktyka antyalergiczna, stosowanie szczepień oraz leków przeciwhistaminowych umożliwi zmniejszenie kosztów poniesionych na leczenie powikłań wynikających z objawów alergii.

## **10. Wskazówki dla resortów: gospodarka, energetyka, zdrowie, rolnictwo, gospodarka komunalna, środowisko, gospodarka morska, bezpieczeństwo**

Wskazówki dla resortów rządowych zostały przedstawione w rozdziale 8.

## **11. Propozycje działań adaptacyjnych**

Opracowano założenia do strategii adaptacji profilaktyki alergologicznej, z uwzględnieniem zmian w fenologii gatunków zidentyfikowanych na podstawie danych archiwalnych oraz predykcji do 2030 r. (patrz: rozdział. 8).

Adaptacja oznacza przewidywanie szkodliwych skutków zmian klimatu i podejmowanie właściwych działań w celu zapobieżenia lub zminimalizowania szkód przez nie powodowanych. Otrzymane wyniki badań wykazały istotne zmiany fenologiczne w badanym wieloleciu 1951-1990 w związku ze zmianami średniej miesięcznej temperatury lutego, które nie powinny się jednak istotnie nasilać w perspektywie następnych 20 lat przy uwzględnieniu zmian średniej miesięcznej temperatury powietrza.

Wnioski te należałoby więc uwzględnić w trakcie profilaktyki antyalergicznej przy stosowaniu szczepień oraz leków przeciwhistaminowych.

Właściwe działania umożliwią bowiem zmniejszenie kosztów szkód poniesionych w przyszłości na leczenie powikłań wynikających z objawów alergii.

### **Literatura**

- Droszcz W., 2005, Astma u dzieci i dorosłych, PWN  
 Jabłońska K., Rapijko P., 2010, Using the results of a nationwide phenological network to examine the impact of changes in phenology of plant species on the concentration of plant pollen in the air, Acta Agrobotanica, 63 (2), 69–74

- Łukasiewicz A., 1967, Uwagi o gatunkach wskaźnikowych dla wyznaczeni fenologicznych pór roku, *Wiadomości Botaniczne*, XI (2)
- Naik G., 2007, Global warming may be spurring allergies, *The Wall Street Journal*, 4-6 May
- Piotrowicz K., Myszkowska D., 2008, Charakterystyka sezonów pyłkowych wybranych taksonów roślin w Krakowie na tle warunków meteorologicznych, w: *Klimat i bioklimat miast*. Ed. Kłysik K., Wibig J., Fortuniak K., Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź, 301-311
- Nature and seasons in a changing climate, 2004, *Weather*, 59 (11)



# **Szkody od wiatru w lasach Polski. Charakterystyka przyrodnicza i gospodarcza, prognozy występowania**

*Tadeusz Zachara, Wojciech Gil, Adam Kaliszewski*

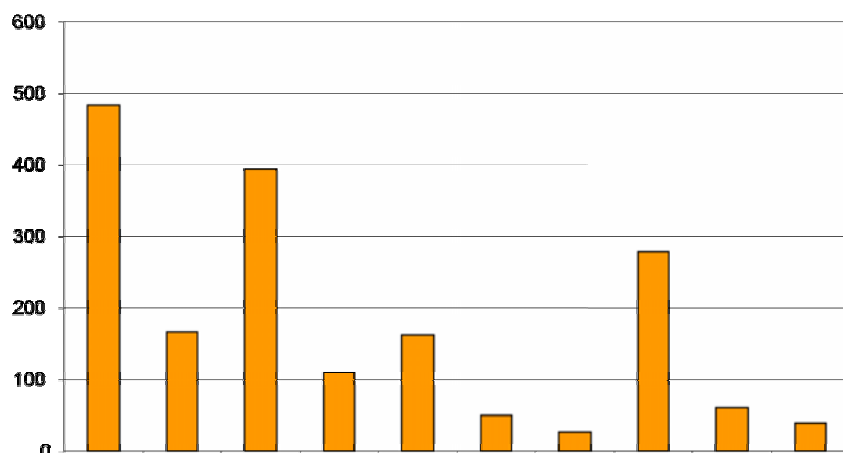
## **1. Rozmiar szkód od wiatru w Polsce**

Szkody wyrządzane przez wiatr w polskich lasach notowane były od zarania dziejów. Poważnym problemem gospodarczym stały się na początku XIX wieku, co było związane z zmianami składów gatunkowych drzewostanów – z wielogatunkowych na jednogatunkowe iglaste [Uggla 1965]. Wyraźne zwiększenie nasilenia szkód spowodowanych przez wiatr w lasach polskich, szczególnie na obszarach górskich, notuje się po I wojnie światowej [Zajączkowski 1991].

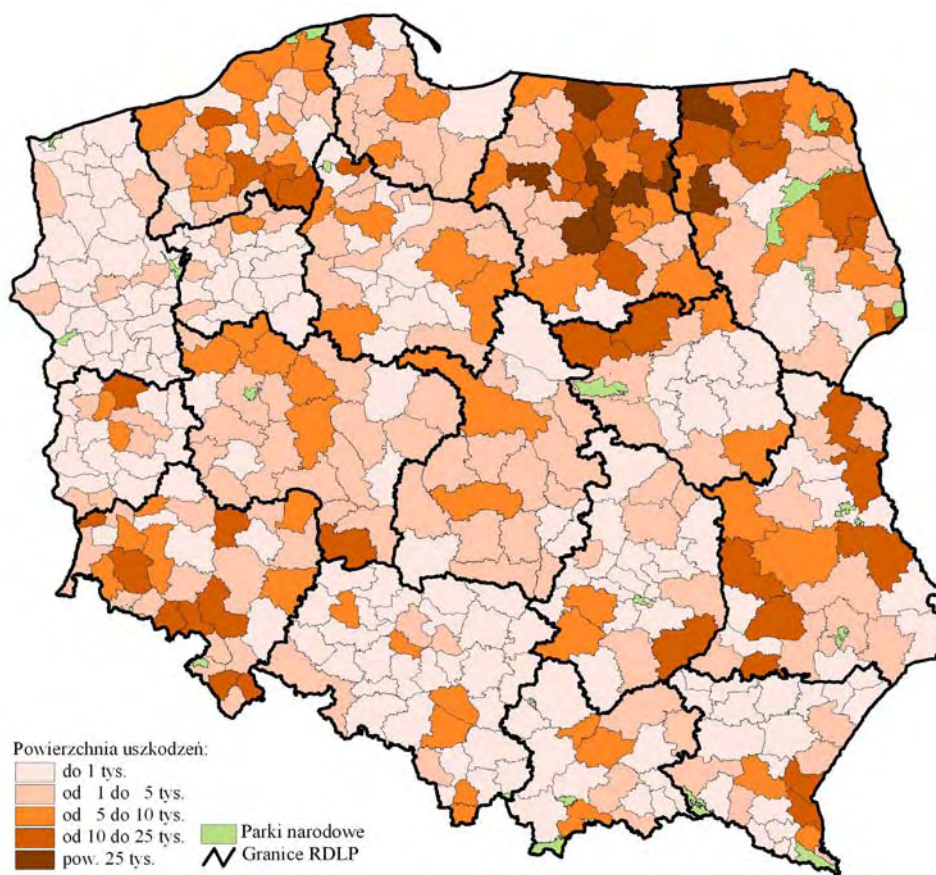
W okresie powojennym (po roku 1945) szkody powodowane przez wiatr i śnieg nadal były wysokie. Według zestawienia sporządzonego przez Zajączkowskiego (1991) w latach 1945-1990 wyniosły one blisko 50 mln m<sup>3</sup>, a większość szkód (90%) powstała w okresie jesienno-zimowym. Najbardziej nękane były w owym okresie obszary leśne położone na południu kraju – zwłaszcza w zachodniej części (Sudety) – oraz regiony północno-wschodnie.

Analizę szkód od wiatru w lasach Polski w ostatnim dziesięcioleciu oparto o dane gromadzone w Zakładzie Ochrony Lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa [Instrukcja... 2009]. Wartości te różniły się znacznie w zależności od przebiegu warunków pogodowych w poszczególnych latach (rys. 1). Największe powierzchniowe szkody w analizowanym okresie wystąpiły w 2000 r. Objęły wówczas areał 484 432 ha.

Do regionów kraju o najczęściej uszkodzanych drzewostanach w ostatnim 10-leciu należy Polska północno-wschodnia (teren RDLP Białystok, Olsztyn, częściowo Szczecinek), wschodnia (RDLP Lublin) oraz południowa (RDLP Wrocław) (rys. 2). Wielkość szkód w znacznej mierze korespondowała z rejonizacją zagrożenia szkodami od wiatru opracowaną przez Zajączkowskiego [1991], zgodnie z którą do obszarów o podwyższonym ryzyku takich szkód należą: pas nadmorski, większa część Pomorza i Mazur oraz tereny górskie. Wyjątek stanowią szkody zanotowane w środkowej i wschodniej części Polski spowodowane burzami letnimi, trudniejszymi do przewidzenia jeśli chodzi o lokalizację.



Rys. 1. Powierzchniowy rozmiar szkód od wiatru w Lasach Państwowych w latach 2000-2009 (tys. ha)



Rys. 2. Rozmiar szkód od wiatru [ha] wg nadleśnictw w latach 2000-2009

## **2. Ekonomiczne straty od wiatru na przykładzie huraganu w Puszczy Piskiej w 2002 r.**

W wyniku huraganu na obszarach leśnych powstają straty z tytułu zmniejszenia wartości majątku, w tym zwłaszcza zapasu drewna na pniu oraz utraty zdolności produkcyjnych drzewostanów na skutek zakłócenia procesu produkcji leśnej. Straty w następstwie wystąpienia huraganowych wiatrów mogą być sklasyfikowane następująco:

- uszkodzenia drzewostanu lub jego całkowite zniszczenie, prowadzące do niewykorzystania potencjalnych możliwości produkcyjnych przedwcześnie usuniętego drzewostanu lub jego części,
- uszkodzenia surowca drzewnego pozyskiwanego ze zniszczonych drzewostanów i obniżenie jego wartości rynkowej,
- zwiększenie kosztów pozyskania drewna,
- niekorzystne zmiany w środowisku leśnym, wymagające utrzymania i zachowania lasu na terenie pokłeskowym, zwiększonych nakładów pracy, a więc i kosztów na odnowienie, hodowlę i ochronę lasu,
- zmniejszenie wartości pozaprodukcyjnych funkcji lasu,
- zniszczenie infrastruktury gospodarstwa leśnego, w tym budynków, urządzeń melioracyjnych, dróg i parkingów leśnych, szkółek, składnic itp. [Zajac i in. 2000].

Poniżej przedstawiono wyniki badań nad ekonomicznymi skutkami huraganu w Puszczy Piskiej w lipcu 2002 r., przeprowadzonych w latach 2005-2008 w Instytucie Badawczym Leśnictwa [Kaliszewski 2008].

Huragan, który w dniu 4 lipca 2002 r. nawiedził Puszczę Piską i Borecką, uszkodził drzewostany na powierzchni około 33 tys. ha, z czego około 17 tys. ha drzewostanów zostało zniszczonych całkowicie. Szacunkowe ustalenia wykazały, że miąższość uszkodzonych drzew wyniosła około 3,6 mln m<sup>3</sup>. Szkody od wiatru odnotowano na obszarze 10 nadleśnictw. Największe straty zinwentaryzowano na terenie Nadleśnictwa Pisz, gospodarującego lasami o łącznej powierzchni 34,2 tys. ha, gdzie miąższość uszkodzonego drewna sięgnęła 2,5 mln m<sup>3</sup>, a zniszczeniom uległo około 12 tys. ha drzewostanów (powierzchnia zredukowana). Straty odnotowano nie tylko w drzewostanach gospodarczych, ale również w rezerwatach przyrody, strefach ochronnych miejsc rozrodu i regularnego przebywania ptaków gatunków chronionych oraz w drzewostanach nasiennych. Uszkodzeniu uległa także infrastruktura turystyczna [Strategia... 2003].

W 2003 r. dokonano bilansu dodatkowych kosztów poniesionych w związku z usuwaniem skutków huraganu z lipca 2002 r. Usuwanie szkód na całym obszarze wystąpienia klęski pochłonęło 53,1 mln zł. Koszty poniesione w samym Nadleśnictwie Pisz wyniosły 27,9 mln zł, a największy udział w tej kwocie miały koszty związane z pozyskaniem drewna (ok. 59%) i jego zrywką (28%). Ponadto oszacowano wówczas, że do końca 2004 r. w Nadleśnictwie Pisz odnowieniu i przebudowie poddanych zostanie 1570 ha drzewostanów. Koszty zagospodarowania

i ochrony tej powierzchni oszacowano wówczas na kwotę 16,0 mln zł [Anonim 2003].

Określenie strat z tytułu przedwczesnego wyrębu drzewostanów całkowicie i częściowo zniszczonych na skutek huraganu w Nadleśnictwie Pisz zostało przeprowadzone w oparciu o stosowane w praktyce metody wyceny drzewostanów [Ustawa 1995, Rozporządzenie 2002]. Badania przeprowadzono dla fragmentu Obrębu Wilcze Bagno położonego w granicach Nadleśnictwa Pisz, w którym w 2002 r. huragan dokonał największych zniszczeń. Łączna powierzchnia analizowanych pododdziałów wynosiła blisko 1085 ha, tj. ok. 3,2% całkowitego areалу lasów w Nadleśnictwie Pisz. Drzewostany całkowicie zniszczone przez wiatr zajmowały 68% tej powierzchni (839 ha).

W grupie analizowanych drzewostanów dominowały zbiorowiska 1-gatunkowe, porastające ponad 54% powierzchni. Drzewostany 2-gatunkowe stanowiły blisko 28% wszystkich drzewostanów, a 3-gatunkowe około 15%. Pod względem wieku na badanym obszarze dominowały zbiorowiska III klasy wieku (41-60 lat; 29,7% powierzchni). Znaczący był również udział drzewostanów w wieku od 21 do 40 lat (22,1%) oraz w wieku od 81 do 100 lat (19,9%).

Całkowite straty spowodowane koniecznością przedwczesnego usunięcia drzewostanów na badanym obszarze wyniosły 6,54 mln zł (ceny z 2002 r.). Blisko 85% tej kwoty stanowiły straty w drzewostanach zniszczonych całkowicie. W grupie tej 57% strat przypadło na drzewostany 1-gatunkowe, 21% na drzewostany 2-gatunkowe, a 17% na 3-gatunkowe. W przeliczeniu na jednostkę powierzchni najwyższe straty poniesiono w drzewostanach tworzonych przez 4 gatunki drzew (ponad 10,8 tys. zł/ha), najniższe – w 2-gatunkowych (5,0 tys. zł/ha). Przeciętne straty ekonomiczne w drzewostanach całkowicie zniszczonych oszacowano na ponad 6,6 tys. zł/ha.

W drzewostanach częściowo uszkodzonych łączne straty osiągnęły wartość blisko 1,0 mln zł. Ponad 54% strat przypadło na drzewostany 1-gatunkowe, a 29% na drzewostany 2-gatunkowe. Średnie straty dla wszystkich drzewostanów tej kategorii wyniosły ok. 4,0 tys. zł/ha i były około 39% niższe od średnich strat w drzewostanach całkowicie zniszczonych.

Największe straty z tytułu przedwczesnego wyrębu poniesione zostały w drzewostanach II i III klasy wieku (tj. 21-40 oraz 41-60 lat). Wynika to z przyjętej metody opracowania tablic wartości drzewostanów, w oparciu o które przeprowadzono kalkulację. Wartość drzewostanów średnich klas wieku nie jest duża ze względu na niewielki udział możliwych do pozyskania najcenniejszych, wielkowiekowych sortymentów drewna. Jednocześnie łączne koszty poniesione na założenie, ochronę i pielęgnację drzewostanów do tego wieku są bardzo wysokie. Tak więc przerwanie cyklu produkcyjnego w tych zbiorowiskach leśnych niesie za sobą dotkliwe konsekwencje ekonomiczne.

Uzyskane i przedstawione powyżej wyniki badań pozwoliły na oszacowanie strat w Obrębie Wilcze Bagno, będącym jednym z czterech obrębów Nadleśnictwa Pisz i stanowiącym ok. 16% jego powierzchni leśnej. W całym obrębie całkowicie

zniszczonych zostało blisko 3,6 tys. ha drzewostanów (65%), na pozostałych 1,9 tys. ha stwierdzono uszkodzenia częściowe.

Całkowite straty spowodowane koniecznością przedwczesnego wyrębu drzewostanów na badanym obszarze wyniosły 33,6 mln zł (ceny z 2002 r.). Około 75% wszystkich strat (25,1 mln zł) przypadło na drzewostany całkowicie zniszczone. W drzewostanach częściowo uszkodzonych łączne straty osiągnęły równowartość blisko 68 tys. m<sup>3</sup> drewna, tj. ponad 8,6 mln zł. Dane te nie uwzględniają faktu, iż jakość drewna pozyskiwanego z wiatrołomów jest dużo gorsza, co znajduje odzwierciedlenie w jego niższej wartości rynkowej.

Analiza struktury jakościowo-sortymentowej drewna pozyskiwanego na powierzchniach zniszczonych przez wiatr przeprowadzona została w 38 losowo wybranych drzewostanach sosnowych w wieku 90-120 lat, znajdujących się w Obrębie Wilcze Bagno na siedlisku boru świeżego. Łączna powierzchnia badanych drzewostanów wyniosła 235,12 ha. W analizowanych pododdziałach określono udział poszczególnych sortymentów jakościowo-wymiarowych pozyskiwanego drewna oraz oszacowano jego wartość. Następnie analogiczne badanie powtórzono dla 13 nieuszkodzonych drzewostanów w Nadleśnictwie Pisz zajmujących łączną powierzchnię 21,83 ha.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w grupie drzewostanów nieuszkodzonych duży udział mają sortymenty wielkowymiarowe (WA0 i WB0), stanowiące łącznie 29% całkowitej masy pozyskiwanego drewna. Jest to drewno najwyższej jakości, w którym m.in. nie są dopuszczalne jakiegokolwiek pęknięcia czołowo-boczne, a pęknięcia czołowe nie mogą przekraczać 1/5 (dla WA0) lub 1/3 (dla WB0) średnicy czół dłużyc. Wysokie wymagania jakościowe znajdują odzwierciedlenie w cenie tego surowca, wynoszącej w 2002 r. od 215 do 295 zł/m<sup>3</sup>. W grupie drzewostanów całkowicie zniszczonych drewno wielkowymiarowe przypisywano jedynie do klas WC0 i WD dopuszczających pęknięcia czołowe, a w przypadku drewna WD – także czołowo-boczne. Średnia cena tych sortymentów wynosiła odpowiednio 178 i 118 zł/m<sup>3</sup>. W drzewostanach uszkodzonych brak było najcenniejszych sortymentów drewna (WA0 i WB0), a łączny udział sortymentów wielkowymiarowych WC0 i WD sięgał 48%. Udział drewna wielkowymiarowego w drzewostanach nieuszkodzonych wynosił 72%, z czego drewna w klasie WC0 i WD – 43%.

Dla drzewostanów uszkodzonych charakterystyczny jest natomiast bardzo duży udział drewna S2 (47%) określanego dawniej jako „papierówka” (w praktyce obejmujący również drewno użytkowe i opakowaniowe). W drzewostanach nieuszkodzonych sortyment ten stanowi 22% ogólnej masy pozyskanego drewna. Tak znaczący udział drewna S2 w drzewostanach uszkodzonych jest wynikiem zaklasyfikowania do tej kategorii surowca, który w normalnych warunkach, przy braku uszkodzeń fizycznych, zostałby zaliczony do drewna wielkowymiarowego. W surowcu pozyskanym z drzewostanów uszkodzonych znacząco wyższy jest także udział sortymentu S4, czyli średniowymiarowego drewna opałowego (5% ogólnej miąższości, podczas gdy w drzewostanach nieuszkodzonych – 1%).

Obliczona średnia wartość tej samej ilości drewna pozyskanego w drzewostanach całkowicie zniszczonych przez wiatr jest o około 36% niższa od średniej wartości drewna z drzewostanów nieuszkodzonych. Ze względu na znaczenie gospodarcze strat spowodowanych w lasach przez wiatr omawiane tu zagadnienie wymaga dalszych szczegółowych badań.

### **3. Prognoza przyszłych szkód od wiatru w lasach Polski**

#### **3.1. Charakterystyka scenariuszy klimatycznych pod kątem potencjalnych szkód od wiatru**

Problem przyszłych szkód od wiatru można przedyskutować w odniesieniu do trzech scenariuszy emisyjnych opracowanych przez IPCC: A1B – rynkowego, A2 – regionalnego i B1 – zrównoważonego. Biorąc pod uwagę odniesienia do leśnictwa, scenariusz A1B zakłada nieznaczne zwiększenie się powierzchni leśnej oraz wzrost presji społecznej na zachowanie obszarów zielonych. Może to doprowadzić do dywersyfikacji gospodarstw leśnych, czyli podziału na „ekosystemowe” oraz „plantacyjne” [Rykowski 1990]. Scenariusz A2 zakłada utrzymanie powierzchni leśnej na obecnym poziomie, choć wydaje się to dyskusyjne, zważywszy, że na skutek zmniejszania się powierzchni upraw rolnych może następować samoistne zarastanie przez las gruntów ugorowanych. Scenariusz B1 zakłada zwiększanie powierzchni leśnej i powierzchni lasów objętej różnymi formami ochrony przyrody, ale możliwy jest też podział lasów ze scenariusza A1B.

W poniższej analizie oparto się na prognozach przebiegu temperatur przedstawionych w ramach Zadania 1 projektu KLIMAT. Według tych danych, w każdym z trzech rozważanych scenariuszy dojdzie do wzrostu średniej temperatury rocznej, co może powodować stopniowe przesuwanie się granic naturalnego zasięgu drzew i zmianę składu gatunkowego lasów, polegającą na wzroście udziału gatunków innych niż sosna i świerk – głównie liściastych – ale także jodły (pod warunkiem wystarczającego poziomu opadów, zwłaszcza w okresie wegetacyjnym). Jeśli chodzi o maksymalną temperaturę to przyrost jej wartości jest mniejszy niż w wypadku temperatury średniej i tylko na południu Polski w scenariuszach A1B i A2 przekracza  $+1,0^{\circ}\text{C}$ . Układ tych izolinii ma również przebieg równoleżnikowy. Odmiennie wygląda sytuacja, gdy rozpatruje się przebieg tych zmian dla poszczególnych pór roku. Dla okresu 2011-2030 największy wzrost maksymalnej temperatury przewidywany jest dla wiosny i jesieni, z trendem malejącym z południowego zachodu na północny-wschód (zwłaszcza dla scenariuszy A1B i A2). Dla okresu 2081-2100 układ geograficzny jest podobny, ale największy wzrost ma nastąpić dla jesieni i zimy. Może to oznaczać wzrost zagrożenia ze strony wichur jesiennie-zimowych w całym kraju. Dla lata scenariusze przewidują spadek maksymalnych temperatur w obu okresach w Polsce północno-zachodniej i wzrost w Polsce południowo-wschodniej. Można więc przewidywać, że szkody od wiatrów letnich będą się rzadziej zdarzać na północo-zachodzie i w centrum, a częściej na Lubelszczyźnie.

Jeśli chodzi o wiatr brak jest, podobnych do przebiegu temperatury, prognoz dla poszczególnych scenariuszy. W prognozie można się zatem oprzeć jedynie na danych bieżących dotyczących maksymalnych prędkości wiatru lub prawdopodobieństwa przewyższenia określonej prędkości wiatru (zadanie 4). Największe prawdopodobieństwo przewyższenia prędkości wiatru w porywach 30 m/s, na wysokości 10 m nad powierzchnią gruntu, występuje na północy oraz na południu kraju, zwłaszcza nad morzem w pasie od Łeby do Rozewia, jak również w rejonie Beskidu Śląskiego i Żywieckiego oraz Tatr. Z punktu widzenia szkód w lasach groźniejsze wydają się wichury w tym drugim obszarze, ze względu na uszkodzenia tamtejszych drzewostanów [Grodzki 2004, Dmyterko, Bruchwald 2007] przez czynniki abiotyczne (susze) oraz biotyczne (grzyby i owady), co zmniejsza ich odporność na uderzenia wiatru. Obszar o podwyższonym prawdopodobieństwie wystąpienia huraganowych wiatrów występuje również w środkowej części kraju oraz na części Niziny Śląskiej, co w znacznym stopniu koresponduje z obrazem szkód w lasach w minionym dziesięcioleciu (rys. 2). Brak jest natomiast wytłumaczenia zilustrowanego na tym rysunku dużego rozmiaru szkód we wschodniej Polsce, zwłaszcza na Lubelszczyźnie. Może być on spowodowany czynnikami losowymi, lub zależnymi od gospodarki leśnej.

Wobec braku prognozy dotyczącej wielkości opadów przy różnych scenariuszach można ogólnie stwierdzić, że szkodom od wiatru sprzyja nierównomierność opadów – następujące po sobie susze oraz okresy intensywne opadów [Zajączkowski 1991]. Silne wiatry powodują większe szkody (głównie wywroty), gdy zachodzi ich koincydencja z opadami deszczu osłabiającymi zakotwiczenie drzew w rozmięklej glebie. Dotyczy to zwłaszcza płytkich gleb w wyższych partiach gór oraz gleb silnie wilgotnych na siedliskach borowych związanych często z litymi drzewostanami świerkowymi.

### **3.2. Czynniki wpływające na rozmiar przyszłych szkód od wiatru w lasach Polski**

#### **3.2.1. Wprowadzenie**

Poziom szkód od wiatru zależy zarówno od czynników pogodowych takich jak: siła wiatru, pora roku, w jakiej występują, wielkość i rozkład opadów, jak też od czynników bezpośrednio zależnych od człowieka, czyli od sposobu prowadzenia gospodarki leśnej i działań gospodarczych w bezpośrednim otoczeniu lasów. Czynniki te będą determinować zjawiska:

- zmiany stopnia lesistości kraju,
- zmiany struktury własnościowej lasów,
- zmiany składu gatunkowego lasów,
- zmiany metod gospodarki leśnej.

Od kierunku i natężenia tych zjawisk będzie, w sposób pośredni, zależeć wielkość oraz regionalny rozkład możliwych szkód od rozmaitych czynników szkodotwórczych, w tym również od huraganowych wiatrów.

### 3.2.2. Zmiany stopnia lesistości kraju

Powierzchnia leśna kraju wzrasta nieprzerwanie od 1946 r. Dzięki zalesieniom, przede wszystkim w okresie po II wojnie światowej, nastąpił istotny wzrost lesistości kraju – z 20,8% w 1946 r. do 29,0% w 2007 r. [GUS Leśnictwo 2008]. Krajowy Program Zwiększania Lesistości przewiduje wzrost powierzchni leśnej kraju do 30% w roku 2020 i do średniej europejskiej (33-34%) około roku 2050.

Z aktualnej wersji Krajowego Programu Zwiększania Lesistości (KPZL) [2003] wynika, że powierzchnia gruntów rolnych do zalesienia w latach 2001-2020 wyniesie 680 tys. ha, natomiast w dłuższej perspektywie transfer gruntów z rolnictwa do leśnictwa może wynieść nawet 1,5 mln ha. Zgodnie z kategoryzacją jednostek podziału administracyjnego pod względem preferencji zalesieniowych, w skali kraju jest łącznie 944 gmin i miast (32,3% ogólnej ich liczby) o szczególnie wysokich i wysokich preferencjach zalesieniowych. Najwięcej jednostek o wysokich potrzebach zalesieniowych znajduje się w województwach kujawsko-pomorskim (24,2%), warmińsko-mazurskim (22%) i wielkopolskim (28,8%), natomiast jeśli chodzi o przewidywaną podaż gruntów do zalesień to największa powierzchnia przewidziana jest w województwach wielkopolskim (110,7 tys. ha), mazowieckim (75,2 tys. ha) i lubelskim (64 tys. ha).

Fakt zwiększania powierzchni leśnej nie determinuje wzrostu lub zmniejszenia zagrożenia szkodami od wiatru. Z jednej strony wzrost powierzchni zalesionej wpływa hamująco na siłę wiatru, z drugiej – zwiększa powierzchnię zagrożoną uszkodzeniem w wypadku wystąpienia wiatrów o huraganowej sile. Istotny wzrost zagrożenia przychodzi z opóźnieniem 30-40 lat, gdyż w takim mniej więcej wieku drzewostan staje się szczególnie podatny na szkody od wiatru. W młodszym wieku wystąpienie takich szkód grozi niemal wyłącznie w wypadku trąb powietrznych. Istotne znaczenie ma też sposób zalesiania. Prowadzenie nasadzeń w oderwanych kompleksach leśnych wydłuża granicę polno-leśną, co skutkuje wzrostem zagrożenia. Wzrost prędkości wiatru odczuwalny jest bowiem aż do odległości równej sześciokrotnej wysokości drzewostanu [Peltola 1996], stąd małe kompleksy leśne nie spełniają dobrze roli wiatrochronnej. Korzystne jest takie prowadzenie zalesień, przy którym następuje wypełnienie pustych przestrzeni, co służy wzajemnemu osłanianiu się drzewostanów przed wiatrem [Zajączkowski 1991].

Odporność nowych nasadzeń na szkody od wiatru zależy od ich składu gatunkowego. Wprowadzanie litych upraw iglastych (sosna, świerk), jak miało to miejsce na większości zalesianych obiektów po II wojnie światowej, wpływa negatywnie na stabilność przyszłych drzewostanów [Słodičak 1995, Peltola i in. 2000]. Obecnie, zgodnie z Krajowym Programem Zwiększania Lesistości, preferowane jest zakładanie upraw mieszanych – w Lasach Państwowych na mocy odpowiednich przepisów zawartych w dokumencie Zasady Hodowli Lasu [Rozwałka 2003], zaś na gruntach prywatnych za pomocą zachęt finansowych.

Odnosząc powyższe rozważania do scenariuszy klimatycznych, należy stwierdzić, że przy scenariuszu A1B nieznaczny wzrost powierzchni leśnej nie powinien mieć istotnego wpływu na wielkość szkód od wiatru. Przy scenariuszu A2 szkody



te mogą pozostać na obecnym poziomie lub wzrosnąć w sytuacji, gdy na skutek nierównomiernego rozwoju gospodarczego pojawią się zaniedbania pielęgnacyjne w istniejących drzewostanach. Przy scenariuszu B1 można przewidywać wzrost udziału stabilniejszych drzewostanów mieszanych, a co za tym idzie lekkie obniżenie rozmiaru szkód powodowanych przez wiatr.

### 3.2.3. Zmiany struktury własnościowej lasów

Jest to czynnik o charakterze społeczno-politycznym, trudny do przewidzenia. Może on mieć jednak pośredni wpływ na wielkość szkód powodowanych przez wiatr, ze względu na różne cele stawiane przed gospodarstwem leśnym i w zależności od formy własności i wielkości tego gospodarstwa. Celem państwowego gospodarstwa leśnego jest prowadzenie trwałej i zrównoważonej gospodarki leśnej, zachowującej biologiczną różnorodność i funkcje społeczne. Cele gospodarstw prywatnych mogą być różne: produkcja drewna w krótkim cyklu, miejsce rekreacji, chęć uzyskania dotacji lub czasowa lokata kapitału. W wypadku lasów prywatnych w Polsce dochód z nich stanowi niewielki procent całości dochodu właścicieli, którzy zazwyczaj utrzymują się z innych źródeł [Gołos 2008]. Trudno oczekiwać, aby większość prywatnych gospodarstw spełniała funkcje ekologiczne i społeczne na równi z Lasami Państwowymi.

Częściowa prywatyzacja lasów jest możliwa do wyobrażenia zarówno w scenariuszu A1B jak też A2. W scenariuszu B1 przyrost powierzchni leśnej będącej w rękach prywatnych byłby raczej wynikiem zalesień nowych gruntów. Rozdrobnienie własności leśnej nie sprzyjałoby zachowywaniu ładu czasowo-przestrzennego w lesie, podnoszącą odporność na działanie wiatru. Biorąc pod uwagę tylko ten czynnik, a więc strukturę własnościową, przy dwóch pierwszych scenariuszach należałoby raczej spodziewać się wzrostu szkód w lasach powodowanych przez wiatr, przy trzecim – utrzymanie ich na poziomie zbliżonym do obecnego.

### 3.2.4. Zmiany składu gatunkowego lasów

W hodowli i urządzaniu lasu istotną rolę odgrywa pojęcie zgodności składu gatunkowego drzewostanu z siedliskowym typem lasu, określającym charakterystykę przyrodniczą i produkcyjne możliwości siedliska. Powierzchnia, jaką zajmują drzewostany o różnych stopniach zgodności z siedliskiem [Instrukcja Urządzenia Lasu 2003], znana jest jedynie dla obszaru Lasów Państwowych. Według danych na 2005 r. zgodność z siedliskiem wykazywało 43,2% drzewostanów, 37,9% było częściowo zgodnych. Drzewostany niezgodne z siedliskiem zajmowały w tym układzie 18,9% powierzchni, czyli ponad 1,3 mln ha. Największy udział w tej powierzchni mają lite drzewostany sosnowe (niekiedy także brzożowe) rosnące na siedliskach lasu świeżego i lasu mieszanego świeżego oraz lite drzewostany świerkowe położone w strefie regla dolnego. Najwięcej drzewostanów o składzie gatunkowym niezgodnym z siedliskiem znajduje się w wieku 30-50 lat. Nie wszystkie drzewostany wymagają jednak pilnej przebudowy.

Do drzewostanów kwalifikujących się do przebudowy w pierwszym rzędzie zalicza się: drzewostany uszkodzone przez emisje przemysłowe, choroby grzybowe, śnieg, wiatr, pożar, gradacje owadów, drzewostany starszych klas wieku o niskim zadrzewieniu i złej jakości technicznej, drzewostany niezgodne z siedliskiem, przejściowe i przedplonowe [Bernadzki 2006, Fonder 2006]. Według danych analizowanych w pracy Zajączkowskiego i in. [2008] do gospodarstw wymagających przebudowy zaliczonych jest 27 101 ha. Największe powierzchnie tych drzewostanów znajdują się w dyrekcjach LP: Krosno (8521 ha), Katowice (3150 ha), Wrocław (1940 ha), Białystok (2234 ha), Szczecinek (2057 ha) i Toruń (1997 ha).

Można przewidywać, że przy scenariuszach A1B i A2 przebudowa drzewostanów będzie realizowana w minimalnej skali, zatem nie będzie to miało wpływu na rozmiar ewentualnych szkód od wiatru. Największa skala przebudowy drzewostanów będzie miała miejsce przy scenariuszu B1, co spowoduje wzrost udziału drzewostanów mieszanych. W dalszej (kilkudziesięcioletniej) perspektywie powinno to przynieść spadek nasilenia szkód od wiatru.

### 3.2.5. Zmiany metod gospodarki leśnej

Podatność na szkody od wiatru jest zależna od stosowanych metod gospodarki leśnej, czyli od sposobu odnowienia, pielęgnowania i prowadzenia cięć rębnych. Jako względnie odporne na szkody od wiatru uważane są lasy zagospodarowane przerębowo, z powodu najszybszego „zabliźniania ran” po katastrofie [Mason 2002]. Nie da się jednak przewidzieć czy w którymś ze scenariuszy znacząco wzrośnie udział drzewostanów zagospodarowanych przerębowo, gdyż jego uzasadnione ekonomicznie stosowanie w polskich warunkach dotyczy głównie drzewostanów z udziałem jodły, świerka i buka, przede wszystkim na południu kraju. Niewielki wzrost popularności tej metody może nastąpić w scenariuszu B1. W każdym z rozważanych scenariuszy może natomiast nastąpić wzrost udziału drzewostanów odnawianych naturalnie, w zrębowym i zrębowo-przerębowym sposobie zagospodarowania, ze względu na stały wzrost kosztów zakładania upraw leśnych. Może to nieznacznie obniżyć ryzyko szkód w kilkudziesięcioletniej perspektywie.

Biorąc pod uwagę możliwość prywatyzacji części lasów, zwłaszcza w wypadku scenariuszy A1B i A2, można przewidzieć tendencję do upraszczania metod hodowli lasu – głównie poprzez zmniejszanie częstości cięć pielęgnacyjnych [Günther 1994]. W wypadku drzewostanów iglastych przyniesie to wzrost zagrożenia ze strony czynników atmosferycznych.

Innym problemem jest ustalanie wieku rębności w gospodarstwie leśnym. Podnoszenie wieku rębności drzewostanów jest na ogół motywowane ekologicznie, gdyż zwiększa bioróżnorodność leśnego ekosystemu. Drugą stroną medalu jest jednak pogorszenie stanu zdrowotnego drzew oraz właściwości mechanicznych drewna [Chomicz i Niemtur 2008, Dardziński, Giefing 2010] i związany z tym wzrost podatności na szkody powodowane przez czynniki atmosferyczne. Podno-

szenia wieku rębności można oczekiwać zwłaszcza w przypadku scenariusza B1, co może sprzyjać wzrostowi poziomu szkód od wiatru.

Drażliwym problemem są relacje między gospodarką leśną a łowiectwem. Uszkodzenia powodowane przez zwierzynę w uprawach i młodnikach skutkują, w późniejszych fazach wzrostu, dużo gorszymi właściwościami mechanicznymi drzew i częstym ich łamaniem przez wiatr [Zajączkowski 1991]. Można przewidywać, że przy scenariuszu A1B mechanizmy rynkowe będą wymuszać racjonalne podejście do gospodarki łowieckiej. Przy scenariuszu A2 rozwój miałby się odbywać w sposób nierównomierny, pod dużym wpływem rozmaitych grup nacisku, wśród których może być lobby łowieckie, dbające na ogół o wysoki stan pogłowia zwierząt łownych. Nie wiadomo jak pod tym względem zmieniać się będzie sytuacja przy scenariuszu B1. Rozwój zrównoważony powinien się charakteryzować równowagą między potrzebami zwierzyny i rozwojem lasu. Nie można jednak wykluczyć, że działalność organizacji pozarządowych będzie blokować redukcję stanów zwierzyny roślinożernej również tam, gdzie zagraża ona trwałości lasu.

#### 4. Podsumowanie

Tab. 1. Czynniki przyrodnicze oraz antropogeniczne mające związek z rozmiarem szkód w lasach powodowanych przez wiatr w odniesieniu do rozważanych scenariuszy emisyjnych

	Scenariusz		
	A1B	A2	B1
Czynniki sprzyjające powstawaniu szkód	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Możliwy wzrost temperatury maksymalnej - zwiększenie zagrożenia ze strony wicher jesienno-zimowych w całym kraju oraz burz letnich na południu i wschodzie.</li> <li>2. Możliwa częściowa prywatyzacja i rozdrobnienie kompleksów leśnych</li> <li>3. Możliwe upraszczanie składu gatunkowego</li> <li>4. Uproszczone metody odnowienia i pielęgnowania lasu</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Możliwy wzrost temperatury maksymalnej - zwiększenie zagrożenia ze strony wicher jesienno-zimowych w całym kraju oraz burz letnich na południu i wschodzie.</li> <li>2. Możliwa częściowa prywatyzacja i rozdrobnienie kompleksów leśnych</li> <li>3. Możliwe upraszczanie składu gatunkowego</li> <li>4. Możliwe zaniedbania pielęgnacyjne</li> <li>5. Brak racjonalnej gospodarki łowieckiej</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Podnoszenie wieku rębności drzewostanów</li> <li>2. Utrudnienia racjonalnej gospodarki łowieckiej</li> <li>3. Niedostatek ładu czasowego i przestrzennego</li> </ol>
Czynniki sprzyjające ograniczaniu szkód	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Możliwy nieznaczny spadek temperatury maksymalnej w okresie letnim na północy i w centrum - zmniejszenie zagrożenia ze strony wicher letnich w tych częściach Polski.</li> <li>2. Racjonalna gospodarka łowiecka</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Możliwy nieznaczny spadek temperatury maksymalnej w okresie letnim na północy i w centrum - zmniejszenie zagrożenia ze strony wicher letnich w tych częściach Polski.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Możliwy nieznaczny spadek temperatury maksymalnej w okresie letnim na północy i w centrum - zmniejszenie zagrożenia ze strony wicher letnich w tych częściach Polski.</li> <li>2. Wzrost udziału drzewostanów mieszanych</li> <li>3. Wzrost udziału odnowień naturalnych</li> </ol>

Szkody powodowane w lasach przez wiatr mają i będą miały duże znaczenie gospodarcze w dającej się przewidzieć przyszłości, szczególnie na północy Polski

oraz w rejonach górskich i podgórskich. Rozważane różne scenariusze emisyjne mogą nieznacznie modyfikować zagrożenie z tej strony dla poszczególnych regionów kraju. Przy każdym z trzech scenariuszy mogą uaktywniać się zarówno czynniki sprzyjające szkodom, jak i ograniczające je. Ponieważ brak jest podstaw do przypisania tym czynnikom wag to nie można jednoznacznie stwierdzić, w którym wypadku szkody będą rosnąć, a w którym maleć lub pozostawać na obecnym poziomie. W tab. 1 zebrano różne możliwe czynniki, mogące mieć wpływ na wielkość szkód od wiatru przy poszczególnych scenariuszach. Nie uwzględniono niektórych czynników klimatycznych ze względu na brak odnośnych prognoz. Dotyczy to zwłaszcza wielkości opadów, które w połączeniu z innymi czynnikami, np. jak temperaturą, mogą mieć wpływ na ekspansję gatunków ciepłolubnych i w konsekwencji na zmianę składu gatunkowego lasów w kierunku drzewostanów mieszanych, bardziej odpornych na szkody od wiatru. Syntetyczna ocena poszczególnych scenariuszy pod tym kątem wymagałaby również uwzględnienia interakcji między czynnikami klimatycznymi i antropogenicznymi, co wykraczałoby znacznie poza ramy niniejszego studium.

#### Literatura

- Bernadzki E., 2006, Cele hodowlane i ich realizacja w przebudowie drzewostanów, *Sylwan*, 12, 3-11
- Chomicz E., Niemtur S., 2008, Występowanie zgnilizny odziomkowej w wybranych drzewostanach świerkowych Karpat Zachodnich, *Leśne Prace Badawcze*, 3, 233-241
- Czuba M., Przypaśniak J., 2006, Przebudowa drzewostanów w planowaniu urządzeniowym, CILP, Warszawa, 1-74
- Dardziński A., Giefing D. F., 2010, Wpływ zgnilizny na jakość drewna w zróżnicowanych wiekowo drzewostanach świerkowych, *Sylwan*, 8, 569-576
- Dmyterko E., Bruchwald A., 2007, Drzewostanowa metoda określania uszkodzeń świerka, *Sylwan*, 6, 24-33
- Fonder W., 2006, Przebudowa drzewostanów w trwale zrównoważonej gospodarce leśnej, w: *Quo vadis, Forestry?*, Sierota Z. (red.), Materiały Międzynarodowej Konferencji, Sękocin Stary, 29-30 czerwca 2006 r., IBL, 257-267
- Gólos P., 2008, Stan lasów prywatnych w Polsce, *Leśne Prace Badawcze*, 4, 321-335
- Grodzki W., 2004, Zagrożenie górskich drzewostanów świerkowych w zachodniej części Beskidów ze strony szkodników owadzi, *Leśne Prace Badawcze*, 2, 35-47
- GUS Leśnictwo, 2008, Warszawa, 1-287
- Günther O., 1994, Kiefernpflegekonzeption. Pflege der Kiefernbestände aus privatwirtschaftlicher Sicht, *Der Wald*, 4, 134-137
- Instrukcja Ochrony Lasu. Druk nr 18. Kwestionariusz. Zestawienie zbiorcze występowania abiotycznych czynników szkodliwych i chorób lasu w latach 2000-2009
- Instrukcja Urządzenia Lasu, 2003, Część 1, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa
- Jewuła E., 1974, Rejonizacja szkód powodowanych przez wiatry w drzewostanach górskich i podgórskich południowej Polski, *Sylwan* 10, 54-63
- Kaliszewski A., 2008, Ekonomiczna ocena skutków huraganu oraz porównanie kosztów regeneracji lasu na wybranych powierzchniach. Dokumentacja naukowa w ramach tematu badawczego pt. Monitorowanie zmian na obszarach sztucznej i naturalnej regeneracji lasu w północno-wschodniej Polsce po klęsce huraganu, Instytut Badawczy Leśnictwa, niepublikowane
- Krajowy Program Zwiększania Lesistości. Aktualizacja, 2003, Warszawa, Ministerstwo Środowiska
- Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w latach 2000 - 2009
- Mason W. L., 2002, Are irregular stands more windfirm? *Forestry*, 75 (4), 347-355

- Peltola H., 1996, Model computations on wind flow and turning moment by wind for Scots pines along the margins of clear-cut areas, *For. Ecol. a. Manage.*, 83, 203-215
- Peltola H., i.in., 2000, Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland, *For. Ecol. Management* 135, 143-153
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 czerwca 2002 r. w sprawie jednorazowego odszkodowania za przedwczesny wyrąb drzewostanu, *Dz. U.* 2002 Nr 99 poz. 905
- Rozwałka Z., 2003., *Zasady Hodowli Lasu*, Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa
- Rykowski K., 1990, *Leśnictwo wielofunkcyjne*, *Las Polski*, 1, 8-9
- Strategia zagospodarowania hodowlano-ochronnego terenów pohuraganowych z dnia 4 lipca 2002 r. w Nadleśnictwach: Borki; Pisz; Drygały; Nowogród; Czerwony Dwór; Giżycko, 2003, Załącznik do Zarządzenia nr 4/2003 Dyrektora Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Białymstoku z dnia 13 lutego 2003 r. w sprawie Strategii zagospodarowania hodowlano-ochronnego terenów pohuraganowych...
- Słodičak M., 1995, Thinning regime in stands of Norway spruce subjected to snow and wind damage, In: *Wind and trees*, Coutts M. P., Grace I. (eds.), Cambridge University Press, 436-447
- Ugla H., 1965, *Puszcza Piska: w: Dzieje lasów, leśnictwa i drzewnictwa w Polsce*, PWRiL, Warszawa, 565-576
- Ustawa z dnia 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych, *Dz. U.* 1995 Nr 16 poz. 78, z późn. zm.
- Zajac S., i.in., 2000, *Kompleksowa metoda szacowania szkód powodowanych przez pożary lasu (straty rzeczowe i finansowe)*, Dokumentacja Instytutu Badawczego Leśnictwa – sprawozdanie etapowe, Warszawa
- Zajączkowski J., 1991, *Odporność lasu na szkodliwe działanie wiatru i śniegu*, Wydawnictwo Świat, Warszawa, 1-224
- Zajączkowski J., i.in., 2008, *Skala, struktura (gatunek, wiek, siedlisko) i konsekwencje przyrodniczo-gospodarcze drzewostanów negatywnych oraz pilność i metody ich przebudowy w Lasach Państwowych*, Dokumentacja Instytutu Badawczego Leśnictwa

# Powódzie i susze w lasach

*Edward Pierzgalski, Jan Tyszka, Andrzej Stolarek*

## 1. Wprowadzenie

Warunki wodne w obszarach leśnych kształtują siedliskowe typy lasów i decydują o ich stabilności i trwałości, a tym samym o spełnianiu przez lasy funkcji ekologicznych, produkcyjnych i społecznych. Drzewostany, jako naturalna roślinność w naszej szerokości geograficznej, dostosowują się do szerokiego zakresu zmienności warunków wodno-glebowych. Lasy porastają zarówno tereny wydmore, obszary bagiennie, tereny żyznych dolin rzek, jak i wysokie góry z płytkimi glebami. W zależności od położenia lustra wody gruntowej i zasięgu podsiąku kapilarnego siedliska leśne mogą należeć do kategorii siedlisk suchych, świeżych, wilgotnych, bagiennych i łęgowych. W siedliskach suchych i świeżych woda gruntowa znajduje się poza zasięgiem korzeni drzew, zwykle poniżej 2,5 m od powierzchni terenu, a drzewa korzystają z wody opadowej zatrzymywanej w nienasyconej strefie gleb. W siedliskach wilgotnych woda gruntowa zalega na głębokości, przy której podsiąk kapilarny zasila w wodę glebę w strefie korzeniowej drzew. W siedliskach bagiennych i łęgowych woda gruntowa zalega przy powierzchni terenu i okresowo stagnuje na jego powierzchni.

Istotną cechą zasobów wodnych w lasach jest ich zmienność spowodowana czynnikami naturalnymi lub antropogenicznymi. Przyczyny naturalne, polegające na zmianach warunków klimatycznych, mogą powodować kierunkowe zmiany zasobów wodnych, a w przypadku ekstremalnych zjawisk pogodowych wywoływać zdarzenia o charakterze katastrofalnym. Do przyczyn antropogenicznych zakłócających naturalny obieg wody zalicza się gospodarkę leśną, np. zręby zupełne oraz inwestycje hydrotechniczne: ujęcia wód powierzchniowych, pobór wód podziemnych, stopnie wodne i zbiorniki wodne, regulacje rzek, wały przeciwpowodziowe, a także urządzenia melioracji wodnych szczegółowych.

Roślinność leśna posiada wprawdzie zdolności adaptacyjne do zmian warunków wodnych, lecz istnieje granica tolerancji na brak lub nadmiar wody. Po jej przekroczeniu reakcją na zmianę stosunków wodnych w glebie jest zamieranie drzew, a wskutek zalania terenu lub suszy występuje często nasilenie gradacji owadów, co wywołuje osłabienie stanu zdrowotnego drzew.

Do związanych z wodą najważniejszych zagrożeń dla stabilności funkcjonowania ekosystemów leśnych, ze względu na potencjalne szkody, uważa się obecnie długotrwałe susze klimatyczne powodujące przesuszenie siedlisk. Zabagnianie siedlisk leśnych jest zjawiskiem znacznie rzadszym od przesuszenia, tym niemniej szkody wskutek nadmiaru wody mogą być duże i trwałe, gdyż powodują lokalne przeobrażenia siedlisk. Powodzie należą do zjawisk, których częstotliwość w ostatnim okresie wyraźnie wzrasta, podobnie jak innych naturalnych zjawisk ekstremalnych, których skutki są coraz bardziej dotkliwe.

W niniejszym opracowaniu podjęto zagadnienia związane z relacjami woda-las, koncentrując się na zjawiskach nadzwyczajnych w postaci nadmiarów i niedoborów wody w siedliskach leśnych.

## **2. Charakterystyka interakcji las-woda**

Las, wskutek swojej złożoności przyrodniczej i nagromadzonej biomasy, stwarza specyficzne warunki transformacji opadu w odpływ, a poprzez kształtowanie przepływu wody w ekosystemie i zlewni leśnej wpływa na uwilgotnienie siedlisk i przebieg funkcji życiowych drzewostanu. W ogólnych zarysach znaczenie składowych bilansu wodnego w lesie można określić następująco:

- Opad atmosferyczny, jako główne źródło przychodów wody, odgrywa bezpośrednio rolę w procesach parowania, uwilgotnienia gleby, odtwarzania zasobów wód gruntowych i odpływu rzecznoego. Opad pionowy i poziomy zatrzymywany na powierzchni roślinności w procesie intercepcji stanowi 15-40% opadu i okresowo zmniejsza intensywność przebiegu transpiracji.
- Parowanie terenowe składa się z transpiracji oraz parowania z powierzchni gleby, wód powierzchniowych i wody zatrzymanej na roślinach. Ewapotranspiracja stanowi siłę uruchamiającą w roślinności obieg wody i substancji pokarmowych, a jej złożony proces jest regulatorem obiegu wody pod okapem drzewostanu i w glebie. Intensywność parowania ma zasadnicze znaczenie dla obniżania się temperatury powietrza nad lasem i w jego otoczeniu.
- Retencja wodna umożliwia dostosowanie się długowiecznej roślinności drzewiastej do zmian relacji pomiędzy zasobami, a potrzebami wodnymi ekosystemów leśnych. Regulujące zalety ekosystemów leśnych i zdolności adaptacyjne drzew sprawiają, że lasy występują często na glebach o skrajnych warunkach uwilgotnienia, gdzie produkcja rolna nie jest efektywna. Zdolności retencyjne są podstawową właściwością umożliwiającą pełnienie przez las funkcji wodochronnych.
- Odpływ w lasach kształtowany jest w głównej mierze przez wielkość i rozkład opadu, a także sposób użytkowania i warunki geomorfologiczne zlewni. Powszechnie znane jest znaczenie lasu dla wyrównania chwilowych i okresowych wielkości odpływów.

Warunki wodne siedlisk decydują o procesie obiegu materii i energii w ekosystemie leśnym, toteż zmniejszone w ostatnich dziesięcioleciach uwilgotnienie siedlisk wywołało wyraźne, kierunkowe zmiany parametrów jakości i trwałości

ekosystemów leśnych. Pomimo dużych zdolności przystosowywania się drzewostanów do anomalii pogodowych narastające, jednokierunkowe zmiany obiegu wody stanowią realne zagrożenie dla stabilnego funkcjonowania długowiecznej roślinności lasu. W warunkach lasów naturalnych drzewostan dostosowuje skład gatunkowy do zaistniałych zmian siedliskowych, aktualnego potencjału żyzności i wilgotności siedlisk. Zmiany w okresie ostatnich dziesięcioleci dotyczą zmniejszenia zasięgu występowania siedlisk mokradłowych, wzrostu udziału siedlisk boru mieszanego kosztem borowych i lasowych kosztem lasów mieszanych. W wyniku naturalnych procesów i działań gospodarczych ustępują gatunki drzew o dużych potrzebach wodnych – świerk, olsza, brzoza – a na ich miejsce pojawiają się dąb, grab, lipa, klon.

Oprócz podstawowej przyczyny niedoboru wody, jaką jest wzrost temperatury przy mało zmiennych wielkościach opadu, dodatkowym czynnikiem potęgującym zjawisko suszy jest zwiększona zasobności i produktywności lasu. W ostatnim 30-leciu nastąpiło zwiększenie o około 60% zasobów drzewostanów, co wiąże się ze wzrostem ich potrzeb wodnych, ale też rolą, jaką pełni las w obiegu wody [Tyszka, 2008]. Potrzeby wodne drzewostanów w lasach nizinnych zwiększają się wraz zasobnością lasu zgodnie z zależnością:

$$P_L - H_L = 133 Z^{0,169}$$

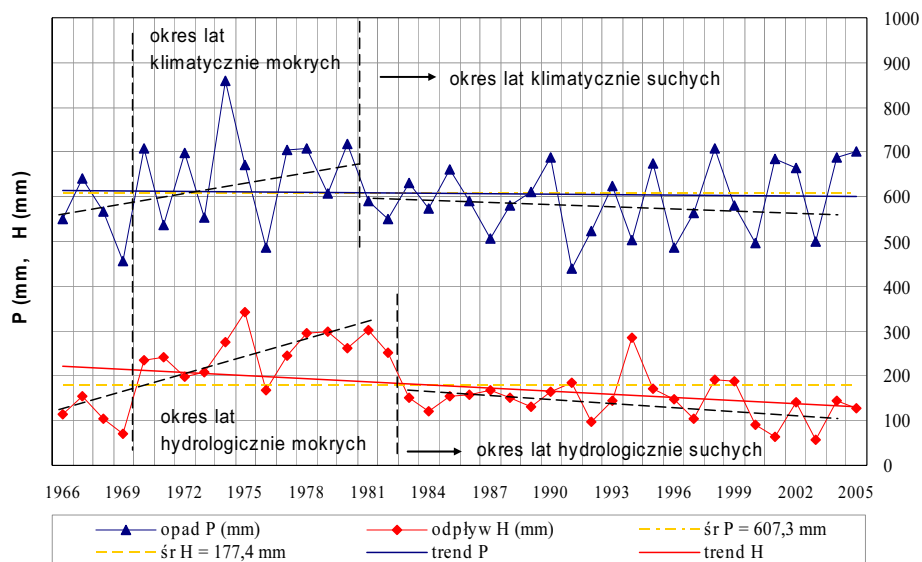
gdzie:  $P_L$ ,  $H_L$  – opad i odpływ w półroczu letnim (mm),

$Z$  – zasoby grubizny na pniu ( $m^3/ha$ ).

Wzrost zasobności lasu związany jest m.in. ze stosowaniem nowoczesnych metod gospodarowania lasem i z podwyższoną żyzności siedlisk, wynikającą ze wzrostu odczynu opadów atmosferycznych i pochłanianiem z powietrza zwiększonych ilości  $CO_2$  i  $NO_3$ . Przy wzroście temperatury powietrza i wydłużeniu się sezonu wegetacyjnego coraz częściej czynnikiem limitującym rozwój drzewostanu, a zatem intensywność pochłaniania  $CO_2$ , jest niedostatek wody.

Na stan zasobów wodnych zarówno w poszczególnych kompleksach leśnych, jak i w zlewniach rzecznych wskazują parametry określające wielkość i równomierność odpływu, jego trendy wieloletnie i rozkład w cyklach rocznych. Na podstawie 40-letnich badań prowadzonych w IBL stwierdzono wyraźnie zarysowujące się okresowe trendy ukierunkowanych zmian parametrów hydrologicznych lasu dotyczące opadu, odpływu, poziomu wód gruntowych, relacji opad-odpływ i terminów występowania zjawisk hydrologicznych. Przebieg dominującej od 30 lat tendencji do zmniejszania się zasobów wodnych jest bardziej wyraźny w rejonach nizinnych środkowej i północnej Polski, aniżeli na terenach wyżynnych i górskich. Począwszy od 1982 r. występowały lata o małych opadach, po 1992 r. zaznacza się wyraźny trend wzrostu temperatury przy mało zmienionych opadach rocznych. Jednocześnie nastąpiło zmniejszenie się zasobów retencji śnieżnej. Po wystąpieniu długotrwałych okresów bezdeszczowych opady mają coraz częściej charakter nawalny. Zmiany zachodzące w wielkości i rozkładzie opadów wpłynęły na wielkość i dynamikę odpływu, czego przykładem jest przedstawiony na rys. 1 trend zmian w opadach i opływach w leśnej zlewni rzeki Lebidzianki (Puszcza Augustowska).





Rys. 1. Trendy zmian opadów i odpływów w okresie lat 1966-2005 w zlewni rzeki Lebedzianki

Na rozkład deficytu opadu w ciągu roku duży wpływ ma charakter dominującego na danych obszarze drzewostanu – liściastego bądź iglastego. Największe różnice w deficycie opadu dotyczą lat suchych i miesięcy kwiecień-sierpień. W drzewostanach iglastych deficyt opadu jest większy w kwietniu, a w liściastych w pozostałych miesiącach okresu wegetacyjnego. Na terenach nizinnych, gdzie przeważają gleby przepuszczalne, wobec wzrostu temperatury i nieregularnych opadów najbardziej istotnymi dla polskich lasów są zmiany stosunków wodnych gleby i obniżanie się poziomu wód gruntowych. W latach 1983-2000 na terenie lasów wilgotnych Puszczy Białowieskiej wody gruntowe opadły o około 40 cm [Pierzgalski i.in. 2002].

Duże zdolności retencyjne, a zwłaszcza zamiana spływu powierzchniowego na odpływ gruntowy, umożliwiają na terenach leśnych odnowienie zasobów wód podziemnych, co jest ogromnie ważne dla gospodarki wodnej całego kraju. Lesistość zlewni wpływa znacząco na odpływ ze zlewni, zarówno w okresie wezbrań, jak i niżówek. Dzięki dużym zdolnościom zatrzymywania w środowisku leśnym wody opadowej następuje zmniejszanie i opóźnianie fal wezbraniowych w rzekach, a tym samym ograniczenie zagrożenia powodziowego. Zwiększenie lesistości wpływa m.in na opóźnienie o około 2 tygodnie wezbrań roztopowych [Kucharska i in. 1984] W zlewniach o wysokim stopniu lesistości następuje wyrównanie odpływów sezonowych i wieloletnich. O ważnej roli ekosystemu leśnego w obiegu wody świadczą np. zmiany zaobserwowane na obszarach kłesk ekologicznych. Po wylesieniu w latach 80-tych znacznych obszarów Sudetów zmniejszona została intercepcja oraz transpiracja i zwiększył się spływ powierzchniowy. Odpływ wody ze zlewni wzrósł od 15 do 30%, podniosła się intensywność wezbrań i straty erozyjne [Pierzgalski i in. 2008]. Należy tu jednak podkreślić, że przeciwpowodziowa

rola lasu zależy m.in. od wielkości i intensywności opadów. Przy bardzo dużych opadach i wypełnieniu pojemności intercepcyjnej dalszy wpływ lasu na odpływ wody ze zlewni zależy od warunków geomorfologicznych i filtracyjnych podłoża.

O roli lasów w gospodarce wodnej świadczy fakt przyznania 21% powierzchni Lasów Państwowych statusu lasów wodochronnych. Szczególnie ważna jest realizacja przez administrację leśną przedsięwzięć w ramach programu małej retencji oraz prowadzenie gospodarki leśnej mającej na uwadze m.in. potrzebę zmniejszania spływów powierzchniowych poprzez dobór odpowiednich gatunków drzew, poprawę właściwości wodnych gleb, stosowanie upraw na tarasach, itp.

W celu identyfikacji głównych problemów wodnych w lasach wykonano badania ankietowe [Pierzgalski i in. 2010]. Ankietowano dwie grupy nadleśnictw:

- nadleśnictwa w centralnej części Polski zlokalizowane na obszarach o największych potrzebach retencyjnych (nadleśnictwa z Regionalnych Dyrekcji Lasów Państwowych z Łodzi, Warszawy, Piły, Poznania, Torunia oraz kilka nadleśnictw w RDLP Radom),
- nadleśnictwa w południowej części Polski z przewagą lasów górskich (nadleśnictwa z RDLP Wrocław, Kraków, Katowice i Krosno).

Z uzyskanych informacji wynika, że we wszystkich nadleśnictwach lasów nizinnych występują objawy braku wody. W ponad połowie ankietowanych nadleśnictw (53%) wykazano, że braki wody są trwałym zjawiskiem, a w pozostałych okresowym (47%). W lasach górskich w 10% ankietowanych jednostek stwierdzono występowanie stałych, a w 90% okresowych braków wody. W większości nadleśnictw stwierdzano pojawienie się trendu systematycznego zmniejszania się zasobów wodnych, a jako główną przyczynę wskazano czynniki naturalne (zmniejszenie opadów, ocieplenie zim i wzrost temperatury). Brak wody objawia się w postaci wysychających studni, zbiorników i śródleśnych cieków i przesychniętych torfowisk. Zwracano również uwagę na problem eutrofizacji istniejących śródleśnych oczek wodnych i zbiorników. W niektórych nadleśnictwach występuje gładowienie cennych przyrodniczo siedlisk łągowych. W ankietach stwierdzano, że wskutek niedoborów wodnych obserwuje się osłabianie i zamieranie drzewostanów, co zwiększa podatność drzewostanów na inwazję chorób grzybowych i owadów. Skutkiem tego jest wzrost ilości posuszu i defoliacja drzewostanów, a także nadmierne wydzielanie się świerka i brzozy oraz zamieranie jesionu, dębu i olszy. Procentowy udział objawów zmniejszania się zasobów wody podano w tab. 1.

Inna natomiast sytuacja jest pod względem nadmiarów wody. Jedyne w 15 nadleśnictwach nizinnych stwierdzano, iż nadmiary wód występują, ale tylko jako lokalne podtopienia lub wysięki. Wskazywano, że jedną z przyczyn tego zjawiska jest działalność bobrów, które powodowały podnoszenie poziomu zwierciadła wody gruntowej. Ponadto, w ponad połowie nadleśnictw nadmiary wód występują tylko okresowo po ulewnych deszczach i po wiosennych roztopach. W nadleśnictwach górskich ponad 90% ankietowanych jednostek nie dostrzegало problemu systematycznego zwiększania się zasobów wodnych, pozostała część wskazała na występowanie takich zjawisk w wymiarze lokalnym. W nadleśnictwach górskich istotnym problemem są spływy powierzchniowe i wezbrania w potokach wskutek

silnych opadów. Powodują one zjawiska erozyjne, niszczą ekosystemy leśne i infrastrukturę techniczną.

Tab. 1. Objawy zmniejszania się zasobów wodnych

Objawy braku wody	Lasy nizinne [%]	Lasy górskie [%]
Wysychanie studni	18	26
Zanikanie przepływu w ciekach	16	27
Zmniejszanie ilości wody w zbiornikach	25	15
Przesychanie torfowisk	25	12
Inne	16	20

### 3. Występowanie i skutki powodzi w lasach

Powódzie w lasach są zjawiskiem naturalnym i zdarzają się prawie co roku w różnych regionach kraju. Stopień zagrożenia powodzią w lasach jest zróżnicowany i zależy przede wszystkim od ich lokalizacji. Powódzie występują głównie w lasach nizinnych porastających doliny rzeczne, jakkolwiek w niektórych przypadkach zalewane są również lasy na terenach wyżynnych i górskich. Największe zagrożenie powodzią występuje na powierzchni około 1 mln ha lasów (14% powierzchni Lasów Państwowych), głównie na siedliskach wilgotnych (10,1%) i bagiennych (3,0%) oraz w lasach łągowych (1,2%).

Wskutek podtopienia lub zalania terenu zmniejsza się drastycznie ilość tlenu w glebie, co w dłuższym okresie ogranicza respirację korzeni i w rezultacie zakłóca pobór wody oraz składników pokarmowych, prowadząc do osłabienia lub zamierania roślin. Sprzyja to także rozwojowi chorób grzybowych, a pośrednio gradacji owadów. Poszczególne gatunki drzew różnie reagują na podtopienie i zalanie. Najmniej odporne są gatunki liściaste: (w kolejności od najmniejszej odporności): jesion wyniosły, buk, lipa drobnolistna, brzoza, olsza czarna, natomiast z iglastych – modrzew europejski i świerk pospolity. Największą odpornością charakteryzuje się dąb szypułkowy i sosna zwyczajna. Najszybciej zamierają siewki i sadzonki drzew, a także przypowierzchniowe, drobne korzenie drzew i mikoryzy drzew dojrzałych. Istotny wpływ na proces zamarcia drzew ma czas trwania warunków beztlenowych oraz temperatura wody. Przy krótkotrwałych (kilkudniowych) zalewach stan systemów korzeniowych nie ulega znacznieszemu pogorszeniu. Na rodzaj i rozmiar szkód duży wpływ mają warunki pogodowe w okresie powodzi, bowiem od temperatury powietrza i wody zależy prędkość reakcji chemicznych i stan niedoborów tlenu w glebie. Najbardziej szkodliwe są powódzie letnie występujące w okresie intensywnego wzrostu drzew.

Przebieg poszczególnych powodzi w lasach może być różny w zależności od położenia i typu siedliskowego lasu oraz innych warunków środowiskowych, w tym geomorfologicznych. Wyraźnie odmienne są zagrożenia powodziowe lasów górskich i lasów nizinnych.

Wielkości szkód powstających wskutek powodzi nie są, w przeciwieństwie do szkód spowodowanych przez wiatry lub pożary, syntetycznie i systematycznie przedstawiane ani w opracowaniach GUS, ani w raportach o stanie lasów czy

sprawozdaniach dotyczących monitoringu leśnego. Niektóre informacje o szkodach spowodowanych przez powodzie w lasach można znaleźć w prasie lokalnej oraz w różnych, niepublikowanych źródłach.

Jedną z największych powodzi w lasach była powódź w 1997 r. Wówczas w dolinie Odry zostało zalanych ponad 233,7 km<sup>2</sup>, a szkody związane z powodzią odnotowano na powierzchni ok. 1160 km<sup>2</sup> lasu [Ciołkosz, Bielecka 1998]. Z zalanej na całej długości doliny Odry powierzchni 233,7 km<sup>2</sup> tereny leśne stanowiły 65,8 % obszaru. Pod wodą znalazły się w głównej mierze drzewostany liściaste (82%) porastające nadrzeczne siedliska łęgowe, przystosowane do wylewu rzeki. Jednak woda dotarła także do terenów siedlisk lasów mieszanych (11%) i do lasów iglastych na siedliskach borowych (7%), które mają niewielką odporność na podtopienie.

Całkowite finansowe szkody związane z powodzią w 1997 r. przedstawił Wiśniewski [1998], który do szkód powodziowych zaliczył nie tylko te powstałe na terenach zalanych, lecz również te na obszarach objętych gwałtownym przepływem wód w ciekach lub spływem powierzchniowym. W pierwszym etapie powodzi zniszczenia dotknęły tereny górskie. Szkody były powodowane głównie przez spływ wody po powierzchni oraz w sieci wodnej i obejmowały zniszczenia pokrywy glebowej, erozję liniową na szlakach zrywkowych i w korytach cieków, ruchy masowe (spłynięcie 4 ha lasów w Nadleśnictwie Limanowa), a także destrukcję infrastruktury technicznej (drogi, budynki, urządzenia melioracyjne, budowle wodne). W drugim etapie powódź objęła tereny nizinne. W Nadleśnictwach Wołów, Oława, Miękinia lasy zostały wówczas zalane nawet 1-1,5 metrową warstwą wody, na łącznej powierzchni ok. 20 tys. ha. Zniszczone zostały urządzenia techniczne, lecz główne szkody dotyczyły drzewostanów. Kilkutygodniowa stagnacja zanieczyszczonej wody, przy wysokich temperaturach powietrza, spowodowała destrukcję wszystkich elementów ekosystemu leśnego. Zniszczone zostały odnowienia, odrosty, podszyty, szkółki leśne. Nastąpiło wypadnięcie zarówno pojedynczych drzew, jak i większych powierzchni drzewostanów. Łączne szkody w lasach oszacowano na 197 mln zł. Kwota ta była równa przeciętnemu rocznemu zyskowi Lasów Państwowych. Na straty finansowe składały się następujące szkody w wymiarze rzeczowym i kwotowym: naprawa 3006 km zniszczonych dróg (115,3 mln zł), odbudowa 4435 mostów i przepustów (13,2 mln zł), odbudowa 1007 km sieci melioracyjnej (8,3 mln zł), naprawa zabudowy technicznej 219 km potoków (13,2 mln zł), odbudowa 542 budynków (9,3 mln zł), odnowienia drzewostanów i zalesienia na powierzchni 25422 ha (29,1 mln zł), odtworzenie 73 ha szkółek leśnych (3,3 mln zł) i inne (3,3 mln zł).

Innym przykładem szkód powodziowych w lasach jest powódź, która wystąpiła w 2005 r. na Podkarpaciu. Spowodowały ją opady nawałne. W Wetlinie, w lipcu, w ciągu niecałej doby spadło 99,5 mm wody, podczas gdy średni miesięczny opad z wielolecia dla lipca wynosi 111 mm. Zniszczeniu uległo kilka hektarów szkółek leśnych, dziesiątki kilometrów dróg leśnych i setki kilometrów szlaków zrywkowych. Duże straty spowodowały osuwiska. W Nadleśnictwie Stuposiany osunęła się skarpa drogowa nad potokiem Roztoki (dwa osuwiska o kubaturze

prawie 3 tys. m<sup>3</sup> ziemi). W Nadleśnictwie Wetlina zniszczeniu (m.in. wskutek osuwiska) uległa infrastruktura komunikacyjna. Odnotowano rozmycia powierzchni dróg, uszkodzenia mostów, zamulenia rowów, przepustów i studzienek odpływowych. W Nadleśnictwie Baligród oprócz uszkodzeń dróg i szlaków zrywkowych zniszczone zostały szkółki leśne, na których sadzonki zostały zmyte wraz z warstwą gleby [Marszałek 2005]. W 2006 r. tylko w samym Leśnym Kompleksie Promocyjnym Sudety Zachodnie straty oszacowano na 4,4 mln zł [Strzeliński, i.in. 2008]. Intensywne opady w południowej Polsce były przyczyną wielu lokalnych powodzi także w 2009 r. Straty powodziowe wystąpiły w Regionalnych Dyrekcjach Lasów Państwowych we Wrocławiu, Krakowie, Katowicach i Krośnie. Łącznie zniszczeniu uległo 8600 ha drzewostanów, upraw leśnych i szkółkarskich. Zostało także zniszczonych 36 mostów, 633 km dróg, 428 km szlaków zrywkowych i infrastruktura kubaturowa. Łączne straty szacowano na około 90 mln zł. W czasie powodzi w 2010 r. największe zniszczenia powodziowe nastąpiły w RDLP Kraków. Zalanych zostało 12 tys. ha drzewostanów. Powódź uszkodziła 80 km dróg leśnych i 300 km szlaków zrywkowych. Uszkodzone zostały także szkółki leśne. Podobnie starty poniosła RDLP Krosno. Na Dolnym Śląsku ponad 9600 ha lasów zostało podtopionych bądź całkowicie zalanych. Straty do sierpnia 2010 r. oceniano wstępnie na 130 mln zł, w tym ok. 60 mln zł dotyczyło szkód związanych z podtopieniem upraw, młodników i starszych drzewostanów oraz zniszczeniem szkółek, ok. 70 mln zł – zniszczeń infrastruktury leśnej (uszkodzenia dróg, mostów, przepustów, grobli i zamulenia rowów odwadniających) oraz uszkodzeń budynków mieszkalnych i gospodarczych.

Analizując przytoczone dane o szkodach powodziowych w lasach można stwierdzić, że występują one w różnej wysokości prawie każdego roku. W ostatnich kilkunastu latach ich wielkość wahała się od kilkudziesięciu milionów złotych do 130 mln zł w 2010 r. i 197 mln zł w 1997 r. Należy podkreślić, że są to wielkości określane zwykle szacunkowo bezpośrednio po powodzi, które nie uwzględniają wielu innych następstw powodzi w rodzaju zmniejszonej produkcji drewna, a także skutków chorób grzybowych i gradacji owadów oraz ograniczenia poza-produkcyjnych funkcji lasu

#### **4. Występowanie i skutki susz w lasach**

Skutki poszczególnych rodzajów suszy w lasach (klimatycznej, glebowej i hydrologicznej) zależą od rozkładu, wielkości i intensywności opadów i temperatury powietrza, lokalnych warunków morfologicznych, glebowych, hydrogeologicznych oraz stanu lasu i sposobu jego użytkowania. Zjawisko suszy potęgowane jest przez wzrost potrzeb wodnych lasu wskutek m.in. zmian warunków hydrotermicznych. Niedobory opadów są bardziej dotkliwe dla roślin przy wysokiej temperaturze, ponieważ wzrost temperatury o 1°C wywołuje zmniejszenie prężności pary wodnej w powietrzu o ok. 10%, co zwiększa intensywność ewapotranspiracji. W warunkach polskich, dla zachowania dogodnych warunków rozwoju lasu, wzrost temperatury powietrza w półroczu letnim o 1°C powinien być rekompenso-

wany wzrostem opadu o 15%. [Tyszka, Żakowicz 1998]. Potrzeby wodne drzewostanu rosną proporcjonalnie do przyrostu masy roślinnej. Dlatego zakłócenie warunków hydrotermicznych często skutkuje osłabieniem funkcji życiowych drzew, a ich następstwem jest rozwój chorób grzybowych i gradacji szkodliwych owadów. Wzrost temperatury, przy jednoczesnym zwiększeniu zasobów drzewostanowych, powoduje kurczenie się dyspozycyjnych zasobów wody w lasach, co przejawia się opadaniem wód gruntowych i zmniejszeniem odpływu w ciekach wodnych. Zjawiska takie obserwowano od początku lat osiemdziesiątych. Wystąpiły wówczas na terenie całej Polski serie lat o niskich opadach przy równocześnie podwyższonej temperaturze powietrza. Zjawisko to przybrało jeszcze ostrzejszą formę dziesięć lat później i powtórzyło się w 2003 r., powodując głęboką suszę hydrologiczną [Tyszka 2007].

W warunkach klimatycznych Polski, tylko w wyjątkowych okolicznościach bezpośrednią przyczyną obumierania drzew jest susza. Takie zjawiska występują w formie klęsk ekologicznych. Ich przykładem, w których jednym z czynników inicjujących były susze osłabiające stan zdrowotny drzew, są klęski ekologiczne w Górach Izerskich w latach 80 ubiegłego wieku oraz w Beskidzie Śląskim po 2000 r.

Zmienność warunków pogodowych, jako jedna ze znaczących cech klimatu w Polsce, sprawia, że w każdym roku występują w lasach szkody spowodowane czynnikami abiotycznymi. Powierzchnia obszarów leśnych objętych w latach 2005-2009 niekorzystnymi warunkami wodnymi i termicznymi wyniosła od 50 do 100 tys. hektarów. Liczba ta jest relatywnie mała w stosunku do ogólnej powierzchni lasów. Jeśli jednak wziąć pod uwagę pośredni wpływ analizowanych czynników na rozwój zagrożeń biotycznych w lasach, które wymagają zabiegów ochronnych niekiedy nawet na powierzchni 2-3 milionów hektarów, to można stwierdzić, że warunki hydrotermiczne, a zwłaszcza ich zakłócenia stanowią istotny czynnik decydujący o zrównoważonym rozwoju lasów.

Kierunkowe zmiany klimatyczne i anomalie pogodowe stwarzają dogodne warunki do rozwoju grzybów patogenicznych i mają niewątpliwy rozległy wpływ na występowanie i przebieg chorób infekcyjnych drzew leśnych [Mykhayliv 2010] oraz gradację szkodników owadzi [Sierota 2001]. Obserwowane w ostatnich latach przyspieszenie zmian klimatycznych sprzyja ujawnieniu się nowych zagrożeń biotycznych powodujących zamieranie drzewostanów z powodów całkowicie jeszcze niewyjaśnionych.

Szkody w lasach spowodowane suszami są znacznie trudniejsze do określenia w porównaniu do szkód spowodowanych silnymi wiatrami lub pożarami. Mogą one być oszacowane jako bezpośrednie lub pośrednie. Z danych uzyskanych z różnych źródeł wynika, że w Lasach Państwowych szkody w wymiarze rzeczowym i straty w wymiarze finansowym, w latach przeciętnych, dotyczą zdarzeń lokalnych i wynoszą od kilku do kilkunastu milionów złotych rocznie. Natomiast w latach suchych i bardzo suchych skala szkód zwiększa się do wymiaru regionalnego, a straty sięgają dziesiątków milionów złotych, czego dowodzi np. oszacowanie przez DGLP bezpośrednich strat spowodowanych suszą w roku 2006 na łączną

kwotę 43,5 mln zł. Największe straty odnotowano wówczas w uprawach (37,35 mln zł), młodnikach (3,02 mln zł.) i w szkółkach (2,19 mln zł). Stosunkowo niskie straty wystąpiły w drzewostanach starszych (0,7 mln zł).

Należy jednak podkreślić, że bezpośrednie straty spowodowane suszami stanowią relatywnie niewielką część strat, których czynnikiem inicjującym lub katalizatorem są susze. Znacznie bardziej istotna jest rola susz w tzw. chorobie łańcuchowej drzewostanów. Zamieranie drzew jest złożonym procesem, na który wpływ mają trzy grupy czynników [Sierota, Hilszczański 2011]:

- predyspozycyjne (siedlisko, wiek, genotyp rośliny, pogoda, imisje),
- inicjujące (anomalie pogody, wiatr, owady, genotyp patogenu),
- współuczestniczące (inne grzyby, owady, imisje, anomalie pogody).

O skali „chorób lasu” świadczy rozmiar zabiegów ochronnych i ratowniczych prowadzonych w okresie 1946-1998 na łącznej powierzchni 9 mln ha [Kolk, Sierota 1999].

Oprócz skutków „chorób lasu”, w ocenie szkód spowodowanych suszami należy uwzględnić: zmniejszenie produktywności drzewostanów, koszty działań zapobiegających i ograniczających rozmiar strat związanych z czynnikami biotycznymi – przedwczesny wyręb chorych drzew, przedsięwzięcia ochronne (opryski substancjami chemicznymi, pułapki feromonowe, itp.), zagospodarowanie obszarów klęskowych, monitoring stanu lasu, koszty inwestycji infrastrukturalnych związanych z anomaliami klimatycznymi.

Koszty zapobiegania lub ograniczania strat w lasach spowodowanych zakłóceniami stosunków wodnych są wysokie. Obejmują one m.in. inwestycje małej retencji, zapobieganie erozji, dodatkowe nakłady na gospodarowanie lasami wodochronnymi, eksploatację i konserwację urządzeń wodnych.

Tereny leśne są głównym regulatorem stanu środowiska przyrodniczego kraju. Przy całościowej ocenie strat w lasach wywołanych zmianami parametrów klimatycznych należy brać pod uwagę nie tylko wartość lasu jako producenta drewna, co decyduje o stronie finansowej prowadzenia gospodarki leśnej, ale także trudne do wyceny pozaprodukcyjne funkcje jakie posiada las. Każde osłabienie funkcji życiowych drzewostanów powoduje zmniejszenie zakresu możliwości pozaprodukcyjnych. Do najważniejszych z nich należą hydrologiczne funkcje lasu, ochrona gleb przed erozją, zachowanie bioróżnorodności, przeciwdziałanie skażeniom środowiska, cele społeczne. Wartość funkcji pozaprodukcyjnych wielokrotnie przewyższa zysk pochodzący z eksploatacji zasobów drewna. Dotychczas nie ma to odpowiedniego odzwierciedlenia w racjonalizowaniu gospodarki narodowej i planowaniu przestrzennym kraju.

## **5. Susze i powódzie w lasach w świetle prognozowanych zmian klimatu**

Prognoza zmian klimatu i towarzyszące im zakłócenia stosunków wodnych siedlisk leśnych, jak również zdolność adaptacyjna lasu do zmienionych warunków ich funkcjonowania, jest trudna do przewidzenia. Przy obecnym stanie wiedzy

możliwa jest tylko hipotetyczna ocena trendów zmian poszczególnych parametrów pogodowych i scenariuszy strat z nimi związanych. Warunki wodne, jako główne czynniki limitujące trwałość ekosystemów leśnych i możliwość przeżycia wielu gatunków roślin i zwierząt, reagują nawet na małe odstępstwo od warunków środowiska naturalnego. Najmniej mobilny składnik siedliska jakim są zasoby wodne powoduje coroczne zmiany przyrostu drzewostanów i stanu defoliacji drzew. Wobec długiego życia drzew destrukcję w ekosystemach leśnych mogą wywołać długotrwałe, kierunkowe zmiany klimatyczne, a tym bardziej gwałtownie przebiegające ekstremalne zjawiska klimatyczne i hydrologiczne. Prognozowane zmiany niewątpliwie będą wpływać na powodzie i susze w lasach i wskazują na potrzebę sprostania następującym wyzwaniom:

- jakie powinny być lasy przy zwiększonych temperaturach powietrza, częstszych suszach i zmniejszonych zasobach wodnych,
- jaka powinna być gospodarka leśna przy gwałtowniejszych opadach, szczególnie w okresach zimowych.

Globalne zmiany klimatu, a zwłaszcza meteorologiczne zjawiska ekstremalne, będą miały istotny wpływ na częstotliwość i skalę zagrożeń suszą i powodzią w lasach. Osłabienie drzew, którego przejawem jest m.in. defoliacja ulistnienia, a następstwem rozwój chorób grzybowych i gradacje szkodników, może prowadzić do masowego obumierania drzewostanów. Innym rezultatem globalnych zmian klimatu będzie zmiana granic stref roślinno-klimatycznych, z czym wiąże się konieczność prowadzenia pracochłonnych i kosztownych zabiegów związanych z przebudową i ochroną zasobów leśnych. Przewidywane ocieplenie klimatu może doprowadzić do pogorszenia warunków egzystencji dominujących w Polsce drzewostanów iglastych. Szczególnie podatne na wpływ suszy są drzewostany świerkowe, które ze względu na duże potrzeby wodne i płaskie systemy korzeniowe oraz w wyniku pojawiających się susz klimatycznych i glebowych masowo wypadają z drzewostanów. Udział powierzchniowy tego gatunku, według danych GUS, zmalał w ostatnim półwieczu z 8,8 do 6,4%. Dla drzew liściastych, których udział wzrasta, najsilniejszymi czynnikami szkodliwymi są susze, duże dobowe różnice temperatur oraz oparzenia słoneczne.

Prognozowanie zmian klimatycznych oparte jest w głównej mierze na przesłankach teoretycznych i założeniu niezmiennego trendu wzrostu temperatury powietrza i w związku z tym wykazuje się zróżnicowanymi ocenami. W blisko 100-letnim okresie życia drzew należy się liczyć z szerokim zakresem występowania ekstremalnych zjawisk hydrologicznych i ze znaczącymi dla gospodarki narodowej stratami przyrodniczymi i ekonomicznymi. W celu ich ograniczenia niezbędne jest zwiększenie odporności lasu na gwałtownie przebiegające anomalie pogodowe oraz dostosowanie metod zarządzania lasu do istniejących wieloletnich, regionalnie zróżnicowanych trendów zmian zasobów wodnych.

Na zwiększenie strat w lasach związanych z zakłóceniem stosunków wodnych, w wyniku narastania ekstremalnych zjawisk klimatycznych i hydrologicznych, będzie miała ujemny wpływ ewentualna prywatyzacja lasu i związane z nią pogorszenie organizacyjne działań zapobiegawczych i ochronnych. Ponadto, jak wskazu-



je obecna sytuacja, lasy prywatne cechują się gorszym stanem ich zagospodarowania i produktywności. Takie zagrożenie związane jest przede wszystkim z wersją największej destabilizacji warunków klimatycznych i hydrologicznych.

## 6. Wnioski

- a. Zasoby wodne w lasach ulegały w ostatnich kilkudziesięciu latach dużym zmianom. Wyniki badań ankietowych wykazały, że obecnie poważnym zagrożeniem dla ekosystemów leśnych są niedobory wody. W centralnej części Polski w 53% ankietowanych nadleśnictw są to niedobory trwałe, a w pozostałych okresowe. W lasach górskich niedobory stałe występują w 10% nadleśnictw, a w pozostałych okresowe. Jedynie 15% nadleśnictw na terenach lasów nizinnych wskazywało na występowanie nadmiarów wód. W lasach górskich zjawisko to jest jeszcze rzadsze, natomiast dużym problemem są spływy powierzchniowe, zjawiska erozyjne i lokalne powodzie.
- b. Stopień zagrożenia powodzią w lasach jest zróżnicowany i zależy przede wszystkim od ich lokalizacji. Największe zagrożenie powodzią występuje na powierzchni około 1 mln ha lasów (14% powierzchni Lasów Państwowych), głównie na siedliskach wilgotnych (10,1%) i bagiennych (3,0 %) oraz w lasach łągowych (1,2%).
- c. Współcześnie narastają zagrożenia związane zarówno z suszami osłabiającymi stan zdrowotny drzewostanów, jak i opadami nawałnymi powodującymi szkody powodziowe. Rozmiar szkód powodziowych i powstałych w następstwie suszy zależy od rodzaju i kondycji drzewostanów oraz warunków środowiskowych.
- d. Wysokość szkód powodziowych w lasach była zróżnicowana w poszczególnych latach. W ostatnich kilkunastu ich wielkość wahała się od kilkudziesięciu milionów złotych do 130 mln zł w 2010 r. i 197 mln zł w 1997 r. Są to wartości określane zwykle szacunkowo bezpośrednio po powodzi, które nie uwzględniają wielu innych następstw powodzi w rodzaju zmniejszonej produkcji drewna, a także skutków chorób grzybowych i gradacji owadów oraz ograniczenia pozaprodukcyjnych funkcji lasu.
- e. Szkody w lasach spowodowane suszami w latach przeciętnych dotyczą zdarzeń lokalnych i wynoszą od kilku do kilkunastu milionów złotych rocznie. Natomiast w latach suchych i bardzo suchych skala tych szkód przybiera charakter regionalny, a straty sięgają dziesiątków milionów złotych, czego przykładem są, oszacowane na 43,5 mln zł, straty z roku 2006. Największe odnotowano wówczas w uprawach, młodnikach i w szkółkach. Stosunkowo niskie straty wystąpiły w drzewostanach starszych. Straty bezpośrednie w gospodarce leśnej spowodowane suszą, podobnie jak przy powodzi, stanowią relatywnie niewielką część strat pośrednich.
- f. Globalne zmiany klimatu, a zwłaszcza meteorologiczne zjawiska ekstremalne, będą miały istotny wpływ na częstotliwość i skalę zagrożeń suszą i powodzią w lasach. Osłabienie drzew, którego przejawem jest m.in. defoliacja

ulistnienia, a następstwem rozwój chorób grzybowych i gradacje szkodników, mogą prowadzić do masowego obumierania drzewostanów. Przewidywane ocieplenie klimatu może spowodować zmianę granic stref roślinno-klimatycznych oraz pogorszyć warunki egzystencji dominujących w Polsce drzewostanów iglastych.

- g. Wobec odczuwalnych zmian klimatycznych oraz związanych z nimi zaburzeń w obiegu wody i wzrastającego zagrożenia powodzią i suszą istnieje potrzeba zwiększenia świadomości społecznej dotyczącej roli stabilnych warunków wodnych dla trwałego i zrównoważonego gospodarowania lasem i wagi gospodarki leśnej dla poprawy zasobów wodnych.

#### Literatura

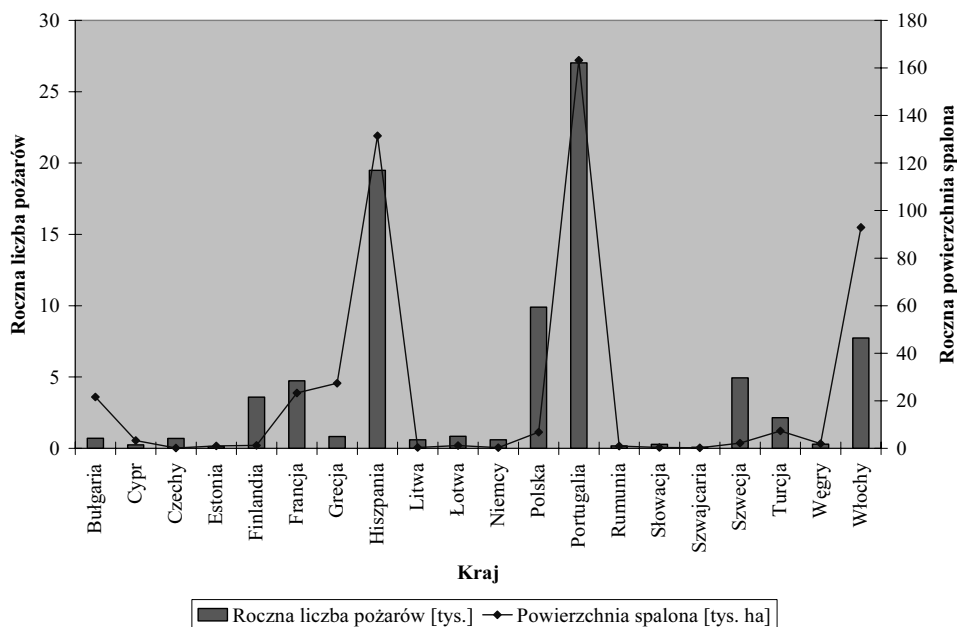
- Ciołkosz A., Bielecka E., 1998, Zastosowanie teledetekcji satelitarnej i systemu informacji geologicznej w określaniu zasięgu i skutków powodzi w: Zagrożenia klęskami żywiołowymi, Mat. Konf. Nauk. Tech. Min. Ochr. Środ., Bielsko – Biała, 143-152
- Kolk A., Sierota Z., 1999, Biotyczne, abiotyczne i antropogeniczne przyczyny zamierania drzew leśnych. Postępy techniki w leśnictwie, SITLiD, 69, 9-12
- Kucharska K., Tyszka J., Ciepeliowski A., 1984, Rola lasów w wyrównaniu odpływu z małych zlewni północno-wschodniej Polski, Gospodarka Wodna, 4
- Marszałek E., 2005, Leśnicy szacują szkody powodziowe w lasach [www.krosno.lasy.gov.pl]
- Mykhayliv O., 2010, Wpływ czynników meteorologicznych na występowanie chorób infekcyjnych w lasach, Biblioteka IBL, Sękocin Stary
- Pierzgalski E., Boczoń A., Tyszka J., 2002, Zmienność opadów i położenia wód gruntowych w Białowieskim Parku Narodowym, Kosmos. Problemy nauk biologicznych, 4, 415-425
- Pierzgalski E. in., 2010, Określenie potrzeb, możliwości i sposobów zwiększania retencji wodnej w siedliskach leśnych, IBL, niepublikowany
- Sierota Z., 2001, Choroby lasu, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa
- Sierota Z., Hilszczański J., 2011, Kierunki rozwoju ochrony lasu, III Sesja Zimowej Szkoły Leśnej: Strategia rozwoju lasów i leśnictwa w Polsce do 2020 r., 15-17.03 Sękocin, IBL, dokument elektroniczny [www.ibles.pl/szkolazimowa/III\_ZSL/.../sierota-hilszczanski.pdf]
- Strzeżliński P., Bałazy R., Zawila – Niedźwiecki T., 2008, Szkody powodziowe na terenie LKP Sudety Zachodnie, Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej, 10 (2)
- Tyszka J., Żakowicz S., 1998, Zmiany retencji glebowej i własności geochemicznych wody, Mat. Konferencji „Las i Woda”, 25-29.05.1998, Kraków, 198-208
- Tyszka J., 2007, Kształtowanie się zasobów wodnych lasu w zmieniających się warunkach klimatycznych, w: Quo vadis, forestry? (ed. Z. Sierota), Wyd. IBL, Sękocin Stary, 440-448
- Tyszka J., 2008, Hydrologiczne funkcje lasu w małych nizinnych zlewniach rzecznych, Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, 10, 215
- Wiśniewski S., 1998, Skutki lipcowej powodzi 1997 w lasach, Materiały Międzynarodowej Konferencji Las i Woda, Kraków, 450-456

# Pożary w lasach

Ryszard Szczygieł

## 1. Wstęp

Pożary to jedna z najgroźniejszych klęsk coraz częściej występująca w lasach. Zagrożenie pożarowe potęgowane jest postępującymi zmianami klimatycznymi, przejawiającymi się coraz częstszymi okresami susz z wysokimi temperaturami powietrza i silnymi wiatrami, które sprzyjają powstawaniu szczególnie groźnych pożarów wielkoobszarowych. Od wielu lat obserwowany jest stały trend wzrostu liczby pożarów i wielkości powodowanych przez nie strat wskutek zwiększającej się ich powierzchni, jak też zasięgu oddziaływania daleko poza miejsca ich powstania. Każdego roku na świecie blisko 10 mln ha lasów jest niszczone, w różnym stopniu, przez ogień.



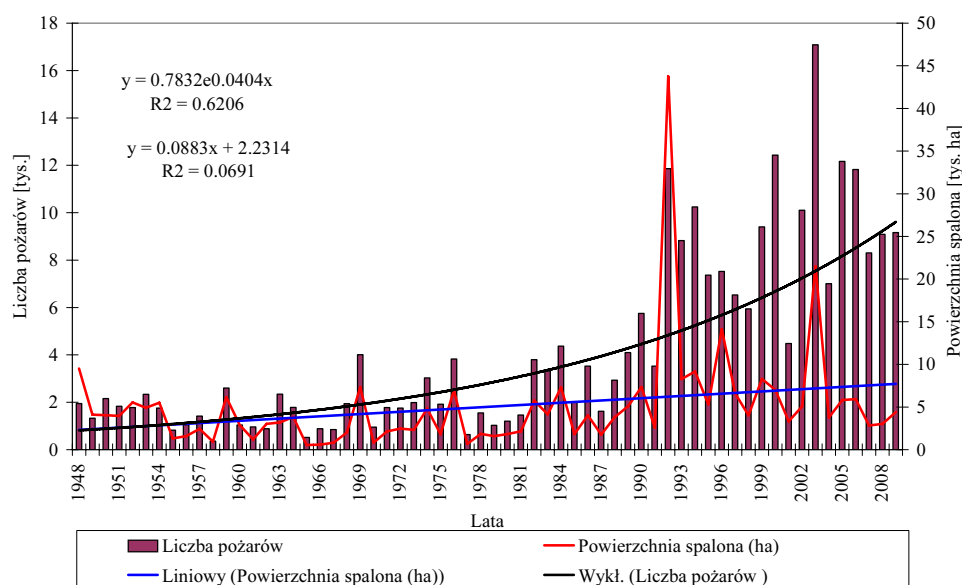
Rys. 1. Średnie roczne liczby pożarów i powierzchnie spalone w wybranych krajach Europy

Według statystyk pożarowych, prowadzonych przez Joint Research Centre w Isprze w ramach European Forest Fire Information System, Polska plasuje się w ostatnim dziesięcioleciu na trzecim miejscu w Europie (za Portugalią i Hiszpanią) pod względem średniej rocznej liczby powstających pożarów oraz na ósmym, biorąc pod uwagę powierzchnię nimi objętą (rys. 1).

## 2. Występowanie pożarów lasu w Polsce

W latach 1948<sup>1</sup>-2009 w polskich lasach powstało 260 106 pożarów, w wyniku których spaleni uległo 310 879 ha. Straty wskutek pożarów oszacowano na około 2,5 mld złotych. Na rys. 2 przedstawiono kształtowanie się występowania pożarów z wykresami trendu jego przebiegu oraz równaniami je opisującymi. Najwięcej pożarów lasu (17 088) odnotowano w 2003 r. i kolejno w latach: 2000 (12 428), 2005 (12 169), 1992 (11 858), 2006 (11 828), 1994 (10 245) i 2002 (10 101), kiedy liczba pożarów wynosiła więcej niż 10 000. Natomiast największą powierzchnię objętą pożarami zanotowano w 1992 r. (43 755 ha), a w dalszej kolejności w latach: 2003 (21 500 ha), 1996 (14 120 ha), 1948 (9 505 ha), 1994 (9 171 ha).

Średnio rocznie w latach 1948-2009 powstawało 4 195 pożarów na powierzchni 5 014 ha, a powierzchnia pojedynczego pożaru wyniosła 1,2 ha.



Rys. 2. Liczba pożarów lasów i powierzchnia spalona w Polsce w latach 1948-2009

Analizując występowanie pożarów lasu w okresach dwudziestoletnich (tab. 1) widać wyraźny wzrost zarówno ich liczby, jak i powierzchni spalonej w latach 1990-2009, na co bez wątpienia wpłynęły zmiany klimatyczne. W tym okresie powstało 68,7% wszystkich odnotowanych pożarów, a ich powierzchnia stanowiła

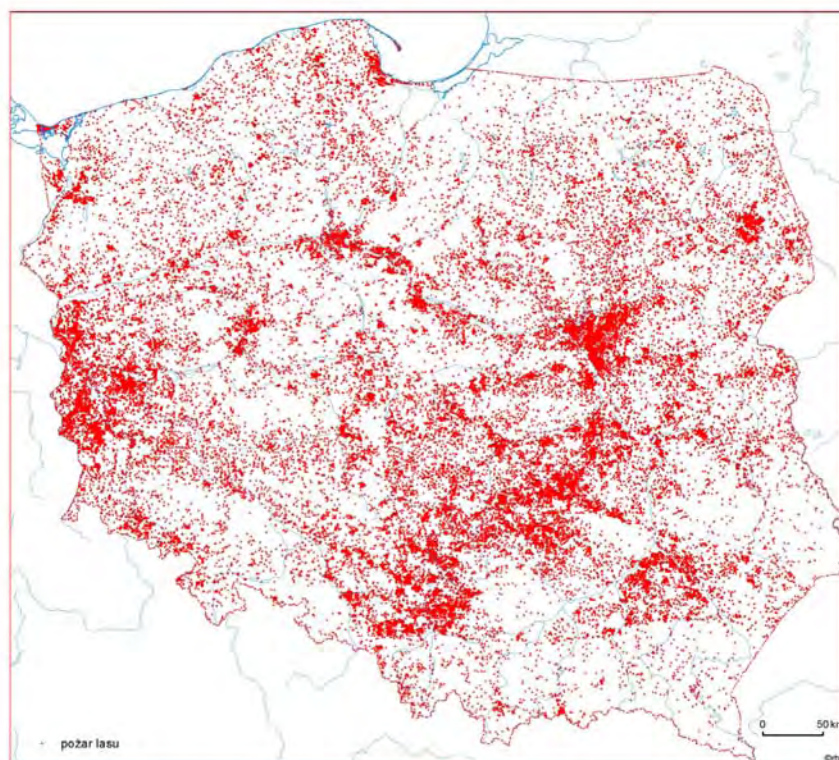
<sup>1</sup> Brak wcześniejszych danych

55,4% ogólnej powierzchni strawionej przez ogień. Z tego powodu okres ten był poddany szczegółowej analizie w dalszej części pracy.

Tab. 1. Pożary lasu w Polsce w okresach dwudziestoletnich

Lata	Liczba pożarów	Powierzchnia spalona (ha)	Średnia powierzchnia 1 pożaru
1950-1969	31339	61905	1.98
1970-1989	46854	63166	1.35
1990-2009	178634	172194	0.96

Przestrzenne występowanie pożarów lasu w Polsce w latach 1999-2008, na podstawie współrzędnych geograficznych (dla wcześniejszych lat brak współrzędnych), prezentuje rys. 3.



Rys. 3. Przestrzenne występowanie pożarów lasu w latach 1999-2008

Na zamieszczonej mapie wyraźnie widać kilka obszarów Polski, które odznaczają się nasileniem występowania pożarów lasu. Pożary powstawały najczęściej w pasie ciągnącym się od Warszawy przez ziemię radomsko-kielecką w kierunku Katowic, w pasie zachodnim województwa lubuskiego i częściowo dolnośląskiego, wzdłuż linii Wisły na północny zachód od Warszawy, w rejonie Rzeszowa – Tarnobrzega, Białegostoku, w rejonie trójmiejskim, w rejonie Szczecina i Poznania.

Analiza występowania pożarów w zależności od czynników drzewostanowych (siedliskowy typ lasu, wiek drzewostanu, gatunek dominujący) wykazała, że naj-

bardziej zagrożone są drzewostany na siedliskach borowych (Bs, Bw, Bśw, BMśw, BMw) w wieku do 40 lat, w których gatunkiem panującym jest sosna. Najwięcej pożarów (58,4%) powstało wiosną, osiągając maksymalną wartość w kwietniu – 24,3%. Następną porą roku, kiedy powstało 32,4% wszystkich pożarów było lato, z maksimum przypadającym w lipcu (15,4%). Jesienią i zimą odnotowano 9,2% ogółu pożarów, z czego 7,2% w marcu.

### **3. Katastrofalne pożary lasu**

W ostatnim dwudziestoleciu katastrofalne pożary lasu przekraczające 500 ha, miały miejsce w 1992 r., najbardziej tragicznym pod tym względem w powojennej historii kraju. Najistotniejsze były zdarzenia z sierpnia, kiedy ogień strawił obszar 29 460 ha (67% powierzchni spalonej w 1992 r.) – 19 450 ha zostało spustoszonych przez zaledwie cztery katastrofalne pożary:

- w Nadleśnictwie Szprotawa (obecnie woj. lubuskie) o powierzchni 2 260 ha,
- w Nadleśnictwie Solec Kujawski i Gniewkowo (woj. kujawsko-pomorskie) o powierzchni 3 000 ha,
- w Nadleśnictwie Potrzebowice, Wronki i Krucz (woj. poznańskie) o powierzchni 5 130 ha,
- w Nadleśnictwie Rudy Raciborskie, Kędzierzyn i Rudziniec (woj. śląskie) o powierzchni 9 060 ha.

Powierzchnia objęta czterema powyższymi kataklizmami stanowiła 44% całkowitej powierzchni spalonej w 1992 r. Średnia powierzchnia pojedynczego pożaru w sierpniu wyniosła aż 16,89 ha. Szczególne zagrożenie pożarowe lasów w tym okresie wynikało z niedoboru wilgoci, który zaznaczył się już od początku maja. Sumy opadów miesięcznych i dekadowych były na poziomie od 20 do 50% wartości wieloletnich. Pogłębiająca się susza osiągnęła swoje maksimum w sierpniu. W tym czasie notowano o godzinie 14<sup>00</sup> temperatury powietrza przekraczające 30°C, a wilgotność względna powietrza wynosiła poniżej 40%. W dniach wystąpienia pożarów katastrofalnych temperatura wynosiła od 33°C do 37°C, a wilgotność względna powietrza poniżej 30%. Prędkość wiatru była słaba i umiarkowana (maksymalnie 8 m/s). Notowano duże zagrożenie pożarowe lasów (według metody IBL – 3 stopień zagrożenia), a wilgotność ściółki osiągała miejscami minimalną możliwą wartość wynoszącą 6%. Pożar katastrofalny o powierzchni 540 ha wystąpił także w 1996 r. w Nadleśnictwie Chrzanów i przyległych kompleksach lasów prywatnych.

W lasach prywatnych (stanowią one 18% krajowej powierzchni leśnej) powstało około 60% wszystkich pożarów, które objęły blisko 80% łącznej powierzchni spalonej w Polsce. Świadczy to o niezadowalającym poziomie zabezpieczenia przeciwpożarowego tych lasów lub wręcz jego braku w porównaniu do lasów państwowych (78% powierzchni łącznej), w których funkcjonuje system ochrony przeciwpożarowej. Jego utrzymanie i doskonalenie kosztuje rocznie około 75 mln złotych, co sprawia, że średnia powierzchnia pojedynczego pożaru jest 2-3-krotnie mniejsza niż w lasach prywatnych.

#### 4. Przyczyny pożarów

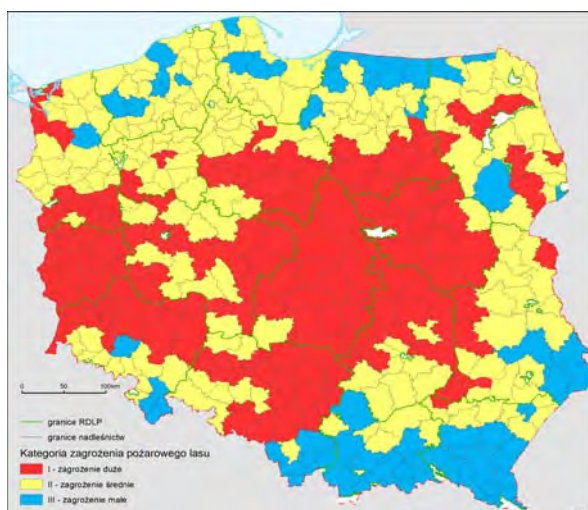
Główną przyczyną pożarów lasu jest działalność człowieka. W analizowanym okresie najczęściej pożarów wybuchło wskutek podpaień (29,28%) oraz nieostrożności osób dorosłych (29,21%). W wyniku przerzutów ognia z terenów niezagospodarowanych i rolniczych (np. podczas wypalania traw lub resztek roślinnych na polach) odnotowano 6,68% wszystkich pożarów. Najmniej zdarzeń było spowodowanych transportem drogowym (0,46%), inną działalnością gospodarczą (0,91%) i wyładowaniami atmosferycznymi (0,85%). Pozostałe przyczyny (nieostrożność dzieci, transport kolejowy, inne) były na zbliżonym poziomie, wahającym się od 1,84% do 2,72%. Pożary, których przyczyn nie ustalono stanowiły 26,07% ogółu. Najbardziej niepokojący w ostatnich 29 latach jest stały trend wzrostu liczby pożarów na skutek podpaień – 15,67% ogółu pożarów w latach 1981-1989, 28,47%, w kolejnej dekadzie i 42,87% w latach 2000-2009.

#### 5. Klasyfikacja zagrożenia pożarowego lasów Polski

Lasy Polski są klasyfikowane pod względem zagrożenia pożarowego zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 lipca 2010 r. w sprawie szczegółowych zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów (Dz. U. Nr 137, poz. 923).

Zaliczenia lasów do kategorii zagrożenia pożarowego dokonuje się dla nadleśnictwa albo parku narodowego uwzględniając następujące kryteria:

- średnią roczną liczbę pożarów lasu w okresie ostatnich 10 lat przypadających na 10 km<sup>2</sup> powierzchni leśnej,
- udział procentowy powierzchni drzewostanów rosnących na siedliskach boru suchego, boru świeżego, boru mieszanego świeżego, boru wilgotnego, boru mieszanego wilgotnego i lasu łęgowego,
- średnią wilgotność względną powietrza (pomiar z wysokości 0,5 m) i procentowy udział dni z wilgotnością ściółki mniejszą od 15% o godz. 9<sup>00</sup>,
- średnią liczbę mieszkańców przypadających na 0,01 km<sup>2</sup> powierzchni leśnej.



Rys. 4. Kategoryzacja zagrożenia pożarowego nadleśnictw

Metoda opracowana przez Instytut Badawczy Leśnictwa spełnia wymogi unijne i umożliwia ocenę zagrożenia pożarowego lasu dla nadleśnictwa, parku narodowego, regionalnej dyrekcji Lasów Państwowych oraz na dowolnym szczeblu podziału administracyjnego kraju. Wyniki klasyfikacji nadleśnictw pod względem zagrożenia pożarowego lasu przedstawiono na rys. 4.

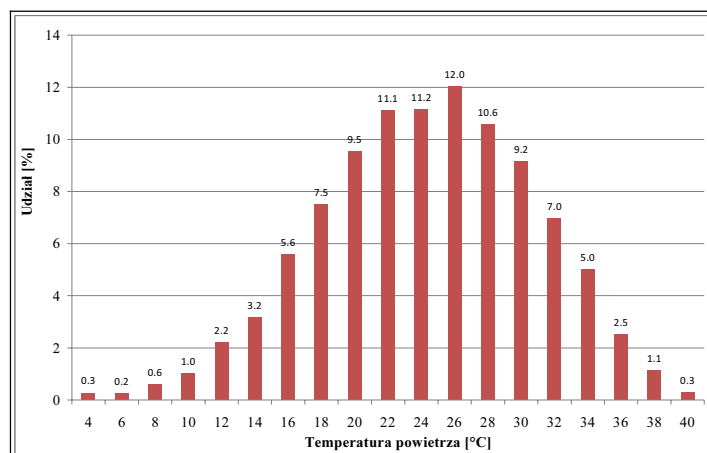
Zmianę kształtowania się zagrożenia pożarowego lasów w przeciągu ostatnich 35 lat przedstawiono w tab. 2. Wynika z niej, że utrzymuje się stały trend wzrostu zagrożenia.

Tab. 2. Liczba i udział procentowy w poszczególnych kategoriach zagrożenia pożarowego lasu (KZPL) w latach 1975-2010

KZPL	Liczba i udział nadleśnictw w KZPL w roku							
	1975		1992		2005		2010	
	liczba	%	liczba	%	liczba	%	liczba	%
I	86	21	132	33	163	38	173	40
II	253	61	199	50	196	46	189	44
III	75	18	67	17	70	16	66	16

## 6. Meteorologiczne kryteria występowania pożarów lasu

Warunki meteorologiczne decydują o powstaniu pożaru lasu, wpływając na stan wilgotności leśnych materiałów palnych. W sposób pośredni wpływają także na możliwość pojawienia się bodźców energetycznych zdolnych zainicjować ogień, który w warunkach polskich wiąże się przede wszystkim z obecnością człowieka w lesie bądź jego sąsiedztwie.



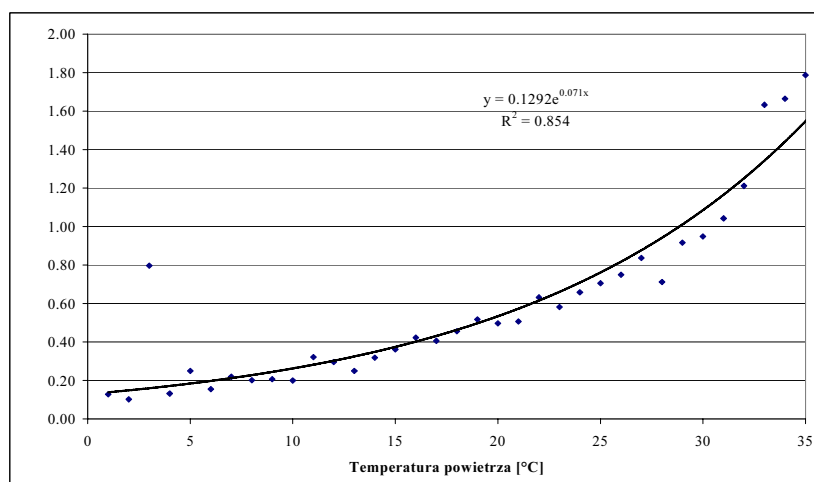
Rys. 5. Występowanie pożarów lasów po godzinie 13<sup>00</sup> w zależności od temperatury powietrza o godzinie 13<sup>00</sup>

Na podstawie analizy 39 083 pożarów lasu, z lat 2002-2010, określono wartości czynników meteorologicznych rejestrowanych przez sieć leśnych stacji pomiarowych w dwóch terminach pomiarów (godziny 9<sup>00</sup> i 13<sup>00</sup>), w sezonie palności (1IV-31X). Występowanie pożarów analizowano w odniesieniu do: temperatury powietrza, wilgotności względnej powietrza, opadu atmosferycznego, a także wil-



gotności ściółki sosnowej. Dla wyodrębnionych wartości przedziałów badanych parametrów sporządzono procentowe rozkłady liczby pożarów lasu w postaci histogramów skumulowanych i frekwencyjnych. Sporządzono także wykresy częstości występowania pożarów, będącej stosunkiem liczby pożarów do liczby wystąpienia danej wartości analizowanego parametru.

Przykładowe wyniki występowania pożarów lasu w zależności od temperatury powietrza przedstawiają rys. 5 i 6.



Rys. 6. Częstość występowania pożarów po godzinie 13<sup>00</sup> w zależności od temperatury powietrza o godzinie 13<sup>00</sup>

Wykonano również analizę w celu określenia średnich wartości badanych parametrów w dniach, w których pożary wystąpiły oraz dla sezonu palności – tab. 3.

Wartości: temperatury powietrza powyżej 24°C, wilgotności względnej powietrza poniżej 40%, brak opadów atmosferycznych określają tzw. „pogodę pożarową”, podczas której powstaje blisko 70% wszystkich pożarów lasu.

Tab. 3. Średnie wartości czynników meteorologicznych i wilgotności ściółki w sezonie palności oraz dniach występowania pożarów

Rodzaj parametru	Wartość średnia dla:	
	sezonu palności	dni z pożarami
temperatura powietrza [°C]	14,3	24,5
wilgotność względna powietrza [%]	72	40
suma opadu atmosferycznego [mm]	1,7	0
wilgotność ściółki [%]	30	12

## 7. Prognoza zagrożenia pożarowego lasów Polski i kierunki działania w zakresie profilaktycznym

W naszym kraju, podobnie jak i w całej Europie, widoczne są zmiany klimatyczne, które wynikają z globalnego ocieplenia. Cechą charakterystyczną tych zmian jest nie tylko obserwowany wzrost temperatury, ale przede wszystkim roz-

regulowanie się cykli zjawisk pogodowych. Coraz częściej występują rekordowe upały, susze, gwałtowne burze, powodzie, huragany i lokalne przypadki trąb powietrznych. Według Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) 10 najcieplejszych lat w historii pomiarów meteorologicznych wystąpiło po roku 1990. Najcieplejszym był rok 2005, a następnie 1998, 2002, 2003 i 2006. Według prognoz w ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat Polskę będą nawiedzać susze i powodzie opadowe, które należy traktować jako incydenty w czasie posuchy. Za 10-20 lat pogłębiająca się susza najbardziej dotknie Lubelszczyznę, Podlasie i Ziemię Lubuską, a następnie obejmie południe kraju i w końcu jego północ. Zaczynają dominować, a w przyszłości stanie się to bardziej wyraźne, dwie pory roku – ciepła i chłodna. W ciepłym półroczu, latem, w Polsce często występować będą temperatury powietrza ponad 30°C, obejmujące swoim zasięgiem cały kraj. W porze chłodnej dominować będą opady, a ciepłe zimy odznaczać się będą małymi opadami śniegu. Te przewidywane zmiany już wpływają i będą jeszcze bardziej oddziaływać na wzrost zagrożenia pożarowego lasów i czas jego trwania. O ile bowiem jeszcze 20-30 lat temu za sezon zagrożenia pożarowego uznawano okres wiosny i lata, to teraz pożary powstają praktycznie przez cały rok, gdyż w przypadku bezśnieżnych zim notowane są one nawet w miesiącach zimowych. W zależności od warunków meteorologicznych w danym roku nasilenie występowania pożarów przypadało na miesiące wiosenne oraz w okresach suszy letniej. Na przykład w 2000 r. pożary wiosenne (kwiecień-maj) stanowiły aż 70% ogółu. Z kolei rok 1992 to dominacja pożarów letnich, szczególnie pod względem wielkości powierzchni spalonej. W roku 1999 najwięcej pożarów powstało we wrześniu, dawniej uważanym za okres, w którym zjawiska te pojawiały się sporadycznie. Są to sygnały wydłużania się okresu palności lasów związanego ze zmianami klimatycznymi.

Na tle tych zarysowanych prognoz zmian klimatycznych należy się liczyć w Polsce ze wzrostem zagrożenia pożarowego lasów, i to zarówno w aspekcie ich potencjalnej podatności na ogień, jak i dynamicznego ryzyka możliwości powstania pożarów, kształtowanego przez sprzyjające warunki meteorologiczne i coraz dłuższe okresy ich występowania. Potencjalny wzrost palności polskich lasów wynika z niekorzystnego oddziaływania klimatu na warunki siedliskowe, co wyraża się zwiększeniem obszarów leśnych zaliczanych do I kategorii zagrożenia pożarowego. Należy się liczyć z tym, że dalej będzie następował ten wzrost zagrożenia, a świadczy o tym kategoryzacja zagrożenia na poziomie województw i regionalnych dyrekcji Lasów Państwowych (dokonana w 2008 r.), które zostały zaklasyfikowane do I i II kategorii zagrożenia pożarowego lasu. Brak jest III (najniższej) kategorii zagrożenia, do której jeszcze kilka lat temu zaliczone były dwie regionalne dyrekcje.

Działania prewencyjne i przystosowawcze gospodarki leśnej, dotyczące zagrożenia pożarowego lasu w perspektywie jego narastania, są ograniczone. Nie ma aktualnie możliwości skutecznego zapobiegania występującej nie tylko w Polsce, ale i na świecie tendencji wzrostu liczby pożarów i strat, jakie w ich wyniku powstają. Pożary lasów w skali globalnej są jednym z głównych źródeł emisji gazów

cieplarnianych czym przyczyniają się do zmian klimatycznych. W związku z tym, że to jednak człowiek jest głównym sprawcą pożarów – w Polsce dotyczy to prawie 99% wszystkich pożarów – wydaje się, że zadania informacyjno-uświadamiające powinny być pierwszoplanowymi działaniami profilaktycznymi. Działania te powinny być profesjonalnie przygotowane i przeprowadzone, powinny trafiać do określonego odbiorcy i być dla niego zaprojektowane. Muszą one być zaplanowane długofalowo, być atrakcyjne w formie i treści. W programach prewencyjnych należy uwzględnić warunki lokalne oraz włączyć do ich realizacji liderów lokalnych społeczności oraz organizacje. To powoduje, że konieczne są duże nakłady finansowe na tego typu kampanie. Jak dotąd środki przeznaczone na te zadania są małe i zbyt rozproszone. Brak jest strategii działania. Stąd też prowadzone programy przynoszą niewielkie efekty w stosunku do ponoszonych kosztów.

Do postulowanych działań zapobiegających wzrostowi potencjalnego ryzyka zagrożenia pożarowego lasu należy prowadzenie gospodarki leśnej w taki sposób, aby to ryzyko minimalizować, szczególnie nie w samej eliminacji możliwości powstania pożaru – co praktycznie jest niewykonalne – ale w ograniczaniu rozprzestrzeniania się ognia i strat, jakie w jego efekcie mogą powstać. Tym celom powinny służyć zasady hodowli lasu, w większym stopniu wykorzystujące potencjalne warunki poprawiających się pod względem żyzności siedlisk leśnych, pozwalające wprowadzać szerzej gatunki liściaste. W długiej perspektywie czasowej należałoby dążyć do przebudowy drzewostanów, wykorzystując prognozowane zmiany klimatyczne i zmiany zasięgu występowania gatunków drzew lasotwórczych. Takie działania mogą przyczynić się do zmniejszenia ilości, szczególnie niebezpiecznej pod względem pożarowym, biomasy sosnowej, która decyduje często o możliwości inicjacji spalania w środowisku leśnym i wpływa na intensywność pożaru.

Dużą rolę w przygotowaniu obszaru leśnego na ewentualny pożar odgrywa urządzenie lasu, które powinno w większym stopniu uwzględniać ochronę przeciwpożarową i dążyć do tego, aby las był w możliwie optymalnym stopniu przygotowany do działań ratowniczych (co stwarza szansę ograniczenia powierzchni pożaru i strat). Dotyczy to w szczególności stworzenia i utrzymania infrastruktury obejmującej dojazdy pożarowe, sieć zaopatrzenia wodnego, pasy przeciwpożarowe, sieć obserwacyjno-alarmową, itp.

Do prowadzenia skutecznej akcji gaśniczej nieodzowne jest wyposażenie służb ratowniczych w odpowiedni sprzęt i środki przeznaczone do gaszenia pożarów lasu. Wymagania techniczne dla nich są inne niż dla sprzętu powszechnie stosowanego przez straże pożarne. W dotychczasowej organizacji systemu ochrony przeciwpożarowej lasów nacisk położony był przede wszystkim na gaszenie ognia. Nie dotyczy to tylko naszego kraju, ale większości państw, które borykają się z dużymi i licznymi pożarami lasów, gdzie akcent położono na technikę gaśniczą, sprzęt naziemny, samoloty, śmigłowce i nowe środki gaśnicze. Zaniedbano działania prewencyjne, które nie tyle mają doprowadzić do zmniejszenia liczby pożarów, co do ograniczenia ich skutków. Dlatego powinna być zachowana równowaga pomiędzy profilaktyką a gaszeniem pożarów, będącymi jedynymi narzędziami do kontrolowania sytuacji pożarowej.

# **Diagnoza i prognoza warunków produkcji rolniczej w Polsce w wyniku oddziaływania ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych**

*Jerzy Kozyra, Anna Nieróbca, Katarzyna Mizak, Rafał Pudelko, Łukasz Świtaj, Małgorzata Kozak*

## **1. Wstęp**

Duże straty w plonach roślin uprawnych z powodu niekorzystnego przebiegu pogody w Polsce są najczęściej wynikiem nie jednego, a kilku następujących po sobie niekorzystnych zjawisk meteorologicznych [Górski i inni 2008]. Najczęstszymi przyczynami wystąpienia tych strat są: susza, nadmiar opadów, długie zaleganie pokrywy śnieżnej, niska temperatura podczas okresu zimowego, a w przypadku roślin ciepłolubnych również brak wystarczających zasobów ciepła [Atlas Klimatyczny 1990, Koźmiński, Michalska 2010]. Ocena, w jakim stopniu i które z czynników pogodowych przyczyniły się do powstania strat, możliwa jest po przeprowadzeniu analizy przebiegu warunków meteorologicznych z wykorzystaniem modeli opisujących wpływ pogody na plon. Funkcjonują dwa rodzaje modeli umożliwiające prognozowanie plonowania, są to: modele symulacyjne i modele statystyczne. Modele symulacyjne, przedstawiające związki pomiędzy wzrostem i rozwojem roślin a pogodą, umożliwiają wykonywanie analiz plonowania w skali pola [Olesen i in. 2007]. Modele statystyczne opisują w postaci funkcji regresyjnych zależności pomiędzy uśrednionymi warunkami meteorologicznymi a plonami statystycznymi i są wykorzystywane w analizach regionalnych i globalnych [Górski 1996, Lobell, Burke 2010]. W pracach związanych z oceną wpływu pogody na plony w Polsce, stosowane były dotąd modele statystyczne, zastosowane w niniejszym opracowaniu [Górski 2006, Sadowski i in. 2010]. Modele te od 2000 roku są wykorzystywane operacyjnie w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowym Instytucie Badawczym (IUNG-PIB).

Celem pracy jest diagnoza oddziaływania ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych w latach 1972-2009 na plony roślin uprawnych w Polsce oraz ocena długookresowych tendencji.

## 2. Materiały

Wykorzystane w pracy dobowe dane meteorologiczne z 53 stacji synoptycznych w Polsce zostały udostępnione przez IMGW-PIB w formie cyfrowej i dotyczyły: opadu atmosferycznego (mm), usłonecznienia rzeczywistego (h), względnej wilgotności powietrza z godziny 12 UTC (2 m n.p.g) (%), średniej temperatury powietrza (°C), liczby dni z pokrywą śnieżną (cm). Na potrzeby przeprowadzenia analizy z użyciem modeli, dane dobowe zostały zagregowane do danych dekadowych. Dane dotyczące plonów roślin uprawnych wykorzystane do weryfikacji modeli pochodziły z publikowanych materiałów Głównego Urzędu Statystycznego.

## 3. Metodyka

W pracy wykorzystano opracowane w IUNG-PIB na potrzeby bieżącego prognozowania plonów statystyczno-empiryczne modele plonowania (modele IPO) [Górski i in. 1997]. Modele IPO szacują plony krajowe z dwóch indeksów: 1) bezwarunkowej wartości oczekiwanej (BWO), która wyraża plon przeciętny dla określonego tła warunków pozaklimatycznych, 2) indeksu pogodowego (IP), który określa wpływ warunków meteorologicznych na plonowanie. Wartość IP równa 100 oznacza wystąpienie warunków meteorologicznych sprzyjających szacowanemu dla danego roku indeksowi BWO. Odchylenia ujemne lub dodatnie IP określają procent spadku lub nadwyżki plonowania ponad wartość BWO. Prognoza plonów z wykorzystaniem modeli IPO jest wykonywana w trakcie sezonu wegetacyjnego roślin na podstawie indeksów cząstkowych, co umożliwi identyfikację przyczyn spadków plonów w danym roku. Na całościowy (końcowy) indeks IP składa się w zależności od modelu od kilku do kilkunastu indeksów cząstkowych. Przykładowo w modelu IPO dla pszenicy ozimej wyodrębniono 30 indeksów cząstkowych (równanie 1), natomiast w modelu IPO dla pszenicy jarej wyodrębniono tylko 4 indeksy cząstkowe.

$$IP_{po}(\%) = \Sigma (i_1 \dots i_{30}) \quad (1)$$

gdzie:  $IP_{po}$  – indeks pogodowy pszenicy ozimej,  
 $i$  – indeksy cząstkowe wyrażające wpływ czynników meteorologicznych w podokresach.

W modelach IPO na podstawie wartości sum opadu atmosferycznego, średniej temperatury powietrza i usłonecznienia obliczany jest wskaźnik klimatycznego bilansu wodnego (równanie 2), określający uwilgotnienie gleby.

$$W = 97,6 + p - 0,0621 t^2 - 0,00448 u^{1,66} \quad (2)$$

gdzie:  $p$  – suma opadu atmosferycznego (mm),  
 $t$  – średnia temperatura powietrza (°C),  
 $u$  – suma usłonecznienia (godz.).

Przedstawiony w pracy indeks pogodowy odpowiadający plonom uzyskiwanym średnio w Polsce (IPK) określa się jako średnią arytmetyczną z IP liczonych dla wybranych 20 stacji meteorologicznych, wytypowanych z wykorzystaniem

metody regresji grzbietowej. Przyjęta metoda jest wystarczająca do minimalizacji błędów prognozy, co oznacza, że uwzględnienie większej liczby stacji nie zmniejsza błędów oceny. Średni plon krajowy określony w modelach IPO jest obciążony błędem malejącym w trakcie wegetacji, a błąd standardowy oceny ostatecznej wynosi 3-4%, z wyjątkiem prognozy dla rzepaku, gdzie błąd ten dochodzi do 7%.

Analizy wykonano dla 7 upraw: pszenicy ozimej, pszenicy jarej, żyta ozimego, jęczmienia jarego, buraka cukrowego, ziemniaka, kukurydzy. Określono lata w których wystąpiły największe spadki plonowania na poziomie kraju i scharakteryzowano zróżnicowanie przestrzenne wartości IP w latach ekstremalnych. Przeprowadzono również analizę indeksów cząstkowych IP i IPK dla warunków zimowania i warunków wilgotnościowych. Jako element prognozy warunków ekosystemów rolniczych przedstawiono analizę współczynnika zmienności IPK oraz IP dla wybranych stacji w Polsce.

## 4. Wyniki

### 4.1. Warunki skrajnie niekorzystne

Tab. 1. Odchylenie indeksu pogodowego plonu krajowego (IPK) analizowanych upraw w latach 1972-2009

Lata	Pszenica ozima	Żyto ozime	Pszenica jara	Jęczmień jary	Ziemniak	Burak cukrowy	Kukurydza
1972	-1	7	0	0	3	6	-7
1973	10	9	4	3	5	4	-1
1974	9	12	13	13	-6	-2	-22
1975	0	2	0	-1	-2	-3	2
1976	8	6	5	6	16	-2	-18
1977	-2	-7	-3	-3	3	1	-11
1978	4	5	-1	0	12	2	-24
1979	-11	-21	-15	-15	11	-1	-26
1980	-18	-4	-11	-11	-28	-26	-37
1981	-8	-4	-9	-9	3	7	0
1982	-1	6	1	1	-10	-5	-5
1983	2	2	-5	-5	-5	-1	-10
1984	3	13	9	9	1	5	-22
1985	-3	-1	2	2	-3	8	-14
1986	5	1	3	2	13	12	-4
1987	5	6	5	5	6	0	-19
1988	1	0	-4	-5	7	0	3
1989	9	6	0	0	5	-1	-5
1990	7	5	7	6	11	10	-1
1991	9	8	10	10	-8	-3	-21
1992	-14	-10	-23	-18	-27	-18	-10
1993	-5	-1	0	0	16	14	-11
1994	-7	-2	-10	-8	-26	-20	-29
1995	10	9	6	5	-4	-2	-4
1996	-1	0	1	2	5	6	-2
1997	4	1	2	1	-7	4	10
1998	1	6	-7	-8	15	14	1
1999	-1	-1	-2	-3	-11	-3	0
2000	-11	-8	-14	-13	9	13	0
2001	3	0	-1	-2	-3	5	1
2002	-8	-10	-7	-7	-9	12	0
2003	-13	-6	-8	-7	-7	-2	0
2004	11	8	8	9	5	7	-1
2005	9	5	11	11	11	0	-2
2006	-22	-26	-14	-11	-29	-27	-41
2007	-5	-3	-6	-6	9	20	11
2008	-2	1	-18	-17	-1	-13	-3
2009	-9	2	-1	1	-2	15	3

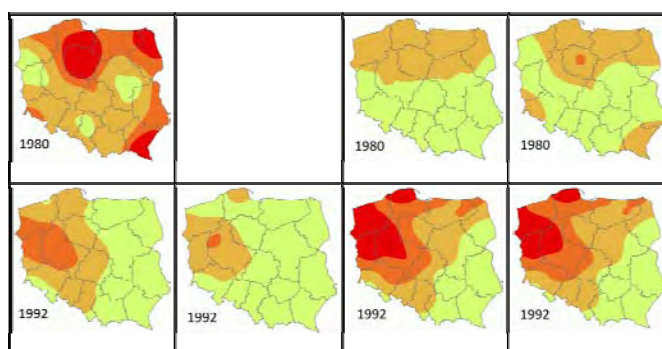
Wartości ujemne oznaczają spadki plonu krajowego poniżej wartości średnich wieloletnich, wartości dodatnie oznaczają wzrost plonu powyżej wartości średnich wieloletnich.

W latach 1972-2009 największe odchylenie ujemne indeksu pogodowego plonów krajowych (IPK) stwierdzono w 2006 r., w przypadku kukurydzy wyniosło

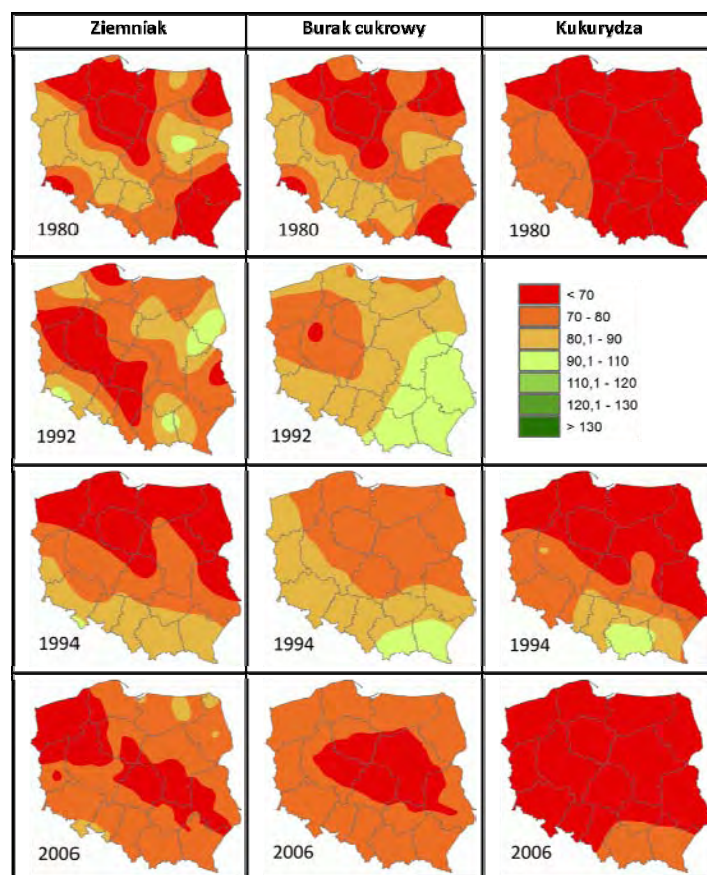
ono -41%, ziemniaka -29%, buraka cukrowego -27%, żyta ozimego -26% i pszenicy ozimej -22%. Natomiast dla pszenicy jarej (-23%) i jęczmienia jarego (-18%) największe odchylenia stwierdzono w 1992 r. Skrajnie niekorzystne dla plonowania były również lata 1979, 1980, 1994 i 2003 (tab. 1).

W latach, w których stwierdzono największe spadki IPK, odchylenia ujemne indeksów pogodowych (IP) były znacznie zróżnicowane regionalnie. W 2006 r. najbardziej niekorzystne warunki dla plonowania pszenicy ozimej i żyta wystąpiły w zachodniej, południowo-zachodniej i centralnej części Polski, gdzie wartości IP dla pszenicy ozimej spadły do 70%, a w przypadku żyta poniżej wartości 70%. W 1992 i 2008 r. obszary z największymi spadkami IP w przypadku wszystkich analizowanych upraw stwierdzono w północno zachodniej, zachodniej i centralnej Polsce (rys. 1, 2), natomiast w 1979 r. w północnej części Polski. W 1980 r. znaczące spadki IP ziemniaka, buraka cukrowego, kukurydzy i pszenicy ozimej na większości obszaru kraju, jednak największe w województwie kujawsko-pomorskim (rys. 2).

Pszenica ozima	Żyto ozime	Pszenica jara	Jęczmień jary
----------------	------------	---------------	---------------



Rys. 1. Indeks pogodowy plonu (IP) pszenicy ozimej, żyta ozimego, pszenicy jarej i jęczmienia jarego w latach 1979, 1980, 1992, 2006, 2008 (lata najbardziej niekorzystne dla plonowania)



Rys. 2. Indeks pogodowy plonu (IP) ziemniaka, buraka cukrowego i kukurydzy w latach 1980, 1992, 1994, 2006 (lata najbardziej niekorzystne dla plonowania)

#### 4.2. Warunki zimowania

W latach 1971-2009 najbardziej niekorzystne warunki zimowania dla plonowania pszenicy ozimej i żyta w Polsce wystąpiły podczas zimy 2005/2006, kiedy odchylenie indeksu cząstkowego IPK określającego tą zależność wyniosły odpowiednio -10% i -6%. Duże odchylenia ujemne IPK pszenicy ozimej w wyniku oddziaływania warunków zimy stwierdzono również w latach: 1978/1979 (-9%), 1984/1985 (-6%), 1995/1996 (-5%). Duże spadki IPK żyta zanotowano również w 1995/1996 (-5%), 1984/1985 (-4%), 1978/79 (-4%), 1986/1987 (-3%) (rys. 3).

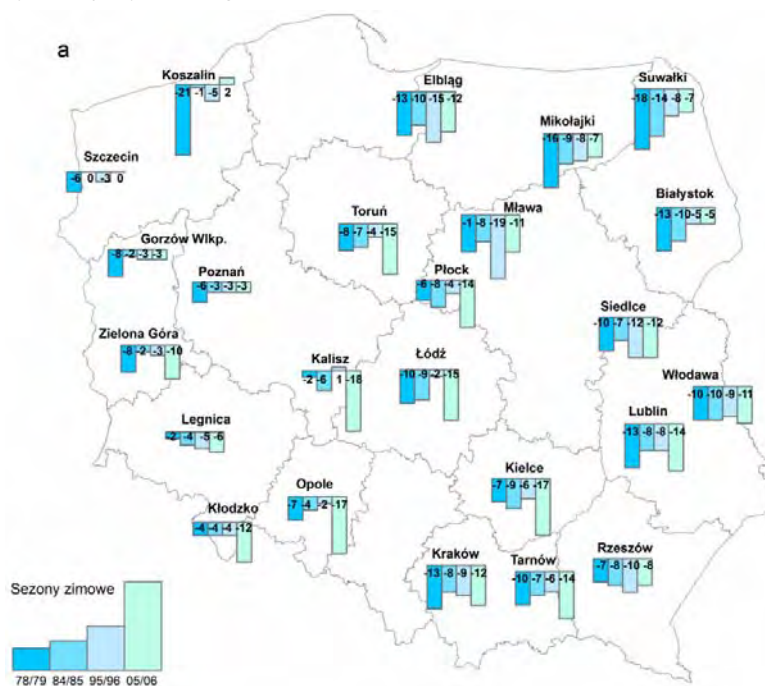
W trzech ekstremalnie niekorzystnych dla plonowania pszenicy i żyta okresach zimowych tj. 1978/79, 1984/85, 1995/96 największe odchylenie ujemne IP stwierdzono w północnej i północno wschodniej Polsce, natomiast po zimie 2005/2006 w południowej i centralnej Polsce. W sezonie 1978/1979 w przypadku pszenicy odchylenie ujemne indeksu cząstkowego IP uwzględniające warunki zimowania, wyniosło w Koszalinie -21% a w Suwałkach -18%. W przypadku żyta IP



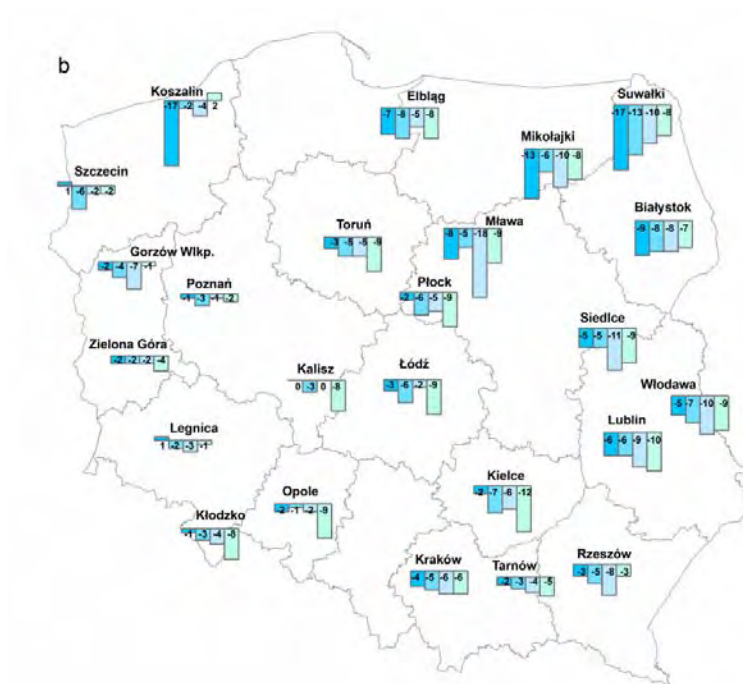
dla obu tych miejscowości wyniosło -17. W wyniku warunków zimy 2005/2006 IP pszenicy ozimej uzyskał najniższe wartości w południowej i centralnej Polsce (Opole -17, Kielce -17, Łódź -15, Toruń -15) (rys. 4).



Rys. 3. Ocena warunków zimowania na podstawie indeksu cząstkowego IPK dla pszenicy ozimej i żyta ozimego w latach 1972-2009



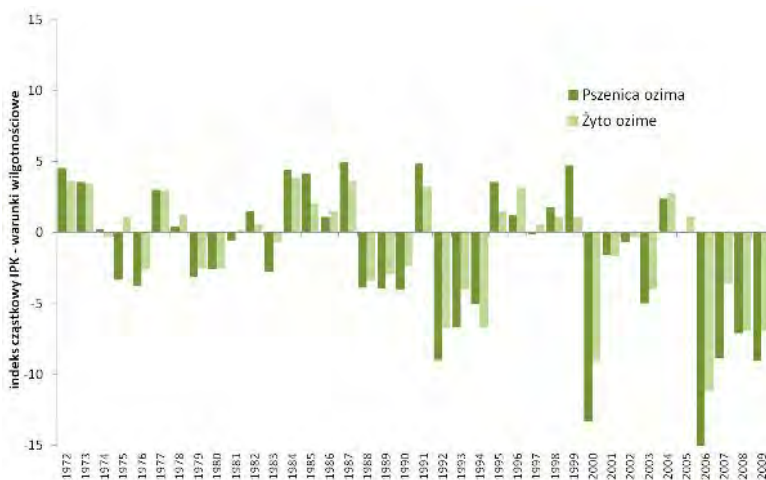
Rys. 4a. Odchylenie indeksu pogodowego pszenicy (b) w wyniku oddziaływania warunków zimy w latach ekstremalnych: 1978/1979, 1984/1985, 1995/1996, 2005/2006



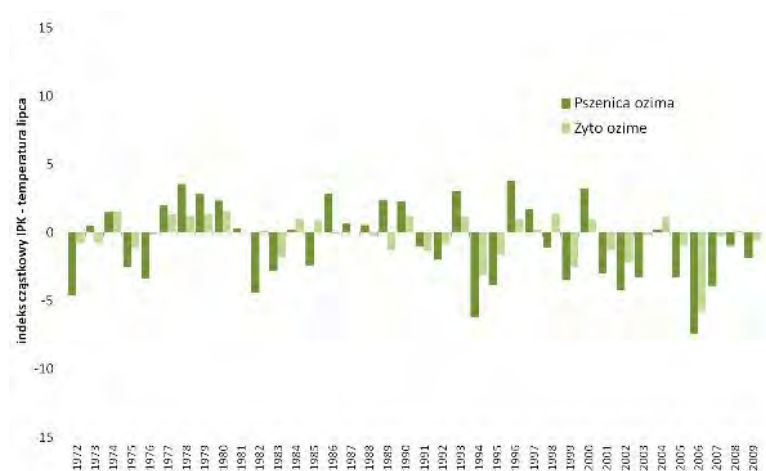
Rys. 4b. Odchylenie indeksu pogodowego żyta w wyniku oddziaływania warunków zimy w latach ekstremalnych: 1978/1979, 1984/1985, 1995/1996, 2005/1996

### 4.3. Warunki wilgotnościowe

Niekorzystne warunki wilgotnościowe miały największy wpływ na IPK pszenicy i żyta w 2006, 2000 i 1992 r. Należy podkreślić że w 4 ostatnich latach analizy (2006-2009) warunki te wykazywały znaczące wartości ujemne (rys. 5).



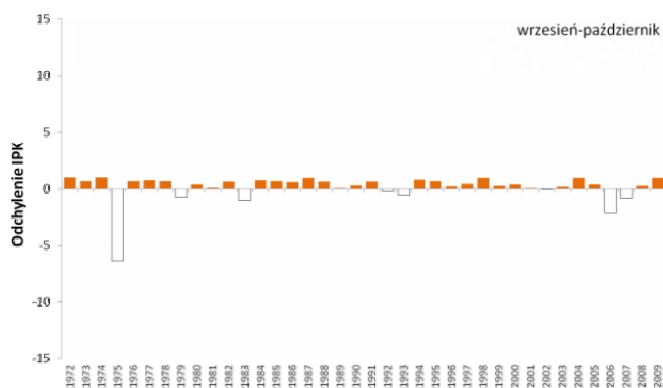
Rys. 5. Odchylenia indeksów cząstkowych IPK pszenicy ozimej i żyta ozimego w wyniku warunków wilgotnościowych w latach 1972-2009



Rys. 6. Odchylenia indeksów cząstkowych IPK pszenicy ozimej w wyniku warunków termicznych lipca w latach 1972-2009

Dodatkowym niekorzystnym oddziaływaniem na plonowanie w tych latach była wysoka temperatura lipca np. w 2006 r. (rys. 6).

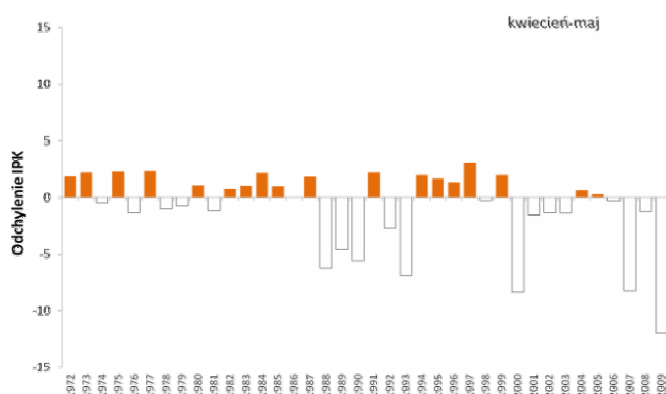
W modelach IPO indeks pogodowy opisujący warunki wilgotnościowe określa zazwyczaj sytuację w dwóch kolejnych miesiącach, co pozwala uwzględnić efekty kompensowania niedoborów czy nadmiaru opadów dla rośliny w czasie wegetacji. W analizie wykorzystano model pszenicy ozimej w którym wyraźnie wyodrębniono wpływ warunków wilgotnościowych (braku i nadmiaru opadów). W przypadku tej uprawy stwierdzono, że o plonach krajowych decydują głównie warunki wilgotnościowe okresu kwiecień – maj i czerwiec – lipiec (rys. 7a-c).



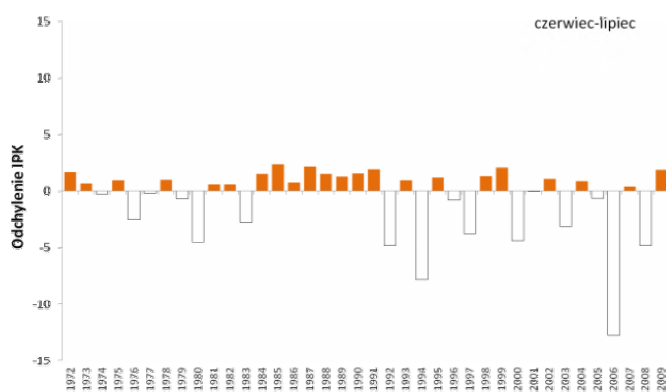
Rys. 7a. Indeksy pogodowe (IP) pszenicy ozimej opisujące warunki wilgotnościowe w okresie wrzesień-październik

Największe odchylenia indeksu warunków wilgotnościowych dla kwietnia i maja odnotowano w 2009 r. (-12%), co było spowodowane brakiem opadu w kwietniu jednak nie miało to większego znaczenia dla IPK końcowego. Duże odchylenia indeksu warunków wilgotnościowych pszenicy ozimej zanotowano

również w latach: 2000 (-8%), 1993 (-8%), 2007 (-7%), 1998 (-7%). Znaczące odchylenie indeksu wilgotnościowego dla pszenicy ozimej czerwca i lipca wystąpiły w roku: 2006 (-13%), 1994 (-8%), 2008 (-5%), 1992 (-5%). W latach tych wystąpiły znaczące spadki plonów z powodu suszy. W roku 1980 ujemne odchylenie indeksu wilgotnościowego wynikało z nadmiaru opadów. Był to jeden z ekstremalnie wilgotnych lat, drugi po 2006 r. pod względem strat w większości upraw w Polsce. Znaczący spadek IPK krajowego wyniku wystąpienia suszy w jesieni odnotowano tylko w 1975 r. (-6%).



Rys. 7b. Indeksy pogodowe (IP) pszenicy ozimej opisujące warunki wilgotnościowe w okresie kwiecień-maj



Rys. 7c. Indeksy pogodowe (IP) pszenicy ozimej opisujące warunki wilgotnościowe w okresie czerwiec-lipiec

#### 4.4. Zmienność plonowania

Wartości współczynnika zmienności IPK obliczone dla dwóch wydzielonych okresów 1972-1990 (ubiegły klimat) i 1991-2009 (obecny klimat), wskazują na wzrost zmienności dla analizowanych upraw w zakresie od 2-4%, z wyjątkiem IPK kukurydzy dla której wskaźnik zmienności zmniejszył się o 2%. Należy podkreślić, że najwyższy współczynnik zmienności IPK uzyskano w warunkach 1991-2009 dla ziemniaka, a nie jak w poprzednim okresie tj. 1972-1990 dla kukurydzy. Na

podstawie porównania względnych różnic pomiędzy wartościami współczynników zmienności IPK w analizowanych okresach (tab. 2) można wnioskować o zmniejszeniu się stabilności plonowania w Polsce w zakresie od 12% w przypadku żyta do 31% w przypadku pszenicy jarej. W przypadku plonów krajowych kukurydzy nastąpiła poprawa warunków plonowania na poziomie kraju o około 10%. Należy jednocześnie wskazać na różne tendencje zmian współczynników zmienności IP, na podstawie których można wnioskować o regionalnych zmianach agroklimatu.

Tab. 2. Współczynniki zmienności (%) indeksów plonowania dla analizowanych upraw

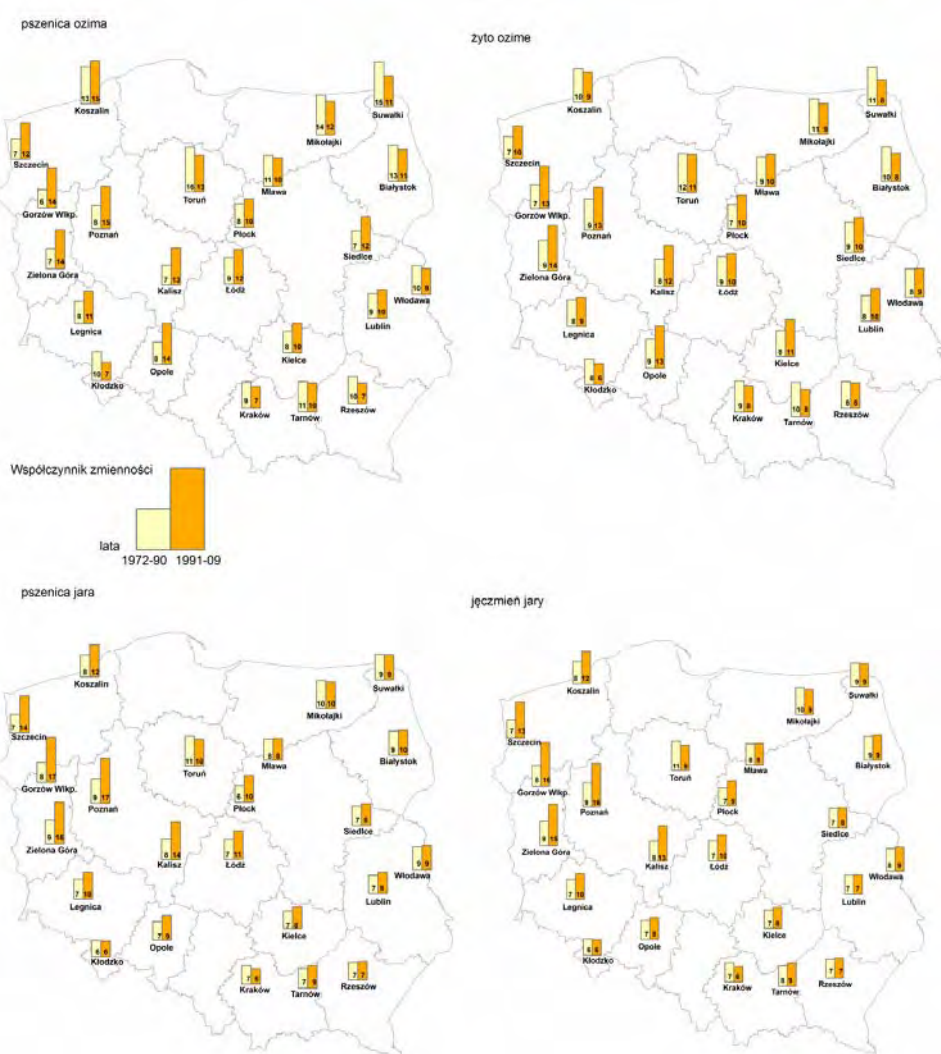
Uprawa	1972-1990	1991-2009	Względna zmiana (%)
Pszenica ozima	9,6	11,2	17
Żyto ozime	8,8	9,8	12
Pszenica jara	7,9	10,3	31
Jęczmień jary	7,8	9,8	25
Burak cukrowy	10,4	13,5	29
Ziemniak	13,0	15,6	20
Kukurydza	16,7	15,1	-10

W przypadku analizowanych upraw w zachodniej i środkowej części Polski stwierdzono wzrost zmienności IP (czyli pogorszenie się warunków plonowania), natomiast spadek (czyli poprawę warunków plonowania) w północno-wschodniej i południowej części Polski (rys. 8, 9). Wyjaśnieniem tych tendencji może być zmniejszanie się negatywnego oddziaływania na plonowanie okresu zimowego we wschodniej części Polski, natomiast narastanie problemów związanych z niedoborami wody w zachodniej i środkowej Polsce.

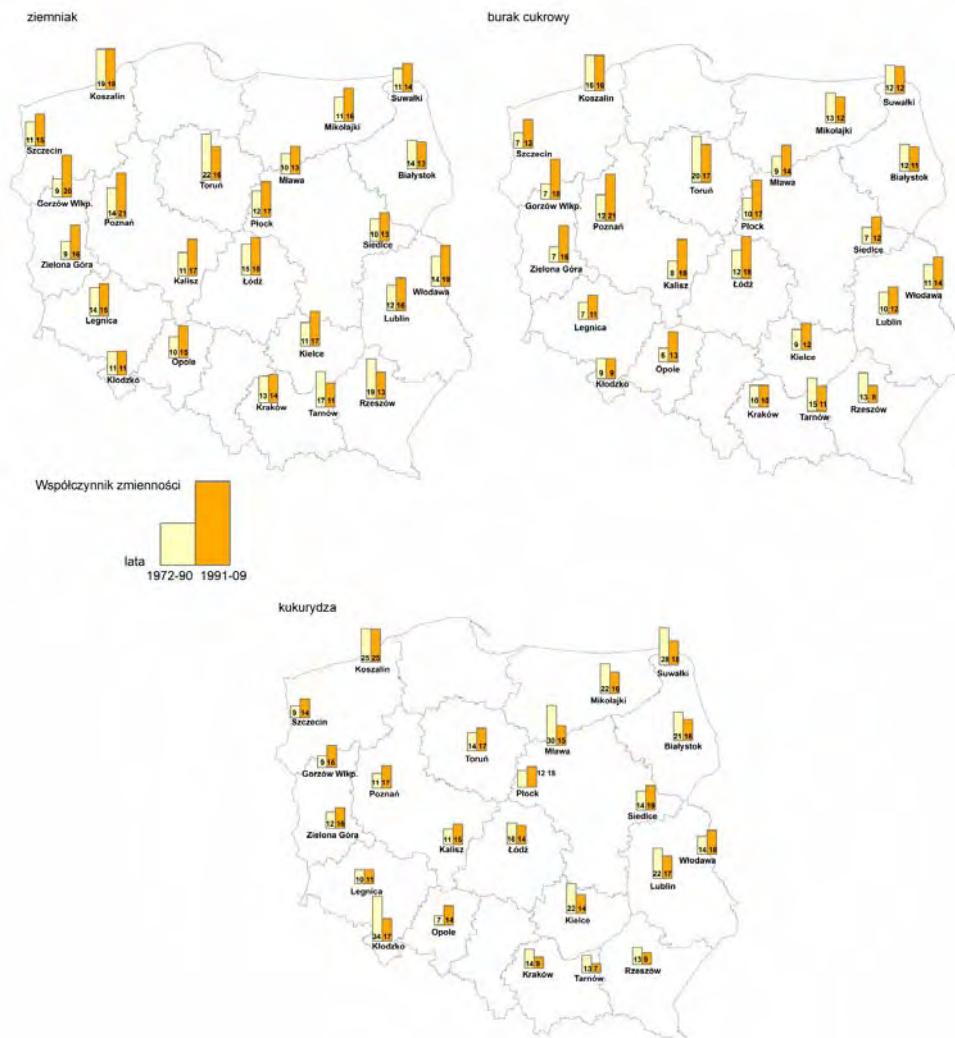
W północno-zachodniej i centralnej Polsce nastąpił wzrost zmienności IP kukurydzy (pogorszenie warunków plonowania). Spadek współczynnika zmienności IP stwierdzono natomiast w północno-wschodniej Polsce, południowym wschodzie i obszarach podgórskich (polepszenie warunków plonowania) (rys. 9). Podobnie jak w przypadku kukurydzy współczynnik zmienności IP pszenicy ozimej wskazuje na poprawę warunków plonowania w północno-wschodniej i południowo-wschodniej Polsce oraz w rejonach podgórskich. Prawidłowość ta występuje przy ogólnym pogorszeniu się stabilności plonów krajowych pszenicy ozimej (tab. 2). Należy podkreślić jednak, że znaczący wzrost zmienności IP nastąpił w rejonie Opola, dotychczas uważanym za najkorzystniejszy (najstabilniejszy) dla plonowania, oraz w rejonach Kalisza, Poznania, Szczecina, uważanych za regiony z utrudnieniami dla rolnictwa ze względu na niski opad atmosferyczny (rys. 8).

Zmiany współczynnika zmienności IP żyta pomiędzy analizowanymi okresami wykazują podobne tendencje regionalne do IP pszenicy ozimej, natomiast

względne różnice w przypadku żyta są mniejsze niż w przypadku pszenicy (rys. 9). W przypadku zmian współczynnika zmienności IP pszenicy jarej i jęczmienia jarego w rejonach północno-wschodnich i południowo-wschodnich nie stwierdzano znaczących tendencji, natomiast w północno zachodnich rejonach zmienność IP tych roślin wzrosła dwukrotnie (rys. 8). Na większości obszaru kraju stwierdzono wzrost zmienności plonowania ziemniaka z wyjątkiem południowego wschodu Polski. W przypadku buraka cukrowego zmienność plonowania wzrasta również na większości obszaru kraju w z wyjątkiem południowo-wschodniej i północno-środkowej części Polski (rys. 9).



Rys. 8. Współczynnik zmienności IP pszenicy ozimej, żyta ozimego, pszenicy jarej, jęczmienia jarego w latach 1972-1990 i 1991-2009



Rys. 9. Współczynnik zmienności IP ziemniaka, buraka cukrowego, kukurydzy w latach 1972-1990 i 1991-2009

## 5. Wnioski

- W latach 1972-2009 spadki indeksu pogodowego plonu krajowego (IPK), odpowiadające największym spadkom plonów krajowych wyniosły dla kukurydzy (-41 w 2006 r.), ziemniaka (-29 w 2006 r.), buraka (-27 w 2006 r.), żyta ozimego (-26 w 2006 r.), pszenicy jarej (-23 w 1992 r.), jęczmienia jarego (-18% w 1992 r.).
- W latach z dużymi stratami plonów występuje duże zróżnicowanie indeksów pogodowych plonu, co sprawia, że straty są zróżnicowane regionalnie, a straty krajowe ograniczone.

- Następuje zwiększenie zmienności plonów krajowych analizowanych upraw z wyjątkiem kukurydzy.
- W zachodniej i centralnej Polsce zwiększa się zmienność plonowania analizowanych upraw, co wynika z pogarszających się w tym regionie warunków wilgotnościowych, natomiast zmniejsza w północnej i wschodniej części Polski, co wynika ze zmniejszania się efektów niekorzystnych zjawisk okresu zimowego.
- Wraz z prognozowanym przez scenariusze klimatyczne w XXI wieku wzrostem częstości i intensywności ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych, należy zakładać dalszy wzrost zmienności plonowania roślin uprawnych w Polsce. Częstsze występowanie warunków niekorzystnych dla rolnictwa, podobnych do obserwowanych w ostatnich latach (np. 2003, 2006, 2008 roku), może destabilizować produkcję żywności oraz niekorzystnie oddziaływać na sytuację ekonomiczną gospodarstwa rolnych.

#### Literatura

- Atlas Klimatyczny Elementów i Zjawisk Szkodliwych dla Rolnictwa, 1990
- Górski T., 2006, Zmiany warunków agroklimatycznych i długość okresu wegetacyjnego w ostatnim stuleciu. w: Długotrwałe przemiany krajobrazu Polski w wyniku zmian klimatu i użytkowania ziemi, IGBP-Global Change, Poznań, 65-77
- Górski T., 1996, Modele statystyczno-empiryczne. w: Analiza stosowalności zagranicznych metod prognozowania plonów w warunkach Polski, IUNG-PIB, Puławy, 17-41
- Górski T., i.in., 1997, Rozkłady statystyczne plonów głównych roślin uprawnych dla stanu aktualnego i dwóch scenariuszy klimatycznych, Raport IUNG, 1997
- Górski T., Kozyra J., Doroszewski A., 2008, Field crop losses in Poland due to extreme weather conditions - case studies, In: The Influence of Extreme Phenomena on the Natural Environment and Human Living Conditions, Liszewski (eds.), Łódzkie Towarzystwo Naukowe, 35-49
- Koźmiński Cz., Michalska B., 2010, Niekorzystne zjawiska atmosferyczne w Polsce. Straty w rolnictwie, w: Klimatyczne zagrożenia rolnictwa w Polsce, (Koźmiński Cz., Michalska B., Leśny J., red.), Rozprawy i Studia T, DCCCXLVII (773), 9-54
- Lobell D.B., Burke M.B., 2010, On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 1443-1452
- Olesen J.E., i.in., 2007, Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and ecosystems based on scenarios from regional climate models, *Climatic Change*, 81, 123-143
- Sadowski M., i.in., 2009, Adaptacja produkcji rolnej w województwie podlaskim do oczekiwanych zmian klimatu. IOŚ, Warszawa





**CZĘŚĆ III.  
SYNERGIA ZDARZEŃ  
I SYSTEMY OSTRZEŻEŃ**



# **Opracowanie systemu zapobiegania i sposoby ograniczania skutków powodzi oraz zasad funkcjonowania systemu ostrzeżeń**

*Roman Konieczny, Małgorzata Siudak,  
Renata Bogdańska-Warmuz, Paweł Madej,  
Tomasz Walczykiewicz*

## **1. Wprowadzenie**

Katastrofalne powodzie jakie wystąpiły pod koniec XX i na początku XXI wieku w Europie wywołują rosnące zainteresowanie różnymi metodami ograniczania ich skutków. I podobnie jak w USA w latach siedemdziesiątych, tak obecnie w tej części świata można zaobserwować zwiększone zainteresowanie szeroką gamą metod, zarówno technicznych, jak i nietechnicznych. Jest to tendencja powiązana z odejściem od obowiązującej przez lata, a stosunkowo mało efektywnej filozofii „ochrony przed powodzią” na rzecz filozofii „ograniczania ryzyka powodziowego”. Znalazło to swój wyraz w tzw. „Dyrektywie powodziowej”, w której pojęcie ryzyka powodziowe jest podstawą do oceny i wyboru odpowiednich metod ograniczania strat powodziowych. To ostatnie pojęcie wymaga wyjaśnienia, ponieważ używane w wielu kontekstach bywa różnie rozumiane. W przypadku powodzi przyjęto, że ryzyko wyraża potencjalne skutki uzależnione od wielkości zagrożonego obszaru (dla zadanego prawdopodobieństwa powodzi), tego co na terenach zagrożonych się znajduje (mieszkańcy, użytkownicy, infrastruktura, itd.) oraz stopnia przygotowania tych obiektów i społeczności do powodzi [Language of Risk 2005]. Zwiększone zainteresowanie dotyczy również różnych rodzajów powodzi, z tym że klasyfikacja powodzi w takiej sytuacji nie jest oparta, tak jak w Polsce, na genezie zjawiska (deszcze rozlewne, deszcze nawalne itd.), ale na ich specyficznych cechach (powodzie z rzek, powodzie szybkie, powodzie błotne, powodzie morskie itd.), co umożliwia przypisanie do każdej z nich specyficznych często metod ograniczania skutków.

W pracach związanych z realizacją tematu *Opracowanie systemu zapobiegania i sposoby ograniczania skutków powodzi oraz zasad funkcjonowania systemu ostrzeżeń* w ramach projektu *Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę*

*i społeczeństwo*, poza analizą stosowanych obecnie na świecie metod ograniczania skutków powodzi skupiono uwagę na metodach ograniczających straty będące skutkiem tzw. szybkich powodzi. Jest to rodzaj powodzi bardzo gwałtownych, występujących lokalnie i groźnych głównie dla życia ludzi. Mimo to nie dostrzega się ich w Polsce, stąd struktury odpowiedzialne za bezpieczeństwo nie skłaniają zagrożonych społeczności do stosowania metod, które w skuteczny sposób mogą ochronić życie i dobytek ludzi.

W wielu krajach niebezpieczeństwo, jakie niosą z sobą szybkie powodzie jest traktowane poważnie i ma odzwierciedlenie w praktyce. Znaczenie tego problemu dobrze oddają słowa podsekretarza stanu do spraw oceanów i atmosfery USA dr Jane Lubchenco, która we wstępie do wydanego przez NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) podręcznika dla władz centralnych i służb hydrologiczno-meteorologicznych pt. *Wytyczne dla systemów wczesnego ostrzegania przed szybkimi powodziami* [COMET, NOAA 2010] napisała: „Trudno dziś znaleźć dzień bez niszczącej szybkiej powodzi na naszej planecie. Jest wiele rodzajów powodzi, ale te szybkie są najgroźniejsze”.

Jest duże prawdopodobieństwo, że zmiany klimatu będą prowadzić do częstszego występowania takich powodzi i najprawdopodobniej na większym niż dotąd obszarze (wg. IPCC). Warto więc po pierwsze wiedzieć więcej o zakresie ich występowania w Polsce i poznać ich naturę, a po drugie zastanowić się nad sposobami łagodzenia ich skutków, szczególnie w zakresie bezpieczeństwa ludzi i ich dobytku.

## **2. Szybkie powodzie**

Czym jest szybka powódź? Jak ją zdefiniować? Według niektórych źródeł jest to krótkotrwała powódź o gwałtownym przebiegu, spowodowana intensywnym deszczem, występująca na stosunkowo małym obszarze, i powodująca istotne zagrożenie dla życia ludzi i ich dobytku. Ale są też definicje o znacznie szerszym zakresie. Amerykańska służba pogodowa USA [Definitions of flood ... 2011] definiuje ją jako krótko trwającą (mniej niż 6 godzin) powódź, spowodowaną przez intensywny, trwający od kilku minut do kilku godzin deszcz, ale dopuszcza się też inne przyczyny, jak przerwanie wałów, zapór lub zatorów lodowych.

W podręczniku wydanym przez The International Centre for Integrated Mountain Development [Arun Bhakta Shrestha i in. 2008] autorzy definiują szybką powódź jako powódź wywołaną przez oberwanie chmury, przerwanie sztucznej zapory lub zapory naturalnej, która powstała w wyniku osuwiska lub zatoru lodowego. Szybka powódź, wg tego źródła, może spowodować skutki wiele kilometrów w dół rzeki, ale czas na ostrzeżenie jest krótki – to zaledwie kilka minut, a w najlepszym przypadku kilka godzin.

Niezależnie jednak od definicji szybkich powodzi warto skupić przede wszystkim uwagę na jej cechach – do głównych zaliczamy:

- gwałtowność zjawiska,
- występowanie na małym obszarze,

- krótki czas trwania,
- zaskoczenie,
- występowanie w nieoczekiwanych miejscach.

Te cechy powodują, że szybkie powodzie stanowią przede wszystkim zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. W roku 1996 we Włoszech, w okolicach Cardoso w dolinie Versilia, w niecałe sześć godzin spadło 400 mm deszczu (88 mm w ciągu 30 min), niszcząc miasteczko i powodując śmierć trzynastu osób. We wrześniu 2009 r. gwałtowny nocny deszcz spadł na Ikitelli, jedną z dzielnic Istambułu, powodując 2-metrową falę na ulicach, która przelała się przez handlową dzielnicę, kiedy ludzie udawali się do pracy. Powódź zabiła dwadzieścia osób głównie w samochodach, zniszczyła też wiele domów, przedsiębiorstw i zakładów usługowych. Według meteorologów był to największy opad na tym terenie od 80 lat [NOAA 2010].

Pomimo lokalnego charakteru ten rodzaj powodzi powoduje również ogromne straty. Szybka powódź, która wystąpiła na skutek gwałtownego opadu (lokalnie osiągnęła 500 mm) w listopadzie 1999 r. we Francji, w regionie Aude, spowodowała 3,4 miliarda Euro strat i śmierć trzydziestu pięciu osób [Gaume i in. 2004]. Powódź we Francji, w miejscowości Gard w regionie Cévennes-Vivarais, w 2002 r. spowodowała straty wielkości 1,2 miliarda Euro i śmierć dwudziestu czterech osób [Delrieu i in. 2005].

W Polsce szybkie powodzie z pewnością nie mają aż tak niszczącego charakteru. Zjawisko to nie jest w sposób szczegółowy udokumentowane, a prac zawierających wyniki analiz w zakresie występowania tego typu powodzi w Polsce (ich specyfiki na naszym obszarze, skutków i metod pozwalających na ich ograniczenie) jest bardzo mało. Z pewnością wiele zdarzeń w czasie powodzi w 1997 r., a także w roku 2009 miało taki charakter. Nie było przypadku w tym, że spośród pięćdziesięciu pięciu ofiar śmiertelnych powodzi w 1997 r. aż trzynaście osób zginęło w Kotlinie Kłodzkiej (w następnym roku dziewięć osób), czyli na obszarze otoczonym górami, których strome stoki schodzą do doliny Nysy Kłodzkiej. Zdarzają się również powodzie, których skutki są zbyt lokalne by wzbudziły jakiegokolwiek zainteresowanie. Mała powódź na Wilszni spowodowała stosunkowo niewielkie straty. Pochłonęła jednak sześć ofiar, co nie wywołało refleksji ani potrzeby przeprowadzenia badań nad skutecznością systemu ostrzegania i reagowania.

Paradoksem jest fakt, że szybkie powodzie, które pochłaniają najwięcej ofiar ze wszystkich rodzajów powodzi i mają destrukcyjny wpływ na lokalną gospodarkę są praktycznie niezauważane przez instytucje zajmujące się sytuacjami kryzysowymi i samo społeczeństwo. Wynika to prawdopodobnie z tego, że zjawiska te występują zwykle tak bardzo lokalnie, że opadów, które je wywołały nie rejestrują często żadne urządzenia pomiarowe (z uwagi na rzadką sieć). Są też tak szybkie, że nie zauważają ich media krajowe, czy nawet regionalne, stąd informacje o nich docierają do niewielkiej liczby ludzi.

Praktycznie poza analizami prowadzonymi w projekcie KLIMAT pt. *Opracowanie narzędzi wspomagających system ostrzegania o nagłych powodziach typu*

*Flash Flood*, dotyczącymi opadów powodujących szybkie powodzie na małym obszarze, a w konsekwencji szkody powodziowe nie ma w Polsce badań na ten temat. Analizy wykonane w projekcie KLIMAT pokazują rozkład opadów, mogących powodować szybkie powodzie na terenie Polski. Z map opracowanych w tym zadaniu wynika, że takie zjawiska mogą występować na terenie całej Polski, choć większe ich zagęszczenie obserwuje się na południu kraju, na terenach górskich i podgórszych.

Interesujące wyniki dały badania ankietowe potrzeb informacyjnych lokalnych służb kryzysowych [Konieczny i in. 2009] przeprowadzone w latach 2008-2009 wśród pracowników zespołów zarządzania kryzysowego gmin i powiatów ze wszystkich województw w Polsce. Jedno z pytań dotyczyło tego, które z zagrożeń na danym terenie jest najważniejsze z punktu widzenia reagowania kryzysowego. Na terenach górskich i podgórszych (województwa: podkarpackie, małopolskie, śląskie, dolnośląskie, opolskie) ankietowani za najważniejsze zagrożenie uważają powódzie nawalne (tak w ankiecie nazwano szybkie powodzie, nawiązując do klasyfikacji rozpowszechnionej w Polsce), następnie – silny wiatr i powódzie rozlewne. W województwach Polski centralnej (łódzkie, mazowieckie, lubelskie, wielkopolskie) powódzie nie są postrzegane jako najważniejsze zagrożenie – wyprzedzają je silny wiatr i następnie susza. W Polsce północnej (zachodniopomorskie, warmińsko-mazurskie, podlaskie, kujawsko-pomorskie, pomorskie) zagrożenia są bardziej zróżnicowane i dotyczą na pierwszym miejscu silnego wiatru, suszy czy gołoledzi, a w następnej kolejności powodzi, najczęściej roztopowych lub nawalnych. Wynika z tego, że szybkie powodzie nie stanowią w świadomości pracowników zespołów zarządzania kryzysowego na północy Polski tak istotnego zagrożenia, jak na południu.

Warto dodać, że charakter tych powodzi, ich przebieg, szkody, jakie powodują, metody radzenia sobie z nimi, jak choćby budowa systemów wczesnego ostrzegania, są na świecie wciąż przedmiotem dociekań i badań. Do tych badań niezbędne są dane historyczne, stąd jednymi z ważniejszych są prace związane z identyfikacją szybkich powodzi, analizą konkretnych przypadków i gromadzenie danych o tych przypadkach. W ramach projektu *HYDRATE Hydrometeorological data resources and technologies for effective flash flood forecasting* [HYDRATE 2012] zbudowano bazę danych zawierającą informacje na temat 578 szybkich powodzi, jakie wystąpiły w ciągu ostatnich 60 lat (w okresie od 1946 do 2007 r.) w Hiszpanii, Francji, Italii, Słowacji, Grecji, Rumunii i Austrii. Dla każdego z tych krajów wybrano co najmniej 30 najbardziej ekstremalnych szybkich powodzi [Gaume 2009]. Bazę udostępniono w Internecie na stronie „European flash flood data center page” pod adresem <http://www.hydrate.tesaf.unipd.it>.

W Polsce pierwszą próbę zgromadzenia danych o szybkich powodziach, z punktu widzenia gwałtownych opadów podjęto we wspomnianym projekcie KLIMAT. Bazy danych, które w tym projekcie powstały obejmują przypadki silnych opadów zidentyfikowanych w latach 1971-2010 oraz krótką ocenę ich skutków. Istnieje jednak potrzeba prowadzenia dalszych analiz i opisu natury tych powodzi, ich przebiegu, a zwłaszcza przygotowania do nich lokalnych społeczności

oraz struktur kryzysowych. W ramach opisywanych prac przeanalizowano szczególnie dwa zdarzenia, które wystąpiły w zlewni Wisłoki, na jej dopływach Wilszynie i Wielopolce.

### **3. Opis przypadków szybkich powodzi w Polsce**

Dla potrzeb badań studiów przypadku przygotowano specjalną strukturę ich opisu. Analizowano system ochrony przed skutkami powodzi na tle zagospodarowania terenu. Podstawą analiz szybkich powodzi było określenie warunków meteorologicznych w okresie poprzedzającym powódź – analizowano zarówno dane z posterunków pomiaru opadu, zlokalizowanych w sąsiedztwie badanych zlewni oraz dane z radarów, jak również informacje przekazane przez lokalne samorządy.

Analizowano też sytuację hydrologiczną w oparciu o dane z posterunków pomiaru stanów wód IMGW i z sieci lokalnej oraz relacje samorządów lokalnych. Informacje te posłużyły do analizy przebiegu powodzi – określono czas od wystąpienia opadu kulminacyjnego do wystąpienia powodzi, czas przebiegu fali powodziowej, głębokości zalewu, czas po którym powódź ustąpiła.

Analizowano organizację i przygotowanie służb kryzysowych do powodzi oraz działanie systemu ostrzegania. Zebrano informacje na temat szkód i strat powodziowych oraz działań podjętych po powodzi w celu ograniczania strat powodziowych na badanych obszarach.

#### **3.1. Studium przypadku – powódź w zlewni rzeki Wielopolki w 2009 r.**

Powódź w dniach 25-26 czerwca 2009 r. spowodowana była intensywnymi opadami deszczu połączonymi z gradem w górnej części zlewni rzeki Wielopolki, w gminie Wielopole Skrzyńskie (powiat ropczycko-sędziszowski, woj. podkarpackie). Na skutek wylewu wody z Wielopolki i jej dopływów powstały duże szkody i straty w gminach Ropczyce i Wielopole Skrzyńskie. Jedna osoba poniosła śmierć.

##### **System ochrony przed skutkami powodzi**

Rzeka Wielopolka jest prawobrzeżnym dopływem Wisłoki, jej źródła znajdują się na wysokości 400 m n.p.m., a powierzchnia zlewni wynosi 486,1 km<sup>2</sup>. Na obszarze zlewni nie ma technicznych zabezpieczeń przed powodzią. Istnieje koncepcja lokalizacji i budowy 11 zbiorników powodziowych. W 2007 r., staraniami władz powiatu ropczycko-sędziszowskiego, zbudowano lokalny system monitoringu powodziowego, składający się z trzech czujników pomiaru stanów wód montowanych na mostach. Jeden z nich zlokalizowany jest w zlewni Wielopolki (system rozbudowano w 2010 r. – <http://www.wisloka.prospect.pl/>).

Na obszarze zlewni zlokalizowany jest jeden posterunek IMGW pomiaru stanu wód w Brzeźnicy – poniżej Ropczyc – oraz jeden posterunek lokalnego systemu monitoringu powodziowego powiatu ropczycko-sędziszowskiego w Łączkach Kucharskich. Na obszarze zlewni nie ma posterunków pomiaru wysokości opadu (są posterunki IMGW w sąsiednich zlewniach).



Warunki hydro-meteorologiczne i przebieg powodzi w 2009 r.

W czasie opisywanej powodzi w czerwcu 2009 r., w ciągu pięciu dób, spadło w tym rejonie około 64-75 mm deszczu. Po tym kilkudniowym opadzie kolejnego dnia, 25 czerwca, wystąpił znowu gwałtowny opad, który spowodował powódź w gminach Wielopole Skrzyńskie i Ropczyce. Do analizy sytuacji wykorzystano dane z posterunku IMGW w Zawadzie (w sąsiedniej zlewni), gdzie zanotowano opad, którego suma w ciągu 6 godzin wyniosła 36,7 mm, przy czym ponad 22 mm spadło w ciągu 1 godziny. Na skutek tego opadu wystąpił nagły spływ wód powierzchniowych w górnej części zlewni w gminie Wielopole Skrzyńskie i wylew wód z potoków i rzeki Wielopolki. Fala powodziowa przemieszczała się w kierunku gminy Ropczyce. Lokalny system monitoringu w Łączkach Kucharskich (pomiędzy Wielopolem Skrzyńskim, a Ropczycami) zanotował 25 czerwca co najmniej 2,5-metrowy przyrost stanu wody w rzece, przy czym pomiary zostały na pewien czas przerwane ze względu na zbyt wysoki stan wody (czujnik zamontowany jest na moście). Według danych z posterunku IMGW, zlokalizowanego poniżej Ropczyc w Brzeźnicy, kulminacja poniżej Ropczyc nastąpiła w dniu 26 czerwca i wyniosła 558,8 cm (stan alarmowy wynosi 450 cm). Stan ten przekroczony był przez ok. 12 godzin.

W gminie Wielopole Skrzyńskie powódź nastąpiła po około 0,5-1 godziny od wystąpienia deszczu nawalnego w dniu 25.06.2009 r. Czas przebiegu fali powodziowej z Wielopola Skrzyńskiego do Ropczyc szacuje się na 4-6 godzin. Woda opadła po około 2-3 godzinach pozostawiając znaczne zniszczenia w obu gminach.

Opis działania służb kryzysowych w czasie zdarzenia

W okresie poprzedzającym powódź na rzece Wielopolce, już od dnia 22 czerwca, Podkarpacki Urząd Wojewódzki otrzymywał ostrzeżenia IMGW o zagrożeniu burzą, burzą i gradem oraz o przekroczeniu stanów wód w rzekach [Karta ZK.I 2009]. W dniu 23 czerwca starosta powiatu ropczycko-sędziszowskiego ogłosił stan pogotowia powodziowego, a następnie w kolejnym dniu – 24 czerwca – go odwołał. Natomiast 25 czerwca, w godzinach popołudniowych, do Urzędu Miasta w Ropczycach dotarła informacja o silnych opadach deszczu i gwałtownym wezbraniu rzek w miejscowościach położonych powyżej Ropczyc. Po otrzymaniu tej informacji ogłoszono alarm przeciwpowodziowy w gminie Ropczyce i rozpoczęto informowanie ludności z terenów zagrożonych zalaniem o nadejściu fali powodziowej oraz o konieczności ewakuacji z domów (lub na wyższe kondygnacje). Jednak służby kryzysowe nie były w pełni świadome wielkości zagrożenia i możliwych skutków, podobnie jak mieszkańcy, którzy nie zareagowali na ostrzeżenia.

Skutki powodzi

W Ropczycach powódź spowodowała zniszczenia i straty w wielu budynkach mieszkalnych i komunalnych. Zniszczeniu uległa również oczyszczalnia ścieków, a także infrastruktura: drogi, kładki, mosty. Straty oszacowano na ok. 18 mln zł, a dotknęły ponad 1200 domów prywatnych [Protokół UG Ropczyce 2009]. Dodatkowo, niepotrzebne straty ponieśli mieszkańcy gminy („turyści powodziowi”), którzy przyjechali samochodami, by oglądać skutki powodzi.

W gminie Wielopole Skrzyńskie, gdzie zwykle zagrożonych powodzią jest ok. 20 domów, podczas powodzi 2009 r. uszkodzonych zostało 127 rodzin, a straty w budynkach komunalnych i infrastrukturze wyniosły ponad 500 tys. zł. Ponadto zalanych zostało ponad 600 ha powierzchni rolnej [Protokół UG Wielopole Skrzyńskie 2009].

Działania zrealizowane po powodzi

Podczas powodzi 2009 r. lokalny system monitoringu nie odegrał istotnej roli. Po powodzi, w 2010 r., system ten został uzupełniony o kolejne czujniki stanu wód i wyposażony w panele słoneczne, co umożliwiła ciągłą pracę aparatury od wiosny do jesieni. Przygotowano system powiadamiania mieszkańców przy pomocy SMS-ów oraz poprzez syreny z urządzeniami głośnomówiącymi rozmieszczone na terenie powiatu. Koncepcja budowy zbiorników powodziowych nie spotkała się z akceptacją społeczności lokalnej. Po powodzi w Ropczycach wycięto kilkadziesiąt drzew w międzywale, opracowywany jest projekt przebudowy mostu aby zwiększyć przepustowość wód powodziowych.

### **3.2. Studium przypadku – szybka powódź na rzece Wilsznia w 2003 r.**

Opis dotyczy szybkiej powodzi, która wystąpiła 18 i 19 lipca 2003 r. w górnej części zlewni Wisłoki oraz na obszarze jej dopływów Wilszni i Jasiołki (gminy Dukla i Krempna, woj. podkarpackie). Gwałtowny opad spowodował przyrost poziomu wody o około 3 m w ciągu godziny i w efekcie śmierć 6 osób oraz straty powodziowe.

System ochrony przed skutkami powodzi

Obszar, na którym wystąpiła powódź ma górzysty charakter (wzniesienia przekraczają 700 m n.p.m.), przecinają go doliny rzeki Wisłoki i jej dopływów (m.in. Wilszni). Na terenie gminy Krempna znajduje się Magurski Park Narodowy, zajmujący ok. 65% jej powierzchni. Zagrożenie powodziowe wg pracowników urzędów gmin nie jest duże, ale z informacji uzyskanych od mieszkańców wynika, że w przeszłości zdarzyły się już śmiertelne wypadki w czasie powodzi.

Na terenie gmin Krempna i Dukla nie ma technicznych zabezpieczeń przed powodzią (rzeki nie są obwałowane). Działa tam gminny zespół reagowania kryzysowego, którego podstawą jest Ochotnicza Straż Pożarna. W gminach nie istnieje system wczesnego powiadamiania mieszkańców o zagrożeniu powodziowym.

W gminie Krempna pracownicy urzędu otrzymują ostrzeżenia ze Starostwa Powiatowego w Jaśle. Wywieszają je na tablicach ogłoszeń oraz przekazują sołtysom poszczególnych miejscowości. Mieszkańcy nie są powiadamiani bezpośrednio (m.in. z powodu braku zasięgu telefonii komórkowej i częstego wyłączenia prądu w czasie burzy, co powoduje braki łączności poprzez telefony stacjonarne). W razie zagrożenia ludzie sami ewakuują się na tereny wyżej położone i zaraz wracają, bo powódź trwa 1,0–1,5 godziny (w świadomości mieszkańców istnieje tzw. „pamięć pokoleń” dotycząca zagrożenia powodziowego) [Siudak 2011].

Na analizowanym obszarze nie ma posterunków opadowych IMGW. Wodowskazy IMGW zlokalizowane są na Wisłoce: wodowskaz Żółków przed Jasłem oraz Krempna-Kotań powyżej ujścia Wilszni do Wisłoki (odczyty co 1 godzinę).

Warunki hydro-meteorologiczne i przebieg powodzi w 2003 r.

W dniu 18 lipca 2003 r., w godzinach późnowieczornych, nad miejscowością Olchowiec (zlewnia rzeki Wilszni) wystąpił duży opad burzowy (według mieszkańców „oberwanie chmury”), który trwał około 30 min. Na posterunkach opadowych w sąsiednich zlewniach zanotowano od 58,6 mm (Bartne) do 88 mm opadu (Wisłok Wielki) [Adamczyk, Jania 2003]. Opad ten spowodował gwałtowny przybór wody w Wilszni i następnie w Wisłoce. Wodowskaz Żółków, zlokalizowany na Wisłoce przed Jasłem, zarejestrował wzrost stanu wody z 34 cm o godzinie 0:00 UTC do 316 cm o godzinie 1:00 UTC (19 lipca), czyli w ciągu godziny o prawie 300 cm. Jeszcze wyższy stan wody zaobserwowali mieszkańcy miejscowości Polany w rzece Wilsznia, z relacji wynika, że mogło to być około 400 cm.

Opis działania służb kryzysowych w czasie zdarzenia

W działaniach przeciwpowodziowych uczestniczyła głównie straż pożarna, która współpracowała z gminnymi służbami kryzysowymi. Straż pożarna została zaalarmowana o powodzi przez mieszkańców i jeszcze w czasie burzy wyjechała w teren do pomocy, głównie do usuwania jej skutków. OSP z Krempnej sprawdzała czy nie jest zagrożony obóz harcerski rozłożony nad potokiem Hucianka. 19 lipca OSP z Krempnej prowadziła akcję wydobywania z koryta rzeki Wilszni wraku samochodu, w którym zginęło 5 osób.

Mieszkańcy wzajemnie powiadamiali się o zagrożeniu dopóki działały połączenia telefoniczne (np. mieszkanka Olchowca dzwoniła do sąsiadów w Polanach). Niektórzy mieszkańcy Polan w ogóle nie zostali ostrzeżeni i nawet nie zauważyli powodzi ani szkód, które spowodowała [Siudak 2011].

Skutki powodzi

W czasie powodzi 18-19 lipca 2003 r. zginęło sześć osób (pięć osób w miejscowości Polany, jedna osoba w miejscowości Załęże). Przyczyną śmierci było porwanie samochodu przez falę powodziową, która wystąpiła z koryta rzeki. W pierwszym przypadku samochód wiozący pięć osób (turystów) przejeżdżał w nocy drogą w miejscowości Polany i najprawdopodobniej zjechał z zalanej drogi do rzeki Wilszni, albo został porwany przez nurt. W drugim przypadku (również w nocy) dwie osoby siedziały w samochodzie zaparkowanym w Załężu w pobliżu rzeki Wisłoki i nie zdążyły odjechać, gdy nadeszła fala powodziowa. Samochód został porwany przez wodę, tylko jedna osoba się uratowała.

Powódź spowodowała też straty i szkody w majątku publicznym i prywatnym w dwóch gminach: w Krempnej łączne straty wyniosły 1253 tys. zł [Urząd Gminy Krempna 2003], a w Dukli 967,5 tys. zł [Urząd Miasta i Gminy Dukla 2003]. W czasie powodzi uszkodzeniu uległa głównie infrastruktura drogowa (nawierzchnia dróg i mosty). Podtopionych zostało kilka domów, zalane zostały grunty orne, zanieczyszczone studnie i ogrodzenia. Uszkodzeniu uległy też brzegi rzek.

Działania zrealizowane po powodzi

Po powodzi nie podjęto żadnych specjalnych działań. Prokuratura w Jaśle prowadziła dochodzenie w sprawie utonięć, jednak oba zdarzenia uznano za nie-szczęśliwy wypadek [Prokuratura... 2003].

### 3.3. Wnioski

Analiza obu przypadków wskazuje na wiele wspólnych cech:

- W obu przypadkach powódź miała bardzo szybki przebieg. Od wystąpienia kulminacyjnego opadu do wystąpienia powodzi upłynęła niecała godzina (Polany, Wielopole Skrzyńskie) lub kilka godzin (okolice Jasła, Ropczyce).
- W obu przypadkach powódź spowodowała śmierć ludzi. Osoby, które zginęły na rzece Wilszni nie znały dobrze ani zagrożenia, ani specyfiki tego rodzaju powodzi.
- W obu przypadkach ostrzeżenia lub komunikaty przekazane przez IMGW były zbyt ogólne by mogły stanowić podstawę do ostrzeżenia mieszkańców przed nadchodzącym kataklizmem.
- Lokalne zespoły zarządzania kryzysowego nie miały opracowanych procedur pozwalających na zdiagnozowanie zagrożenia w krótkim czasie od wystąpienia opadu do powodzi oraz na skuteczne powiadomienie mieszkańców.
- Można zaobserwować pewne sposoby wzajemnego ostrzegania się w ramach lokalnych społeczności (systemy sąsiedzkie), wynikające z osobistych doświadczeń lub przekazów starszych mieszkańców.
- W obu przypadkach po powodzi nie przeprowadzono analizy, która w przyszłości pozwoliłaby lepiej chronić ludzi (zapewnić im bezpieczeństwo). Pewne działania zmierzające do poprawy działania lokalnego systemu ostrzegania podjęło starostwo powiatowe w Ropczycach.

Zdiagnozowane cechy obu przypadków mogą stanowić podstawę do rozpoczęcia dyskusji na temat skutecznych metod ograniczania skutków szybkich powodzi w przyszłości. W pierwszej kolejności należałoby się zastanowić nad tym, które z metod stosowanych na świecie mogłyby być przydatne w takich sytuacjach.

## 4. Ryzyko powodziowe – metody ograniczania

W wielu krajach na świecie, w tym w samej Unii Europejskiej, podstawą planowania ograniczania skutków powodzi jest ryzyko powodziowe. Można je scharakteryzować na wiele sposobów, ale kluczowe są trzy elementy: zagrożenie powodziowe, ekspozycja na powódź i wrażliwość lokalnych społeczności na oddziaływanie powodzi. W ramach każdej z tych strategii można stosować wiele metod ograniczania strat, które dla danego obszaru (gminy, miejscowości) powinny być rozpatrywane łącznie w ramach lokalnego planu ograniczania skutków powodzi.

Zagrożenie powodziowe

Zagrożenie (ang. hazard) opisuje obszar zagrożony zalaniem przez wodę. Charakteryzuje się je zwykle w formie graficznej na mapach pokazujących granice

zagrożonego terenu oraz głębokości zalewu i prędkości wody. Do podstawowych metod ograniczania zagrożenia powodziowego należą działania zwiększające retencję, zarówno naturalną, jak i sztuczną (zbiorniki retencyjne). Inne metody to: budowa obiektów technicznych ograniczających zasięg powodzi, czyli obwałowań, kanałów ulgi i, dla mniejszych powodzi, regulacje koryt rzecznych.

W powszechnej świadomości w Polsce te ostatnie elementy, czyli zbiorniki retencyjne i wały, są najskuteczniejszymi metodami ograniczania nie tylko zagrożenia, ale skutków powodzi w ogóle. Jest tak, mimo że ostatnie powodzie pokazały dobitnie jak zawodne w praktyce są urządzenia techniczne – w 1997 i 2010 r. przerwaniu uległo wiele kilometrów wałów (odpowiednio 612 i 2350 km), uszkodzone zostały budowle piętrzące i regulacje rzek. Widać, że utrzymanie tak ogromnej ilości budowli w dobrym stanie przekracza możliwości budżetu państwa. Z ponad 8 tys. km wałów istniejących w Polsce w 2001 r. 23% łącznej ich długości, czyli aż 1937,8 km, stanowiły wały o stanie zagrażającym lub mogącym zagrażać bezpieczeństwu. Ponadto urządzenia te wywołują syndrom pozornego bezpieczeństwa – ludzie chronieni przez wały nie tylko sądzą, że są całkowicie bezpieczni, ale intensywnie zagospodarowują teren za wałem. W konsekwencji jeśli wał zostanie przerwany straty są większe, niż gdyby wału nie było.

Jednak mimo wszystkich wad, w wielu przypadkach działania techniczne są jedyną rozsądną formą zabezpieczenia przed skutkami powodzi, przede wszystkim na terenach o gęstej zabudowie, a szczególnie tam, gdzie nie można przedsięwziąć innych środków (w miastach, dla zabezpieczenia obiektów dziedzictwa kulturowego itp.),

#### Ekspozycja na powódź

Ekspozycja (ang. exposure) opisuje działalność człowieka i środowisko naturalne w strefie zagrożonej. W największym uproszczeniu pod pojęciem ekspozycja kryje się informacja o tym kto i co na danym terenie jest zagrożone. Do podstawowych działań ograniczających ekspozycję (w tym znaczeniu używa się często nazwy: strategia „trzymać ludzi z dala od powodzi”) należy planowe zagospodarowywanie terenów zalewowych, polegające głównie na zakazie budowy niektórych obiektów publicznych (tj. szpitale, szkoły, żłobki i inne) i na ograniczaniu zabudowy mieszkaniowej, czy usługowej oraz, w skrajnych przypadkach, na wykupach i likwidacji obiektów najbardziej zagrożonych. Podstawą wdrożenia tej strategii do praktyki jest opracowanie map zagrożenia powodziowego i ryzyka powodziowego. Mapy zagrożenia to mapy pokazujące zasięg powodzi. Mapy ryzyka, poza zasięgiem powodzi, zawierają informacje o obiektach, które na tym terenie są zagrożone (domy, fabryki i inne) oraz o liczbie mieszkańców. Zgodnie z Dyrektywą powodziową aktualnie opracowywane są mapy zagrożenia powodziowego, a do roku 2013 powstaną mapy ryzyka.

Obecnie obowiązujące prawo nakłada na samorządy obowiązek uwzględniania stref zagrożenia powodziowego w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego i wprowadza zakaz zabudowy w strefie uwzględnionej w planie. Stanowi to poważny problem dla wielu gmin, gdyż wprowadzenie zakazu zabudo-

wy na jakimś terenie pociąga za sobą konieczność zrekompensowania właścicielom straty spowodowanej obniżeniem wartości rynkowej tego terenu. W USA, Kanadzie, czy Australii prawo nie jest tak rygorystyczne – zezwala się na budowę niektórych obiektów w tych strefach, ale pod pewnymi warunkami (np. poziom mieszkalny musi być usytuowany powyżej poziomu tzw. powodzi miarodajnej).

#### Wrażliwość na powódź

Wrażliwość (ang. vulnerability) danego obszaru określa na ile ludzie i obiekty są przygotowani do powodzi i zdolni do odbudowy po powodzi. W tym przypadku zakres metod działania jest olbrzymi: począwszy od ubezpieczeń powodziowych, przygotowania budynków do powodzi, poprzez skuteczne systemy wczesnego ostrzegania i reagowania na powódź, aż po rozpowszechnianie wiedzy i edukację z zakresu profilaktyki i radzenia sobie z powodzią. Wszystkie te metody powinny być zawarte w planie ograniczania skutków powodzi dla powiatu, gminy lub miejscowości.

Poniżej opisano możliwe rozwiązania dotyczące zmniejszania wrażliwości na powódź terenów zalewowych. Ich realizacja jest związana głównie z aktywnością samorządów lokalnych i osób zagrożonych powodzią, czyli mieszkańców, właścicieli sklepów, zakładów produkcyjnych i usługowych itd.

#### Zabezpieczenie istniejących obiektów

Nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie istniejącej zabudowy z terenów zalewowych, warto jednak, w przypadku obiektów narażonych na częste zalania i podtopienia, podjąć próbę ich zabezpieczenia. Jest wiele metod zabezpieczenia obiektów i ich wyposażenia przed skutkami powodzi – uszczelnienie okien i drzwi, zabezpieczenie kanalizacji przed cofaniem się ścieków, zmiana organizacji i urządzenia wnętrza (cenniejsze przedmioty na wyższych kondygnacjach), sprawne odprowadzenie wód deszczowych, zlikwidowanie garaży podziemnych, otoczenie budynku murem itp. [Homeowner's Guide... 1998].

#### Systemy ostrzeżeń powodziowych

Celem systemów ostrzeżeń powodziowych jest odpowiednio wczesne bezpośrednie zawiadamianie mieszkańców i użytkowników terenów zalewowych o zagrożeniu, umożliwiające im podjęcie działań ograniczających straty materialne. Aktualnie działające w Polsce systemy ostrzegania nastawione są głównie na ostrzeganie służb kryzysowych co powoduje, że ostrzeżenia do mieszkańców (zwłaszcza na terenach zagrożonych szybkimi powodzią) docierają zbyt późno by mogli oni skutecznie zabezpieczyć dobytek. Jednym ze sposobów poprawy skuteczności całego systemu jest promowanie i wspieranie budowy lokalnych systemów ostrzeżeń administrowanych przez samorządy. Doświadczenia ostatnich dużych powodzi prowadzą do wniosku, że takie systemy powinny obejmować również społeczności chronione wałami.

#### Systemy reagowania na powódź

Celem systemów reagowania na powódź jest organizowanie i prowadzenie akcji zabezpieczenia życia i zdrowia ludzi oraz ochrona obiektów i dobytku na

obszarze powodziowym w trakcie i zaraz po powodzi. Działania takie to m.in.: prowadzenie ewakuacji, tymczasowe zabezpieczenie przed zalaniem wybranych obiektów, wyłączenie z ruchu niektórych dróg, ulic i mostów, zabezpieczenie obiektów i sieci infrastruktury komunalnej, zapewnienie niezbędnego sprzętu i materiałów, organizacja życia na terenach dotkniętych powodzią. Jest to jeden z najmocniejszych elementów w istniejących systemach ochrony przed powodzią. Jednak i tu, podobnie jak w przypadku systemów ostrzegania, warto podkreślić konieczność dostosowania systemu do potrzeb zagrożonych ludzi i jednostek.

Edukacja, doradztwo, kampanie informacyjne

Skuteczność wyżej wymienionych metod ograniczania strat powodziowych zależy w dużej mierze od świadomości i wiedzy mieszkańców o zagrożeniu powodziowym, o zasadach działania lokalnego systemu ostrzegania i reagowania na powódź, sposobach zabezpieczenia się przed stratami. Promowanie tych metod jest zadaniem władz samorządowych i wymaga od nich prowadzenia wśród mieszkańców szerokiej akcji informacyjnej i edukacyjnej, która powinna być elementem lokalnego planu ograniczania skutków powodzi. Istnieją już w tym zakresie dobre przykłady, np. plany przygotowane dla dwunastu gmin i powiatów w ramach projektu *Likwidacja skutków powodzi z lipca 1997 r.*, między innymi dla Kłodzka, Kamieńca Żabkowickiego, Brzeska, Mielca i innych.

Lokalne plany ograniczania skutków powodzi

Opisane wyżej metody powinny stanowić przedmiot rozważań przy opracowywaniu lokalnego (gminnego lub powiatowego) planu ograniczania skutków powodzi. Jest to normalna praktyka stosowana w wielu krajach świata. Plany inicjowane są przez poszczególne gminy lub związki gmin leżące na terenie jednej zlewni, a ich celem jest stworzenie zintegrowanego, kompleksowego i długofalowego planu. (*Lokalne plany ograniczania skutków powodzi i profilaktyki powodziowej* opracowane zostały dla 12 gmin i powiatów w Polsce w ramach Projektu *Likwidacja skutków powodzi po powodzi w 1997 r.*).

## **5. Metody ograniczania skutków szybkich powodzi**

Nie wszystkie z metod ograniczania skutków powodzi opisane w poprzednim rozdziale są skuteczne w przypadku szybkich powodzi. Wynika to z ich specyfiki, głównie gwałtowności przebiegu tych powodzi. Czas jaki upływa od opadu do wystąpienia powodzi jest kluczowym czynnikiem decydującym o wyborze skutecznych metod ograniczania strat na tych terenach. Z definicji powodzi wynika, że ten czas jest krótki – National Weather Service i WMO uważają, że jest to kilka godzin (mniej niż 6). Można z pewnym uproszczeniem założyć, że przy tak krótkim czasie zupełnie nieprzydatne stają się:

- standardowe procedury ostrzegania stosowane obecnie przez służby hydrologiczno-meteorologiczne oraz służby kryzysowe – nie zapewniają one bowiem na tyle wczesnego ostrzegania mieszkańców, aby byli oni w stanie zadbać przed powodzią o swoje zdrowie i dobytek,

- stosowane procedury ochrony mieszkańców i lokalnego majątku oparte na założeniu, że inicjatorem ewakuacji i jej wykonawcą są lokalne zespoły zarządzania kryzysowego – procedury te nie umożliwiają dotarcia do zagrożonych w odpowiednim czasie.

Poniżej zaproponowano najskuteczniejsze, według autorów, metody ograniczania strat w przypadku szybkich powodzi. Powinny one koncentrować się na następujących działaniach:

- ochronie lub odtwarzaniu naturalnej retencji zlewni i doliny – celem tych działań byłoby spowolnienie spływu powierzchniowego i ograniczenie wielkości kulminacji powodzi,
- eliminowaniu niektórych rodzajów zabudowy z terenów narażonych na szybkie powodzie,
- budowaniu umiejętności samodzielnego radzenia sobie z powodzią mieszkańców i użytkowników terenów zagrożonych,
- przebudowie istniejącej struktury systemu ostrzegania tak, aby ostrzeżenia o nadchodzącym zagrożeniu szybko i skutecznie docierały do zagrożonych i umożliwiały samodzielne działanie.

Zgodnie z filozofią, że minimalizowanie skutków powodzi zależy od działań podjętych w zakresie ograniczania zagrożenia, ekspozycji i wrażliwości można by wstępnie wskazać metody w każdym z tych zakresów.

### **5.1. Ograniczanie zagrożenia**

Ponieważ wiele obszarów narażonych na szybkie powodzie leży w górnych biegach rzek i potoków trudno wyobrazić sobie stosowanie zabiegów technicznych, takich jak obwałowania i zbiorniki retencyjne (na obwałowania zwykle nie ma miejsca, a zbiorniki zamykałyby zbyt małą część zlewni by były skuteczne). Istotne znaczenie mogą mieć poldery i utrzymywanie lub odbudowa naturalnej retencji zarówno zlewniowej, jak i dolinowej. Tego rodzaju działania nie spowodują wyeliminowania szybkich powodzi, mogą natomiast zmniejszyć ich gwałtowność i wielkość.

#### Rozwój i kształtowanie retencji zlewni

Rozwój retencji zlewniowej może pomóc w ograniczaniu lub opóźnianiu spływu wód powodziowych. Do metod stosowanych w tym przypadku należą zabiegi związane z wykorzystaniem lub odtwarzaniem naturalnej retencji lasów, terenów zielonych, mokradeł, renaturyzacji potoków, ale również działania związane z kształtowaniem zlewni przy pomocy drobnych zabiegów technicznych, w taki sposób, by opóźniały one spływ wód.

Krótki opis wybranych działań znajduje się poniżej.

- a. Utrzymanie i rozwój retencji na terenach leśnych. Rozwój tego typu retencji można osiągnąć m.in. przez: dolesienia, wzbogacanie warstwy runa i podszytu, prowadzenie zwózki ściętych drzew w sposób nie zwiększający erozji, ograniczenie zrębów w dolinach cieków, odtworzenie biologicznej zabudowy



potoków, pozostawianie części pni leżących w poprzek potoków (przegradzających nurt wody), rezygnację z budowy dróg bezpośrednio przy potokach wraz z zabezpieczającymi je murami [Jankowski 2000].

- b. Wzrost retencji na gruntach zmeliorowanych. Pierwszoplanowe zadanie w tym zakresie to odbudowa zastawek na rowach melioracyjnych regulujących odpływ wody, co umożliwi zwiększenie retencji gruntowej [Mioduszeński 1994], rezygnacja z melioracji torfowisk, podmokłych łąk i pastwisk, budowa zbiorników małej retencji na końcu systemów melioracyjnych przed ujściem do rzeki, tworzenie minimum 10-cio metrowej szerokości pasów drzew i krzewów na styku pola orne – brzeg rzeki, maksymalne ograniczanie wycinania pasów zadrzewień przy rowach melioracyjnych.
- c. Wzrost retencji glebowej na terenach zajętych przez rolnictwo. Najważniejsze działania w tym zakresie według wielu specjalistów [Łoś 1994, Mioduszeński 1994, Miatkowski, Cieśliński 1996, Ryszkowski, Kędziora 1996], to: nieużywane sprzętu ubijającego warstwę gleby pod warstwą orną i rozluźnienie tej warstwy, zwiększenie udziału próchnicy w glebie, orka w poprzek stoku, tworzenie teras, stosowanie poplonów, niewypalanie traw i ściernisk, odtwarzanie mikrorzeźby terenu, utrzymywanie i odtwarzanie śródpolnych oczek wodnych.

Rozwój i kształtowanie retencji dolinowej

Możliwe działania w zakresie rozwoju i kształtowania retencji dolinowej należą do ważnych elementów strategii ograniczania skutków powodzi w wielu państwach europejskich. Należą do nich zalecenia budowy wałów w możliwie dużej odległości od rzeki i równoległe do osi doliny, a nie do osi koryta, poszerzanie rozstawu istniejących obwałowań, planowa eksploatacja kruszywa z koryta i z terasy zalewowej [Jankowski 2000].

## 5.2. Ograniczanie ekspozycji

Ze względu na niszczący charakter i zagrożenie dla życia jakie stwarzają szybkie powodzie, ograniczanie zabudowy na trasach ich pojawiania się powinno należeć do podstawowych działań. Na tych obszarach niektórych obiektów nie powinno się lokalizować w ogóle, a budowę innych w znacznym stopniu ograniczać. Nie powinno się budować:

- obiektów publicznych, takich jak szpitale, żłobki, domy opieki, szkoły, archiwa, itd.,
- obiektów infrastruktury zapewniającej dostawę prądu, wody, gwarantujących działanie urządzeń telekomunikacyjnych, itp.,
- obiektów, których zalanie może skutkować wystąpieniem wtórnych zagrożeń – przykładem mogą być oczyszczalnie ścieków, magazyny substancji chemicznych, cmentarze, mogilniki, itd.

W praktyce, co pokazuje również jedna z opisanych wcześniej sytuacji (studium przypadku dla Wilszni), mieszkańcy zagrożeni szybkimi powodziami sami unikają budowania domów na takich terenach. Jednak coraz większa mobilność

ludzi, połączona z brakiem informacji o możliwym zagrożeniu powoduje, że mimo zagrożenia wznoszonych jest na tych terenach wiele obiektów zarówno publicznych, jak i prywatnych.

Jedną z dość skutecznych metod byłoby wprowadzenie do prawa obowiązku informowania inwestora o takim zagrożeniu lub informowania o tym w umowie kupna/sprzedaży gruntu. Problem jednak w tym, że konieczne byłoby opracowanie metodyki wyznaczania obszarów narażonych na szybkie powodzie i ich aktualizacji.

### **5.3. Ograniczanie wrażliwości**

Ograniczanie wrażliwości dotyczy wielu działań związanych z przygotowaniem całych społeczności, mieszkańców i użytkowników terenów zalewowych do powodzi. Jest to kierunek działania zalecany w dokumentach unijnych dotyczących powodzi: Dyrektywie powodziowej [Dyrektywa 2007] oraz w Katalogu dobrych praktyk w zakresie zapobiegania powodziom, zabezpieczania przed nimi i minimalizowania ich skutków [Best practices... 2004]. Do najważniejszych działań należą:

- budowa skutecznych systemów wczesnego ostrzegania mieszkańców i użytkowników terenów zagrożonych,
- budowanie świadomości zagrożenia i edukacja w zakresie metod przygotowania obiektów na zagrożenie i reagowania w przypadku powodzi,
- przygotowanie obiektów mieszkalnych, produkcyjnych i usługowych do powodzi.

Poniżej opisano te działania nieco szerzej.

#### Systemy wczesnego ostrzegania

Tradycyjnie rozumiany system ostrzeżeń składa się z urządzeń i reguł postępowania, pozwalających na monitorowanie pogody, prognozowanie zjawisk ekstremalnych (takich jak np. powódź) oraz ostrzeganie. Odbiorcami ostrzeżeń są służby odpowiedzialne za ochronę ludzi w czasie powodzi i to one mają powiadamiać mieszkańców o zagrożeniu. W praktyce do tej pory mieszkańców powiadamiano dopiero wtedy, kiedy trzeba było się ewakuować – w ostatniej chwili. Nikomu nie zostawiano czasu na zabezpieczenie dobytku, wcześniejszą ewakuację rodzin lub zwierząt na wsi.

Dzisiaj, po zmianach jakie nastąpiły w zakresie technik pomiaru, przetwarzania informacji, prognozowania i telekomunikacji oraz po doświadczeniach z wielu powodzi, filozofia systemów ostrzeżeń uległa zmianie – ostrzeżenia powinny być adresowane bezpośrednio do zagrożonych mieszkańców i użytkowników terenów zalewowych. W konsekwencji zmienił się cel tych systemów – jest nim na tyle szybkie powiadomienie ludzi o nadchodzącej powodzi, aby mogli oni przed jej nadejściem sami podjąć działania zmniejszające zagrożenie życia i zdrowia oraz ograniczające, na ile to możliwe, straty materialne.

Tak rozumiane systemy ostrzeżeń, nazywane zintegrowanymi [Guidelines... 2001, Keys 1997], składają się zwykle z kilku elementów pełniących następujące funkcje:

- a. Monitorowanie środowiska zarówno poprzez system krajowy, jak i lokalne systemy monitoringu (opady, stany wód, nawilgocenie gleby, temperatura itd.) oraz kontrola, czy pomierzone wartości nie przekraczają wartości uznanych za niebezpieczne (wielkość opadu, poziom wody w rzece).
- b. Prognozowanie możliwości wystąpienia powodzi w wybranych punktach (stan wody i czas kiedy wystąpi) na podstawie informacji pochodzących z systemu monitoringu.
- c. Analiza scenariuszy rozwoju sytuacji i ustalenie dla każdego z nich przewidywanego zasięgu zalewów powodziowych oraz określenie jakie obiekty znajdują się na zagrożonym obszarze i kto jest w niebezpieczeństwie (listy zagrożonych firm, instytucji, mieszkańców).
- d. Przygotowanie i rozesłanie ostrzeżeń do służb, mieszkańców, właścicieli firm i instytucji z wykorzystaniem wszystkich środków komunikacji gwarantujących skuteczne dotarcie do każdej z zagrożonych grup z odpowiednim wyprzedzeniem przed powodzią.
- e. Kontrola reakcji na ostrzeżenia. Dotyczy to mieszkańców i innych użytkowników terenów zalewowych, którzy po otrzymaniu ostrzeżenia powinni podjąć odpowiednie działania.

Podstawą tego systemu są prognozy hydrologiczne. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej opracowuje prognozy i przygotowuje ostrzeżenia na większy obszar, nie prowadzi jednak osłony hydrologicznej dla mniejszych cieków. Ponadto ostrzeżenia o groźnych zjawiskach z IMGW przesyłane są do urzędów wojewódzkich, a te dopiero przekazują je na niższy poziom administracji. Jak pokazały doświadczenia taka struktura przepływu informacji skutkuje dużymi opóźnieniami w przekazywaniu informacji i jest zupełnie nieprzydatna do ostrzegania przed szybkimi powodziami. W konsekwencji samorządy lokalne coraz częściej podejmują się budowy własnych systemów monitoringu i ostrzeżeń powodziowych. Niestety, w ślad za budową systemów monitoringu nie idą lepsze rozwiązania w zakresie ostrzegania mieszkańców, w efekcie ostrzeżenia o zagrożeniu nadal docierają do nich zbyt późno, by mogli skutecznie ograniczyć straty w majątku prywatnym.

Obserwacja aktywności samorządów w zakresie budowy lokalnych sieci monitoringu pokazuje, że aktualnie na terenie Polski działa około 150 czujników pomiaru stanów wody i pomiaru opadu poza siecią IMGW. Przykłady niektórych rozwiązań lokalnych przedstawiono niżej:

- Gmina Miejska Nowa Ruda – Urząd Miasta wdrożył po powodzi w 1997 r. system ostrzegania oparty na obywatelskiej sieci obserwatorów i na telefonii komórkowej. System jest „budzony” przez SMS wysyłany po przekroczeniu pewnego poziomu wody w rzece przez automatyczną stację pomiaru zlokalizowaną powyżej miasta. Operator sprawdza sygnał i „uruchamia” wolontariuszy obserwujących wskazania na łąkach wodowskazowych. Decyzja o powiadomianiu zagrożonych mieszkańców za pomocą SMS-ów podejmowana jest przez operatora na podstawie analizy szybkości przyrostów wody i sytuacji meteorologicznej.

- Powiat kłodzki – Po powodzi w 1997 r. na terenie powiatu kłodzkiego zbudowano system monitoringu składający się z 19 punktów pomiaru poziomów wody i 20 punktów pomiaru opadów. Na potrzeby tego systemu dodatkowo zbudowany został system wspomagania, pozwalający na analizę scenariuszy rozwoju sytuacji w oparciu o prognozy z krajowego systemu IMGW i lokalny model prognostyczny. Służby powiatowe „budzone” są po przekroczeniu wartości progowych opadów i stanów wody. Uruchomiono tam również system telefonicznego ostrzegania mieszkańców.
- Powiat świdnicki – Posiada System Ostrzegania i Monitorowania Pogodowego, którego zadaniem jest alarmowanie o zagrożeniach po przekroczeniu ustawionych wartości progowych opadów lub stanów wody. W skład systemu wchodzi pięć posterunków opadowych i cztery wodowskazowe. Nie pracują one w sposób ciągły, ale włączają się dopiero wtedy, gdy pada deszcz. Każda ze stacji, po przekroczeniu dopuszczalnej wielkości opadu lub stanu wody, powiadamia o tym fakcie odpowiednie służby gminne.
- Gmina Brzesko – Posiada system zbudowany w oparciu o czujniki i łączność używane w IMGW. Obecnie działają tylko dwa automatyczne posterunki gminne jeden opadowy i jeden wodowskazowy, które uzupełniane są danymi z systemu monitoringu hydro-meteorologicznego IMGW. Administratorzy systemu mają dostęp do danych przez Internet (baza danych, do której przesyłane są informacje) oraz przez telefonię komórkową – możliwość zapytania SMS-em o stan na posterunkach. Od 2011 roku system wyposażony jest w nowoczesne narzędzia do telefonicznego powiadamiania służb i zagrożonych mieszkańców.
- Powiat ropczycko-sędziszowski – Powiat ten wraz z 3 innymi (Jasło, Mielec, Dębica) zbudował system osłony powodziowej oparty na czujnikach firmy RWD Prospect (echosonda), montowanych na mostach. Czujniki te automatycznie wysyłają dane dotyczące poziomów wody do bazy danych. Po przekroczeniu poziomów wody, ustalonych jako ostrzegawcze i alarmowe, system wysyła SMS-y do osób odpowiedzialnych za bezpieczeństwo. Każda z osób uprawnionych może też uzyskać informacje o stanie wody w dowolnym momencie dzwoniąc na posterunek. Dostęp do danych przez Internet – <http://www.wisloka.prospect.pl/>.

Budowa lokalnych systemów ostrzeżeń przez samorzady umożliwia poprawę działania systemów ostrzegania mieszkańców na terenach, gdzie występują szybkie powodzie. Wymaga to jednak dodatkowo współpracy wielu podmiotów: IMGW, służb lokalnych na poziomie powiatu i gminy, sołtysów i OSP oraz mieszkańców. Proponowana sekwencja działań takiego systemu, integrującego aktywność wszystkich jednostek, mogłaby być następująca:

- ostrzeżenia i prognozy o możliwości wystąpienia gwałtownych deszczów i burz opracowywane i wysyłane są przez IMGW bezpośrednio do lokalnych służb kryzysowych na zagrożonych obszarach na ich telefony komórkowe lub

stacjonarne – zadaniem tych prognoz i ostrzeżeń byłoby wprowadzenie służb w stan czuwania,

- lokalne służby kryzysowe opracowują komunikat ostrzegawczy i wysyłają go do sołtysów i członków ochotniczych straży pożarnych z obszarów, które mogą być dotknięte powodzią – jego zadaniem jest wprowadzenie w stan czuwania osób odpowiedzialnych za ostrzeganie w danej społeczności,
- lokalne służby kryzysowe oraz sołtysi i jednostki OSP obserwują wskazania lokalnego systemu monitoringu powodziowego i systemu monitoringu IMGW-PIB w zlewni, w szczególności czujników opadowych,
- uruchamiany jest sąsiedzki system powiadamiania mieszkańców zagrożonych miejscowości po decyzji lokalnych służb kryzysowych lub samodzielnie przez sołtysów i/lub OSP po zaobserwowaniu silnych opadów na terenie zlewni.

Wprowadzenie takiej procedury wymagałoby jednak zmiany reguł działania zarówno służb hydrologiczno-meteorologicznych, jak i lokalnych służb kryzysowych.

#### Edukacja powodziowa

Budowanie świadomości powodziowej (kultury bezpieczeństwa) społeczności lokalnych ma kluczowe znaczenie w przypadku szybkich powodzi [Nathe i in. 1999, Report on... 2000]. Można to osiągnąć poprzez edukację (systematyczne podnoszenie wiedzy) oraz informowanie w szczególności w zakresie:

- uświadamiania zagrożenia – informowania o terenach zagrożonych,
- przygotowania do powodzi i reagowania na nią,
- konieczności podejmowania odpowiedzialności za bezpieczeństwo własne, rodziny, pracowników, klientów i innych osób, np. turystów.

Działania informacyjne i edukacyjne powinny być adresowane do całej społeczności lokalnej, jednak ich zakres oraz proponowane formy powinny być dostosowane w szczególności do potrzeb trzech grup odbiorców:

- mieszkańców i użytkowników bezpośrednio zagrożonych powodzią (mieszkających lub prowadzących działalność gospodarczą na terenach zagrożonych),
- całej społeczności lokalnej – pozostałych mieszkańców (niezagrożonych bezpośrednio) oraz osób czasowo przebywających na zagrożonym terenie,
- instytucji odpowiedzialnych za prewencję i reagowanie w czasie zagrożenia (samorządu lokalnego, służb kryzysowych) oraz instytucji mogących realizować w praktyce edukację powodziową (szkoły, NGO).

Mieszkańcy i użytkownicy bezpośrednio zagrożeni powodzią powinni być świadomi zagrożenia, znać przebieg powodzi (wiedzieć, jakie sytuacje meteorologiczne mogą spowodować zagrożenie), miejsca szczególnie zagrożone w danym terenie i miejsca bezpieczne, wiedzieć jak sobie radzić samemu w sytuacji zagrożenia i gdzie szukać pomocy. Mieszkańcy powinni sami śledzić sytuację meteorologiczną i sprawdzać prognozy pogody, szczególnie w okresach występowania zagrożenia (lato i wiosna).

Mieszkańcy i użytkownicy powinni przygotować swój dom/firmę do powodzi, gdyż w krótkim czasie w jakim przebiega powódź nie da się wiele zrobić. Powinien on spełniać wymagania konstrukcyjne, mieć podniesiony poziom mieszkalny, posiadać specjalne zabezpieczenia na wypadek powodzi (zawory zwrotne na kanalizacji, zabezpieczenia na okna i drzwi itp.). Powinien być odpowiednio zorganizowany (cenniejsze przedmioty na wyższych kondygnacjach).

Mieszkańcy i użytkownicy powinni mieć przemyślane i regularnie testowane w praktyce plany ewakuacji rodziny/firmy (uzgodnione miejsca i drogi ewakuacji, sposób zabezpieczenia domu i mienia przed ewakuowaniem się, przygotowane najważniejsze rzeczy do zabrania ze sobą, ustalony podział ról i obowiązków, uzgodniony sposób kontaktowania się w czasie powodzi). Powinni też zadbać o zorganizowanie i ustalenie zasad wzajemnej pomocy sąsiedzkiej.

Społeczność lokalna powinna być dobrze zorganizowana i przygotowana do wzajemnego świadczenia sobie pomocy zarówno przy przekazywaniu ostrzeżeń, jak i radzenia sobie w czasie powodzi i po jej ustąpieniu. Szczególną uwagę powinno się zwrócić na informowanie o potencjalnym zagrożeniu osób przebywających czasowo na danym terenie (turyistów, wczasowiczów, przejezdnych). Powinni oni być w jakiś sposób powiadamiani o zagrożonych miejscach biwakowych nad rzekami, zagrożonych drogach, o miejscach w terenie, które mogą zostać „odcięte od świata” w przypadku powodzi. Najlepszym sposobem jest ustawienie znaków ostrzegawczych na drogach oraz tablic informujących o zagrożonych strefach.

Służby kryzysowe (władze miejscowości/gminy) powinny być przeszkolone w zakresie radzenia sobie z zagrożeniem spowodowanym przez szybkie powodzie oraz roli informowania i edukowania społeczności. Muszą one zapewnić wszystkim mieszkańcom i innym użytkownikom terenów zagrożonych (właścicielom zakładów usługowych, firm i instytucji) dostęp do informacji o zagrożeniu, w tym do map terenów zalewowych i o miejscach szczególnie niebezpiecznych, sposobie ostrzegania, drogach i miejscach ewakuacji, sposobie kontaktowania się ze służbami w czasie zagrożenia i powodzi, sposobach zabezpieczania się przed powodzią (prewencji) i właściwych sposobach postępowania. Powinny zadbać o udostępnienie informacji, poradnictwa i edukacji powodziowej. Najlepiej by posiadały plan ograniczania skutków powodzi zawierający plan prewencji, reagowania i likwidowania skutków powodzi. Służby kryzysowe powinny być wyposażone w specjalistyczny sprzęt i umiejętności działania w terenach górskich. Powinny zadbać o oznakowanie w terenie miejsc niebezpiecznych i ustawienie tablic informujących o zagrożeniu szybkimi powodziami.

W rozważaniach przyjęto, że głównym lokalnym animatorem edukacji na obszarach zagrożonych powodziami powinien być lokalny samorząd, który posiada kompetencje w zakresie prewencji powodziowej i jest zainteresowany ograniczeniem skutków katastrof na swoim terenie. Rolę wspomagającą mogą odegrać lokalne organizacje pozarządowe i lokalne media. Wspomaganie metodyczne mogą zapewnić regionalne zarządy gospodarki wodnej oraz Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej (np. w zakresie udostępniania materiałów edukacyjnych), które są też źródłem informacji, m.in. o zagrożeniu powodziowym.

Proponuje się następujące działania edukacyjne i informacyjne:

- edukacja w szkołach,
- pielęgnowanie pamięci o zdarzeniach powodziowych w przeszłości (znaki wielkiej wody),
- ustawienie tablic informacyjnych z zaznaczonymi terenami zalewowymi,
- oznakowanie dróg zagrożonych zalaniem,
- testowanie systemu ostrzegania i reagowania na ostrzeżenia,
- systematyczne przypominanie o zagrożeniu powodziowym (w okresach „powodziowych”) poprzez ulotki i/lub spotkania z mieszkańcami, festyny, materiały w lokalnych mediach, doradztwo fachowe.

Działania te powinny być przewidziane w planie ograniczania skutków powodzi dla miejscowości/gminy i dostosowane do warunków i potrzeb lokalnych oraz możliwości danej społeczności lokalnej.

#### Zabezpieczanie obiektów mieszkalnych i użytkowych

Nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie istniejącej zabudowy z terenów zalewowych, dlatego warto, w przypadku obiektów narażonych na częste zalania i podtopienia, podjąć próbę ich zabezpieczenia. Jest wiele metod, które można zastosować w zależności od sytuacji.

- a. Uniemożliwienie wodzie dostępu do wnętrza budynku – uszczelnienie obiektu. Budynki na terenach zalewowych można uszczelnić, tak aby wody powodziowe nie przedostawały się do wnętrza. Do typowych środków stosowanych w praktyce należą: położenie nieprzepuszczalnej warstwy na murach budynku (np. ceramicznej), tymczasowe zamknięcia na okienka do piwnic i na drzwi wejściowe, podniesienie progów drzwi wejściowych, zasuwki w sieci kanalizacyjnej, tymczasowe zamurowanie otworów wejściowych na czas powodzi. Takie zabezpieczenia można jednak stosować tylko do prognozowanej głębokości wody – ok. 1 m. Inaczej takie uszczelnienie grozi naruszeniem konstrukcji budynku.
- b. Zabezpieczenie przed wodą wnętrza budynku i wyposażenia. Gdy spodziewane są wyższe stany wody niż 1 m stosuje się odmienną metodę – umożliwia się wodzie swobodny przepływ przez budynek, przy jednoczesnym wyeliminowaniu z tej strefy wyposażenia, które może ulec zniszczeniu. Najlepsze efekty daje odpowiedni dobór funkcji pomieszczeń, wodoodporna powierzchnia ścian, zastosowanie na podłogę ceramicznych płytek oraz umieszczenie niektórych urządzeń, takich jak na przykład piece c.o. nie w piwnicy, lecz na wyższych kondygnacjach. W naszych warunkach jest to metoda rzadko stosowana.
- c. Zastosowanie osłon stałych (betonowych, ziemnych) lub tymczasowych. Metodę tę można stosować na terenach, gdzie spodziewany zalew nie jest głęboki. Polega ona na opasaniu budynku niskim wałem lub murem przeciwpowodziowym. Stosuje się również osłony tymczasowe, takie jak metalowe ściany montowane, specjalne osłony wykonane z tworzyw sztucznych lub geowłókniny napełnianej wodą.

- d. Zabezpieczenie kanalizacji przed cofaniem się ścieków. Jedną z częstszych przyczyn niemałych strat są ścieki, które w czasie powodzi, a nawet w czasie silnych deszczów potrafią, cofając się w sieci kanalizacyjnej, zalać piwnice budynków, niszcząc zgromadzone tam rzeczy. Jest na to prosta, choć wymagająca finansowych nakładów rada – należy zamontować na sieci kanalizacyjnej zawór zwrotny lub zamykaną ręcznie zasuwę. Doraźnie można zablokować wypływ wody z syfonów lub muszli klozetowych kładąc na nie worki z piaskiem.

Wdrożenie w praktyce takich działań prewencyjnych przez mieszkańców wymaga odpowiedniej wiedzy i praktycznych porad, co powoduje, że niezbędne jest wspomaganie ze strony władz samorządowych odpowiednim doradztwem i informacjami.

## **6. Podsumowanie**

To paradoksalne, że szybkie powodzie, które pochłaniają najwięcej ofiar ze wszystkich rodzajów powodzi i mają destrukcyjny wpływ na lokalną gospodarkę są praktycznie niezauważane przez społeczeństwo i instytucje zajmujące się sytuacjami kryzysowymi. Wynika to najpewniej z faktu, że są to zwykle zjawiska lokalne, a opadów, które je wywołały nie rejestrują często żadne urzędnicy pomiarowe. Są też tak szybkie, że nie rejestrują ich i nie relacjonują mass media, stąd informacje o nich nie docierają do polityków i społeczeństwa.

Zwrócenie na nie uwagi jest tym ważniejsze, że jak wynika z analiz scenariuszy zmian klimatycznych w Polsce, obszary ich występowania będą większe, a częstotliwość będzie wzrastać.

Bazując na doświadczeniach autorów i wykonanych w ramach projektu analizach racjonalne byłoby uwzględnienie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym w Polsce metod nastawionych na ograniczanie skutków szybkich powodzi. Działania w schematycznym zarysie powinny obejmować:

- a) Monitorowanie i archiwizowanie przypadków szybkich powodzi, badanie ich przebiegu i identyfikowanie szkód i strat jakie powodują. Będzie to przydatne w doborze właściwych metod ograniczania skutków tych powodzi.
- b) Wyznaczenie obszarów występowania różnych rodzajów szybkich powodzi (powodzie od rzek, powodzie burzowe, powodzie wynikające z przerwania wałów, powodzie spowodowane przerwaniem zapór z uwzględnieniem różnych scenariuszy zmian klimatu).
- c) Rozwój i doskonalenie systemu wczesnego ostrzegania społeczności zagrożonych szybkimi powodziami. Wymaga to współpracy państwowej służby hydrologiczno-meteorologicznej, struktur zarządzania kryzysowego i samorządów.
- d) Wspieranie rozwoju lokalnych systemów ostrzeżeń powodziowych (w tym systemów monitoringu opadów i stanów wód), jako ważnych elementów systemu wczesnego ostrzegania mieszkańców.



- e) Wspieranie przygotowania lokalnych samorządów do budowy skutecznych systemów ostrzegania przed powodzią w oparciu o koncepcję zintegrowanego systemu ostrzegania, którego celem jest prawidłowa i szybka reakcja mieszkańców na zagrożenie.
- f) Rozwijanie współpracy Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej z lokalnymi samorządami dla lepszego poznania ich potrzeb, a w konsekwencji poprawy dokładności i odpowiedniego wyprzedzenia w czasie dostarczanych prognoz i ostrzeżeń.
- g) Wspieranie różnych form edukacji społeczeństwa, aktywizującej i przekazującej wiedzę o specyfice szybkich powodzi, sposobach radzenia sobie z niebezpieczeństwem, jakie stwarzają i umiejętności reagowania na nie samodzielnie.

Przedstawione sugestie wymagają dyskusji z udziałem przedstawicieli administracji centralnej, administracji wodnej, instytucji wodnych, samorządów oraz innych grup interesariuszy. Jej celem powinno być stworzenie pilotowego programu ograniczania skutków szybkich powodzi na obszarach, na których te powodzie występują obecnie oraz tych, gdzie szybkie powodzie mogą się pojawić z powodu zmian klimatu w przyszłości. Wyniki takiego programu pozwoliłyby na wdrożenie rozwiązań prawnych i organizacyjnych prowadzących do ograniczenia skutków tych powodzi w Polsce.

#### Literatura

- Adamczyk Z., Jania K., 2003, Meteorologiczne przyczyny nawaalnych opadów w Beskidzie Niskim oraz na jego przedpolu w dniu 18 lipca 2003 roku, raport wewnętrzny BPM w Krakowie
- Arun Bhakta Shrestha, Syed Harir Shah, Rezaul Karim, 2008, Resource Manual on Flash Flood Risk Management. Module 1: Community-based Management, International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu
- Best practices on flood prevention, protection and mitigation, 2003, Water Directors of EU meeting, Athens, [[http://ec.europa.eu/environment/water/flood\\_risk/key\\_docs.htm](http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/key_docs.htm)]
- COMET, NOAA, 2010, Flash Flood Early Warning System Reference Guide, University Corporation for Atmospheric Research
- Definitions of flood and flash flood, 2011, National Weather Service, [<http://www.srh.noaa.gov/mrx/hydro/flooddef.php>, 12.12.2011]
- Dyrektywa 2007/60/WE, 2007, W sprawie oceny ryzyka powodziowego i zarządzania nim, tzw. Dyrektywa powodziowa, dokument elektroniczny, [www.kzgw.gov.pl](http://www.kzgw.gov.pl)
- Gaume E., Livet M., Desbordes M., Villeneuve J.P., 2004, Hydrological analysis of the river Aude, France, Flash flood on 12 and 13 November 1999, *Journal of Hydrology*, 286, (1-4), 135-154
- Gaume E., Bain V., Bernardara P., Newinger O., Barbuc M., Bateman A., Blaškovičová L., Blöschl G., Borga M., Dumitrescu A., Daliakopoulos I., Garcia J., Irimescu A., Kohnova S., Koutroulis A., Marchi L., Matreata S., Medina V., Preciso E., Sempere-Torres D., Stancalie G., Szolgay J., Tsanis I., Velasco D., Viglione A., 2009, A compilation of data on European flash floods, *Journal of Hydrology*, 367, 70-78
- Delrieu G., Ducrocq V., Gaume E., Nicol J., Payrastre O., Yates E., Kirstetter P.E., Andrieu H., Ayrat P.A., Bouvier C., Creutin J.D., Livet M., Anquetin S., Lang M., Neppel L., Obled C., Parent-Du-Châtelet J., Saulnier G.M., Walpersdorf A., Wobrock W., 2005, The Catastrophic Flash-Flood Event of 8-9 September 2002 in the Gard Region, France: A First Case Study for the Cévennes-Vivarais Mediterranean Hydrometeorological Observatory, *Journal of Hydrometeorology*, 6, 34-52
- Guidelines for Reducing Flood Losses, 2001, United Nations Department of Economic and Social Affairs

- Homeowner's Guide to Retrofitting, 1998, Six Ways to Protect Your House from Flooding, FEMA, 312
- HYDRATE, 2012, Hydro-meteorological data resources and Technologies for effective flash flood forecasting, [http://www.hydrate.tesaf.unipd.it/, 20.01.2012]
- Jankowski W., 2000, Ekologiczne metody ochrony przeciwpowodziowej, Towarzystwo na Rzecz Ziemi, Oświęcim
- Karta ZK.I, 2009, Karta zdarzeń z sytuacji powodziowej, ZK.I-6821-16-10/09, WZK, Podkarpacki Urząd Wojewódzki
- Keys C., 1997, The Total Flood Warning System: Concept and Practice, Handmer, J.W., Flood Hazards Research Centre, Middlesex University, 13-22
- Konieczny R, Bogdańska – Warmuz R., Madej P., Siudak M., 2009, Badanie potrzeb lokalnych struktur kryzysowych w zakresie danych, informacji i ostrzeżeń o niebezpiecznych zjawiskach pogodowych, raport wewnętrzny Biura ds. Współpracy z Samorządami IMGW w Krakowie
- Language of risk. Project definitions, 2005, Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies, Report: T32-04-01
- Łoś J.A., 1994, Roślinność w inżynierii wodnej, możliwości i trudności w zastosowaniu, Gospodarka Wodna, 6, 136-140.
- Miatkowski Z., Cieśliński Z., 1996, Zmiany zdolności retencyjnych czarnej ziemi kujawskiej w zależności od zagęszczenia. Mała retencja w kształtowaniu środowiska, Konferencje XI, Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, 289, 109-116
- Mioduszeński W., 1994, Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych w małych rolniczych zlewniach rzecznych. Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty
- Nathe S., Gori P., Greene M., Lemersal E., Mileti D., 1999, Public Education for Earthquake Hazards. Natural Hazards, INFORMER, 2
- NOAA, 2010, Flash Flood Early Warning System Reference Guide
- Opracowanie narzędzi wspomagających system ostrzegania o nagłych powodziach typu Flash Flood, 2011, projekt KLIMAT, zad. 9, raport wewnętrzny, IMGW, Warszawa
- Report on the analysis of flood risk management societal aspects, 2000, OSIRIS Project, IMGW, Kraków, niepublikowane
- Pociask T., Cholewa W., 2009, Informacja dotycząca powodzi na terenie Gminy Ropczyce, Urząd Miasta Ropczyce
- Prokuratura Rejonowa w Jaśle, 2003, Akta spraw nr 2Ds. 559/03/S i 1 Ds. 868/03/S
- Protokół UG Ropczyce, 2009, Protokół Komisji ds. szacowania szkód powodziowych w infrastrukturze komunalnej spowodowanej przez powódź, która wystąpiła w dniach 25-26 czerwca 2009 r., UG Ropczyce
- Protokół UG Wielopole Skrzyńskie, 2009, Protokół Komisji ds. szacowania szkód powodziowych (rodzaj kłęski) w infrastrukturze komunalnej spowodowanych przez intensywne opady deszczu, które wystąpiły w dniach 22.06.2009 roku do 28.06.2009 roku, UG Wielopole Skrzyńskie
- Ryszkowski I., Kędziora A., 1996, Mała retencja wodna w krajobrazie rolniczym, Mała retencja w kształtowaniu środowiska, Konferencje XI, Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu, 289, 217-225
- Siudak M., 2011, Wywiady, źródła informacji – Wilsznia 2003, IMGW, niepublikowane
- Urząd Gminy Krempna, 2003, Sprawozdanie ze szkód i strat powodziowych (formularz OŚZ-1) za okres 18-19 lipca 2003 r.
- Urząd Miasta i Gminy Dukla, 2003, Informacja o szkodach i stratach powodziowych na skutek ulewno deszczu w dniach 18-19 lipca 2003 r.

# **Źródła zagrożeń o charakterze synergicznym (naturalno-technicznym) w Polsce, ich geneza i skutki**

*Maciej Maciejewski*

## **1. Identyfikacja źródeł zagrożeń katastrof synergicznych (n-tech) w Polsce i ich geneza**

W ostatnich latach, wraz szybkim rozwojem gospodarczo-społecznym, rejestruje się wzrost technologicznych katastrof cywilizacyjnych spowodowanych działalnością człowieka. O tym jakie są skutki tych katastrof decydują często warunki meteorologiczne i hydrologiczne panujące w czasie ich występowania, a posiadanie dokładnej informacji o tych warunkach wpływa na sposób prowadzenia akcji ratowniczej.

Współczesne zagrożenia naturalne i natężenie szkód przez nie wywołanych jest także w mniejszym lub większym stopniu wynikiem zaburzenia przez człowieka równowagi ekologicznej lub bagatelizowania przez niego konieczności podejmowania działań prewencyjnych. Relacja jaka istnieje pomiędzy klęskami naturalnymi i katastrofami technologicznymi wyznacza stosunek współzależności pomiędzy tymi zagrożeniami. Mówimy wtedy o katastrofach synergicznych (albo Na-Tech, tzn. katastrofach technologicznych wywołanych klęskami naturalnymi – żywiołowymi). Ten typ katastrof uważany jest obecnie za najczęściej występujący na Ziemi.

W Polsce do naturalnych zjawisk, które wywołują poważne zagrożenia technologiczne zaliczamy:

- powódzie,
- gwałtowne i długotrwałe opady,
- wyładowania atmosferyczne,
- susze i związane z nimi pożary,
- sztormy,
- wiatry porywiste,
- trąby powietrzne.

Dla szybszego i skuteczniejszego likwidowania skutków zagrożeń, a także ich zapobiegania ważne jest sprecyzowanie w jakim stopniu zagrożenia technologiczne wynikają z klęsk naturalnych, a w jakim stopniu z działalności człowieka.

Przyczynami cywilizacyjnymi katastrof synergicznych w naszym kraju są:

- duża gęstość zaludnienia w aglomeracjach miejskich,
- niekorzystne rozplanowanie infrastruktury technicznej i komunalnej (ujęcia wody, oczyszczalnie ścieków, wysypiska śmieci),
- niedostosowane do nadzwyczajnych zagrożeń normy techniczne, np. rurociągów przemysłowych, urządzeń technologicznych, budynków,
- złe warunki życia w dzielnicach najuboższych,
- słabe lub żadne przygotowanie systemu ratowniczego na wypadek klęski żywiołowej i NZŚ,
- braki w zabezpieczeniu obwałowań koryt rzecznych,
- zabudowa terenów przeznaczonych do zalania (polderów) w okresie wezbrania wielkich wód,
- przestarzałe technologie.

Z doświadczeń (raportu PNUE/UNCUEA<sup>1)</sup>) wielu krajów wynika, że w czasie awarii możliwości interwencji ratunkowych są ograniczone. Z tego powodu nawet niewielki wyciek substancji chemicznej zamienić się może w klęskę ekologiczną, podobną lub taką samą w skutkach, jak ta wywołana klęską żywiołową. Wezbrana woda może zapoczątkować zdarzenie, które będzie źródłem różnych oddziaływań o długoterminowych skutkach dla infrastruktury technicznej, komunalnej, zdrowia i życia ludzi.

Można więc wyróżnić:

- klęski naturalne, nie oddziałujące na infrastrukturę techniczną (np. susza)
- katastrofy technologiczne (NZŚ), oddziałujące na środowisko (np. zanieczyszczenie rzek substancjami ropopochodnymi i chemicznymi na skutek awarii w zakładach przemysłowych),
- klęski naturalne (szybkie), będące detonatorami katastrof technologicznych (np. wstrząs podziemny, powodujący uszkodzenie systemów naftowych, takich jak: stacje paliw, rurociągi przesyłowe, zbiorniki, magazyny materiałów niebezpiecznych),
- zagrożenia antropogeniczne (powolne) o charakterze technologicznym, wywołujące klęskę żywiołową (np. poprzez złe użytkowanie ziemi powodujące jej wysuszenie).

Katastrofy synergiczne szybkie

W Polsce spowodowane są najczęściej przez:

- powodzie,
- gwałtowne i intensywne opady deszczu i śniegu,
- obsuwanie się mas ziemi,

---

<sup>1)</sup> Program Narodów Zjednoczonych Ochrony Środowiska / Centrum Organizacji Zjednoczonych dla Pomocy Środowiska w Nagłych Wypadkach

- wyładowania atmosferyczne,
  - pożary lasów.
- Skutki szybkiej katastrofy mogą być:
- krótkotrwałe, z przejściowym zanieczyszczeniem powietrza, wody i gruntu. Wystąpią one w przypadku rozlania ropy w rzece lub w morzu, gdy część substancji zostaje usunięta, a reszta jest z czasem neutralizowana przez samą przyrodę,
  - długotrwałe, ze skumulowanym zanieczyszczeniem powietrza, wody lub gruntu. Przykładem takich zanieczyszczeń jest przedostanie się do wód i gleby metali ciężkich np. kadmu, rtęci czy ołowiu. Przykładem bardzo niebezpiecznej katastrofy synergicznej o długotrwałym działaniu był wybuch reaktora jądrowego w elektrowni w Czarnobylu. Skutki tej katastrofy, mającej swe źródło w wadliwej technologii, zostały powiększone w wyniku trwających wówczas niekorzystnych ekstremalnych warunków meteorologicznych.

Katastrofy synergiczne powolne

Związane bezpośrednio z działalnością człowieka. Są to:

- wydzielanie nadmiernej ilości gazów cieplarnianych do atmosfery, które powoduje przyrost rocznej temperatury globalnej i ma wpływ na pojawianie się ekstremalnych zjawisk meteorologicznych,
- zła eksploatacja zasobów leśnych, przyczyniająca się do powstawania katastrofalnych powodzi, obsuwania się mas ziemnych oraz erozji gruntu,
- chemiczna degradacja gleby,
- ekstensywna eksploatacja zasobów naturalnych, powodująca naruszenie stosunków wodnych w glebie oraz pustynnienie terenów (kopalnie odkrywkowe węgla brunatnego, eksploatacja złóż siarki),
- podziemna eksploatacja złóż, powodująca niekorzystne zmiany w strukturach geologicznych ziemi.

Wszystkie wymienione działania wywołują określone katastrofalne reakcje w środowisku i, oddziałując w powolny lecz ciągły sposób, wpływają niekorzystnie na organizm człowieka. Charakterystyczna dla tych przypadków jest ciągłość w przebiegu i powiązanie ze sobą tych klęsk, i tak np.: wyrąb lasów powoduje zmniejszenie retencji, co z kolei uruchamia kolejne zdarzenia – powódź – zalanie fabryki chemicznej – skażenie wody i gleby – zagrożenia życia ludzkiego.

Związki przyczynowo-skutkowe

Najczęściej zachodzące związki przyczynowo-skutkowe pomiędzy ekstremalnymi warunkami meteorologicznymi i hydrologicznymi, a katastrofami technologicznymi to:

- silne wiatry, powodujące uszkodzenia w budownictwie, przemyśle, energetyce, transporcie drogowym i kolejowym, a także w leśnictwie, dezorganizujące prace na wybrzeżu morskim i w rybołówstwie. Odgrywają również istotną rolę w zanieczyszczeniu atmosfery, przenosząc niebezpieczne substancje lotne,

- deszcze o silnym natężeniu, których skutkiem są powodzie, niszczące infrastrukturę, powodujące awarie budowli hydrotechnicznych, zatopienie ujęć wody, oczyszczalni ścieków, wysypisk śmieci, hałd przemysłowych,
- długotrwałe i wysokie temperatury, będące przyczyną pożarów lasów i zabudowań wiejskich,
- mgła i gołoledź, powodujące katastrofy komunikacyjne lądowe, morskie i powietrzne,
- szadź i oblodzenia niebezpieczne dla przesyłowych linii energetycznych i telekomunikacyjnych,
- wyładowania atmosferyczne, powodujące poważne awarie systemów i sieci komputerowych,
- kwaśne deszcze i sucha depozycja zanieczyszczeń, wywołujące trwałe, niekorzystne skutki w postaci zakwaszenia gruntu oraz przyspieszające korozję konstrukcji metalowych, betonowych (intensywniejsze starzenie się tych obiektów).

Katastrofy synergiczne można odbierać jako zagrożenie, ale także jako symbol stosunku do człowieka do przyrody i do samego siebie. Stoimy przed wyborem: czy podążać drogą rosnących konfliktów pomiędzy przyrodą i rozwojem cywilizacyjnym, co znajdzie wyraz w rosnącej liczbie katastrof synergicznych, czy też wybrać drogę harmonijnego rozwoju w zgodzie z naturą przyjazną człowiekowi. Ta druga droga zakłada skuteczne, racjonalne i bardziej bezpieczne korzystanie z zasobów ziemi, z możliwie najmniejszym uszczerbkiem dla środowiska naturalnego. Aby tą drogą postępować należy:

- rozszerzyć badania wpływu katastrof synergicznych na środowisko,
- doskonalić metody oceny ryzyka, opierając się na wynikach badań,
- uwzględniać wnioski wynikające z analizy i oceny ryzyka w planach perspektywicznych rozwoju kraju,
- doskonalić metody badań ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych i ich wzajemnych powiązań z katastrofami technologicznymi.

## **1.1. Źródła zagrożeń katastrof synergicznych w Polsce**

### **1.1.1. Niebezpieczne zanieczyszczenia atmosfery**

Szeroka analiza zagrożeń tego typu wskazuje, że największe zagrożenia (również ekologiczne) stanowią i stanowiąc będą w przyszłości niebezpieczne zanieczyszczenia atmosfery, deficyt wody i odpady komunalne oraz przemysłowe.

Niebezpieczeństwo związane z zanieczyszczeniem atmosfery polega na tym, że dotyczy dużej liczby ludności i oddziałuje niekorzystnie zarówno na infrastrukturę techniczną i komunalną, jak i środowisko naturalne. Charakterystyczne dla tego typu zanieczyszczeń jest ich lokalny (regionalny) rozkład.

Rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń w atmosferze uwarunkowane jest intensywnością turbulencji, która w warstwie granicznej zależy od prędkości wiatru i szorstkości powierzchni Ziemi oraz od pionowego gradientu temperatury.

Szczególnym przypadkiem zanieczyszczenia atmosfery jest smog (ogłaszany jako kłęska żywiołowa), będący efektem produktów spalania. Charakterystyczny jest też smog letni (inaczej zwany fotochemiczny) związany z zawartością ozonu w warstwie granicznej (decydujący wpływ na stopień koncentracji ozonu w warstwie przyziemnej mają promieniowanie słoneczne, wilgotność względna i temperatura powietrza). Prekursorami tego smogu są tlenki azotu i formaldehydy.

Poważne zagrożenia dla zdrowia i życia ludzi stanowią zanieczyszczenia metalami ciężkimi. Podlegają one regionalnemu transportowi atmosferycznemu, w trakcie którego następuje ich przemieszczanie się wewnątrz kraju jak również poza granice. Sucha i mokra depozycja obejmuje głównie arsen, kadm, ołów i cynk, których głównymi emitarami są energetyka oraz przemysł metali nieżelaznych, a także cementownie i silniki spalinowe.

Do szczególnie niebezpiecznych zanieczyszczeń należą:

- tlenek siarki  $\text{SO}_2$ . Uważany za najbardziej trujący związek, potęguje zaburzenia oddechowe, atakuje swą kwasowością rośliny, wody, konstrukcje metalowe, betonowe i kamienne. W Polsce 90% tlenku siarki ma pochodzenie antropogeniczne,
- tlenek azotu  $\text{NO}_x$ . Podobnie jak  $\text{SO}_2$  jest odpowiedzialny za kwaśne deszcze i jako utleniacz wywołujący zanieczyszczenia fotoutleniające jest główną przyczyną wymierania lasów i smogu fotochemicznego,
- tlenek węgla  $\text{CO}$ . Pochodzi głównie z ciepłowni, elektrowni węglowych i spalin samochodowych. Łącząc się z hemoglobina krwi utrudnia transport tlenu w organizmie.
- ołów. Pochodzi głównie ze spalin samochodowych. Powoduje zaburzenia nerwowe szczególnie u dzieci, a także anemię, gdyż zakłóca syntezę hemoglobiny krwi.
- pyły, aerozole (sadze). Ich cząsteczki, mniejsze od setnych milimetra, przedostają się do klatki piersiowej, a nawet do pęcherzyków płucnych,
- węglowodory i rozpuszczalniki. Są lotnymi związkami organicznymi, o właściwościach podrażniających i rakotwórczych, powodujących mutacje,
- kwas solny. Pochodzi z produktów spalania zasyarczonego węgla oraz z zakładów spalania śmieci. Ma swój udział w tworzeniu się kwaśnych deszczy,
- związki fluoru. Emisja jonu fluorkowego występuje przy produkcji aluminium, stali, nawozów fosforowych, emalii, mineralnych mieszanek fosforowych, cegły, materiałów ceramicznych oraz spalania węgla,
- zanieczyszczenia radioaktywne. Dostając się do powietrza, wody i gleby stanowią szczególne niebezpieczeństwo dla człowieka.

Wyjątkowe znaczenie w zagrożeniu ludzi i środowiska mają substancje gazowe oraz ciecze o niskiej temperaturze wrzenia i dużej toksyczności. Są to: amoniak, fluorowodór, chlor, dwusiarczek węgla, fosgen i siarkowodór. Niewiele mniejsze zagrożenie dla otoczenia stwarzają wszystkie ciecze łatwopalne. Stopień zagrożenia pogłębia jeszcze fakt, że zwykle są one przechowywane w obiektach znajdujących się w infrastrukturze przemysłowo-mieszkalnej.

### 1.1.2. Niebezpieczne zanieczyszczenia wód

Rzeki i morza stanowią główny odbiornik ścieków komunalnych i przemysłowych oraz pochodzenia rolniczego (nie wszystkie duże miasta posiadają oczyszczalnie). Podobną rolę spełniają niektóre jeziora i zbiorniki zaporowe.

Znacząca część wód głównych rzek Polski (Wisła, Odra, San, Bug, Noteć i Warta) nie spełnia norm biologicznych i fizykochemicznych nawet najniższej klasy. Zwraca ponadto uwagę fakt, że oprócz daleko posuniętej eutrofizacji, utrzymuje się również znaczne zasolenie wód (szczególnie Wisły i Odry, w mniejszym stopniu Warty) oraz zanieczyszczenie substancjami toksycznymi. Skażenia metalami ciężkimi są raczej lokalne. Znaczna część zanieczyszczeń azotowych i fosforowych (około 50%) pochodzi ze źródeł rozproszonych, głównie rolniczych. Duża część ścieków komunalnych i przemysłowych odprowadzanych jest bezpośrednio do rzek. Prowadzi to do deficytów tlenowych, a często do zaniku życia. Tego typu sytuacje tworzą „bomby ekologiczne” z opóźnionym zapłonem, które w określonych okolicznościach (długotrwałe okresy wysokich temperatur, niskich przepływów i przy określonym stopniu kumulacji substancji) grożą „wybuchem”. Dlatego też działania ukierunkowane na poprawę czystości wód rzek powinny mieć bezwzględny priorytet.

Niebezpieczne zanieczyszczenia wód to:

- zanieczyszczenia organiczne – tworzą je głównie miasta, ale również mniej lub bardziej „naturalne” gałęzie przemysłu, jak choćby przemysł papierniczy czy rolno-spożywczy,
- zanieczyszczenia toksyczne – tworzą się na ogół w przemyśle chemicznym i metalowym. Dla „producentów” wody pitnej poważnym problemem jest z kolei przenikanie do wód podziemnych i powierzchniowych pestycydów,
- zanieczyszczenia azotanami i fosforanami – pochodzą głównie ze ścieków komunalnych, hodowlanych i rolnictwa. Są one odpowiedzialne m.in. za eutrofizację wód,
- zanieczyszczenia bakteryjne i wirusowe – chodzi tutaj m.in. o bakterie coli, paciorkowce, salmonellę
- zanieczyszczenia różnymi pierwiastkami:
  - arsenem – znanym jako silna trucizna, o właściwościach rakotwórczych; dopuszczalna zawartość arsenu w wodzie wynosi 0,05 mg/l,
  - akryloamidem – używanym do utwardzania gruntu w pobliżu studni; po przeniknięciu z wodą do organizmu człowieka może powodować paraliż nóg i rąk,
  - berylem – duże stężenia tego pierwiastka są szkodliwe i powodują berylozę; dopuszczalne stężenie w wodzie do picia 0,0002 g/l,
  - fluorami – stężenia powyżej 3 g/l są szkodliwe i mogą być przyczyną choroby zwanej fluorozą endemiczną,
  - kadmem – jest to pierwiastek silnie toksyczny, uznany za substancję rakotwórczą (głównie gruczołu krokowego); dopuszczalne stężenie w wodzie wynosi 0,005 mg/l,



- manganem – duże stężenia są toksyczne; dopuszczalne stężenie w wodzie do picia wynosi 0,1 mg/l,
- rtęcią – której związki należą do silnie trujących; dopuszczalne stężenie w wodzie do picia wynosi 0,001 mg/l.

Najbardziej narażone na zanieczyszczenia obszarowe są wody powierzchniowe, w nieco mniejszym stopniu wody podziemne.

Najbardziej podatne na zanieczyszczenie są wody podziemne nie izolowane od powierzchni oraz te, które krążą w uszczelnionych i skrasowiałych stokach węglanowych. Charakterystyczne jest zagrożenie wód podziemnych zlokalizowanych w dolinach rzek i kotlinach, szczególnie tam gdzie zalegają pokłady żwirów i piasków. Utwory te zapewniają szybką migrację zanieczyszczeń, co może powodować drastyczne zwiększenie się potencjalnie skażonego obszaru

Kopalnie węgla kamiennego dostarczają co roku miliony ton odpadów, które zawierają rozpuszczone związki mineralne (głównie siarczany, a także chlorki i inne związki). Ich składowanie stwarza potencjalne niebezpieczeństwo dla wód podziemnych. Degradację wód podziemnych mogą również powodować nieodpowiednio zmagazynowane materiały pędne i chemikalia. Szczególnie niebezpieczne jest skażenie wód podziemnych produktami ropopochodnymi (benzyna, parafiny, smary, olej ciężkie

Coraz większy wpływ na wody podziemne ma rozwój infrastruktury drogowej. W obszarach przyległych do linii komunikacyjnych może dojść do zatrucia związkami ołowiu, pochodzącego ze spalin samochodowych, oraz zasolenia wód związkami pochodzącymi z mieszanek rozpuszczających śnieg i lód na drogach.

Nadal poważnym zagrożeniem zarówno dla wód powierzchniowych, jak i podziemnych pozostają zanieczyszczenia obszarowe z terenów wiejskich.

### 1.1.3. Odpady

Odpady stają się w ostatnich latach coraz większym zagrożeniem środowiska i problem ten niestety nie wykazuje wyraźnego trendu opadającego.

#### Odpady przemysłowe

Główną przyczyną powstawania nadmiernej ilości odpadów była i stale jest nieracjonalna gospodarka zasobami. W Polsce powstaje dziesiątki mln ton odpadów przemysłowych rocznie, w tym odpady niebezpieczne. W największej ilości są to: fosfogipsy oraz odpady poflotacyjne przemysłów metali nieżelaznych, siarkowego, barytowego i sodowego.

Szczególnie groźne są niezewidencjonowane, rozproszone na terenie całego kraju dzikie składowiska w lasach, nad brzegami rzek i potoków, w starych nieczynnych odkrywkach, itp.

Bezpośrednie zagrożenie ludzkiego zdrowia, zanieczyszczenie atmosfery, wód, gleby i budowli powodują takie niebezpieczne odpady przemysłowe jak: popioły lotne i pyły dymnicowe (zawierające głównie  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{AlO}_3$ , tlenki Ca, Mg, Fe oraz C i inne metale ciężkie), odpady toksyczne i zanieczyszczenia ropopochodne.

#### Odpady komunalne i organiczne

Składniki zawarte w odpadach komunalnych, głównie organiczne, ulegają przemianom biochemicznym i oddziałują na środowiska poprzez produkty rozkładu: dwutlenek węgla, amoniak, siarkowodór, metan, azotyny, azotany, siarczany i inne. Stwarzają one zagrożenie ze względu na skażenie powietrza, wód podziemnych i powierzchniowych mikroorganizmami chorobotwórczymi, dla których stanowią pożywkę. Ponadto, na wysypiskach odpadów komunalnych panują dobre warunki dla żerowania much, gryzoni i ptaków, które przenoszą zarazki chorób, np. duru brzuszego, paraduru, tężca, czerwonki i innych.

Wprowadzenie przemysłowego chowu zwierząt, przy niedostosowaniu obsady zwierząt w stosunku do areалу upraw rolnych (na których można byłoby je rolniczo spożytkować) spowodowało, że odchody zwierząt stały się odpadami stanowiącymi istotny czynnik zagrożenia środowiska.

#### 1.1.4. Niebezpieczne zanieczyszczenia gleby

Zanieczyszczeniom spalinami samochodowymi podlegają gleby przylegające do większych szlaków komunikacyjnych (około 0,5 mln ha gleb położonych wzdłuż szlaków komunikacyjnych po obu stronach drogi w pasie do 100 m skażonych jest metalami ciężkimi), zaś obniżenie odczynu gleb na wielką skalę spowodowane jest zakwaszonymi opadami. Na wielu obszarach Polski (26%) gleby są zakwaszone nie tylko w wierzchniej warstwie, ale w całym profilu glebowym ( $\text{pH} < 5,5$  do głębokości 100-150 cm). Prognozy dalszych zmian odczynu gleb stawiają ten problem w czołowie zagadnień dotyczących zanieczyszczenia wód. Przewidywaną konsekwencją tych procesów może być nadmierne zakwaszenie gleb ( $\text{pH} < 3,8-4,0$ ), rozszerzające się na znaczne obszary naszego kraju.

Odczyn gleb posiada olbrzymi wpływ na własności sorpcyjne gruntów. Przy wartościach  $\text{pH}=4,5$  obniżenie o jednostkę  $\text{pH}$  może prowadzić do 10-krotnego zwiększenia rozpuszczalności metali zawartych w glebach. Proces ten jest szczególnie widoczny w odniesieniu do kadmu, który obok rtęci jest określony przez dyrektywy EWG jako priorytetowy toksyczny produkt, w stosunku do którego są już obecnie podejmowane działania specjalne. Podkreślenia wymaga fakt, że kadm jest jednym z głównych elementów zanieczyszczenia wód pochodzenia rolniczego.

#### 1.1.5. Niebezpieczne wstrząsy powierzchni ziemi

Mimo, że obszar Polski uznać można jako leżący w strefie asejsmicznej, to notuje się szereg wstrząsów związanych z działalnością górniczą w zagłębiu węglowym, a także w rejonie kopalni Bełchatów. Może to powodować zagrożenia dla dużych inwestycji budowlanych i przemysłowych w tych obszarach.

#### 1.1.6. Zagrożenia katastrofalnymi zatopieniami

Na obszarze kraju istnieje kilkadziesiąt sztucznych zbiorników wodnych, wśród których ponad 30 kwalifikuje się jako szczególnie groźne w przypadku awa-

rii budowli i urządzeń piętrzących wodę. Katastrofalnymi zatopieniami zagrożony jest obszar o łącznej powierzchni ponad 3,0 tys. km<sup>2</sup>, zamieszkały przez ponad 600 tys. osób. Znajduje się na nim 40 miast i osiedli oraz około 150 zakładów przemysłowych.

#### 1.1.7. Zagrożenia w transporcie

Szacuje się, że w ciągu roku transportem drogowym i kolejowym przewozi się od 1,2-1,5 mln ton niebezpiecznych substancji chemicznych. Oznacza to, w przeliczeniu na transport kolejowy, że codziennie w ruchu jest 8-10 pociągów z toksycznymi środkami przemysłowymi (TSP). Są to:

- materiały pędne i smary (ropopochodne) – stanowią zagrożenie wybuchu, pożaru, skażenia wody, gleby i powietrza,
- substancje chemiczne, płyny używane do produkcji, odkażalniki – stanowią bezpośrednie zagrożenie skażenia ludzi, wody, gleby, powietrza i żywności,
- materiały wybuchowe i środki pirotechniczne – stanowią zagrożenie wybuchu i pożaru,
- bojowe środki trujące – stanowią zagrożenie skażenia ludzi, wody, gleby, powietrza, żywności i zwierząt.
- do najniebezpieczniejszych środków przewożonych w dużych ilościach należą: amoniak, chlor, fosfor, fluorowodór, dwusiarczek węgla, siarkowodór, oleje, benzyna i smary.

Nowy typ zagrożeń (częściowo o charakterze synergicznym), który w Polsce występuje stosunkowo w małej skali to katastrofy na autostradach. Bierze w nich udział przeważnie duża liczba pojazdów i mają zazwyczaj tragiczny przebieg dla uczestniczących w nich ludzi. Ich przyczyną jest zwykle błąd ludzki, oraz niekorzystne warunki pogodowe.

#### 1.1.8. Zagrożenia promieniowaniem jonizującym

Lokalne zagrożenia promieniotwórcze stanowią dwa istniejące w Polsce reaktory jądrowe. Znacznie bardziej niebezpieczne są jednak reaktory rozmieszczone poza naszymi granicami. Z 228 czynnych elektrowni jądrowych w Europie 25 zlokalizowanych jest w odległości 350-1000 km od granicy Polski. Awaria w każdej z tych elektrowni może spowodować tragiczne skutki (przykład Czarnobyla) dla zdrowia i życia oraz nieodwracalne, lub długotrwałe skażenie środowiska.

## **2. Łagodzenie skutków zagrożeń pochodzenia antropogenicznego**

Obowiązywać tutaj powinny pewne generalne kierunki działań, odnoszące się w zasadzie do wszystkich dziedzin gospodarki kraju i życia jej mieszkańców, a mianowicie:

- a. monitorowanie bieżącej sytuacji w przemyśle, transporcie, gospodarce komunalnej i rolnictwie,

- b. eliminowanie przestarzałych technologii,
- c. modyfikacja urządzeń i technologii,
- d. eliminowanie szkodliwych surowców (np. azbest) i stosowanie surowców zastępczych – nieszkodliwych,
- e. wprowadzanie recyklingu i powtórnego wykorzystania odpadów,
- f. segregacja odpadów w toku produkcji i po jej zakończeniu,
- g. optymalne (bezszkodowe) ostateczne usuwanie odpadów,
- h. wapnowanie gleb
- i. zmiany w systemach nawożenia
- j. wykorzystanie odpadów jako źródła energii,
- k. powszechne stosowanie katalizatorów spalin,
- l. całkowite przechodzenie na paliwa bezołowiowe
- m. racjonalizacja i automatyzacja procesów produkcji celem ograniczenia zużycia energii, paliw i wody na jednostkę produktu,
- n. stosowanie alternatywnych, ekologicznych źródeł pozyskiwania energii,
- o. racjonalizacja gospodarowania zasobami wodnymi,
- p. aktywna ochrona poszczególnych odcinków побереża Bałtyku,
- q. dyscyplinowanie i edukacja wytwórców (pracowników i rolników),
- r. odpowiednie regulacje przewozów technicznych materiałów niebezpiecznych,
- s. racjonalizacja wytwarzania: poprawa organizacji zarządzania i organizacji procesów produkcji oraz zapobieganie stratom i marnotrawstwu w procesie produkcji,
- t. odpowiednie regulacje prawne i podatkowe, stymulujące racjonalne zachowania.

### 3. Prognozy

Patrząc w przeszłość można brać pod uwagę dwa scenariusze:

- scenariusz szans,
- scenariusz zagrożeń (niepowodzeń).

W scenariuszu szans istotną rolę odgrywa przystąpienie Polski do Unii Europejskiej i konieczność spełnienia dość surowych wymogów w zakresie standardów gospodarczo-społecznych i prawnych. Wymusza to bowiem ograniczenie zagrożeń głównie pochodzenia antropogenicznego, a co za tym idzie również zagrożeń synergicznych.

Łagodzenie zaś skutków zagrożeń naturalnych związane jest z „bogaceniem” się państwa i jego społeczeństwa. W takich warunkach należy się spodziewać, że większe środki byłyby przeznaczone na monitoring, prace osłonowe oraz podniesienie sprawności służb ratowniczych działających na rzecz ograniczenia skutków zagrożeń.

Gdyby przyjąć scenariusz zagrożeń (niepowodzeń), a w nim wariant krytyczny, w którym nastąpi pogłębienie różnorodnych sytuacji kryzysowych, to należy się liczyć z utrwaleniem zacofania technologicznego. Skutkiem tego byłoby zwiększenie ryzyka powstawania katastrof i awarii technologicznych (powolnych i szyb-

kich), zwiększenie ryzyka zagrożenia zdrowia i życia ludzi oraz powiększania obszarów ekologicznego zagrożenia.

W obydwu przypadkach, wobec różnych uwarunkowań zewnętrznych i wewnętrznych, niepewność kierunku rozwoju kraju jest bardzo duża.

#### **4. Wnioski**

Powszechnie wiadomo, że niezrównoważony rozwój zwiększa ryzyko wystąpienia katastrof naturalnych. To określa potrzebę spojrzenia na ryzyko wystąpienia klęsk poprzez pryzmat urbanizacji. Skutki katastrof mogą być zredukowane, ale tylko wtedy gdy będą traktowane jako integralna część w planach przyznawania środków na rozwój gospodarczy i uwzględnione z racjonalnym zagospodarowaniem przestrzennym. Planiści i specjaliści z szerokiego kręgu dyscyplin powinni być włączeni w zapobieganie i działania dotyczące redukcji klęsk. Jeśli chce się osiągnąć trwały rozwój powinno się uwzględniać w planowaniu również kadre kierowniczą, odpowiedzialną i przygotowaną na wypadek wystąpienia zagrożenia.

W prewencyjnym planowaniu rozwoju miast do uwzględnienia są więc trzy ważne aspekty:

- ogólna podatność społeczności miejskich na zagrożenia ze względu na koncentrację ludności i akumulację dobytku oraz silną zależność od kluczowych urządzeń i infrastruktury. Ten aspekt powinien być uwzględniony przede wszystkim poprzez oszacowanie zagrożeń, planowanie i środki inżynierskie,
- sprawna organizacja w akcjach prewencyjnych i ratowniczych w oparciu o społeczność lokalną oraz wspólny wysiłek przy likwidacji strat,
- powszechna edukacja społeczeństwa o zagrożeniach.

#### **Literatura**

- Grunder H.T., Substancje zagrażające wodzie, Stare składowiska, Wyd. AR Wrocław, 19-40
- Jerzmański J., Mazurkiewicz M., Radecki W., 1999, Ustawa o odpadach z komentarzem, Wyd. Tow. Naukowe Prawa Ochrony Środowiska
- Juda J., Budziński K., Jędrzejowski J., Juda-Rezler K., Abert K., 1995, Ekspertyza stanu zanieczyszczenia powietrza w Polsce w roku 1990 i prognozy na rok 2010, Prognoza ostrzegawcza zmian środowiskowych warunków życia człowieka w Polsce na początku XXI wieku, PAN, Komitet Człowiek i Środowisko, 10, 49-81
- Maciejewski M. (red.), 1995, Koncepcja polityki przestrzennego zagospodarowania kraju POLSKA 2000 plus, Makroregionalne Konferencje Konsultacyjne, I Ogólnopolska Szkoła Współczesne problemy ekstremalnych zagrożeń środowiska, 1-15
- Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej, 1997, Dz. U. Nr 78 poz. 483
- Gutry-Korycka M., Łopata K., 1997, Poszukiwanie cykliczności i tendencji ekstremalnych stanów wody Wisły w ostatnim stuleciu, Materiały z Konferencji Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i oceanograficzne, PTGeof. IMGW, Warszawa, 79-85
- Maciejewski M., 1997, Współzależność pogodowych zjawisk ekstremalnych i nadzwyczajnych zagrożeń środowiska, Mat. Sympozjum Polskiego Towarzystwa Geofizycznego, Ekstremalne zjawiska meteorologiczne, hydrologiczne i oceanograficzne, Wyd. PTG, 86-92
- Nowosad R., 1998, Promieniotwórczość a środowisko, Zagrożenia, ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczo-rolniczego, Wyd. AR, Wrocław, 85-97
- Rosik – Dulowska Cz., 1999, Podstawy gospodarki odpadami, Wyd. Ekoinżynieria
- Stan środowiska w Polsce, 1993, PIOŚ, Centrum Informacji o Środowisku, GRID, Warszawa

# **Kryteria ilościowe wskaźników cyrkulacyjnych dla potrzeb wypracowania odpowiednich scenariuszy przewidywanego zjawiska ekstremalnego**

*Zbigniew Ustrnul, Danuta Czekierda*

## **1. Wprowadzenie**

Ekstremalne zjawiska meteorologiczne są jednym z najczęściej podejmowanych tematów publikacji popularno-naukowych oraz przede wszystkim badań naukowych prowadzonych przez meteorologów i klimatologów na całym świecie. Z samym zagadnieniem występowania ekstremalnych zjawisk pogodowych wiąże się nierozdzielnie problem bezpośrednich przyczyn ich występowania. Być może wyjaśnienie, jaka jest zasadnicza naturalna ich geneza, rozwiałoby część wątpliwości i ułatwiłoby bardziej precyzyjne prognozowanie pojawiania się ekstremów.

Bezspornie, wśród podstawowych przyczyn występowania ekstremów pogodowych wymienia się czynniki cyrkulacyjne. To właśnie cyrkulacja atmosferyczna warunkuje w znacznym stopniu występowanie określonych zjawisk, a w sprzyjających warunkach osiaganie przez elementy meteorologiczne wartości ekstremalnych. Zagadnienie to przewija się we wszystkich znanych publikacjach z zakresu meteorologii i klimatologii synoptycznej [np. Zwieriew 1965, Djurić 1994, Barry, Perry 1973, Yarnal 1993, Barry, Carleton 2001]. Znajduje ono również odzwierciedlenie w literaturze polskiej [np. Kaszewski 1992, Lorenc 1998, Niedźwiedź 2000, Wibig 2001, Marsz 2005a, b, Żmudzka 2007, Ustrnul, Czekierda 2000, 2002, 2009]. Większość cytowanych prac skupia się na ocenie relacji pomiędzy cyrkulacją a temperaturą powietrza i opadami atmosferycznymi, choć pojawiają się też studia innych elementów meteorologicznych lub hydrologicznych [Styszyńska, Marosz 2005, Sztobryn i in. 2005, Wypych 2009].

Do określenia wpływu sytuacji synoptycznych na kształtowanie warunków meteorologicznych wykorzystywanych jest szereg klasyfikacji typów cyrkulacji. Typy cyrkulacji w sposób precyzyjny informują o warunkach cyrkulacyjnych nad danym obszarem toteż ich zastosowanie jako miar sytuacji synoptycznych wydaje się być w pełni zasadne. Problemem jest niewątpliwie dobór właściwych klasyfi-

kacji, tj. najlepiej oddających specyfikę cyrkulacji nad danym obszarem i jej przydatności w rozpatrywaniu zjawisk ekstremalnych. Badania związane właśnie z oceną możliwości zastosowania poszczególnych typologii do prognozowania ekstremalnych zjawisk meteorologicznych są prowadzone na szeroką skalę w wielu krajach europejskich. Ich wyniki wskazują m.in. na konieczność uwzględnienia w sposób kompleksowy kilku niezależnych, opracowanych dla danego obszaru typologii [Ustrnul i in. 2010].

## **2. Cel pracy**

Zasadniczym celem opracowania jest skonstruowanie kompleksowego wskaźnika cyrkulacji atmosfery, który pozwoliłby w sposób ilościowy określić potencjalną możliwość wystąpienia ekstremalnych zjawisk meteorologicznych na obszarze Polski. W szczególności dotyczy to ekstremów temperatury powietrza i opadów atmosferycznych. Skonstruowanie takich indeksów, przy równoczesnym posiadaniu prognozowanych odpowiednich zmiennych klimatycznych, może przyczynić się do wypracowania odpowiednich scenariuszy występowania poszczególnych pogodowych zjawisk ekstremalnych. Do realizacji zamierzonego celu niezbędne w pierwszym etapie było określenie ilościowych kryteriów meteorologicznych zjawisk ekstremalnych (poprzez wyznaczenie progów wydzielania ekstremów oraz szczegółową charakterystykę ich występowania w ciągu roku). W kolejnym etapie dokonano oceny związków pomiędzy różnymi klasyfikacjami typów cyrkulacji, a ekstremalnymi zjawiskami pogodowymi z wykorzystaniem prostych miar statystycznych. Ostatecznie zaś, co wydaje się być kluczowe z punktu widzenia niniejszej pracy, konieczne było określenie ilościowych wskaźników cyrkulacji istotnych dla występowania ww. zjawisk.

## **3. Dane i metodyka badań**

Jak już wspomniano w opracowaniu skupiono się na analizie dwóch przewodnich elementów pogody i klimatu, tj. temperaturze powietrza i opadach atmosferycznych. W pierwszym kroku określono wartości ekstremalne (tzn. występujące wyjątkowo rzadko na danym obszarze) obu tych elementów. Wszystkie charakterystyki zostały oparte na danych dobowych, pochodzących z 60-lecia 1951-2010, przy czym analizie poddano zarówno temperaturę maksymalną, jak i minimalną oraz sumę opadów. Warto zaznaczyć, że uwzględnienie tak długiego okresu pozwala na względnie obiektywne wyznaczenie wartości, które mogą być uznane za ekstremalne. Niewątpliwie im dłuższy ciąg obserwacji, tym z większym prawdopodobieństwem można przyjąć, że zanotowane wartości skrajne są absolutnymi, jakie na danym terenie mogą wystąpić. Jednocześnie okres poddany analizie obejmował możliwie najdłuższy horyzont czasowy, dla którego można było utworzyć jednorodne ciągi obserwacji meteorologicznych ze stosunkowo dużej liczby stacji. W pierwszej fazie podstawą wszelkich obliczeń i analiz były właśnie codzienne dane meteorologiczne, pochodzące z 54 stacji meteorologicznych (synoptycznych) Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej stanowiących zasadniczą sieć obser-

wacyjno-meteorologiczną Polski (obecnie stacje I i II rzędu). Ze względu jednak na pewne wątpliwości dotyczące jednorodności niektórych serii oraz dalsze założenia metodyczne ostatecznie postanowiono opierać się tylko na danych z 14 stacji najlepiej reprezentujących obszar Polski (rys. 1). Stacje te posiadają w pełni jednoodne ciągi oraz reprezentują warunki znacznej części kraju. Nie wzięto pod uwagę stacji położonych nad samym morzem oraz w górach, na których to obszarach przyczyny występowania ekstremów są bardziej złożone. Ze względu jednak na stosunkowo dobre rozpoznanie warunków pogodowych i klimatycznych Karpat oraz ich duże znaczenie w modyfikowaniu mezoskalowych warunków cyrkulacyjnych, a tym samym istotny ich wpływ na kształtowanie warunków pogodowych, zdecydowano poddać ten region niezależnej analizie. Obliczenia wykonano dla 11 stacji położonych w Karpatach i najbliższym ich sąsiedztwie (rys. 1). Wyniki uzyskane dla tego obszaru wydają się w istotny sposób uzupełniać zagadnienie.



Rys. 1. Lokalizacja stacji meteorologicznych uwzględnionych w opracowaniu

Przy rozpatrywaniu wartości ekstremalnych jednym z najważniejszych problemów jest sama metoda ich wydzielenia. Jednoznaczne określenie kryteriów i definicji zjawisk ekstremalnych jest dyskutowane w licznych opracowaniach [IPCC 2001, Horton i in. 2001, Frich i in. 2002]. W wielu z nich sugerowane są, w miarę ściśle, wartości graniczne tych zjawisk [Folland i in. 1999, Nicholls, Mur-



ray 1999]. Istnieje jednak wiele innych ilościowych kryteriów wyróżniania zjawisk ekstremalnych. Najczęściej zdarzenia te mogą być wyróżniane na podstawie: maksimum i minimum, miar dyspersji, częstości występowania. Dyskusja na temat pojęcia ekstremów i ich kryteriów toczyła się i nadal jest przedmiotem wielu doniesień zarówno na świecie [np. Katz, Brown 1992, Klein Tank i in. 2002, Stephenson 2002, 2008, Klein Tank, Können 2003, Brönnimann i in. 2008, Coelho i in. 2008], jak i w Polsce [Warakomski 1989-1990, Starkel 1999, Wibig 2000-2001, Miętus 2005, Niedźwiedz i in. 2005, Trepieńska 2000, 2005, Przybylak i in. 2006].

W świetle obszernej światowej i krajowej literatury tematu można jednoznacznie stwierdzić, że nie ma uniwersalnych metod, w tym zwłaszcza kryteriów wydzielenia ekstremów ani w skali globalnej, ani w odniesieniu do mniejszych obszarów. Dlatego też wydaje się, że ekstremalne zjawisko pogodowe lepiej definiować zgodnie z zaleceniami IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change – Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu*) [IPCC 2001], który zjawisko ekstremalne określił jako: „zjawisko, które jest rzadkie z punktu widzenia rozkładu statystycznego w danym miejscu. Pojęcie »rzadki« jest zmienne, ale takie zjawisko pogodowe powinno występować z częstością mniejszą lub równą 10% (lub 90%), to jest 10 lub 90 percentyla”.

W niniejszym opracowaniu zastosowano ostatecznie, sugerowane przez IPCC, kryterium probabilistyczne wydzielenia ekstremów, przyjmując próg 10 i 90 percentyla. Za ekstremalne uznano zdarzenie, gdy wartość zmiennej nie przekracza 10 lub jest większa niż wartość 90 percentyla ciągu danych. Odpowiada to wystąpieniu danego ekstremum średnio raz na 10 przypadków. Analizę ekstremów opadowych przeprowadzono wyłącznie dla przypadków, gdy dobową sumą opadów nie była niższa niż 0,1 mm.

Wartości ekstremalne temperatury maksymalnej (>90 percentyla), minimalnej (<10 percentyla) oraz sumy dobowej opadów (>90 percentyla) wyznaczono dla wszystkich wybranych stacji reprezentujących Polskę oraz Karpaty, odrębnie dla każdego miesiąca. Możliwe to było dzięki wystarczająco długiemu, 60-letniemu ciągowi danych. Dodatkowo, w celu syntetycznej oceny występowania ekstremów na obu rozpatrywanych obszarach, wyznaczono średnie obszarowe wszystkich trzech rozpatrywanych zmiennych. Pomimo, iż średnia obszarowa jest wartością w jakimś stopniu wirtualną (duże uogólnienie) to w przypadku występowania sytuacji ekstremalnych – zwłaszcza termicznych i opadowych – pozwala na pewne syntetyczne spojrzenie na zagadnienie. W tym miejscu należy bowiem stwierdzić, że zgodnie z celem zadania rozpatrywanie wartości ekstremalnych nie dotyczy punktowych charakterystyk, ale wymiaru mezoskalowego ekstremów pogodowych. Rozpatrywany jest więc wpływ cyrkulacji nie na incydentalne, bardzo lokalne zdarzenia ekstremalne, ale zjawiska, które mają większy wymiar przestrzenny. Innymi słowy zjawiska, które mogą się zdarzyć na większym obszarze i które w znacznym stopniu uwarunkowane są cyrkulacyjnie i nie tylko czynnikami lokalnymi (np. lokalne minima temperatury w głębokich dolinach lub kotlinach śródgórskich).

Wyróżnione w powyższy sposób zdarzenia ekstremalne poddane zostały ocenie częstości oraz prawdopodobieństwa ich występowania w typach cyrkulacji według 5 klasyfikacji: Grosswetterlagen (GWL), Lityńskiego (LIT), Osuchowskiej – Klein (OSK), Niedźwiedzia (TN) i Ustrnula (ZU). Wszystkie uwzględnione kalendarze typów cyrkulacji były wielokrotnie w literaturze polskiej wykorzystywane i są na ogół bardzo dobrze znane [Ustrnul 2000-2001]. Dlatego też pominięto tu ogólną ich charakterystykę, która jest szczegółowo przedstawiona w publikacjach poświęconych klasyfikacjom: Lityńskiego [Lityński 1969, Pawłowska i in. 2000, Pianko-Kluczyńska 2007], Osuchowskiej-Klein [1975, 1978, 1992], Grosswetterlagen [Hess, Brezowsky 1952, Gerstengarbe, Werner 1993], Niedźwiedzia [1981, 2009] oraz Ustrnula [1997]. Należy podkreślić, że wszystkie uwzględnione klasyfikacje opierają się na różnych założeniach metodycznych oraz wykorzystują nieco odmienne materiały źródłowe, aczkolwiek we wszystkich przypadkach dotyczą tzw. dolnej sytuacji barycznej, czyli poziomu morza.

Zgodnie z głównym celem zadania w ostatnim etapie pracy pojęto próbę skonstruowania syntetycznego wskaźnika cyrkulacji, który informowałby o potencjalnym prawdopodobieństwie wystąpienia określonego zjawiska ekstremalnego. Wskaźnik ten został oparty na wartościach prawdopodobieństwa warunkowego wystąpienia ekstremum w danym typie cyrkulacji, określonym według uwzględnionych klasyfikacji. Ze względu na zmienność roczną zarówno wartości poszczególnych elementów (temperatura maksymalna, temperatura minimalna, opad atmosferyczny), jak i częstości typów cyrkulacji obliczenia prawdopodobieństwa zostały wykonane dla wszystkich 12-miesięcy, odrębnie dla każdej klasyfikacji i dla każdego elementu (temperatura maksymalna i minimalna, suma opadu).

Proponowany wskaźnik syntetyczny cyrkulacji atmosferycznej danego zjawiska ekstremalnego jest średnią arytmetyczną sumą prawdopodobieństwa warunkowego, obliczonego dla poszczególnych typów i klasyfikacji według wzoru:

$$WSE_{(x)} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n}$$

gdzie:

WSE – wskaźnik syntetyczny dla dnia (x)

n – liczba kalendarzy wziętych pod uwagę

E – prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia wartości ekstremalnych dla typów cyrkulacji w kolejnych kalendarzach

Ze względu na różne oddziaływanie typów cyrkulacji na uwzględnione elementy meteorologiczne wskaźnik cyrkulacji zjawiska ekstremalnego musi być wyznaczony niezależnie dla każdego z nich. Oddzielnie więc obliczony on został dla temperatury maksymalnej, minimalnej oraz sumy opadów atmosferycznych z wykorzystaniem wspomnianych wcześniej 5 klasyfikacji (GWL, LIT, OSK, TN, ZU). Ograniczona dostępność tych podziałów do 2010 r. włącznie spowodowała, że postanowiono, iż prezentowana wersja jest oparta tylko na 3 kalendarzach: Grosswetterlagen (GWL), Lityńskiego (LIT) oraz Niedźwiedzia (TN). Analiza wyników z krótszego okresu, dla którego dysponowano wszystkimi 5 kalendarzami

wykazała, że uwzględnienie wyłącznie wybranych trzech kalendarzy nie wpływa negatywnie na końcowe wyniki.

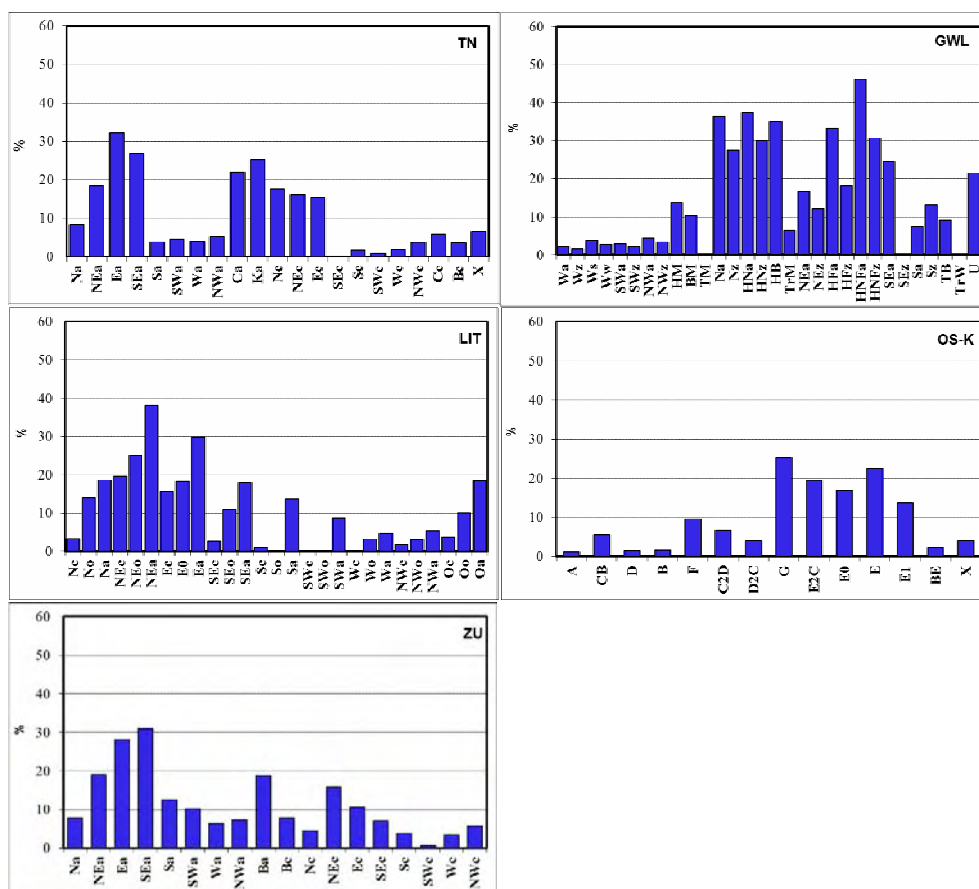
Ostatecznym efektem prac było skonstruowanie katalogu wskaźników cyrkulacji sprzyjających występowaniu ekstremów ( $T_{max}$ ,  $T_{min}$ , sumy opadów), który został opracowany dla całego badanego okresu. Aby zobrazować wielkość prawdopodobieństwa wystąpienia danego ekstremum wartość wskaźnika oznaczono literowo, a jego komórkę dodatkowo kolorem. Progi wydzielone zostały metodą percentyli. Przedział A odpowiada najwyższym wartościom wskaźnika prawdopodobieństwa wystąpienia ekstremum, przedział E wartościom najniższym (tab. 2).

#### 4. Wyniki badań

Zgodnie z przedstawioną metodyką za najważniejsze w pierwszej fazie analiz uznano wyznaczenie prawdopodobieństwa warunkowego wystąpienia każdego z trzech rodzajów zjawisk ekstremalnych (temperatura maksymalna, minimalna, suma opadów atmosferycznych) w typach cyrkulacji, w każdej z uwzględnionych klasyfikacji. Obliczenia potwierdziły duże różnice prawdopodobieństw występowania ekstremów w poszczególnych typach i klasyfikacjach, w pełni potwierdziły zależności, które wcześniej opisano w literaturze [Huth i in. 2008, Ustrnul i in. 2010].

Na rys. 2 przedstawiono zróżnicowanie rozpatrywanych prawdopodobieństw dla temperatury minimalnej w styczniu na obszarze Karpat. Widać, że prawdopodobieństwa w niektórych typach i prawie wszystkich klasyfikacjach przekraczają 30% co oznacza, że raz na trzy przypadki danego typu można spodziewać się wystąpienia ekstremum. Dotyczy to typów cyrkulacji z adwekcją powietrza z sektora wschodniego. W przypadku innych miesięcy i oczywiście pozostałych elementów rozpatrywane prawdopodobieństwa przyjmują inne wartości. Tak na przykład najwyższe prawdopodobieństwo wystąpienia ekstremalnych opadów atmosferycznych w lipcu w Karpatach może sięgać 50% (rys. 3). Zależność taka ma miejsce w przypadku cyklonalnego spływu powietrza z sektora północnego. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, że przy niektórych typach cyrkulacji nie istnieje możliwość wystąpienia takiego zjawiska.

Z uzyskanych zależności pomiędzy cyrkulacją atmosferyczną, a występowaniem ekstremalnych wartości temperatury powietrza ( $T_{max}$ ,  $T_{min}$ ) i sum opadów atmosferycznych wynika – co znalazło również miejsce w literaturze [Ustrnul i in. 2010] – że informacja niesiona przez różne klasyfikacje nie jest jednakowa zwłaszcza, gdy analizie poddawane są ekstremalne zjawiska meteorologiczne. Wydawać by się mogło, że klasyfikacje o mniejszej liczbie typów cyrkulacji lepiej oddawać będą istniejące współzależności. Związki pomiędzy wartościami analizowanych elementów ( $T_{max}$ ,  $T_{min}$ , sumy opadów), a wartościami wskaźników cząstkowych (E) dla poszczególnych klasyfikacji, potwierdzone istotnymi statystycznie wartościami współczynnika korelacji Pearsona (tab. 1), potwierdzają to założenie, jednakże warto zwrócić uwagę na silne zróżnicowanie sezonowe oraz pomiędzy samymi zmiennymi.

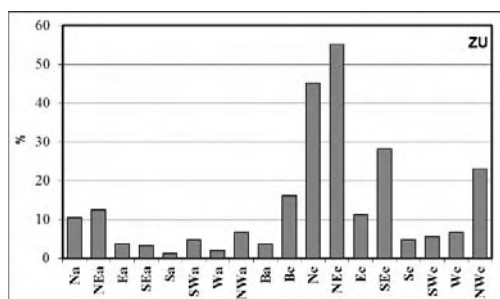


Rys. 2. Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia ekstremalnych wartości temperatury minimalnej w styczniu w Karpatach w poszczególnych typach cyrkulacji i klasyfikacjach

Współczynnik korelacji osiąga zarówno dla obszaru Polski, jak i Karpat najwyższe wartości w miesiącach zimowych ( $r > 0,5$ ), przy czym wyniki są najlepsze dla temperatury maksymalnej, najsłabsze zaś związki zanotowano pomiędzy wskaźnikami cyrkulacji cyrkulacją, a dobowymi sumami opadów (tab. 1). Trudno również wskazać jednoznacznie, która z wybranych trzech klasyfikacji (GWL, LIT, TN) sprawdza się lepiej na obszarze Polski. W przypadku Karpat sytuacja jest bardziej klarowna i w większości przypadków to lokalna klasyfikacja TN daje najlepsze wyniki w prognozowaniu ekstremów termicznych i opadowych. Odpowiedzią na brak jednoznacznej informacji na temat wpływu poszczególnych sytuacji synoptycznych na kształtowanie ekstremów termicznych i opadowych w Polsce wydaje się być kompleksowe ujęcie zagadnienia w postaci opisanego wcześniej syntetycznego wskaźnika cyrkulacji atmosferycznej.

Zgodnie z proponowaną metodyką obliczone prawdopodobieństwa warunkowe występowania wartości ekstremalnych temperatury powietrza i sum opadów były podstawą konstrukcji syntetycznego wskaźnika cyrkulacji atmosferycznej

danego zjawiska ekstremalnego. W rezultacie dla każdego dnia badanego okresu otrzymano 3 wskaźniki dla każdego z rozpatrywanych elementów. Zostały one następnie zapisane w skonstruowanym katalogu wskaźników cyrkulacji informującym o potencjalnej możliwości wystąpienia zjawiska ekstremalnego, obejmującego 60-lecie 1951-2010. Przykładowy fragment katalogu prezentuje tab. 2.



Rys. 3. Prawdopodobieństwo warunkowe wystąpienia ekstremalnych opadów atmosferycznych w lipcu w Karpatach w poszczególnych typach cyrkulacji i klasyfikacjach

Wartości współczynnika korelacji, informujące o sile związku pomiędzy wartością syntetycznego wskaźnika cyrkulacji (opartego na kilku klasyfikacjach), a wartością średniej obszarowej temperatury maksymalnej, minimalnej oraz sumy opadu, są we wszystkich przypadkach i dla obu rozpatrywanych obszarów (Karpaty i Polska) wyższe (niekiedy znacząco) od współczynników korelacji dla wskaźników cząstkowych wykorzystujących pojedyncze typologie. Oznacza to, że uwzględnienie kilku klasyfikacji do konstrukcji syntetycznego wskaźnika cyrkulacji jest w pełni zasadne.

Analizując otrzymane wyniki dla całego rozpatrywanego okresu, należy stwierdzić, że w dniach, kiedy wystąpiły ekstrema termiczne lub opadowe wartość

syntetycznego wskaźnika cyrkulacji wskazującego na prawdopodobieństwo wystąpienia danego zjawiska ekstremalnego była również znacząca. Oczywiście zdarzyły się sytuacje, kiedy pomimo wysokiego wskaźnika cyrkulacji ekstremalne wartości nie wystąpiły, jak również dni, gdzie przy niższych wartościach WSE pojawiły się ekstremalne temperatury, czy też ekstremalnie wysokie sumy opadów atmosferycznych. W tym miejscu należy jednak zaznaczyć, że wyznaczony wskaźnik wskazuje tylko na potencjalną możliwość wystąpienia zjawiska ekstremalnego, a nie na faktyczne jego wystąpienie. Ponadto, jak wcześniej stwierdzono, charakter niektórych zjawisk jest niekiedy przestrzennie bardzo ograniczony i nawet sięgnięcie do danych in extenso ze stacji meteorologicznych mogłoby nie potwierdzić wystąpienia badanych epizodów. Tym bardziej jest to trudne w przypadku rozpatrywania średnich obszarowych.

Tab. 1. Zależności (współczynnik korelacji Pearsona) pomiędzy wartościami wybranych parametrów meteorologicznych a wartościami analizowanych wskaźników cyrkulacji

KARPATY	MIESIĄCE											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T MAX - WSK SYNT	0,67	0,65	0,56	0,58	0,54	0,60	0,61	0,56	0,59	0,55	0,58	0,61
T MAX - WSK TN	0,56	0,50	0,45	0,49	0,45	0,52	0,52	0,48	0,52	0,47	0,46	0,50
T MAX - WSK GWL	0,56	0,50	0,38	0,45	0,41	0,41	0,42	0,40	0,43	0,44	0,49	0,46
T MAX - WSK LIT	0,57	0,53	0,38	0,34	0,36	0,37	0,39	0,33	0,42	0,38	0,45	0,49
T MIN - WSK SYNT	-0,62	-0,61	-0,52	-0,43	-0,50	-0,37	-0,45	-0,41	-0,41	-0,44	-0,46	-0,54
T MIN - WSK TN	-0,52	-0,52	-0,44	-0,37	-0,42	-0,28	-0,38	-0,35	-0,35	-0,34	-0,36	-0,46
T MIN - WSK GWL	-0,50	-0,49	-0,42	-0,34	-0,33	-0,31	-0,33	-0,26	-0,31	-0,38	-0,37	-0,42
T MIN - WSK LIT	-0,50	-0,47	-0,41	-0,29	-0,31	-0,17	-0,23	-0,16	-0,30	-0,34	-0,35	-0,39
OPAD - WSK SYNT	0,44	0,49	0,51	0,47	0,46	0,45	0,55	0,54	0,53	0,53	0,52	0,43
OPAD - WSK TN	0,31	0,43	0,45	0,44	0,43	0,43	0,52	0,52	0,47	0,46	0,49	0,45
OPAD - WSK GWL	0,32	0,32	0,34	0,25	0,25	0,20	0,27	0,21	0,30	0,34	0,33	0,34
OPAD - WSK LIT	0,41	0,36	0,41	0,30	0,29	0,28	0,35	0,32	0,35	0,33	0,32	0,11

POLSKA	MIESIĄCE											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T MAX - WSK SYNT	0,69	0,67	0,53	0,59	0,55	0,62	0,66	0,59	0,59	0,52	0,56	0,63
T MAX - WSK TN	0,58	0,51	0,39	0,48	0,47	0,52	0,55	0,49	0,51	0,41	0,44	0,52
T MAX - WSK GWL	0,58	0,54	0,39	0,48	0,41	0,44	0,46	0,41	0,45	0,43	0,47	0,49
T MAX - WSK LIT	0,58	0,56	0,42	0,37	0,33	0,37	0,46	0,39	0,38	0,36	0,43	0,51
T MIN - WSK SYNT	-0,68	-0,63	-0,53	-0,42	-0,48	-0,40	-0,47	-0,40	-0,43	-0,44	-0,49	-0,53
T MIN - WSK TN	-0,56	-0,52	-0,44	-0,36	-0,38	-0,29	-0,35	-0,33	-0,36	-0,35	-0,41	-0,07
T MIN - WSK GWL	-0,55	-0,50	-0,44	-0,32	-0,34	-0,31	-0,37	-0,29	-0,33	-0,37	-0,38	-0,48
T MIN - WSK LIT	-0,55	-0,51	-0,45	-0,31	-0,32	-0,22	-0,29	-0,21	-0,34	-0,35	-0,38	-0,43
OPAD - WSK SYNT	0,55	0,55	0,58	0,54	0,55	0,50	0,57	0,56	0,57	0,53	0,52	0,55
OPAD - WSK TN	0,45	0,46	0,46	0,45	0,49	0,45	0,48	0,50	0,49	0,44	0,47	0,43
OPAD - WSK GWL	0,42	0,43	0,40	0,36	0,33	0,27	0,33	0,34	0,37	0,39	0,36	0,40
OPAD - WSK LIT	0,48	0,46	0,50	0,42	0,44	0,42	0,46	0,44	0,46	0,45	0,40	0,50

Tab. 2. Przykładowa zawartość katalogu syntetycznych wskaźników cyrkulacji sprzyjających wystąpieniu zjawisk ekstremalnych (dane dla stycznia 1951)

ROK	MC	DZ	KARPATY						POLSKA					
			Średnia obszarowa			Wskaźnik cyrkulacji			Średnia obszarowa			Wskaźnik cyrkulacji		
			Tmin	Tmax	Opad	Tmin	Tmax	Opad	Tmin	Tmax	Opad	Tmin	Tmax	Opad
1951	1	1	-8,6	-1,7	0,0	E	D	D	-9,8	-2,5	0,2	E	D	D
1951	1	2	-9,1	1,8	0,7	F	D	C	-5,8	1,0	0,0	F	D	D
1951	1	3	-1,2	5,0	0,5	F	D	D	-1,6	2,9	1,3	F	D	D
1951	1	4	-1,7	3,8	2,0	F	D	D	-1,8	2,6	0,2	F	D	D
1951	1	5	-3,7	1,7	0,3	F	D	D	-3,0	1,5	1,8	F	D	D
1951	1	6	0,4	4,5	0,6	E	C	C	0,5	4,5	1,7	E	C	B
1951	1	7	0,4	5,5	0,2	E	C	C	0,4	5,1	2,6	E	C	B
1951	1	8	-0,1	3,7	0,7	E	C	C	0,2	4,3	1,3	E	C	B
1951	1	9	-1,0	5,4	0,0	F	C	C	-0,6	4,5	1,9	F	C	D
1951	1	10	-2,7	3,2	0,0	F	C	F	-1,2	3,5	0,2	F	D	D
1951	1	11	-4,4	5,9	0,2	F	A	D	-3,4	4,8	1,4	E	B	C
1951	1	12	0,0	6,5	0,0	E	A	D	1,6	7,8	0,1	E	B	C
1951	1	13	0,7	8,8	3,0	E	C	D	-0,3	5,9	1,1	E	D	C
1951	1	14	-1,3	4,4	1,2	F	D	D	-0,3	4,3	0,4	F	D	D
1951	1	15	-3,6	3,8	1,5	F	C	C	-0,7	3,8	3,4	F	C	C
1951	1	16	-1,6	2,8	2,5	D	E	C	0,1	2,6	0,6	D	E	D
1951	1	17	-6,0	-0,7	1,8	E	D	D	-2,2	1,7	2,3	E	D	D
1951	1	18	-5,9	0,5	2,1	E	C	C	-1,8	1,9	3,5	E	C	B
1951	1	19	-1,9	1,1	5,3	F	D	A	0,4	2,8	5,1	E	D	A
1951	1	20	-2,1	0,1	6,4	F	F	B	0,1	2,4	3,2	F	D	C
1951	1	21	-3,9	-0,9	5,9	D	F	C	-3,7	1,9	1,9	F	F	D
1951	1	22	-11,2	-3,2	0,6	D	F	D	-8,7	-1,8	0,5	F	F	F
1951	1	23	-10,6	-2,7	0,5	F	D	D	-8,7	-2,7	0,2	E	D	D
1951	1	24	-11,2	-3,7	0,0	D	F	F	-12,2	-5,0	0,0	C	F	F
1951	1	25	-13,1	-5,8	1,5	D	F	F	-14,4	-8,4	0,2	C	F	F
1951	1	26	-7,4	1,2	0,7	F	F	F	-13,2	-4,7	0,2	F	F	F
1951	1	27	-6,7	-0,7	1,2	F	F	F	-8,0	-3,0	0,6	F	F	F
1951	1	28	-7,4	2,0	0,1	D	F	F	-8,4	-1,3	0,6	C	F	F
1951	1	29	-8,0	-0,2	0,0	C	E	E	-7,3	-1,0	0,0	C	E	E
1951	1	30	-10,0	-4,7	0,0	C	F	F	-10,6	-4,6	0,0	C	F	F
1951	1	31	-9,0	-2,3	0,0	C	F	F	-10,6	-4,3	0,1	D	F	F

A	zagrożenie bardzo duże
B	zagrożenie duże
C	zagrożenie umiarkowane
D	zagrożenie słabe
E	brak zagrożenia

## 5. Podsumowanie i wnioski

Ekstremalne zjawiska meteorologiczne są fascynującym i jednocześnie bardzo złożonym zagadnieniem. Dotyczy to również ekstremalnych zjawisk termicznych i opadowych, które były rozpatrywane w niniejszym opracowaniu. Oprócz różnych problemów związanych z samym podejściem metodycznym do ekstremów i kryteriów ich wyróżniania, oceną zróżnicowania czasowego i przestrzennego, bezsprzecznie za najważniejsze należy uznać problem przyczyn ich występowania. Jedną z możliwości prób rozpoznania tego zagadnienia jest zwrócenie uwagi na cyrkulacyjne uwarunkowania omawianych zjawisk. Jak powszechnie wiadomo w strefie umiarkowanej cyrkulacja atmosferyczna jest głównym czynnikiem procesów pogodowych i klimatycznych, przez co ma zapewne wpływ na powstawanie warunków sprzyjających zjawiskom ekstremalnym. Dlatego też uwzględnienie typów cyrkulacji w pewien sposób kwantyfikujących warunki cyrkulacyjne było koniecznością.

Wyniki osiągnięte w niniejszej pracy w dużej mierze potwierdziły znaczenie cyrkulacji atmosferycznej w kształtowaniu ekstremów termicznych i opadowych zarówno w Polsce, jak i w obszarze poddanym szczególnej ocenie, tj. w Karpatach. Opracowany syntetyczny wskaźnik cyrkulacji dla obu rozpatrywanych obszarów oraz dla wszystkich 3 elementów (temperatury maksymalnej, minimalnej oraz sum opadów) w bardzo wielu przypadkach okazał się zgodny z wielkością rzeczywistych wartości temperatury, czy opadów. Zależność ta została potwierdzona stosunkowo wysokimi współczynnikami korelacji pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi, które w wielu miesiącach przekraczały 0,5, a nawet 0,7. W wielu dniach wysokim wartościom wskaźników towarzyszyły zjawiska ekstremalne. Miały miejsce jednak i takie sytuacje, że pomimo istnienia sprzyjających występowaniu zjawisk ekstremalnych warunkom cyrkulacyjnym zdarzenia takie w ogóle nie wystąpiły lub też nie były zarejestrowane przez stacje, które były uwzględnione w analizie. Może to być spowodowane ich bardzo lokalnym charakterem. Na koniec należy podkreślić, że ewentualny brak zgodności wielkości wyznaczonego wskaźnika cyrkulacji z wystąpieniem wartości ekstremalnych należy traktować jako swoiste potwierdzenie faktu, że zjawiska ekstremalne są bardzo trudne i niewdzięczne w profesjonalnym prognozowaniu meteorologicznym. Pomimo współczesnych bardzo zaawansowanych technik i narzędzi przewidywanie zjawisk ekstremalnych – zarówno ich intensywności, jak i czasu oraz miejsca wystąpienia – jest w większości sytuacji niemożliwe. Dlatego też wykorzystanie prostego i syntetycznego wskaźnika cyrkulacyjnego opartego na kalendarzach typów cyrkulacji wydaje się uzasadnione. Być może wskaźnik ten można jeszcze udoskonalić uwzględniając w obliczeniach większą liczbę stacji lub też wprowadzając dodatkowe zmienne o cyrkulacji atmosferycznej. Możliwe też byłoby włączenie do analizy parametrów powierzchni czynnej, co jednak wymaga odrębnego podejścia z modelowaniem przestrzennym włącznie.

Wyniki opracowania pozwalają na ich wdrożenie do scenariuszy klimatycznych. Podstawowym jednak warunkiem jest przedstawienie scenariuszy cyrkulacyjnych, w szczególności typów cyrkulacji lub przynajmniej podanie informacji o przewidywanych zmianach w polu ciśnienia atmosferycznego.

#### **Literatura**

- Barry R.G., Carleton A.M., 2001, *Synoptic and dynamic climatology*, Routledge, London-New York
- Barry R.G., Perry A.H., 1973, *Synoptic climatology, methods and applications*, Methuen & Co. Ltd, London
- Brönnimann i.in. (red.), 2008, *Climate variability and extremes during the past 100 years (Advances in Global Change Research 33)*, Springer Science + Business Media B.V.
- Coelho C.A.S., i.in., 2008, *Methods for exploring spatial and temporal variability of extreme events in climate data*, *Journal of Climate*, 21, 2072–2092
- Djurić D., 1994, *Weather Analysis*, Prentice Hall, Englewood Cliffs
- Folland C.K., i.in., 1999, *Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes*, Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997 - Breakout Group C: Temperature indices for climate extremes, *Climatic Change*, 42, 31-43
- Frich P., i.in., 2002, *Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century*, *Climate Research*, 19, 3, 193-212



- Gerstengarbe F. W., Werner P.C., 1993, Katalog der Grosswetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky 1881-1992, Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 113
- Hess P., Brezowsky H., 1952, Katalog der Grosswetterlagen Europas, Ber. Dt. Wetterdienst in US – Zone, 33
- Huth R., i.in., 2008, Classifications of Atmospheric Circulation Patterns – Recent advances and applications, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1146, 105-152
- IPCC, 2001, Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A., red.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, 1-881
- Kaszewski B.M., 1992, Typy cyrkulacji a typy pogody w Polsce, Wyd. UMCS, Lublin
- Katz R.W., Brown B.G., 1992, Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages, *Climatic Change*, 21, 3, 289-302
- Klein Tank A.M.G., Können G.P., 2003, Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe 1946-99, *Journal of Climate* 16, 3665-3680
- Klein Tank A.M.G., i.in., 2002, Daily dataset of 20th century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment, *Int. J. Climatol.*, 22, 1441-1453
- Lityński J., 1969, Liczbowa klasyfikacja typów cyrkulacji i typów pogody dla Polski, *Prace PIHM*, 97, 3-14
- Lorenc H., 1998, Przyczyny, wielkość i skutki katastrofalnych opadów w lipcu 1997 w Polsce, *Przełęcz Geofizyczny*, 43 (3-4), 191-206
- Marsz A.A., 2005a, Czy cyrkulacja atmosferyczna jest zdeterminowana i przewidywalna?, w: *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne* (red. E. Bogdanowicz, U. Kossowska – Cezak, J. Szkutnicki), *PTGeofiz.*, IMGW, Warszawa, 32-52
- Marsz A.A., 2005b, O oceanicznych uwarunkowaniach cyrkulacyjnego i termicznego charakteru zimy w Polsce i środkowej Europie, *AM*, Gdynia
- Miętus M., 2005, Ekstremalne zjawiska klimatyczne z perspektywy IPCC, w: *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne* (red. E. Bogdanowicz, U. Kossowska – Cezak, J. Szkutnicki), *PTGeofiz.*, IMGW, Warszawa, 19-31
- Nicholls N., Murray W., 1999, Workshop on indices and indicators for climate extremes: Ashville, NC, USA, 3-6 June 1997 – Breakout Group B: Precipitation, *Climatic Change*, 42, 23-29
- Niedźwiedz T., 1981, Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły, *Rozprawy Habilitacyjne UJ*, 58
- Niedźwiedz T., 2000, Dynamics to selected extreme climatic events in Poland, *Geogr. Polonica*, 73 (2), 25-39
- Niedźwiedz T., 2009, Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej – zbiór komputerowy, Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec.
- Niedźwiedz T., 2011, Dynamics to selected extreme climatic events in Poland, *Geographica Polonica*, 73 (2), 25-39
- Niedźwiedz T., i.in., 2005, Meteorological, hydrological and geomorphological extreme events in Central Europe – an attempt of classification, The 7th European Conference on Applications of Meteorology, and the 5th Annual Meeting of the European Meteorological Society (7ECAM/5EMS), Utrecht, Netherland, 12-16 September 2005 (CD-ROM)
- Osuchowska – Klein B., 1975, Prognostyczne aspekty cyrkulacji atmosferycznej nad Polską, *Prace IMGW*, 7, 4-51
- Osuchowska-Klein B., 1978, Katalog typów cyrkulacji atmosferycznej, IMGW, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa
- Osuchowska-Klein B., 1992, Związek między temperaturą a cyrkulacją atmosferyczną, *Materiały Badawcze - Seria: Meteorologia*, 17
- Pawłowska J., Jankowska A., Pindor T., 2000, Kalendarz typów cyrkulacji atmosferycznej według J. Lityńskiego (1991-1999), IMGW, Warszawa
- Pianko-Kluczyńska K., 2007, Nowy kalendarz typów cyrkulacji atmosfery według J. Lityńskiego, *Wiadomości Meteorologii Hydrologii Gospodarki Wodnej*, IMGW, 1 (4), 65-85

- Przybylak R. i.in., 2006, Indeks ekstremalności klimatu Europy Środkowej w okresie 1951-2000, w: Idee i praktyczny uniwersalizm geografii, geografia fizyczna (red. Gierszewski P., Karasiewicz M.T.), Dokumentacja Geograficzna, 32, 240-248
- Starkel L., 1999, Ulewy, powodzie i inne zdarzenia ekstremalne, Prace Komisji Zagrożeń Cywilizacyjnych PAU, 2, 81-96
- Stephenson D.B., 2002, Estimation and attribution of changes in extreme weather and climate events, IPCC workshop on extreme weather and climate events, June 2002, Beijing
- Stephenson D.B., 2008, Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events (Chapter 1), In: Climate Extremes and Society (Murnane R., Diaz H., eds.), Cambridge University Press
- Styczyńska A., Marsz A.A., 2005, Cyrkulacyjne uwarunkowania ekstremalnego zlodzenia Bałtyku, w: Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne (red. E. Bogdanowicz, U. Kossowska – Cezak, J. Szkutnicki), PTGeofiz., IMGW, Warszawa, 429-446
- Sztobryn M., Kowalska B., Letkiewicz B., 2005, Maksymalne wysokie poziomy morza na Bałtyku w zachodniej części polskiego Wybrzeża, w: Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne (red. E. Bogdanowicz, U. Kossowska – Cezak, J. Szkutnicki), PTGeofiz., IMGW, Warszawa, 447-455
- Trepińska J., 2000, Anomalie, cykle, trendy termiczne w klimatologii na przykładzie fluktuacji termicznych w Europie Środkowej w XIX i XX wieku, Acta Univ. Nicolai Copernici, 106, 307-326
- Trepińska J.B., 2005, Termiczne skrajności w „umiarkowanym” klimacie Polski, w: Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne (red. E. Bogdanowicz, U. Kossowska – Cezak, J. Szkutnicki), PTGeofiz., IMGW, Warszawa, 55-63
- Ustrnul Z., 1997, Zmienność cyrkulacji atmosfery na półkuli północnej w XX wieku. Materiały Badawcze - seria: Meteorologia, 27
- Ustrnul Z., 2000-2001, Kalendarze typów cyrkulacji – próba oceny, Annales UMCS, Sec. B, 55/56, 347-356
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2000, Cyrkulacyjne uwarunkowania opadów atmosferycznych w Polsce, Wiadomości IMGW, 23 (2), 3-22
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2002, Ekstremalne wartości temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku na tle warunków cyrkulacyjnych, Wiadomości IMGW, 25 (4), 3-22
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2009, Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce, IMGW, Warszawa
- Ustrnul Z., Czekierda D., Wypych A., 2010, Extreme values of air temperature in Poland according to different atmospheric circulation classifications, Physics and Chemistry of the Earth, 35, 429-436
- Warakomski W., 1989-1990, W poszukiwaniu koncepcji anomalii klimatycznych, Annales UMCS, Sec. B, 44/45, 211- 224
- Wibig J., 2000-2001, The methods of analysis of extreme temperature events, Annales UMCS Sec. B, 55/56, 369-375
- Wibig J., 2001, Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na rozkład przestrzenny anomalii temperatury i opadów w Europie, Wyd. Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź
- Wypych A., 2009, Zmienność wilgotności powietrza jako wskaźnik współczesnych zmian klimatu w Krakowie, Wiadomości Meteorologii Hydrologii Gospodarki Wodnej, IMGW, 3 (1), 43-57
- Yarnal, B., 1993, Synoptic climatology in environmental analysis – A primer, Belhaven Press, London and Florida
- Zwieriew A. S., 1965, Meteorologia synoptyczna, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa
- Żmudzka E., 2007, Zmienność zachmurzenia nad Polską i jej uwarunkowania cyrkulacyjne (1951-2000), Wyd. UW, Warszawa



## **Zakończenie**

Podstawowe sposoby łagodzenia skutków klęsk żywiołowych:

### **1. przedsięwzięcia długofalowe – podejmowane profilaktycznie:**

- poznanie rejonów najczęściej nawiedzanych przez dane zjawisko lub zespół zjawisk ekstremalnych o intensywności powodującej zagrożenie, i opracowanie szczegółowych map ryzyka ich występowania, by przedsięwziąć odpowiednie działania zabezpieczające – w budownictwie, obszarach upraw, turystyce, zdrowiu,
- poprawa infrastruktury ochronnej, w tym edukacja społeczeństwa,
- opracowanie dla społeczeństwa i gospodarki jasnych przepisów prawnych i administracyjnych i ich akceptacja oraz konsekwentne przestrzeganie,
- nowelizacja przepisów ubezpieczeniowych.

### **2. działania doraźne – podejmowane w trybie operacyjnym:**

- udoskonalenie systemów ostrzeżeń od najwyższego do najniższego szczebla administracyjnego,
- dopracowanie systemów prewencyjnych przed, podczas i po zaistnieniu groźnego zjawiska,
- angażowanie do pomocy, oprócz służb mundurowych i spontanicznej pomocy sąsiadów, wyedukowanego już społeczeństwa.

AUTORZY	AFILIACJA
<b>CEBULAK</b> Elżbieta <b>CZEKIERDA</b> Danuta <b>DOŁĘGA</b> Elżbieta <b>JATCZAK</b> Katarzyna <b>KOLKOWSKA</b> Katarzyna <b>KOWALEWSKI</b> Michał <b>LORENC</b> Halina <b>MYSZURA</b> Anna <b>OSTROWSKI</b> Janusz <b>USTRNUL</b> Zbigniew	IMGW-PIB Ośrodek Główny w Warszawie Centrum Monitoringu Klimatu Polski
<b>GŁOWACKA</b> Barbara <b>DOBROWOLSKI</b> Andrzej <b>KRUPA-MARCHLEWSKA</b> Jolanta <b>MOSKWIŃSKI</b> Tadeusz <b>ZANIEWSKA</b> Monika	IMGW-PIB Ośrodek Główny w Warszawie Ośrodek Hydrologii
<b>MACIEJEWSKI</b> Maciej	IMGW-PIB Ośrodek Główny w Warszawie Z-ca Dyrektora ds. Badawczych
<b>SASIM</b> Marianna	IMGW-PIB Ośrodek Główny w Warszawie Centrum Nadzoru Operacyjnego PSHM
<b>WALAWENDER</b> Jakub	IMGW-PIB Ośrodek Główny w Warszawie Ośrodek Teledetekcji Satelitarnej
<b>BOGDAŃSKA-WARMUZ</b> Renata <b>KONIECZNY</b> Roman <b>MADEJ</b> Paweł <b>SIUDAK</b> Małgorzata	IMGW-PIB Oddział w Krakowie Biuro Współpracy z Samorządami
<b>DRZEWIECKI</b> Piotr <b>FIEMA</b> Anna <b>KARZYŃSKI</b> Maciej <b>NODZYŃSKI</b> Tomasz	IMGW-PIB Oddział w Krakowie Dział Służby Pomiarowo-Obszerwacyjnej
<b>WALCZYKIEWICZ</b> Tomasz	IMGW-PIB Oddział w Krakowie Zakład Gospodarki Wodnej i Systemów Wodnogospodarczych
<b>GŁOWICKI</b> Bronisław <b>OTOP</b> Irena	IMGW-PIB Oddział we Wrocławiu Zakład Badań Regionalnych
<b>SZALIŃSKA</b> Wiwiana <b>TOKARCZYK</b> Tamara	IMGW-PIB Oddział we Wrocławiu Centrum Modelowania Powodziowego
<b>KOWALSKA</b> Beata <b>KRZYSZTOFIK</b> Katarzyna <b>STANISŁAWCZYK</b> Ida <b>SZTOBRYN</b> Marzenna	IMGW-PIB Oddział Morski w Gdyni Biuro Prognoz Hydrologicznych
<b>SZCZYGIEL</b> Ryszard	Instytut Badawczy Leśnictwa Z-ca Dyrektora ds. naukowo-badawczych
<b>GIL</b> Wojciech <b>ZACHARA</b> Tadeusz	Instytut Badawczy Leśnictwa Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych
<b>PIERZGALSKI</b> Edward <b>STOLAREK</b> Andrzej <b>TYSZKA</b> Jan	Instytut Badawczy Leśnictwa Zakład Ekologii Lasu
<b>KALISZEWSKI</b> Adam	Instytut Badawczy Leśnictwa Zakład Zarządzania Zasobami Leśnymi

---

AUTORZY	AFILIACJA
<b>KOZYRA</b> Jerzy	
<b>MIZAK</b> Katarzyna	
<b>NIERÓBCA</b> Anna	
<b>PUDEŁKO</b> Rafał	
<b>ŚWITAJ</b> Łukasz	
<b>KOZAK</b>	
	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach-PIB Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki