

Katarzyna Piotrowicz, Zuzanna Bielec-Bąkowska
Kacper Krzyworzeka

Groźne zjawiska meteorologiczne w Krakowie i powiecie krakowskim w świetle interwencji straży pożarnej i policji



**Groźne zjawiska meteorologiczne
w Krakowie i powiecie krakowskim
w świetle interwencji straży pożarnej i policji**

**Groźne zjawiska meteorologiczne
w Krakowie i powiecie krakowskim
w świetle interwencji straży pożarnej i policji**

Katarzyna Piotrowicz
Zuzanna Bielec-Bąkowska
Kacper Krzyworzeka



Kraków 2020

Publikacja wydana ze środków Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ

Autorzy:

Katarzyna Piotrowicz, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej

Zuzanna Bielec-Bąkowska, Uniwersytet Śląski w Katowicach, Instytut Nauk o Ziemi

Kacper Krzyworzeka, absolwent Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie

Recenzent:

prof. dr hab. Ewa Bednorz, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Adiustacja i redakcja językowa: Anna Mika

Komputerowy skład tekstu i przygotowanie do druku:

Alicja Marciniak-Nowak – Pracownia Wydawnicza IGiGP UJ

Projekt okładki: Katarzyna Piotrowicz

Zdjęcia na okładce: S.Wypych, P. Paweł, D. Piotrowicz

© Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Katarzyna Piotrowicz, Zuzanna Bielec-Bąkowska, Kacper Krzyworzeka

Kraków 2020, Wydanie I

ISBN 978-83-64089-64-0

Wydawca:

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ

ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, Polska

tel. +48 12 664 52 50, faks +48 12 664 53 85

www.geo.uj.edu.pl

Druk:

Mazowieckie Centrum Poligrafii

ul. Mikołaja Ciurlionisa 4, 05-270 Marki, Polska

tel. +48 22 487 80 80

www.c-p.com.pl

Spis treści

CZĘŚĆ I Wprowadzenie

| | |
|---|----|
| 1. Wstęp | 9 |
| 2. Dane źródłowe | 13 |
| 2.1. Dane meteorologiczne | 13 |
| 2.2. Dane z Państwowej Straży Pożarnej. | 18 |
| 2.2.1. Charakterystyka organizacyjna Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie | 19 |
| 2.2.2. Liczba i rodzaje interwencji na obszarze działania Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie | 20 |
| 2.3. Dane z Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji Drogowych Komendy Głównej Policji | 23 |
| 2.3.1. Liczba wypadków i kolizji drogowych na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego. | 23 |
| 3. Środowisko geograficzne Krakowa i powiatu krakowskiego | 29 |
| 3.1. Położenie geograficzne | 29 |
| 3.2. Ludność | 29 |
| 3.3. Ukształtowanie terenu | 32 |
| 3.4. Warunki klimatyczne. | 34 |
| 3.5. Warunki hydrologiczne | 39 |
| 3.6. Szata roślinna | 41 |
| 3.7. Pokrycie terenu | 43 |
| 3.8. Szlaki komunikacyjne (drogi, linie kolejowe, lotniska) | 46 |

CZĘŚĆ II Groźne zjawiska meteorologiczne

| | |
|--|----|
| 4. Wiatr | 53 |
| 4.1. Wiatr w latach 1991–2018 | 58 |
| 4.2. Wyjątkowo silne porywy wiatru i ich skutki w latach 2000–2018 | 62 |
| 4.3. Wybrane przypadki wystąpienia silnego wiatru | 63 |
| 18–20 listopada 2004 r. | 63 |
| 18–20 stycznia 2007 r. | 68 |
| 24 lutego 2017 r. | 70 |
| 5–7 października 2017 r. | 71 |
| 4.4. Skutki silnego wiatru w latach 1961–2002 – kalendarium | 72 |
| 5. Opady | 73 |
| 5.1. Opady w latach 1961–2018 | 78 |
| 5.2. Wyjątkowo intensywne opady i ich skutki w latach 2000–2018 | 81 |
| 5.3. Wybrane przypadki wystąpienia intensywnych opadów | 84 |
| 5–8 września 2007 r. | 84 |
| 14–15 października 2009 r. | 86 |
| 16–18 maja 2010 r. | 88 |
| 5.4. Skutki intensywnych opadów w latach 1961–2002 – kalendarium | 93 |
| 5.5. Opady śniegu | 94 |
| 5.6. Wyjątkowo intensywne opady śniegu i ich skutki w latach 2000–2018 | 95 |

| | |
|---|------------|
| 5.7. Wybrane przypadki wystąpienia intensywnych opadów śniegu | 98 |
| 14–15 października 2009 r. | 98 |
| 9–20 stycznia 2010 r. | 98 |
| 12–13 października 2015 r. | 101 |
| 5.8. Skutki intensywnych opadów śniegu w latach 1961–2002 – kalendarium | 102 |
| 6. Burze | 103 |
| 6.1. Burze w latach 1961–2018 | 109 |
| 6.2. Wyjątkowo silne burze i ich skutki w latach 2000–2018 | 115 |
| 6.3. Wybrane przypadki wystąpienia silnych burz | 118 |
| 24 sierpnia 2007 r. | 118 |
| 3–4 czerwca 2010 r. | 120 |
| 10–11 czerwca 2013 r. | 122 |
| 8–9 lipca 2015 r. | 126 |
| 6.4. Skutki silnych burz w latach 1961–2002 – kalendarium | 130 |
| 7. Odwilże / Roztopy | 132 |
| 7.1. Odwilże w latach 1961–2018 | 133 |
| 7.2. Wyjątkowo silne odwilże i ich skutki w latach 2000–2018 | 136 |
| 7.3. Wybrany przypadek wystąpienia silnej odwilży | 138 |
| 2–3 stycznia 2003 r. | 138 |
| 7.4. Skutki odwilży w latach 1961–2002 – kalendarium | 138 |
| 8. Gołoledź | 140 |
| 8.1. Gołoledź w latach 1966–2018 | 143 |
| 8.2. Wyjątkowo długo trwająca gołoledź i jej skutki w latach 2000–2018 | 146 |
| 8.3. Wybrane przypadki wystąpienia długotrwałej gołoledzi | 147 |
| 8–10 stycznia 2010 r. | 147 |
| 20–22 stycznia 2013 r. | 147 |
| 9. Mgła | 149 |
| 9.1. Mgły w latach 1961–2018 | 152 |
| 9.2. Wyjątkowo długo trwająca mgła i jej skutki w latach 2000–2018 | 156 |
| 9.3. Wybrane przypadki wystąpienia długotrwałej mgły | 158 |
| 26–30 października 2014 r. | 158 |
| 15–22 października 2017 r. | 158 |
| 10. Szadź | 159 |
| 10.1. Szadź w latach 1966–2018 | 160 |
| 10.2. Wyjątkowo długo trwająca szadź i jej skutki w latach 2000–2018 | 163 |
| 11. Podsumowanie i wnioski | 164 |
| 12. Literatura | 168 |
| Spis rycin | 179 |
| Spis tabel | 185 |
| Spis fotografii | 186 |
| Załącznik | 187 |

CZĘŚĆ I

Wprowadzenie

1. Wstęp

W ostatnim czasie coraz większa część społeczeństwa dostrzega problemy związane ze zmianami klimatu i ma świadomość, jakie mogą być ich konsekwencje dla środowiska i działalności człowieka. Zmiany częstości występowania ekstremalnych warunków pogodowych, takich jak fale upałów, wysokie wartości temperatury w okresie zimowym powiązane z brakiem pokrywy śnieżnej, powodzie, susze, silny wiatr czy gwałtowne burze i trąby powietrzne, są podawane jako dowody współczesnych zmian klimatycznych, które mogą zmienić życie na Ziemi w nadchodzących dekadach.

Gwałtowne zjawiska pogodowe występowały w przeszłości i z pewnością będą się pojawiały nadal, jednak zdaniem wielu badaczy z każdym rokiem są one częstsze i silniejsze. I chociaż współcześnie dysponujemy coraz nowocześniejszymi technikami pomiarów i obserwacji meteorologicznych, to dokładne prognozowanie zmian pogody nie jest do końca możliwe. Dotyczy to w szczególności części zjawisk o bardzo lokalnym charakterze. Przykładem jest prognoza wystąpienia burzy, której towarzyszy zwykle intensywny opad, silny wiatr i wyładowania atmosferyczne. Często z dużym prawdopodobieństwem można przewidzieć, że takie zjawisko wystąpi, ale znacznie trudniej wskazać dokładnie gdzie i kiedy pojawią się tzw. silne burze, groźne dla życia i zdrowia ludzi, powodujące bardzo duże szkody materialne.

Osobnym problemem jest terminologia stosowana przy opisie występowania warunków pogodowych uznawanych za groźne dla środowiska i człowieka. Najczęściej w literaturze naukowej stosuje się terminy: zjawisko meteorologiczne (pogodowe) lub zdarzenie klimatyczne. Zjawisko meteorologiczne zazwyczaj oznacza wystąpienie zjawiska fizycznego w atmosferze albo na powierzchni Ziemi, np.: burzy, porywów wiatru, mgły, szadzi itp. Natomiast zdarzenie klimatyczne to zazwyczaj występowanie przez dłuższy czas wyjątkowych wartości rozpatrywanych elementów meteorologicznych, np.: fala upałów, mrozów, długotrwała susza. Czasami trudno rozgraniczyć, czy zaistniałe warunki pogodowe to zjawisko meteorologiczne, czy zdarzenie klimatyczne, czego przykładem mogą być długotrwałe i intensywne opady powodujące powódź. W niniejszym opracowaniu opisane zostały przede wszystkim zjawiska meteorologiczne (pogodowe), choć czasami miały one charakter zdarzeń klimatycznych (długotrwałe występowanie mgły, gołoledzi lub szadzi).

W literaturze naukowej nie ma również jednoznacznie sprecyzowanego kryterium wyróżniania intensywności wielu zjawisk. Można jako przykład podać kryteria wydawania ostrzeżeń przed burzami stosowane w służbie meteorologicznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) (*Załącznik* na końcu książki). Nie wydaje się jednak ostrzeżeń, gdy prognozowane jest występowanie jedynie lokalnych burz, którym mogą towarzyszyć opady poniżej 20 mm i porywy wiatru nieprzekraczające 20 m/s (72 km/h). Czy jednak takie burze nie są groźne? Zależać to będzie od wielu czynników, w tym od uwarunkowań lokalnych. Przykładem może być burza z 22 sierpnia 2019 r., która przeszła wczesnym popołudniem nad Tatrami Zachodnimi. W jej wyniku, od uderzenia pioruna porażonych zostało wielu turystów w okolicy Giewontu (5 osób zginęło, a 157 było rannych). Burza ta nie spełniała kryterium, które wymagałoby wydania ostrzeżenia, jednak jej skutki okazały się tragiczne.

Gwałtowny przebieg i często katastrofalne skutki wystąpienia wielu zjawisk meteorologicznych (np. oblodzenia czy burzy) i zdarzeń klimatycznych (np. fal upałów) stało się podstawą licznych opracowań poświęconych ich występowaniu w Polsce (Kaszewski, Flis 2014). Wśród nich warto wymienić: *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce* (Ustrnul, Czekerda 2009), *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju* (Lorenc 2012), *Atlas zagrożeń meteorologicznych Polski* (Ustrnul i in. 2014) oraz materiały zawarte na stronie internetowej *Informatycznego Systemu Ochrony Kraju (ISOK) i IMGW-PIB* (imgw.isok.gov.pl), natomiast w odniesieniu do różnych regionów czy miast prace autorstwa np.: Bernasa i Kolendowicza 2013, Diemientiewa (2018) oraz Owczarek i Miętusa (2018).

Trudności z oceną możliwości wystąpienia wybranych zjawisk meteorologicznych i zdarzeń klimatycznych oraz ich gwałtowny charakter spowodowały, że w 2013 r. pracownicy Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego (IMGW-PIB) opracowali vademecum niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych (*Vademecum...* 2013a, 2013b). Opracowanie to powstało m.in. na potrzeby służb związanych z zarządzaniem kryzysowym, np.: Rządowego Centrum Bezpieczeństwa (RCB; rcb.gov.pl), Centrów Zarządzania Kryzysowego (CZK) poszczególnych jednostek administracyjnych w Polsce, jak np.: CZK Wojewody Małopolskiego (www.malopolska.uw.gov.pl), Powiatowego CZK Starosty Krakowskiego (powiat.krakow.pl/zk), CZK Miasta Krakowa (www.bip.krakow.pl/?dok_id=93367). Zawiera ono podstawowe informacje dotyczące genezy i skutków występowania w Polsce zjawisk meteorologicznych wymienionych w załączniku do *Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 22 sierpnia 2007 r.* (Dz.U.2007.158.1114). Wymieniony akt prawny utracił już moc i obecnie w tym zakresie obowiązuje *Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 28 czerwca 2019 r. w sprawie ostrzeżeń, prognoz, komunikatów, biuletynów i roczników państwowej służby hydrologiczno-meteorologicznej i państwowej służby hydrogeologicznej* (Dz.U.2019 poz. 1215). We wspomnianej ustawie jako najważniejsze zagrożenia wskazano, a w *Vademecum...* (2013a, 2013b) zamieszczono charakterystykę:

- 1) **silnego wiatru**, którego średnia prędkość przekracza 15 m/s (54 km/h; w ustawie jest podana prędkość 55 km/h) lub w porywach przekracza 20 m/s (72 km/h; w ustawie 70 km/h),
- 2) **intensywnych opadów deszczu** powyżej 30 mm na dobę,
- 3) **intensywnych opadów śniegu** powodujących przyrost pokrywy śnieżnej powyżej 15 cm na dobę,
- 4) **zawiei i zamieci śnieżnych**,
- 5) **opadów marznących powodujących goleddz**,
- 6) **oblodzenia** powodowanego zamarzeniem mokrych nawierzchni (w tym dróg i chodników) po opadach deszczu, mokrego śniegu lub deszczu ze śniegiem wywołanego spadkiem temperatury powietrza poniżej 0°C,
- 7) **roztopów** powstających, gdy w okresie zalegania pokrywy śnieżnej, której grubość na przeważającym obszarze osiąga co najmniej 10 cm, wystąpi nagły wzrost temperatury powietrza powyżej 0°C lub wystąpią opady deszczu, co spowoduje gwałtowne topnienie pokrywy śnieżnej,
- 8) **silnych burz lub burz z gradem**, którym towarzyszą porywy wiatru powyżej 20 m/s (72 km/h; w ustawie 70 km/h) lub opady powyżej 20 mm,
- 9) **silnej mgły** występującej na znacznym obszarze lub mgieł intensywnie osadzającej szadź,
- 10) **upałów**, czyli dni, w których temperatura powietrza osiąga lub przekracza 30°C i trwa w ciągu co najmniej 2 kolejnych dni,
- 11) **przymrozków**, czyli dni, w których temperatura powietrza spada w okresie wegetacyjnym poniżej 0°C,
- 12) **silnego mrozu**, czyli dni, w których minimalna temperatura powietrza spada poniżej –15°C.

Wykorzystując podane wyżej charakterystyki najgroźniejszych zjawisk meteorologicznych, pracownicy Biura Prognoz IMGW-PIB (synoptycy) na bieżąco opracowują prognozę pogody i ostrzeżenia meteorologiczne (*Załącznik* na końcu książki), które ogłaszane są m.in. na stronie internetowej tego instytutu oraz rozsyłane zgodnie ze wspomnianym *Rozporządzeniem Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej* do 55 odbiorców, m.in. Prezydenta, Marszałka Sejmu i Senatu, Premiera, Ministrów wszystkich resortów, marszałków województw, wojewodów, Szefa Biura Bezpieczeństwa Narodowego, Dyrektora Rządowego Centrum Bezpieczeństwa, Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej, Komendanta Głównego Policji, Szefa Obrony Cywilnej

Kraju, Komendanta Głównego Straży Granicznej, Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego, Dyrektora Lotniczego Pogotowia Ratunkowego, Dyrektora Morskiej Służby Poszukiwania i Ratownictwa, Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad, Prezesa PKP Polskich Linii Kolejowych Spółka Akcyjna, Dyrektora Generalnego Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe, Prezesa i dyrektorów regionalnych zarządów gospodarki wodnej Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie, a także Prezesa Zarządu „Telewizji Polskiej”, Polskiego Radia i Polskiej Agencji Prasowej. Są one publikowane także na stronach internetowych Centrów Zarządzania Kryzysowego w poszczególnych jednostkach administracyjnych w kraju (województwach, powiatowych i gminnych).

Zważywszy na wspomniane powyżej zagrożenia, związane z występowaniem groźnych zjawisk meteorologicznych, stopniem ich oddziaływania na środowisko i człowieka oraz zaangażowaniem wielu służb i instytucji w procesy ostrzegania o niebezpieczeństwie oraz usuwania ich skutków, zdecydowano się na przygotowanie niniejszej publikacji. Jej głównym celem jest zaprezentowanie charakterystyki występowania wybranych, groźnych zjawisk meteorologicznych oraz skutków, jakie spowodowały na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w świetle informacji o interwencjach Państwowej Straży Pożarnej oraz policji. Z tego powodu w analizie uwzględniono dziewięć (z dwunastu; bez upałów, mrozów i przymrozków) niebezpiecznych zagrożeń pogodowych wymienionych w załączniku do *Rozporządzenia Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej (Załącznik na końcu książki)*.

Chcąc przybliżyć czytelnikowi podstawowe informacje o omawianych zjawiskach na wstępie do charakterystyki każdego z nich przedstawiono krótki opis prezentujący ich zmienność wieloletnią, roczną i dobową. W tym celu wykorzystano pomiary i obserwacje meteorologiczne z lat 1961–2018, a jeżeli nie było to możliwe, z nieco krótszych okresów. Zamieszczone charakterystyki dotyczyły rozpatrywanych zjawisk występujących na dwóch stacjach meteorologicznych (miejskiej i pozamiejskiej; patrz rozdział 2.1 *Dane meteorologiczne*) oraz stanowiły jedynie swego rodzaju tło dla całego omawianego obszaru. Analizując przyczyny wystąpienia badanych zjawisk meteorologicznych, wzięto pod uwagę przede wszystkim uwarunkowania synoptyczne (typy cyrkulacji, masy powietrza i fronty atmosferyczne). Jednocześnie, o każdym ze zjawisk starano się podać kilka dodatkowych informacji, których celem było poszerzenie wiedzy czytelnika dotyczącej ich genezy, rodzajów czy oddziaływania na środowisko. Na tak szerokim tle analizie poddano skutki, jakie spowodowało wystąpienie uwzględnionych zjawisk w Krakowie i powiecie krakowskim. W tym celu wykorzystano informacje o liczbie i rodzaju interwencji Państwowej Straży Pożarnej oraz liczbie wypadków i kolizji drogowych. Również w tym przypadku starano się wykorzystać jak najdłuższe serie danych.

Lokalny charakter większości zjawisk meteorologicznych (np.: opadu gradu, bardzo intensywnego opadu deszczu towarzyszącego burzy) powoduje, iż na co dzień często nie dostrzegamy skali ich oddziaływania zarówno na środowisko, jak i działalność człowieka. Trudno nam również wskazać obszary najbardziej narażone na ich występowanie oraz najbardziej „wrażliwe” na skutki, jakie powodują, co jest szczególnie ważne na obszarach silnie zurbanizowanych. Z tego powodu, dodatkowym celem niniejszej pracy było opracowanie map przedstawiających zasięg i rodzaj szkód spowodowanych przez omawiane zjawiska oraz wskazać obszary Krakowa i powiatu krakowskiego najczęściej nimi dotknięte.

Mamy nadzieję, że wyniki niniejszej pracy mogą również być pomocne dla służb miejskich i powiatowych zajmujących się m.in. utrzymaniem zieleni, dróg, cieków czy kanalizacji burzowej, umożliwiając lepsze planowanie i podejmowanie działań mających na celu ograniczanie negatywnych skutków tego typu zjawisk meteorologicznych.

Charakteryzując groźne zjawiska pogodowe, należy uwzględniać lokalne uwarunkowania ich występowania, które w istotny sposób wpływają na skutki takich zdarzeń. Zalicza się do nich przede wszystkim rzeźbę terenu oraz sposób jego użytkowania, w tym również stopień zurbanizowania danego obszaru. Z tego powodu zasadniczą część niniejszej pracy poprzedzono pogłębioną charakterystyką środowiska przyrodniczego wraz z podstawowymi informacjami dotyczącymi podziału administracyjnego, pokrycia terenu i gęstości zaludnienia obszaru badań, o ile było to możliwe z podziałem na gminy powiatu krakowskiego i dzielnice Krakowa.

2. Dane źródłowe

W opracowaniu wykorzystano trzy rodzaje danych: meteorologiczne, informacje dotyczące interwencji Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie oraz wypadków i kolizji drogowych z Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji Drogowych Komendy Głównej Policji.

2.1. Dane meteorologiczne

W opracowaniu wykorzystano dane meteorologiczne z dwóch stacji. Pierwszą z nich jest Stacja Naukowa Zakładu Klimatologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego (dalej nazywana Stacją Naukową UJ lub w Krakowie), która zlokalizowana jest na terenie Ogrodu Botanicznego UJ, w centrum Krakowa (50°04'N, 19°58'E, 206 m n.p.m.). Drugą jest stacja synoptyczna IMGW-PIB Kraków-Balice (dalej nazywaną Balice), położona około 11 km od centrum miasta, tuż przy jego zachodniej granicy, na terenie Międzynarodowego Portu Lotniczego Kraków-Balice im. Jana Pawła II (50°04'N, 19°48'E, 237 m n.p.m.) (ryc. 11 w rozdziale 3.3. *Ukształtowanie terenu*). W większości przypadków wykorzystano dane z lat 1961–2018. Jednak ze względu na dostępność bardziej szczegółowych danych, w niektórych przypadkach charakterystyka poszczególnych elementów meteorologicznych została ograniczona do krótszego okresu (1993–2018 lub 2001–2018).

Z obu stacji wykorzystano pomiary i obserwacje meteorologiczne takich elementów jak: temperatura powietrza (°C), wilgotność względna (%), opady atmosferyczne (mm), prędkość wiatru (m/s) i wysokość pokrywy śnieżnej (cm), a także informacje o pogodzie bieżącej, czyli występowaniu zjawisk meteorologicznych: burzy, mgły, gołoledzi, szadzi oraz rodzaju opadu. Na tej podstawie zaprezentowano charakterystyki ogólnych warunków klimatycznych oraz występowania rozpatrywanych zjawisk meteorologicznych w obszarach reprezentowanych przez obie stacje. Ze względu na bardzo zróżnicowane środowisko geograficzne analizowanego w niniejszej pracy obszaru, otrzymane rezultaty stanowią jedynie pewne odniesienie dla badań dotyczących pozostałej części powiatu krakowskiego.

Dodatkowo, do charakterystyki warunków meteorologicznych w poszczególnych dniach wykorzystano *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej* opracowany przez Niedźwiedzia (2019) z lat 1961–2018, na podstawie którego można określić typ cyrkulacji (rodzaj układu barycznego i kierunek adwekcji powietrza), rodzaj mas powietrza i występowanie frontów atmosferycznych kształtujących pogodę w południowej części Polski w poszczególnych dniach (tab. 1, ryc. 1). Dla ułatwienia, do oryginalnych symboli oznaczających rodzaj frontu atmosferycznego dodano literę F. Analizie poddawano również mapy synoptyczne z bazy IMGW-PIB (meteo.imgw.pl, danepubliczne.imgw.pl i pogodynka.pl) oraz Deutscher Wetterdienst (www1.wetter3.de).

W ograniczonym zakresie, gdyż nie były one dostępne dla wszystkich dni i godzin, wykorzystano również obrazy radarowe oraz mapy rozkładu przestrzennego wyładowań atmosferycznych pochodzące ze strony www.light-ningmaps.org, należącej do sieci amatorskich detektorów wyładowań Blitzortung.

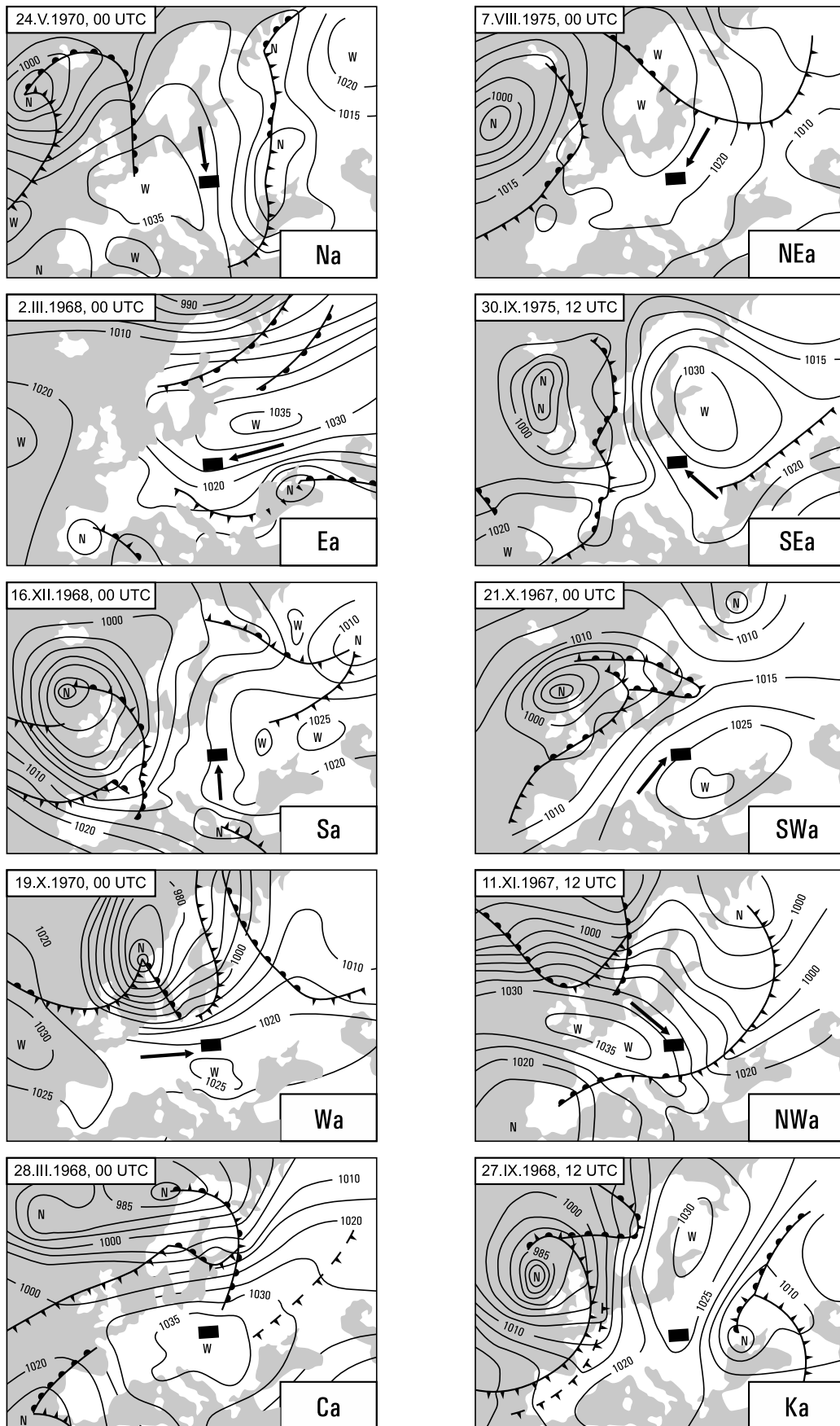
Do analizy przyczyn synoptycznych występowania wybranych burz wykorzystano również mapy przedstawiające rozkład przestrzenny wartości wskaźnika CAPE na obszarze Europy, jak również mapy względnej topografii barycznej 1000–500 hPa (www1.wetter3.de).

W przypadku analizy występowania silnego wiatru w opracowaniu wykorzystano trasy głębokich niżów przemieszczających się nad Polską opracowane przez Bielec-Bąkowską (2010a), a przedstawione na rycinie 2.

Tabela 1. Typy cyrkulacji atmosfery, rodzajów mas powietrza i frontów atmosferycznych według klasyfikacji Niedźwiedzia (2019)

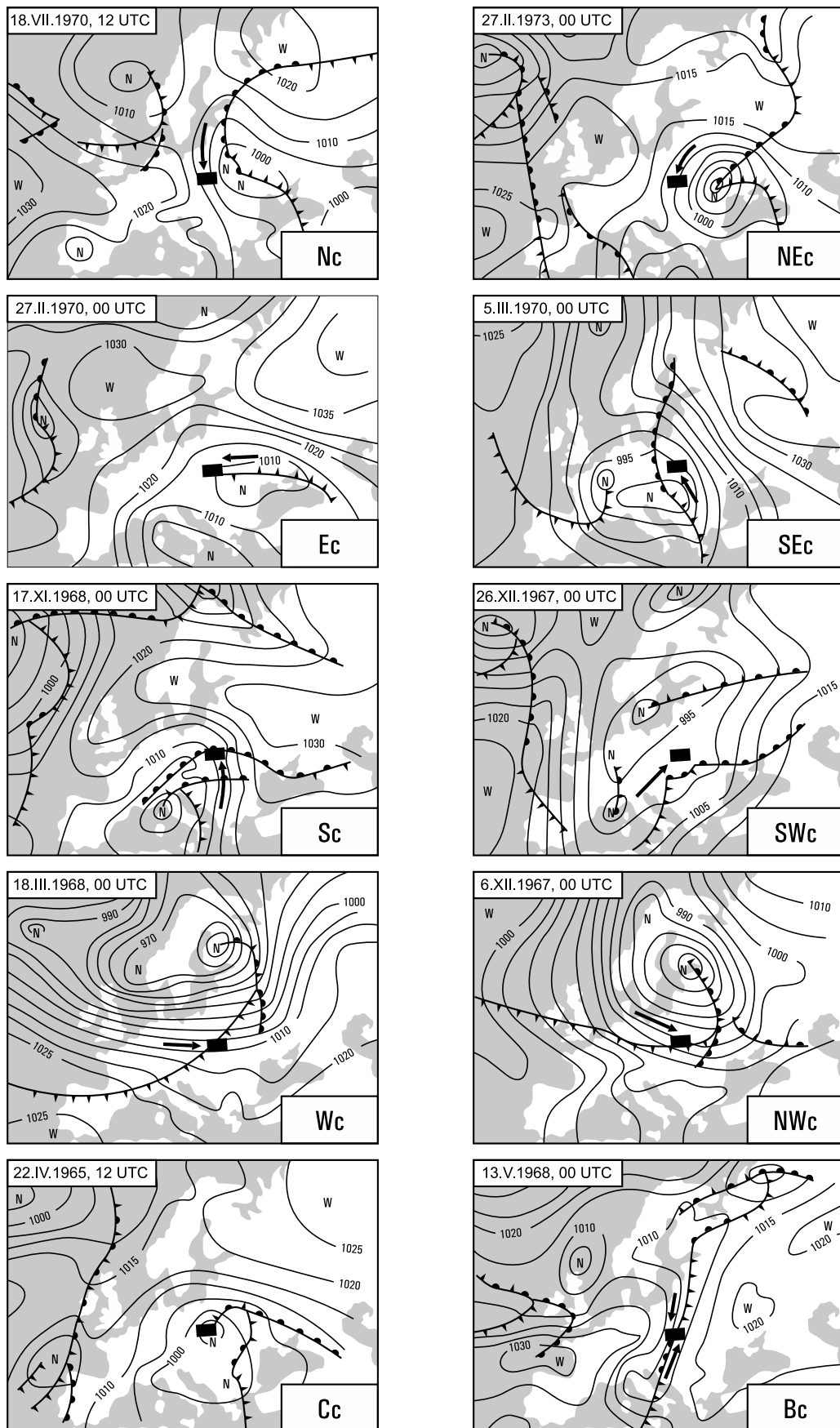
| Typy cyrkulacji | | | |
|---------------------------------|--|---------------------|--|
| Sytuacje antycyklonalne | | Sytuacje cyklonalne | |
| Symbol | Kierunek adwekcji masy powietrza | Symbol | Kierunek adwekcji masy powietrza |
| Na | północny | Nc | północny |
| NEa | północno-wschodni | NEc | północno-wschodni |
| Ea | wschodni | Ec | wschodni |
| SEa | południowo-wschodni | SEc | południowo-wschodni |
| Sa | południowy | Sc | południowy |
| SWa | południowo-zachodni | SWc | południowo-zachodni |
| Wa | zachodni | Wc | zachodni |
| NWa | północno-zachodni | NWc | północno-zachodni |
| Ca | centralna sytuacja antycyklonalna (centrum wyżu) | Cc | centralna sytuacja cyklonalna (centrum niżu) |
| Ka | klin antycyklonalny | Bc | bruzda obniżonego ciśnienia |
| X | sytuacje niesklasyfikowane lub siodło baryczne | | |
| Rodzaje mas powietrza | | | |
| PA | Powietrze arktyczne | | |
| PPm | Powietrze polarne morskie (świeże) | | |
| PPmc | Powietrze polarne morskie ciepłe | | |
| PPms | Powietrze polarne morskie (stare) | | |
| PPk | Powietrze polarne kontynentalne | | |
| PZ | Powietrze zwrotnikowe | | |
| rmp | różne masy powietrza | | |
| Rodzaje frontów atmosferycznych | | | |
| Fc | ciepły | | |
| Fz | chłodny | | |
| Fo | okluzji | | |
| Fs | stacjonarny | | |
| rf | różne fronty | | |

a)

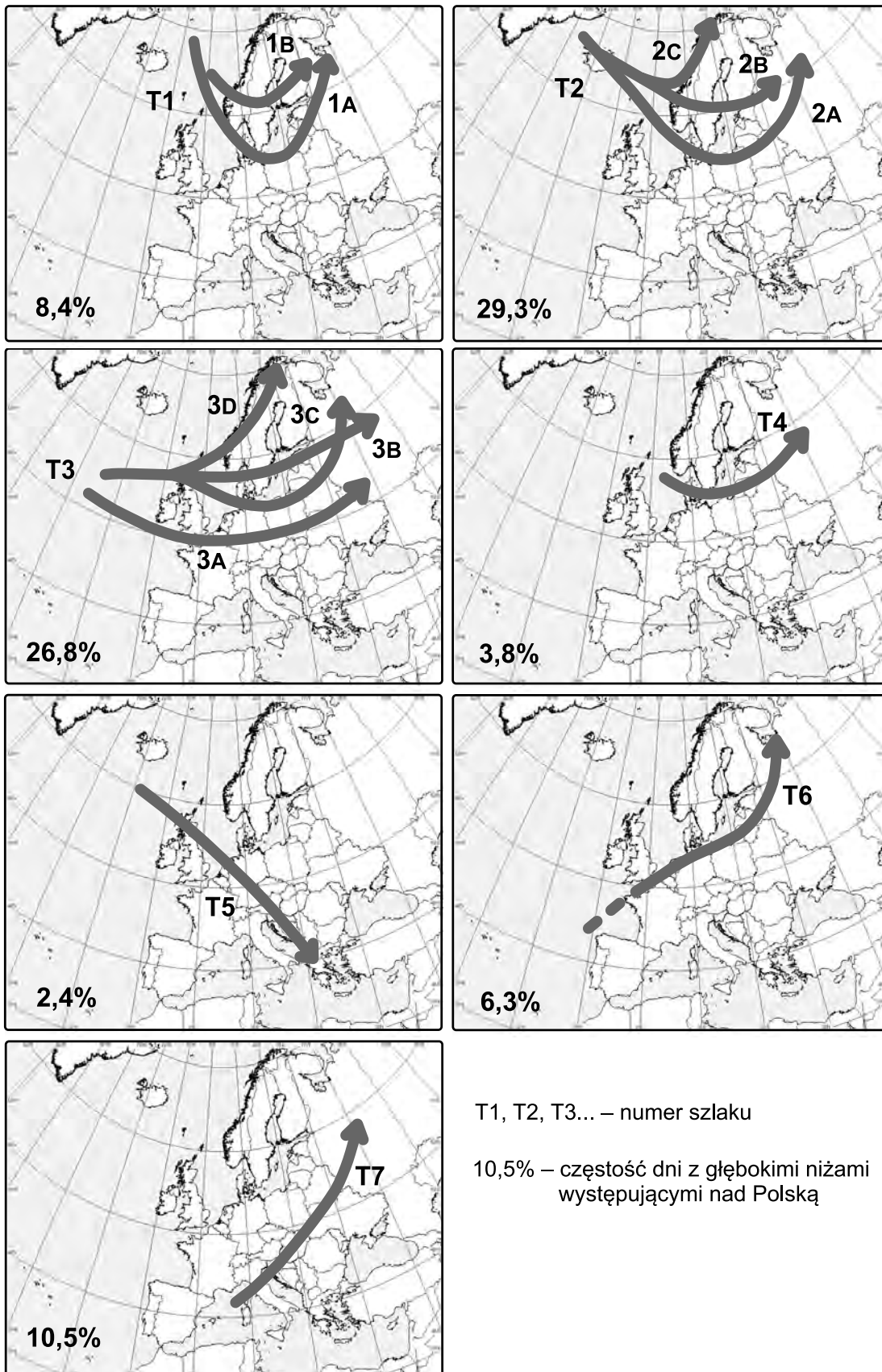


Ryc. 1. Przykłady wydzielonych typów cyrkulacji antycyklonalnej (a) i cyklonalnej (b) na mapach synoptycznych Europy (Niedźwiedź 1981; za Twardoszem 2005)

b)



Ryc. 1. Przykłady wydzielonych typów cyrkulacji antycyklonalnej (a) i cyklonalnej (b) na mapach synoptycznych Europy (Niedźwiedź 1981; za Twardoszem 2005)



Ryc. 2. Szlaki głębokich niżów nad Polską (1971–2000) (Bielec-Bakowska 2010a)

2.2. Dane z Państwowej Straży Pożarnej

Skutki wybranych, groźnych zjawisk meteorologicznych scharakteryzowano, wykorzystując dane z Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej (KM PSP) oraz Komendy Wojewódzkiej Państwowej Straży Pożarnej (KW PSP) w Krakowie dotyczące liczby i rodzaju interwencji w wyniku wystąpienia danego zjawiska w latach 2000–2018.

Zgodnie z wytycznymi Komendanta Głównego PSP dotyczącymi *Zasad ewidencjonowania zdarzeń w Systemie Wspomagania Decyzji Państwowej Straży Pożarnej* (SWD PSP) (2019) każda interwencja (zdarzenie) jest szczegółowo odnotowywana.

W niniejszym opracowaniu uwzględniono tzw. miejscowe zagrożenia, wśród których są również te związane z warunkami atmosferycznymi – silnym wiatrem, intensywnymi opadami deszczu, śniegu, gradu, przyborami wody spowodowanymi roztopami oraz wzrostem poziomu wód gruntowych wskutek opadów i roztopów (*Zasady ewidencjonowania zdarzeń ...* 2019). W SWD PSP podawana jest również przypuszczalna przyczyna zdarzenia, która jest klasyfikowana według kilku kodów. Wśród miejscowych zagrożeń te dotyczące warunków meteorologicznych są kodowane numerami: 26 – huragany, silne wiatry, tornada, 27 – gwałtowne opady atmosferyczne, 28 – gwałtowne przybory wód, zatopy lodowe, 29 – wyładowania atmosferyczne. W Systemie Wspomagania Decyzji PSP tzw. zdarzenia szczególne są dodatkowo oznaczane *flagą zdarzenia*. Pole to, w którym jest możliwość wielokrotnego wyboru cechy zdarzenia z katalogu, daje możliwość wyróżnienia różnego rodzaju interwencji, np. zdarzenie atmosferyczne związane z działaniem silnego wiatru, który spowodował złamanie drzewa i uszkodzenie dachu budynku mieszkalnego jest oznaczane flagą: 10, 26, 36 i 38 (*Zasady ewidencjonowania zdarzeń* 2019). Przykładowe kody podano w tabeli 2.

W dalszej części opracowania każde zdarzenie zostało podzielone na dwie główne kategorie związane z: 1) silnym wiatrem oraz 2) opadami deszczu, śniegu przyborem wód (zalania, wezbrania, podtopienia, powoździe). Każdy rodzaj interwencji zawierał datę i godzinę przyjęcia zgłoszenia, miejsce wystąpienia zdarzenia (wraz

Tabela 2. Przykładowe kody zdarzeń stosowane w Systemie Wspomagania Decyzji Państwowej Straży Pożarnej (SWD PSP)

| Kod | Flaga zdarzenia | Objaśnienie |
|-----|-----------------------------------|---|
| 9 | Obiekt gospodarczy | Flaga z przeznaczeniem do uzupełnienia podrodzaju zdarzenia – Atmosferyczne |
| 10 | Obiekt mieszkalny | Flaga z przeznaczeniem do uzupełnienia podrodzaju zdarzenia – Atmosferyczne |
| 20 | Pompowanie wody | Zdarzenia, podczas których użyty został sprzęt do wypompowania wody |
| 25 | Przybory wód | Zdarzenia związane z intensywnymi lub długotrwałymi opadami atmosferycznymi oraz roztopami |
| 26 | Silne wiatry | Adekwatnie do rodzaju Miejskowe Zdarzenie – „silne wiatry”, w tym także wszelkie uszkodzenia dachów i innych elementów budynków powstałych na skutek zjawisk typu huragan, wichura itp. – do podrodzaju Atmosferyczne |
| 27 | Opady atmosferyczne | Gwałtowne opady atmosferyczne |
| 28 | Gwałtowne przybory wód | Gwałtowne przybory wód, zatopy lodowe |
| 29 | Wyładowania atmosferyczne | Wyładowania atmosferyczne |
| 35 | Usuwanie sopli, nawisów śnieżnych | Usuwanie sopli i nawisów śnieżnych zagrażających życiu lub zdrowiu |
| 36 | Uszkodzony dach | Uszkodzenia dachów i innych elementów budynków powstałe na skutek zjawisk typu huragan, wichura itp. – do podrodzaju Atmosferyczne |
| 38 | Wiatrolomy | Usuwanie uszkodzonych drzew, gałęzi powstałe na skutek zjawisk typu huragan, wichura itp. – do podrodzaju Atmosferyczne |
| 51 | Zerwany dach | Całkowite uszkodzenia dachów (w tym zerwanie) powstałe na skutek zjawisk typu huragan, wichura itp. – do podrodzaju Atmosferyczne |

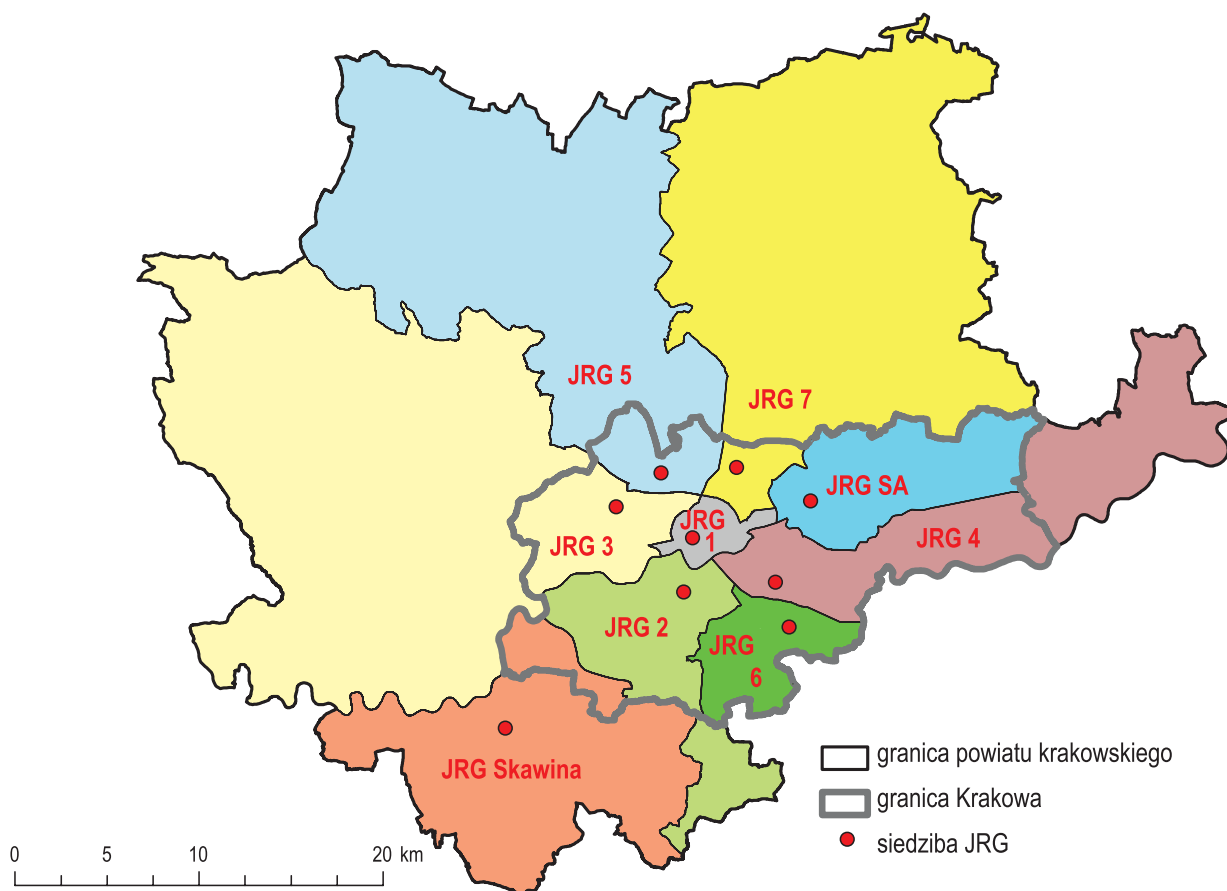
Źródło: opracowanie własne na podstawie *Zasad ewidencjonowania zdarzeń w Systemie Wspomagania Decyzji Państwowej Straży Pożarnej* (2019).

z dokładnymi współrzędnymi geograficznymi) i krótkim opisem. Według obecnie obowiązującej instrukcji współrzędne geograficzne są podawane w stopniach, minutach i sekundach z dokładnością do setnych sekundy. W starszych danych współrzędne geograficzne były podawane z mniejszą dokładnością, stąd np. kilka zdarzeń na niewielkim obszarze miało podobne wartości, ograniczone np. do sąsiednich ulic. Niemniej jednak i one pozwoliły określić liczbę interwencji strażaków w przyjętych jednostkach administracyjnych (gminie i dzielnicy).

Dodatkowo do analizy wykorzystano informacje dotyczące interwencji straży pochodzące z Kalendarium KM PSP (www.psp.krakow.pl) z lat 1961–2018 i wiadomości prasowych („Gazeta Krakowska”, „Dziennik Polski”). Te dane pozwoliły wyróżnić dodatkowe kategorie interwencji, związane z występowaniem silnej mgły i oblodzenia (gołoledzi). Skutki m.in. tych zjawisk pogodowych potwierdzono, korzystając z *Systemu Ewidencji Wypadków i Kolidacji Komendy Głównej Policji (SEWIK)* z lat 2007–2018 (sewik.pl).

2.2.1. Charakterystyka organizacyjna Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

W skład KM PSP wchodzi obecnie osiem Jednostek Ratowniczo-Gaśniczych (JRG 1 – JRG 7), z których siedem ma siedzibę w Krakowie i jedna – w Skawinie (JRG Skawina) oraz Jednostka Ratowniczo-Gaśnicza Szkoły Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie (JRG SA), zabezpieczająca operacyjnie rejon dzielnicy Nowa Huta (ryc. 3). KM PSP obejmuje więc swoją działalnością nie tylko obszar w granicach miasta Krakowa, ale też cały powiat krakowski. Jej działalność jest wspierana przez 182 jednostki Ochotniczej Straży Pożarnej (OSP), z których 48 jest włączonych do Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego (KSRG). Działania tych jednostek jednak nie zostały włączone do analizy.



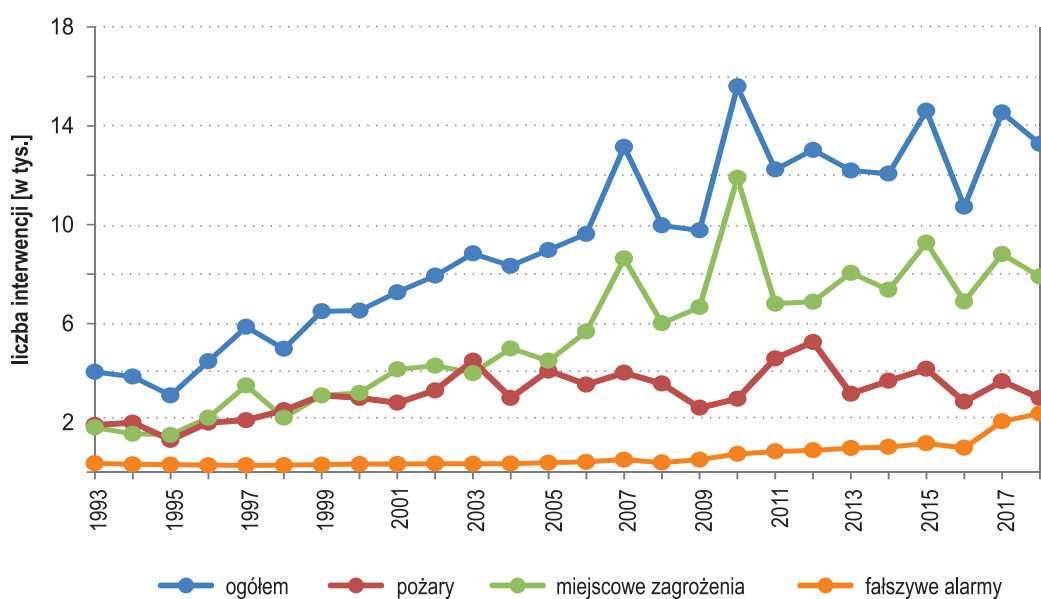
Ryc. 3. Jednostki Ratowniczo-Gaśnicze (JRG) wchodzące w skład Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie
Źródło: opracowanie własne na podstawie www.psp.krakow.pl.

2.2.2. Liczba i rodzaje interwencji na obszarze działania Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

W latach 1993–2018 krakowscy strażacy interweniowali każdego roku w około 10 000 zdarzeń, od około 3500 w 1995 r. do niemal 16 000 w 2010 r., z czego największy procent stanowiły zagrożenia miejscowe, czyli również te związane z warunkami meteorologicznymi (ryc. 4). Warto w tym miejscu zauważyć, że w wieloletnim przebiegu liczby interwencji widoczny jest wyraźny wzrost liczby działań ratowniczo-gaśniczych, zwłaszcza od 2007 r. Wpływ na to ma zwiększająca się liczba zarówno zagrożeń miejscowych, jak i pożarów i fałszywych alarmów.

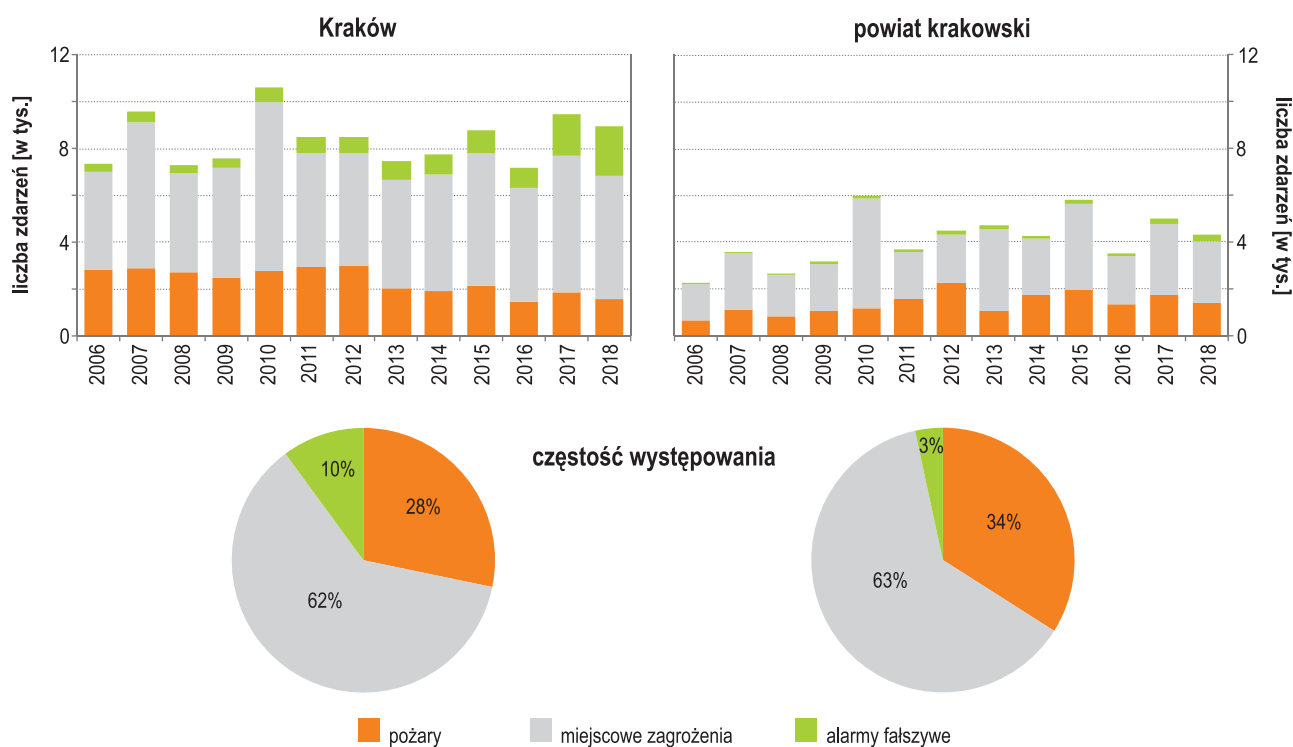
Zagrożenia miejscowe to zdarzenia stwarzające zagrożenie dla życia, zdrowia, mienia lub środowiska, a niebędące pożarem ani klęską żywiołową. Występowanie zagrożeń miejscowych wynika z rozwoju cywilizacyjnego, działań człowieka lub naturalnych sił przyrody. Ich usunięcie lub przeciwdziałanie nie wymaga zastosowania nadzwyczajnych środków.

Porównując liczbę działań ratowniczo-gaśniczych na terenie Krakowa i w powiecie krakowskim, można stwierdzić, że średnio w roku było ich dwukrotnie więcej w mieście. Główną przyczyną tej dysproporcji była zdecydowanie większa liczba interwencji związanych z miejscowym zagrożeniem, chociaż w obu obszarach rozpatrywanego regionu stanowiły one zbliżony odsetek wszystkich interwencji (62–63%; ryc. 5). W przypadku pożarów, do 2013 r., liczba interwencji w Krakowie była zdecydowanie wyższa niż w powiecie krakowskim. W kolejnych latach wartości na obu obszarach były już dość zbliżone (ryc. 5). Warto zwrócić uwagę również na fakt, że w Krakowie ponad trzykrotnie częściej (10%) zgłoszenia były fałszywymi alarmami, podczas gdy w powiecie krakowskim udział takich zgłoszeń wynosił 3% (ryc. 5).



Ryc. 4. Liczba interwencji na obszarze działania Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie w latach 1993–2018

Źródło: www.psp.krakow.pl/statystyka.



Ryc. 5. Liczba i udział procentowy interwencji strażaków z Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie na obszarze miasta i powiatu krakowskiego w latach 2006–2018

Źródło: opracowanie własne na podstawie www.psp.krakow.pl/statystyka.

Na podstawie danych z Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej (www.psp.krakow.pl/statystyka) z lat 2015–2018, zawierających informacje o zdarzeniach, w których brali udział strażacy na obszarze gmin powiatu krakowskiego (tab. 3), można stwierdzić, że wśród zagrożeń miejscowych największy procent stanowiły te związane z silnym wiatrem (suma interwencji spowodowanych przez wiatr w latach 2015–2018 w stosunku do wszystkich tych związanych z miejscowym zagrożeniem). Ich udział na analizowanym obszarze wynosił od 14,0% w Krakowie do 50,9% w Sułoszowej, chociaż pod względem ilościowym tego typu interwencji było więcej w Krakowie niż w całym powiecie krakowskim. W poszczególnych gminach najczęściej ich było w Krzeszowicach i Zabierzowie – ponad 400 (tab. 3).

Drugą pod względem częstości występowania przyczyną interwencji straży pożarnej związanej z warunkami meteorologicznymi są gwałtowne opady. W analizowanych czterech latach (2015–2018) łącznie nieco więcej było ich w poszczególnych gminach powiatu krakowskiego (591, czyli 50,1%) niż w Krakowie (588; 49,9%). Zdecydowanie najczęściej ilościowo było takich zdarzeń w gminie Zielonki (114) i Krzeszowice (97), natomiast najmniej – zaledwie jedno (w 2016 r.) – w gminie Sułoszowa (tab. 3). W latach 2015–2016 na analizowanym obszarze odnotowano 36 zdarzeń gwałtownych przyborów wód, nieco więcej w Krakowie (21) niż w całym powiecie krakowskim (15). W większości gmin podobne zdarzenia występowały sporadycznie. Najwięcej było ich w gminach: Zabierzów (5), Zielonki (4) i Krzeszowice (3).

Znacznie rzadziej strażacy podejmowali interwencje związane z wyładowaniami atmosferycznymi. W ostatnich latach (2015–2018) na badanym obszarze takich akcji strażacy przeprowadzili 18 w powiecie krakowskim i 19 w Krakowie (tab. 3). Poza Krakowem, najczęściej zdarzeń tego typu było w gminie Świątniki Górne (3 interwencje).

2.3. Dane z Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji Drogowych Komendy Głównej Policji

W celu określenia ewentualnego wpływu niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych na wypadki i kolizje drogowe występujące w Krakowie i powiecie krakowskim wykorzystano dane z niekomercyjnego serwisu – SEWIK (sewik.pl), który korzysta z bazy danych Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji Drogowych udostępnionych przez Komendę Główną Policji w Warszawie (sewik.pl). W bazie tej dostępne są dane od 2007 r. Wykorzystując istniejącą w serwisie wyszukiwarkę, można w bardzo różny sposób wyodrębnić zdarzenia wraz ze szczegółowym raportem, w którym podane są m.in. takie informacje jak: bardzo dokładny czas i miejsce wypadku lub kolizji, w tym współrzędne geograficzne, a także panujące wówczas warunki pogodowe. Rejestracja wspomnianych zdarzeń drogowych prowadzona jest zgodnie z zarządzeniem Komendanta Głównego Policji. Obecnie obowiązujący przepis to zarządzenie nr 31 z 22 października 2015 r. (edziennik.policja.gov.pl). Należy jednak pamiętać, że w bazie tej znajdują się tylko te kolizje i wypadki drogowe, które zostały zgłoszone policji, miały swój początek na drodze publicznej, w strefie ruchu lub postoju.

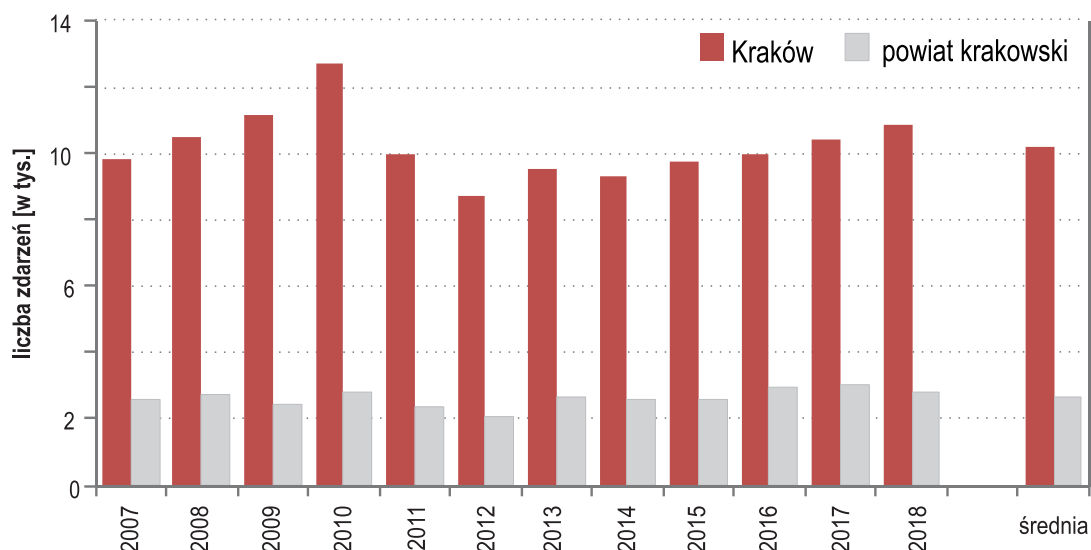
W Polsce za **wypadek drogowy** uznaje się zdarzenie, w wyniku którego co najmniej jedna osoba została zabita lub ranna, natomiast za kolizję drogową, w którym powstały wyłącznie straty materialne. Zdarzeniem drogowym jest nazywany zarówno wypadek, jak i kolizja drogowa (edziennik.policja.gov.pl).

2.3.1. Liczba wypadków i kolizji drogowych na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego

Wykorzystanie danych z systemu ewidencji wypadków i kolizji pozwala oszacować skalę zdarzeń drogowych, jakie występują w rozpatrywanym regionie. W latach 2007–2018 w Krakowie dochodziło średnio do 10,2 tys. wypadków i kolizji drogowych rocznie. Najwięcej było ich w 2010 r., bo niespełna 12,7 tys., natomiast najmniej w 2012, około 8,7 tys. (ryc. 6). W powiecie krakowskim wypadków i kolizji drogowych jest czterokrotnie mniej, średnio do 2,6 tys. rocznie. Najwięcej odnotowano w 2017 r. – około 3 tys., natomiast najmniej, podobnie jak w Krakowie, w 2012 r. – 2,1 tys. (ryc. 6).

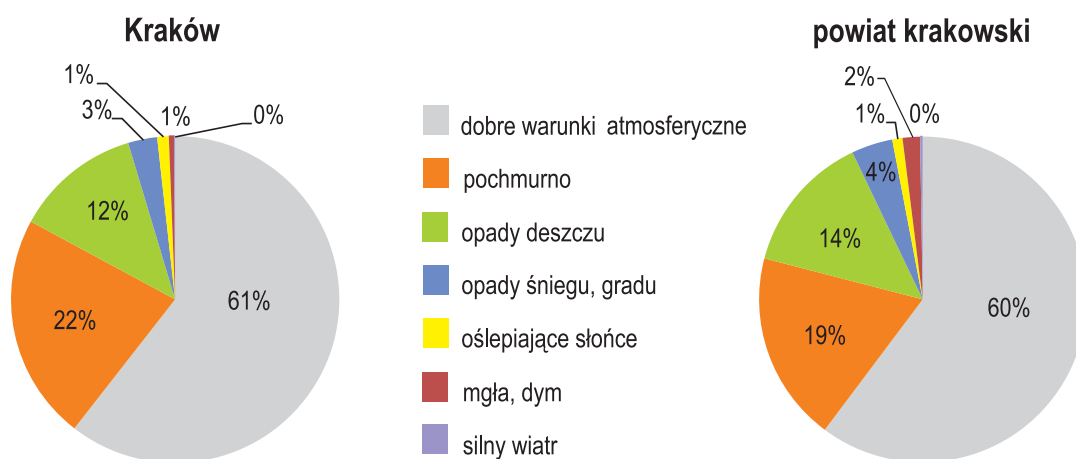
Wśród wszystkich wypadków i kolizji drogowych w analizowanych latach około 60% wystąpiło podczas dobrych warunków atmosferycznych, natomiast około 20% w dniach pochmurnych (ryc. 7). Podczas 12–14% wypadków i kolizji drogowych padał deszcz, a w 3–4% śnieg lub grad. Najmniejszy procent (<2%) wszystkich wypadków miał miejsce podczas mgły lub gdy jego przyczyną mogło być oślepienie kierowcy przez promienie słoneczne (ryc. 7).

Ze względu na zróżnicowanie warunków meteorologicznych w ciągu roku ważne jest zwrócenie uwagi na częstość występowania wypadków i kolizji drogowych w poszczególnych miesiącach roku analizowanego wielolecia. Z przedstawionych w tabeli 4 wartości wynika, że średnio najwięcej zdarzeń drogowych miało miejsce w październiku (9,6%), i to zarówno w Krakowie, jak i powiecie krakowskim. Jednak w poszczególnych latach maksimum wypadków i kolizji drogowych przypada na różne miesiące. Zapewne były różne przyczyny takich zmian rocznego przebiegu liczby badanych zdarzeń, niemniej jednak z pewnością warunki pogodowe mogły mieć na to dodatkowy wpływ. Wystarczy choćby zwrócić uwagę na najwyższą liczbę zdarzeń, jakie miały miejsce w Krakowie (1213 wypadków i kolizji drogowych) w maju 2010 r. – miesiącu z bardzo wysoką sumą opadów powodujących liczne powodzie i podtopienia w południowej Polsce. W Krakowie, podobnie jak w powiecie krakowskim, około 30% zdarzeń wystąpiło podczas opadów atmosferycznych (odpowiednio: 30,1% i 29,6%) (tab. 4). W granicach powiatu krakowskiego największą liczbę zdarzeń drogowych zanotowano



Ryc. 6. Liczba wypadków i kolizji drogowych w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2007–2018

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z SEWIK (sewik.pl).



Ryc. 7. Częstość [%] wypadków i kolizji drogowych występujących w różnych warunkach meteorologicznych w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2007–2018

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z SEWIK (sewik.pl).

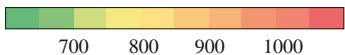
w październiku 2017 r. W tym miesiącu prawie 34% analizowanych przypadków miało miejsce podczas opadów deszczu lub mgły, podczas gdy w Krakowie było to 25%. Bardziej szczegółową analizę na ten temat przeprowadzono w dalszej części pracy.

W przypadku dobowej zmienności liczby wypadków i kolizji drogowych można zauważyć ich wyraźny wzrost od godziny 6.00 do około 19.00, z maksimum o 16.00 (ryc. 8). W godzinach nocnych różnice między liczbą wypadków i kolizji drogowych w Krakowie i całym powiecie krakowskim są niewielkie, jednak w ciągu dnia w mieście jest ich aż cztery razy więcej. W poszczególnych latach dobowy przebieg analizowanych zdarzeń drogowych jest dość zbliżony (tab. 5). Nieco wyraźniej zaznacza się jedynie 2012 r., z mniejszą liczbą wypadków

Tabela 4. Liczba i częstość [%] wypadków i kolizji drogowych w poszczególnych miesiącach w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2007–2018

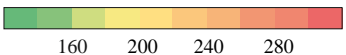
| Miesiąc | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Suma | Częstość [%] |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------------|
| Kraków | | | | | | | | | | | | | | |
| styczeń | 908 | 837 | 894 | 894 | 1167 | 759 | 688 | 750 | 757 | 746 | 809 | 922 | 10131 | 8,3 |
| luty | 783 | 737 | 841 | 1168 | 857 | 734 | 664 | 610 | 663 | 791 | 702 | 779 | 9329 | 7,6 |
| marzec | 846 | 868 | 1026 | 1094 | 866 | 704 | 786 | 737 | 792 | 756 | 806 | 921 | 10202 | 8,3 |
| kwiecień | 735 | 889 | 846 | 932 | 799 | 657 | 742 | 811 | 804 | 792 | 829 | 922 | 9758 | 8,0 |
| maj | 740 | 821 | 916 | 1213 | 875 | 712 | 753 | 861 | 818 | 887 | 858 | 906 | 10360 | 8,4 |
| czerwiec | 695 | 838 | 1047 | 1102 | 774 | 705 | 818 | 772 | 809 | 892 | 884 | 902 | 10238 | 8,3 |
| lipiec | 694 | 823 | 893 | 931 | 778 | 639 | 769 | 721 | 783 | 710 | 843 | 873 | 9457 | 7,7 |
| sierpień | 717 | 676 | 784 | 972 | 771 | 637 | 664 | 716 | 736 | 781 | 847 | 806 | 9107 | 7,4 |
| wrzesień | 904 | 994 | 907 | 1150 | 765 | 735 | 887 | 824 | 894 | 814 | 980 | 857 | 10711 | 8,7 |
| październik | 924 | 1074 | 1109 | 1115 | 859 | 869 | 900 | 899 | 913 | 936 | 1020 | 1124 | 11742 | 9,6 |
| listopad | 1012 | 992 | 939 | 986 | 672 | 796 | 862 | 705 | 958 | 853 | 953 | 895 | 10623 | 8,6 |
| grudzień | 886 | 982 | 932 | 1141 | 827 | 793 | 1038 | 905 | 858 | 1004 | 900 | 932 | 11198 | 9,1 |
| Powiat krakowski | | | | | | | | | | | | | | |
| styczeń | 169 | 201 | 181 | 171 | 223 | 153 | 209 | 190 | 187 | 210 | 246 | 238 | 2378 | 7,5 |
| luty | 181 | 212 | 174 | 201 | 179 | 153 | 183 | 158 | 185 | 208 | 197 | 216 | 2247 | 7,1 |
| marzec | 192 | 230 | 170 | 228 | 185 | 156 | 220 | 171 | 211 | 204 | 229 | 210 | 2406 | 7,6 |
| kwiecień | 170 | 216 | 188 | 194 | 208 | 164 | 204 | 210 | 203 | 238 | 210 | 236 | 2441 | 7,7 |
| maj | 255 | 255 | 201 | 277 | 230 | 202 | 220 | 242 | 218 | 276 | 249 | 209 | 2834 | 9,0 |
| czerwiec | 214 | 244 | 212 | 255 | 203 | 166 | 252 | 220 | 207 | 235 | 261 | 215 | 2684 | 8,5 |
| lipiec | 227 | 238 | 246 | 245 | 231 | 200 | 230 | 231 | 210 | 270 | 258 | 221 | 2807 | 8,9 |
| sierpień | 221 | 234 | 225 | 218 | 189 | 206 | 233 | 232 | 213 | 238 | 292 | 243 | 2744 | 8,7 |
| wrzesień | 243 | 238 | 195 | 268 | 191 | 191 | 231 | 265 | 235 | 256 | 294 | 252 | 2859 | 9,0 |
| październik | 258 | 223 | 238 | 269 | 218 | 204 | 247 | 226 | 266 | 292 | 310 | 284 | 3035 | 9,6 |
| listopad | 247 | 219 | 216 | 232 | 146 | 162 | 199 | 197 | 239 | 251 | 256 | 204 | 2568 | 8,1 |
| grudzień | 225 | 224 | 210 | 217 | 190 | 145 | 222 | 213 | 229 | 247 | 255 | 259 | 2636 | 8,3 |

Kraków



700 800 900 1000

Powiat krakowski



160 200 240 280

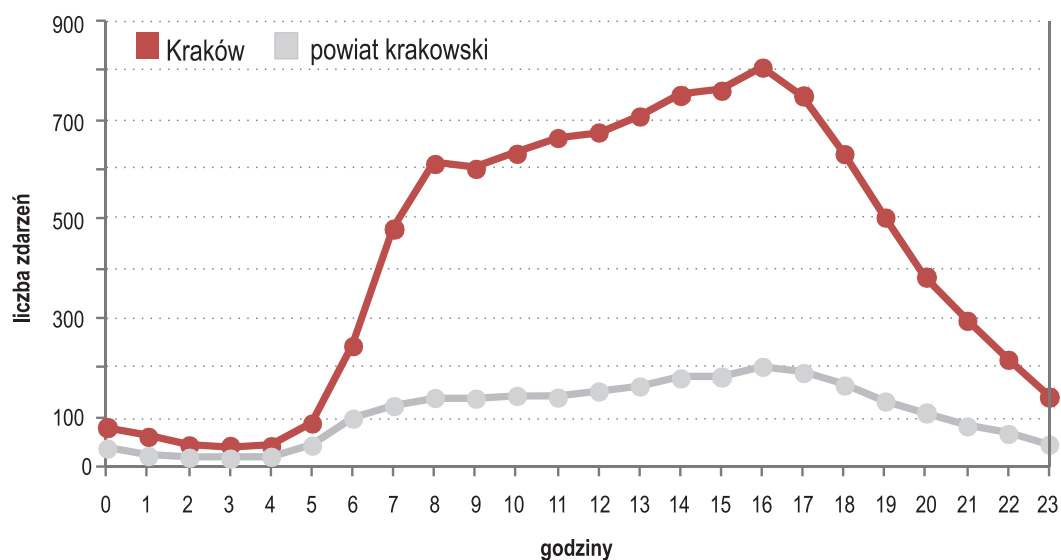
liczba zdarzeń drogowych

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z SEWIK (sewik.pl).

i kolizji drogowych w godzinach 7.00–19.00, zwłaszcza w powiecie krakowskim, oraz 2010 r. w Krakowie i 2017 r. w obu obszarach administracyjnych – z większą liczbą analizowanych zdarzeń (tab. 5).

Na podstawie danych z lat 2007–2018 z Systemu Ewidencji Wypadków i Kolizji Drogowych wynika, że w Krakowie około 30% zdarzeń drogowych miało miejsce tylko na 21 ulicach miasta, natomiast w powiecie krakowskim – w około 55% tylko w siedmiu gminach, a w około 22% w czterech miejscowościach (tab. 6). W każdym z tych miejsc doszło do ponad tysiąca wypadków i kolizji drogowych. W Krakowie dodatkowo najniebezpieczniejszymi skrzyżowaniami są: al. 29 Listopada i ul. Lublańska (390), Rondo Matecznego (326) oraz al. Mickiewicza i ul. Czarnowiejska (309), gdzie było ponad 300 zdarzeń drogowych w analizowanych latach.

Szczegółowe badania dotyczące zróżnicowania przestrzennego wypadków i kolizji drogowych w Krakowie w latach 1997–2010, w tym również związanych z warunkami atmosferycznymi, przeprowadził Płatkiewicz (2020).



Ryc. 8. Liczba wypadków i kolizji drogowych w poszczególnych godzinach w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2007–2018

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z SEWIK (sewik.pl).

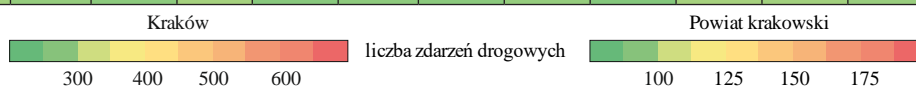
Tabela 5. Liczba i częstość [%] wypadków i kolizji drogowych w poszczególnych godzinach w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2007–2018

| Godzina | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Suma | Częstość [%] |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| Kraków | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.00 | 98 | 86 | 103 | 122 | 96 | 72 | 66 | 55 | 63 | 68 | 56 | 85 | 970 | 0,8 |
| 1.00 | 65 | 76 | 74 | 99 | 84 | 48 | 53 | 46 | 50 | 38 | 54 | 58 | 745 | 0,6 |
| 2.00 | 58 | 44 | 42 | 88 | 47 | 39 | 43 | 30 | 39 | 38 | 36 | 33 | 537 | 0,4 |
| 3.00 | 48 | 38 | 53 | 64 | 45 | 42 | 36 | 26 | 23 | 33 | 32 | 27 | 467 | 0,4 |
| 4.00 | 44 | 46 | 59 | 68 | 47 | 32 | 35 | 39 | 29 | 31 | 43 | 48 | 521 | 0,4 |
| 5.00 | 78 | 104 | 90 | 113 | 109 | 60 | 81 | 52 | 83 | 84 | 98 | 117 | 1069 | 0,9 |
| 6.00 | 227 | 306 | 292 | 305 | 232 | 185 | 207 | 202 | 211 | 237 | 280 | 261 | 2945 | 2,4 |
| 7.00 | 428 | 513 | 504 | 598 | 515 | 401 | 444 | 428 | 483 | 491 | 467 | 509 | 5781 | 4,7 |
| 8.00 | 554 | 646 | 653 | 721 | 550 | 508 | 596 | 527 | 634 | 623 | 662 | 684 | 7358 | 6,0 |
| 9.00 | 570 | 623 | 623 | 766 | 557 | 507 | 557 | 549 | 589 | 617 | 634 | 648 | 7240 | 5,9 |
| 10.00 | 585 | 675 | 649 | 730 | 591 | 552 | 586 | 598 | 631 | 613 | 694 | 700 | 7604 | 6,2 |
| 11.00 | 654 | 698 | 683 | 782 | 650 | 572 | 645 | 602 | 628 | 682 | 706 | 685 | 7987 | 6,5 |
| 12.00 | 657 | 686 | 737 | 770 | 656 | 615 | 670 | 611 | 659 | 645 | 681 | 733 | 8120 | 6,6 |
| 13.00 | 697 | 678 | 817 | 845 | 634 | 636 | 676 | 672 | 690 | 689 | 697 | 777 | 8508 | 6,9 |
| 14.00 | 738 | 782 | 820 | 905 | 704 | 655 | 715 | 730 | 729 | 754 | 693 | 795 | 9020 | 7,3 |
| 15.00 | 715 | 766 | 770 | 912 | 775 | 677 | 738 | 720 | 709 | 714 | 818 | 819 | 9133 | 7,5 |
| 16.00 | 717 | 828 | 800 | 902 | 736 | 705 | 791 | 817 | 814 | 847 | 840 | 898 | 9695 | 7,9 |
| 17.00 | 737 | 710 | 823 | 883 | 783 | 613 | 653 | 713 | 743 | 768 | 780 | 801 | 9007 | 7,3 |
| 18.00 | 573 | 630 | 697 | 755 | 590 | 534 | 614 | 602 | 621 | 653 | 664 | 664 | 7597 | 6,2 |
| 19.00 | 510 | 529 | 565 | 653 | 491 | 425 | 482 | 439 | 470 | 455 | 509 | 531 | 6059 | 4,9 |
| 20.00 | 413 | 390 | 403 | 540 | 387 | 323 | 342 | 339 | 345 | 372 | 374 | 387 | 4615 | 3,8 |

| Godzina | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Suma | Częstość [%] |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| 21.00 | 303 | 308 | 399 | 488 | 322 | 234 | 252 | 236 | 237 | 248 | 268 | 262 | 3557 | 2,9 |
| 22.00 | 218 | 214 | 302 | 358 | 234 | 184 | 178 | 174 | 173 | 168 | 207 | 203 | 2613 | 2,1 |
| 23.00 | 157 | 155 | 176 | 231 | 175 | 121 | 111 | 104 | 132 | 94 | 138 | 114 | 1708 | 1,4 |

Powiat krakowski

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| 0.00 | 62 | 39 | 32 | 38 | 49 | 44 | 42 | 40 | 34 | 24 | 23 | 33 | 460 | 1,4 |
| 1.00 | 42 | 36 | 22 | 25 | 18 | 23 | 21 | 23 | 15 | 15 | 23 | 18 | 281 | 0,9 |
| 2.00 | 25 | 22 | 23 | 19 | 14 | 13 | 17 | 18 | 26 | 24 | 21 | 18 | 240 | 0,8 |
| 3.00 | 26 | 20 | 25 | 14 | 14 | 18 | 22 | 14 | 19 | 13 | 14 | 18 | 217 | 0,7 |
| 4.00 | 23 | 30 | 20 | 27 | 12 | 25 | 23 | 13 | 23 | 21 | 34 | 11 | 262 | 0,8 |
| 5.00 | 50 | 37 | 39 | 46 | 38 | 43 | 35 | 47 | 43 | 50 | 60 | 42 | 530 | 1,7 |
| 6.00 | 78 | 98 | 97 | 110 | 77 | 85 | 107 | 105 | 105 | 106 | 106 | 112 | 1186 | 3,7 |
| 7.00 | 100 | 124 | 109 | 119 | 125 | 93 | 121 | 115 | 148 | 149 | 153 | 135 | 1491 | 4,7 |
| 8.00 | 118 | 141 | 114 | 143 | 146 | 111 | 153 | 158 | 147 | 156 | 153 | 145 | 1685 | 5,3 |
| 9.00 | 127 | 145 | 123 | 149 | 145 | 116 | 122 | 134 | 149 | 164 | 164 | 132 | 1670 | 5,3 |
| 10.00 | 133 | 158 | 142 | 147 | 139 | 107 | 143 | 148 | 140 | 160 | 152 | 168 | 1737 | 5,5 |
| 11.00 | 168 | 162 | 127 | 160 | 116 | 101 | 141 | 120 | 132 | 141 | 180 | 148 | 1696 | 5,4 |
| 12.00 | 160 | 155 | 142 | 168 | 115 | 111 | 154 | 149 | 143 | 196 | 181 | 170 | 1844 | 5,8 |
| 13.00 | 157 | 164 | 153 | 158 | 149 | 130 | 191 | 179 | 163 | 189 | 194 | 138 | 1965 | 6,2 |
| 14.00 | 178 | 176 | 146 | 196 | 161 | 137 | 169 | 173 | 171 | 204 | 216 | 235 | 2162 | 6,8 |
| 15.00 | 157 | 192 | 173 | 179 | 184 | 136 | 191 | 149 | 180 | 223 | 217 | 216 | 2197 | 6,9 |
| 16.00 | 187 | 210 | 219 | 215 | 161 | 142 | 202 | 193 | 218 | 220 | 261 | 213 | 2441 | 7,7 |
| 17.00 | 169 | 186 | 183 | 197 | 145 | 152 | 184 | 186 | 182 | 220 | 259 | 227 | 2290 | 7,2 |
| 18.00 | 193 | 165 | 143 | 144 | 155 | 128 | 162 | 158 | 197 | 191 | 168 | 185 | 1989 | 6,3 |
| 19.00 | 128 | 145 | 135 | 154 | 125 | 111 | 125 | 137 | 126 | 136 | 146 | 134 | 1602 | 5,1 |
| 20.00 | 125 | 125 | 98 | 118 | 121 | 101 | 119 | 101 | 92 | 118 | 104 | 103 | 1325 | 4,2 |
| 21.00 | 73 | 92 | 93 | 108 | 79 | 88 | 86 | 78 | 63 | 71 | 88 | 79 | 998 | 3,2 |
| 22.00 | 68 | 66 | 58 | 84 | 68 | 46 | 81 | 71 | 53 | 76 | 85 | 58 | 814 | 2,6 |
| 23.00 | 55 | 46 | 40 | 57 | 37 | 41 | 39 | 46 | 34 | 58 | 55 | 49 | 557 | 1,8 |



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z SEWIK (sewik.pl).

Stwierdził on m.in., że miesiącem o największym ryzyku wystąpienia wypadków i kolizji drogowych okazał się październik, natomiast najmniejsza liczba wypadków przypadała na luty, a kolizji – na sierpień. Bezwzględna liczba analizowanych zdarzeń drogowych malała wraz z oddaleniem się od centrum Krakowa, ale wzrastała liczba wypadków śmiertelnych, zwłaszcza na peryferiach, gdzie przebiega droga wylotowa z miasta (Płatkiewicz 2020). Pod względem warunków meteorologicznych najbardziej niekorzystne okazały się dni, w których temperatura powietrza była poniżej 10°C, występowało niskie ciśnienie atmosferyczne i słaba widzialność. Taka pogoda wpływała na wzrost analizowanych zdarzeń zwłaszcza w obszarach peryferyjnych miasta. Niemniej jednak w latach 1997–2010 Płatkiewicz (2020) nie stwierdził silnego związku między zdarzeniami drogowymi a wybranymi warunkami meteorologicznymi.

Tabela 6. Miejsca z największą liczbą wypadków i kolizji drogowych w latach 2007–2018 w Krakowie oraz gminach i miejscowościach powiatu krakowskiego

| Lokalizacja | Liczba zdarzeń drogowych | Częstość [%] |
|--|--------------------------|--------------|
| Ulice Krakowa | | |
| Wielicka | 3505 | 2,9 |
| 29 Listopada | 2959 | 2,4 |
| Opolska | 2904 | 2,4 |
| Zakopiańska | 2660 | 2,2 |
| Al. Słowackiego | 2207 | 1,8 |
| Jana Pawła II | 2106 | 1,7 |
| Al. Pokoju | 1920 | 1,6 |
| Nowohucka | 1891 | 1,5 |
| Andersa | 1513 | 1,2 |
| Al. Mickiewicza | 1503 | 1,2 |
| Kamieńskiego | 1438 | 1,2 |
| Powstańców Wielkopolskich | 1409 | 1,1 |
| Armii Krajowej | 1405 | 1,1 |
| Lublańska | 1359 | 1,1 |
| Kocmyrzowska | 1338 | 1,1 |
| Konopnickiej | 1321 | 1,1 |
| Dietla | 1205 | 1,0 |
| Conrada | 1141 | 0,9 |
| Kobierzyńska | 1139 | 0,9 |
| Igołomska | 1122 | 0,9 |
| Prądnicka | 1061 | 0,9 |
| Gminy powiatu krakowskiego | | |
| Zabierzów | 3843 | 12,1 |
| Skawina | 2701 | 8,5 |
| Krzeszowice | 2210 | 7,0 |
| Liszki | 2189 | 6,9 |
| Wielka Wieś | 1871 | 5,9 |
| Zielonki | 1865 | 5,9 |
| Mogilany | 1775 | 5,6 |
| Słomniki | 1046 | 3,3 |
| Miejscowości powiatu krakowskiego | | |
| Skawina | 2608 | 8,2 |
| Balice | 2020 | 6,4 |
| Krzeszowice | 1159 | 3,7 |
| Kryspinów | 1061 | 3,4 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z SEWIK (sewik.pl).

3. Środowisko geograficzne Krakowa i powiatu krakowskiego

Na pogodę i klimat danego miejsca ma wpływ wiele czynników, wśród nich m.in. położenie geograficzne i zagospodarowanie terenu. W niniejszym rozdziale przedstawiono najważniejsze komponenty środowiska, które mają istotne znaczenie w kontekście rozpatrywanej tematyki badań. Charakterystyką objęto więc **rzeźbę terenu**, która może mieć wpływ na podatność różnych miejsc na oddziaływanie analizowanych zjawisk, **warunki klimatyczne, hydrologiczne, szatę roślinną** oraz **strukturę pokrycia terenu** Krakowa i powiatu krakowskiego.

Analizie poddano też przestrzenne zróżnicowanie liczby ludności na analizowanym obszarze, gdyż prezentowane skutki niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych mają duży wpływ nie tylko na środowisko naturalne, ale zwłaszcza na mieszkańców, ich życie i gospodarczą działalność.

3.1. Położenie geograficzne

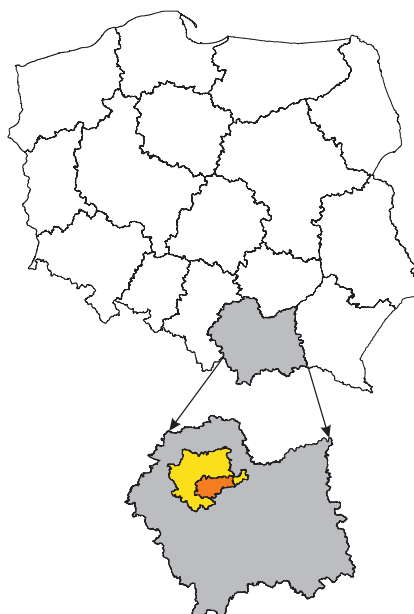
Kraków i powiat krakowski położony jest w południowej Polsce, w północno-zachodniej części województwa małopolskiego (ryc. 9). Kraków jest stolicą województwa i miastem na prawach powiatu. Administracyjnie podzielony jest na 18 dzielnic (ryc. 10, tab. 7) i obejmuje obszar 326,85 km².

Powiat krakowski jest położony w bezpośrednim sąsiedztwie Krakowa. Ma powierzchnię 1230,5 km², co stanowi około 8% powierzchni całego województwa. Jest to czwarty pod względem powierzchni powiat w województwie, po nowosądeckim, nowotarskim i tarnowskim. Składa się z 17 jednostek administracyjnych, 5 gmin wiejsko-miejskich i 12 wiejskich (ryc. 10, tab. 7). Graniczy z siedmioma powiatami: chrzanowskim, miechowskim, myślenickim, olkuskim, proszowickim, wadowickim i wielickim. W skład powiatu wchodzi 332 miejscowości, w tym pięć posiadających prawa miejskie (Krzeszowice, Skawina, Słomniki, Skala i Świątyniki Górne). Stopień urbanizacji jest jednak bardzo niski (około 18%) i czyni powiat krakowski jednym z najmniej zurbanizowanych w województwie małopolskim.

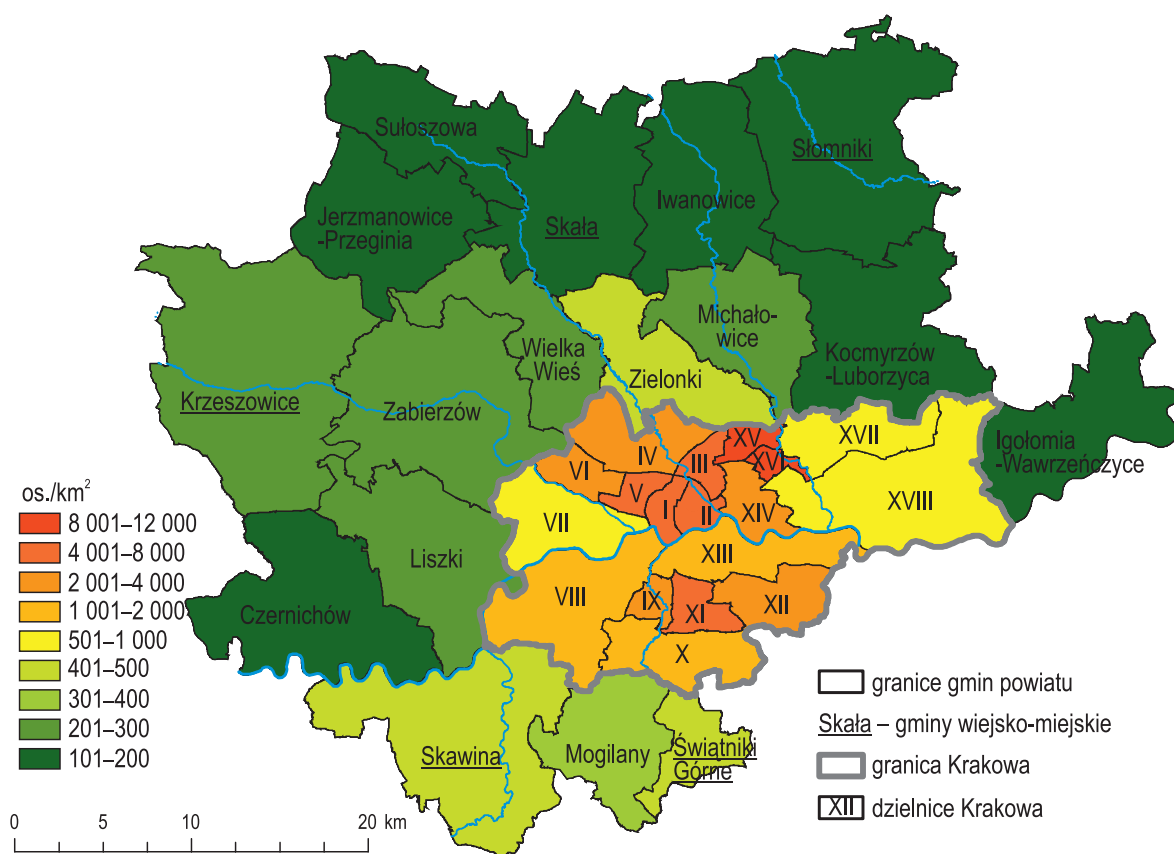
3.2. Ludność

Liczba ludności w Krakowie wynosiła w 2018 r. nieco ponad 771 tys. Najgęściej zaludnioną dzielnicą były Bieńczyce (11 114 osób/km²), natomiast najmniej – Zwierzyniec (710 osób/km²) (ryc. 10, tab. 7).

Powiat krakowski zamieszkuje około 277 tys. mieszkańców (8% ludności województwa) i po Krakowie znajduje się na drugim miejscu pod względem zaludnienia w województwie małopolskim (tab. 7). Najwięcej



Ryc. 9. Położenie Krakowa i powiatu krakowskiego w województwie małopolskim i w Polsce



Dzielnice Krakowa: I – Stare Miasto, II – Grzegórzki, III – Prądnik Czerwony, IV – Prądnik Biały, V – Krowdrza, VI – Bronowice, VII – Zwierzyniec, VIII – Dębniki, IX – Łagiewniki-Borek Fałęcki, X – Swoszowice, XI – Podgórze Duchackie, XII – Bieżanów-Prokocim, XIII – Podgórze, XIV – Czyżyny, XV – Mistrzejowice, XVI – Bieńczyce, XVII – Wzgórze Krzesławickie, XVIII – Nowa Huta

Ryc. 10. Podział administracyjny i gęstość zaludnienia Krakowa i powiatu krakowskiego (stan na 31.12.2018)

Źródło: opracowanie własne na podstawie: *Raport o stanie Miasta 2018 (2019)*, Główny Urząd Statystyczny. *Bank Danych Lokalnych (2020)*.

mieszkańców liczy gmina Skawina (15,7% mieszkańców powiatu), natomiast najmniej gmina Sułoszowa (2,1%). Średnia gęstość zaludnienia powiatu krakowskiego wynosi 225 osób na km² (tab. 7) i jest ona jedną z wyższych w województwie. Najgęściej zaludnionymi gminami są: Świątniki Górne (496 osób/km²), Zielonki (465 osób/km²) i Skawina (436 osób/km²). Najniższy współczynnik gęstości zaludnienia charakteryzuje gminy: Sułoszowa (109 osób/km²), Słomniki (121 osób/km²) i Igołomia-Wawrzeńczyce (123 osób/km²).

Tabela 7. Powierzchnia i ludność Krakowa i powiatu krakowskiego (stan na 31.12.2018)

| Dzielnice / gminy | Powierzchnia [km ²] | Ludność [tys.] | Gęstość zaludnienia [os/km ²] |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------|---|
| Kraków | 326,9 | 771,1 | 2 359,1 |
| I Stare Miasto | 5,6 | 31,4 | 5 632,4 |
| II Grzegórzki | 5,8 | 29,5 | 5 042,4 |
| III Prądnik Czerwony | 6,4 | 46,6 | 7 242,6 |
| IV Prądnik Biały | 23,4 | 70,6 | 3 016,7 |
| V Krowodrza | 5,6 | 30,2 | 5 378,7 |
| VI Bronowice | 9,6 | 23,7 | 2 476,9 |
| VII Zwierzyniec | 28,7 | 20,4 | 709,8 |
| VIII Dębniki | 46,2 | 61,6 | 1 334,5 |
| IX Łagiewniki-Borek Fałęcki | 5,4 | 15,3 | 2 817,9 |
| X Swoszowice | 25,6 | 27,5 | 1 073,8 |
| XI Podgórze Duchackie | 9,5 | 53,7 | 5 633,9 |
| XII Bieżanów-Prokocim | 18,5 | 62,8 | 3 401,0 |
| XIII Podgórze | 25,7 | 36,9 | 1 437,1 |
| XIV Czyżyny | 12,3 | 29,6 | 2 417,8 |
| XV Mistrzejowice | 5,6 | 52,0 | 9 304,3 |
| XVI Bieżczyce | 3,7 | 41,1 | 11 114,4 |
| XVII Wzgórze Krzesławickie | 23,8 | 20,2 | 848,4 |
| XVIII Nowa Huta | 65,4 | 51,2 | 783,3 |
| Powiat krakowski | 1 230,5 | 277,1 | 225,2 |
| Czernichów | 84,2 | 14,6 | 173,2 |
| Igołomia-Wawrzeńczyce | 62,8 | 7,7 | 123,0 |
| Iwanowice | 71,1 | 9,1 | 128,5 |
| Jerzmanowice-Przebinia | 68,1 | 10,9 | 160,5 |
| Kocmyrzów-Luborzycza | 80,8 | 15,6 | 192,9 |
| Krzeszowice | 139,0 | 32,2 | 231,6 |
| Liszki | 72,1 | 17,3 | 239,9 |
| Michałowice | 51,1 | 10,6 | 206,6 |
| Mogilany | 43,6 | 14,1 | 322,1 |
| Skala | 74,8 | 10,6 | 141,1 |
| Skawina | 99,8 | 43,5 | 435,7 |
| Słomniki | 113,0 | 13,7 | 121,1 |
| Sułoszowa | 53,4 | 5,8 | 109,2 |
| Świątniki Górne | 20,4 | 10,1 | 495,5 |
| Wielka Wieś | 48,3 | 12,4 | 256,0 |
| Zabierzów | 99,4 | 26,5 | 266,6 |
| Zielonki | 48,6 | 22,6 | 464,8 |

Źródło: Raport o stanie Miasta 2018 (2019), Główny Urząd Statystyczny. Bank Danych Lokalnych (2020).

3.3. Ukształtowanie terenu

Kraków i powiat krakowski położony jest na styku trzech dużych jednostek morfostrukturalnych: Wyżyny Krakowskiej, Pogórza Karpackiego oraz Kotliny Sandomierskiej (Izmailów 2015). W obrębie tych głównych jednostek występują mniejsze obszary wyróżniające się odmiennymi cechami środowiska.

Według nowego podziału fizycznogeograficznego Polski (Solon i in. 2018), bazującego na opracowaniu Kondrackiego (1988), na analizowanym obszarze wyróżniono 5 makroregionów: Wyżynę Krakowsko-Częstochowską (341.3), Nieckę Nidziańską (342.2), Bramę Krakowską (512.3), Kotlinę Sandomierską (512.4–5) i Pogórze Zachodniobeskidzkie (513.3) (ryc. 11). Każda z tych jednostek dzieli się na kilka mezoregionów, które omówiono poniżej.

Wyżyna Krakowsko-Częstochowska (341.3) rozciąga się w północno-zachodniej części powiatu krakowskiego i tylko niewielkim fragmentem wkracza w obszar Krakowa, w dzielnicy Prądnik Biały (ryc. 11). W jej obrębie wyróżnia się trzy mezoregiony: Wyżynę Olkuską (341.32), Rów Krzeszowicki (341.33) i Garb Tenczyński (341.34).

Wyżyna Olkuska (341.32), zbudowana z wapieni jurajskich, jest lekko falista, miejscami pokryta eolicznymi utworami pyłowymi, ponad powierzchnią których wznoszą się wapienne skałki (ostańce, mogoty), charakterystyczne dla całej Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej. Z uwagi na budowę geologiczną (skały wapienne) rozwinęły się na tym obszarze formy krasowe, występują m.in.: jaskinie, ostańce, wywierzyska oraz doliny (wąwozy i jary), z których najbardziej znane są: Dolina Prądnika na terenie Ojcowskiego Parku Narodowego oraz tzw. Dolinki Podkrakowskie z licznymi rezerwatami przyrody i innymi formami ich ochrony, wchodzące w skład Parku Krajobrazowego.

Obszar wyżyny wznosi się od około 250 do 513 m n.p.m. (ryc. 11). Najwyższym wzniesieniem, a tym samym najwyższym położonym punktem na analizowanym obszarze jest ostaniec krasowy, zwany Grodzisko lub Skałka 502 w Jerzmanowicach (gmina Jerzmanowice-Przegonia), w pobliżu górnej części Doliny Będkowskiej.

Rów Krzeszowicki (341.33) rozdziela Wyżynę Olkuską od trzeciego mezoregionu Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej położonego na terenie powiatu krakowskiego – Garbu Tenczyńskiego (ryc. 11). Stanowi dość rozległe zapadlisko tektoniczne powstałe w trzeciorzędzie, o wysokości od 220 do 310 m n.p.m. Region ten ma przebieg równoleżnikowy, o długości około 30 km i szerokości do kilku kilometrów. Jest wykorzystywany rolniczo. Dnem Rowu Krzeszowickiego płynie Rudawa, lewobrzeżny dopływ Wisły, mająca swe ujście na terenie Krakowa, w dzielnicy Zwierzyniec.

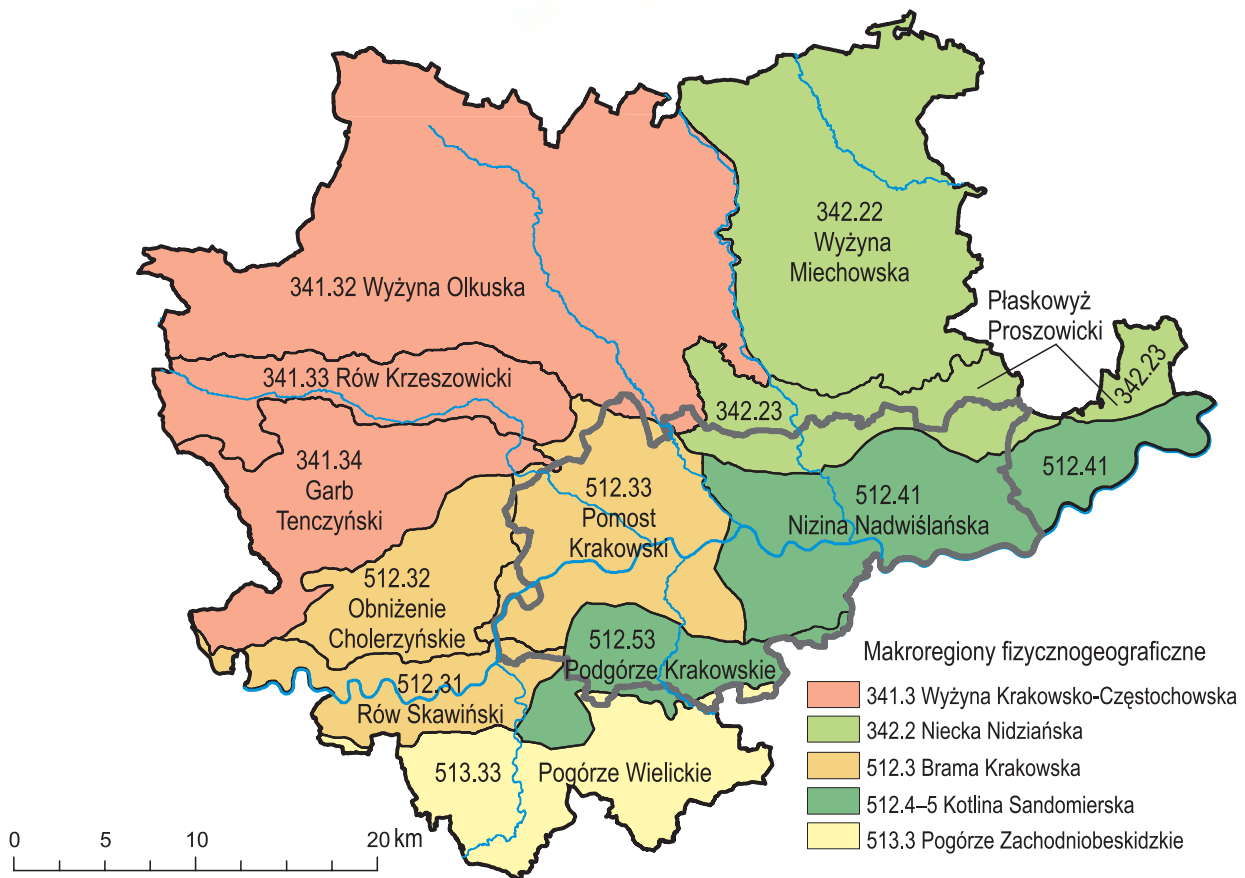
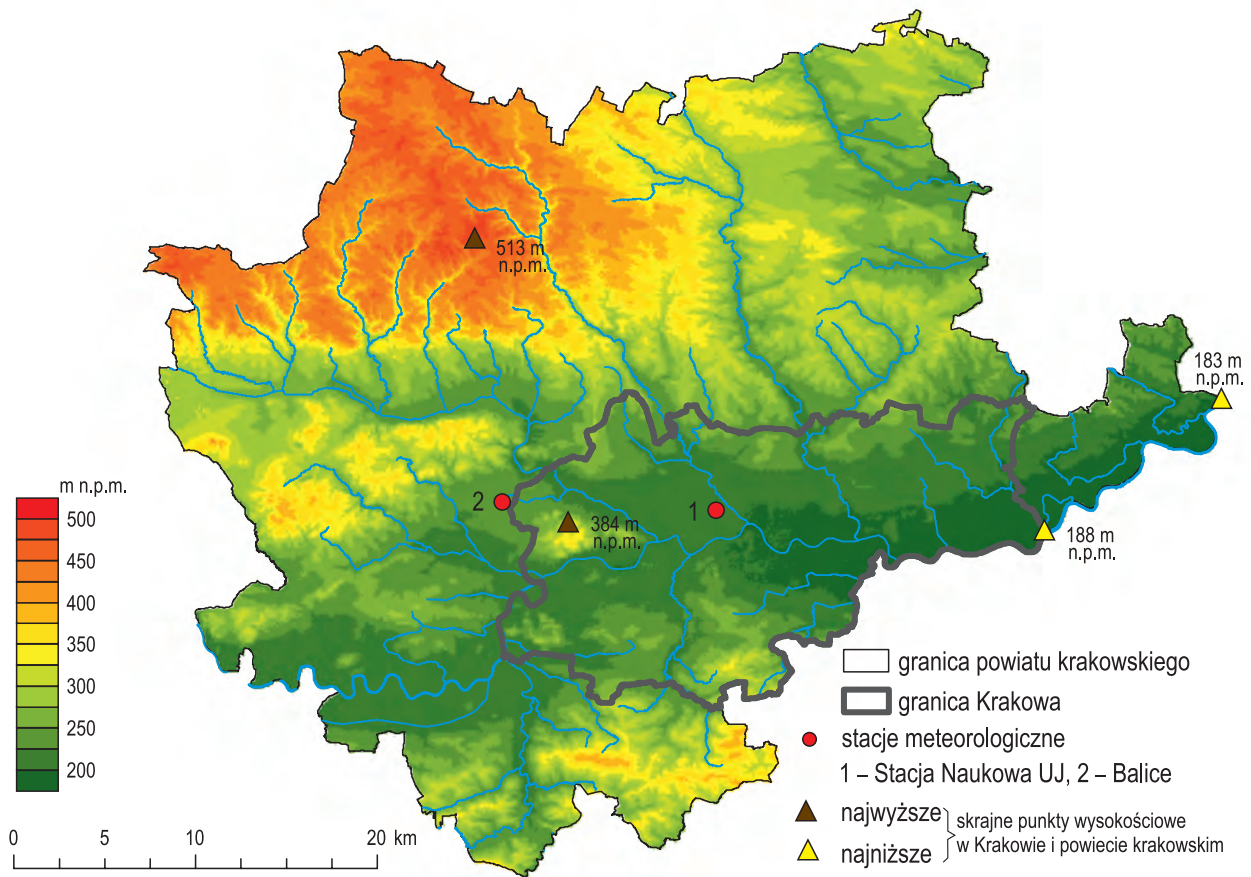
Garb Tenczyński (341.34) to najbardziej na południe wysunięta część Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, rozciągająca się na zachód od Krakowa (ryc. 11). Jest to zrąb tektoniczny, którego najwyższym punktem jest twarde wzniesienie (pagór) – Góra Zamkowa w Rudnie koło Tenczynka (gmina Krzeszowice), o wysokości 411 m n.p.m. Region ten jest w dużej części pokryty lasem i objęty ochroną przyrody w ramach dwóch Parków Krajobrazowych – Tenczyńskiego i Rudniańskiego oraz kilku rezerwatów. Od strony wschodniej przedłużeniem Garbu Tenczyńskiego jest fragment Bramy Krakowskiej (512.3) – izolowane zręby Pomostu Krakowskiego (512.33).

Niecka Nidziańska (342.2) jest makroregionem, który rozciąga się na analizowanym obszarze pasem od północnej granicy Krakowa aż po północno-wschodnią część powiatu krakowskiego i dzieli się na dwa mezoregiony: Płaskowyż Proszowicki (342.22) i Wyżynę Miechowską (342.22).

Płaskowyż Proszowicki (342.23) na terenie Krakowa ograniczony jest z dwóch stron dolinami rzek (Białuchą i Kościelnickim Potokiem). Obszar ten, pokryty lessem, stanowi niewysokie, rozległe wzgórze o wysokości 208–220 m n.p.m., rozcięte licznymi nieckami denudacyjnymi o głębokości dochodzącej do 15 m. Z uwagi na urodzajne gleby (czarnoziemy) jest wykorzystywany rolniczo.

Na północ od Płaskowyżu Proszowickiego rozciąga się **Wyżyna Miechowska (342.22)**. Charakteryzuje się ona urozmaiconą rzeźbą, z rozległymi wzniesieniami i obniżeniami o głębokości 30–50 m, zwanymi padołami i typowym krajobrazem rolniczym tej części Polski.

Brama Krakowska (512.3) jest makroregionem wchodzącym w skład tektonicznych obniżeń Północnego Podkarpacia. Ma budowę zrębową, w krajobrazie zaznaczają się obniżenia (rowy tektoniczne) i wzniesienia



Ryc. 11. Ukształtowanie terenu i podział Krakowa oraz powiatu krakowskiego na jednostki fizycznogeograficzne według klasyfikacji Solona i in. (2018)

(zręby). Obejmuje część doliny Wisły, której wschodni odcinek wkracza w granice Krakowa oraz zlokalizowana jest m.in. w gminach: Skawina, Czernichów i Liszki. Dzieli się na trzy mezoregiony: Rów Skawiński (512.31), Obniżenie Cholerzyńskie (512.32) i Pomost Krakowski (512.33) (ryc. 11).

Rów Skawiński (512.31) stanowi południową część Bramy Krakowskiej znajdującej się w obrębie powiatu krakowskiego (gminy Czernichów i Liszki), ale także obejmuje niewielki fragment południowo-zachodniej części Krakowa, w dzielnicy Dębniki i Zwierzyniec (ryc. 11). Stanowi płaski obszar z pojedynczymi skałkami wapiennymi. Jest to region bezleśny, zabudowany lub porośnięty roślinnością łąkową.

Obniżenie Cholerzyńskie (512.32) to równina wznosząca się 40–50 m nad dnem doliny Wisły. W jej obrębie zlokalizowano międzynarodowe lotnisko Kraków-Balice.

Pomost Krakowski (512.33) niemal w całości znajduje się w granicach Krakowa. Charakteryzuje się występowaniem obniżeń tektonicznych, w których dnie płynie m.in. Wisła, oraz zrębowych wzgórz wapiennych, m.in.: Wzgórza Tynieckie, Pasma Sowińca (Zrąb Sowińca), Krzemionki Zakrzowskie (inne nazwy: Zakrzówek, Skałki Twardowskiego), Krzemionki Podgórskie (potocznie Krzemionki), Wawel, Skałka. W Paśmie Sowińca, ciągnącego się od Kryspinowa (gmina Liszki) po ujście Rudawy do Wisły (dzielnica Zwierzyniec), zlokalizowany jest najwyższy punkt Bramy Krakowskiej i zarazem najwyższe wzniesienie naturalne Krakowa – Sowiniec (358 m n.p.m.). Na jego szczycie usypano Kopiec J. Piłsudskiego (383,6 m n.p.m.), stanowiący najwyższy punkt miasta (ryc. 11; Ptaszycka-Jackowska, Maciejowski 2011). Większa część Pasma Sowińca jest porośnięta lasem (Las Wolski) i wchodzi w skład Bielańsko-Tynieckiego Parku Krajobrazowego, rozciągającego się od Krakowa poprzez gminę Liszki i Czernichów.

Południowa i wschodnia część Krakowa oraz fragmenty gmin Liszki i Igołomia-Wawrzeńczyce zlokalizowane są w obrębie **Kotliny Sandomierskiej (512.4–5)**. Na analizowanym obszarze wyróżnia się dwa jej mezoregiony: nowo wydzielony – Podgórze Krakowskie (512.53) (Solon i in. 2018) i Nizinę Nadwiślańską (512.41).

Podgórze Krakowskie (512.53) wkracza na obszar gminy Skawina, ale jego zasadnicza część rozciąga się na obszarze dzielnic Dębniki i Swoszowice. Jego charakterystycznymi formami krajobrazu są pagóry, o wysokości względnej do 60 m, z wierzchołkami stanowiącymi fragmenty spłaszczeń erozyjno-denudacyjnych i stokami rozciętymi licznymi nieckami denudacyjnymi. Pagóry rozdzielone są wąską doliną Wilgi.

Nizina Nadwiślańska (512.41) jest mezoregiem obejmującym szeroką dolinę Wisły we wschodniej części Krakowa i gminie Igołomia-Wawrzeńczyce. Na jej obszarze znajduje się najniższy punkt Krakowa i powiatu krakowskiego, ujście Potoku Kościelnickiego – 187 m n.p.m. (ryc. 11).

Południowa część powiatu krakowskiego rozciąga się na obszarze **Pogórza Zachodniobeskidzkiego (513.3)**, będącego częścią regionu Zewnętrzne Karpaty Zachodnie (513). Jedynie niewielki fragment tego makroregionu, a dokładnie część mezoregionu **Pogórze Wielickie (513.33)**, obejmuje gminy Czernichów, Skawina, Mogilany i Świątniki Górne oraz południową część dzielnicy Swoszowice. Charakteryzuje się pofalowaną powierzchnią. W obrębie stoków występują liczne doliny i osuwiska.

3.4. Warunki klimatyczne

W niniejszym rozdziale przedstawiono krótką charakterystykę wybranych elementów klimatu obszaru reprezentowanego przez dwie stacje meteorologiczne: zlokalizowaną w centrum Krakowa (Stacja Naukowa UJ) oraz położoną w terenie pozamiejskim (Balice) (ryc. 11). Opis ten ma na celu przybliżyć najważniejsze cechy klimatu rozpatrywanego obszaru i stanowić odniesienie dla warunków klimatycznych powiatu krakowskiego. W rozdziale pominięto opis zjawisk meteorologicznych będących przedmiotem niniejszego opracowania i zamieszczono je w kolejnych rozdziałach poświęconych poszczególnym zjawiskom.

Bardziej szczegółową charakterystykę klimatu Krakowa czytelnik może odnaleźć w licznych opracowaniach z tego zakresu, m.in.: Hessa (1967, 1969, 1974), Lewińskiej i in. (1982), Niedźwiedzia i in. (1984), Niedźwiedzia i Obrębskiej-Starkłowej (1987), Hess i in. (1989), Trepieńskiej (1997), Twardosza (2005), Matuszko (2007), Bokwy

(2010, 2019), Piotrowicz (2010), Twardosza i in. (2011), Matuszko i in. (2015), Matuszko i Piotrowicz (2015). W części z nich stosowano podejście związane z porównaniem przebiegu wybranych elementów meteorologicznych między miastem a terenami zlokalizowanymi poza jego granicami. Pozwoliło to autorom określić cechy różniące klimat Krakowa i obszarów pozamiejskich. Zdecydowanie rzadziej przedmiotem badań były warunki klimatyczne powiatu krakowskiego i najczęściej dotyczyły one konkretnych obszarów czy regionów fizyczno-geograficznych.

Usłonecznienie i zachmurzenie

Głównym czynnikiem kształtującym warunki klimatyczne jest promieniowanie słoneczne (Matuszko 2009). Urozmaicona rzeźba terenu powoduje, że na analizowanym obszarze występują duże różnice w ilości docierającej energii słonecznej. Najbardziej zacienione są północne stoki wzniesień, np. Garbu Tenczyńskiego, głęboko wcięte doliny oraz północno-zachodnie stoki Pogórza Wielickiego, natomiast najwięcej energii dociera do miejsc charakteryzujących się najmniejszym zasłonięciem horyzontu. Należą do nich wierzchowy oraz stoki południowe, położone powyżej 300 m n.p.m., m.in. Wyżyny Olkuskiej i Garbu Tenczyńskiego (ryc. 11).

Na wielkość promieniowania dochodzącego do powierzchni Ziemi bezpośredni wpływ ma usłonecznienie i związane z nim zachmurzenie. Usłonecznienie, czyli liczba godzin ze słońcem, w latach 1961–2018 średnio wynosiło w Krakowie 1498 godzin w roku i wahało się od 1067,2 (w 1980 r.) do 1904,0 (w 2015 r.). W poszczególnych miesiącach liczba godzin ze słońcem nawiązuje do długości dnia (Matuszko, Piotrowicz 2018). Największe wartości osiąga usłonecznienie w lipcu, średnio 218,2 godzin, natomiast najmniejsze w grudniu – 37,1 godzin. Średnie roczne i miesięczne sumy usłonecznienia w centrum Krakowa i na obrzeżach miasta, reprezentowanego przez stację w Balicach, niewiele się różnią (Matuszko i in. 2015).

Na roczny i dobowy przebieg usłonecznienia ma wpływ m.in. wielkość i rodzaj zachmurzenia. W Krakowie średnie roczne zachmurzenie wynosi 66%. W latach 1961–2018 najbardziej zachmurzony był 1962 r. (73,5%), natomiast najmniej 1982 r. (56,1%). W ciągu roku największe zachmurzenie występuje w miesiącach zimowych, zwłaszcza w grudniu (76,7%), natomiast najmniejsze w lecie, szczególnie w sierpniu (56,1%). W zimie większe zachmurzenie jest związane z inwersjami temperatury powietrza, którym towarzyszą mgły i niskie chmury warstwowe (Matuszko 2007), natomiast w cieplej połowie roku (kwiecień–wrzesień) – z przewagą chmur konwekcyjnych, które najczęściej pojawiają się w godzinach okołopołudniowych i zanikają pod wieczór. Na Stacji Naukowej UJ średnie roczne zachmurzenie jest o 2% większe niż w Balicach (Matuszko i in. 2015), a w maju, czerwcu i sierpniu nawet o około 4%, co jest związane z nieco większym parowaniem, konwekcją i liczbą jąder kondensacji pary wodnej.

Uwarunkowania cyrkulacyjne

Drugim z najważniejszych czynników, po promieniowaniu słonecznym, kształtującym warunki klimatyczne danego regionu jest cyrkulacja atmosferyczna. W kontekście występowania groźnych zjawisk meteorologicznych, szczególną uwagę należy jednak zwrócić na nagłe zmiany warunków synoptycznych z dnia na dzień, które w znacznym stopniu odpowiedzialne są za pojawianie się groźnych, a nawet ekstremalnych zjawisk meteorologicznych. Do najważniejszych cech charakteryzujących warunki synoptyczne zaliczamy: rodzaj układu barycznego, jaki kształtował pogodę danego dnia, kierunek adwekcji powietrza, rodzaj napływających mas powietrza oraz przemieszczających się nad badanym obszarem frontów atmosferycznych. Informacje dotyczące wspomnianych elementów cyrkulacji atmosfery będące podstawą tego opracowania pochodzą z *Kalendarza typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej* opracowanego przez Niedźwiedzia (2019; tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*).

W rozpatrywanym regionie, podobnie jak na pozostałym obszarze kraju (Woś 1995), pogoda nieco częściej kształtowana była przez sytuacje synoptyczne związane z układami wysokiego ciśnienia (średnio 51,5%

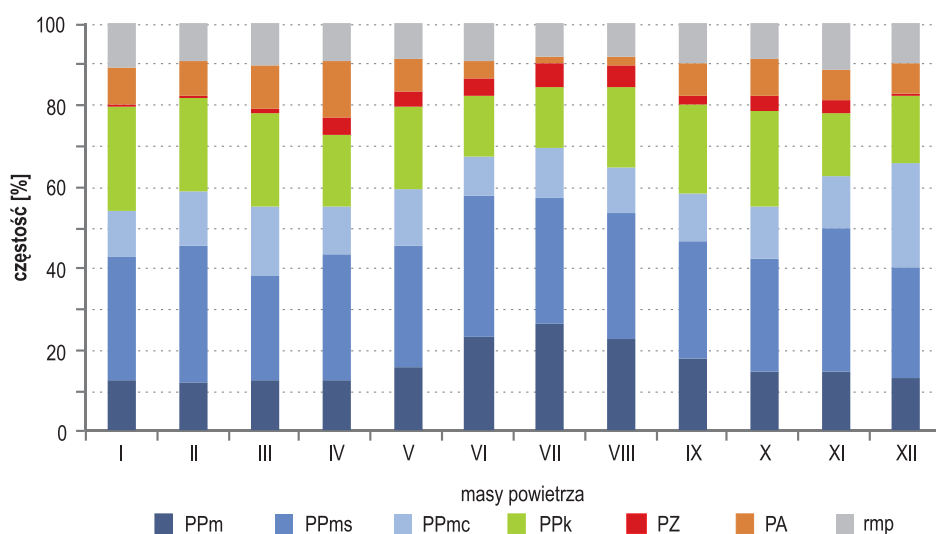
wszystkich dni w roku). Jednocześnie, zgodnie z dominującym w strefie umiarkowanej przepływem zachodnim, w rozpatrywanym regionie najczęściej notowano napływ mas powietrza z sektora zachodniego (w sumie stanowiąc 38,4% wszystkich dni), chociaż wspomniane wartości zmieniały się w poszczególnych latach i sezonach (tab. 8).

Tabela 8. Częstość [%] kierunków adwekcji mas powietrza oraz występowania typów sytuacji antycyklonalnych i cyklonalnych w południowej Polsce w latach 1961–2018

| Pory roku | Częstość [%] | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-------------------------|---------------------|----------------------------|
| | Kierunek adwekcji | | | | | | | | Sytuacje antycyklonalne | Sytuacje cyklonalne | Sytuacje niesklasyfikowane |
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW | A | C | X |
| Wiosna | 6,9 | 7,9 | 9,5 | 9,1 | 6,8 | 8,7 | 12,1 | 9,5 | 45,3 | 52,2 | 2,5 |
| Lato | 8,0 | 7,9 | 6,6 | 4,2 | 4,2 | 5,6 | 14,5 | 12,8 | 52,5 | 45,8 | 1,7 |
| Jesień | 4,4 | 3,4 | 5,5 | 7,9 | 9,2 | 12,7 | 20,2 | 10,1 | 55,2 | 42,7 | 2,0 |
| Zima | 4,4 | 3,9 | 7,5 | 7,6 | 6,8 | 11,8 | 24,8 | 10,9 | 53,2 | 44,5 | 2,3 |
| Rok | 5,9 | 5,8 | 7,3 | 7,2 | 6,7 | 9,7 | 17,9 | 10,8 | 51,5 | 46,3 | 2,1 |

Źródło: na podstawie Niedźwiedzia (2019).

Przepływowi powietrza towarzyszy zmiana mas powietrza charakteryzujących się przede wszystkim odmiennymi cechami termiczno-wilgotnościowymi. W latach 1961–2018 nad rozpatrywany obszar napływały prawie wszystkie rodzaje mas powietrza: arktyczne (PA – średnio występujące w 8,0% dni w roku), polarne morskie świeże (PPm – 16,9%), polarne morskie stare (przetransformowane; PPms – 31,5%), polarne morskie ciepłe (PPmc – 8,5%), polarne kontynentalne (PPk – 20,4%) i zwrotnikowe (PZ – 3,1%). Dość często (średnio 11,6% wszystkich dni w roku) zdarzały się także przypadki, w których w ciągu jednej doby nad rozpatrywanym regionem przemieszczało się kilka rodzajów mas powietrza (rmp). Sytuacje takie najczęściej mają miejsce podczas przechodzenia nad Polską dynamicznego układu niskiego ciśnienia z towarzyszącymi mu frontami atmosferycznymi. I chociaż udział poszczególnych mas powietrza zmienia się w ciągu roku, wyraźnie zaznacza się dominacja tych napływających znad Atlantyku (PPm, PPms, PPmc) (ryc. 12).



Ryc. 12. Średnia miesięczna częstość [%] występowania poszczególnych mas powietrza w południowej Polsce w latach 1961–2018 (objaśnienia w tekście i tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*)

Przemierzające się nad danym obszarem masy powietrza rozdzielają strefy frontów atmosferycznych, na których zachodzą bardzo wyraźne zmiany warunków meteorologicznych. W badanym wieloleciu (1961–2018) w południowej Polsce dominowały dni z pogodą kształtowaną przez jednorodną masę powietrza, które średnio w roku stanowiły aż 59,3% wszystkich przypadków. Znacznie rzadziej nad rozpatrywanym obszarem przemieszczały się chłodne fronty atmosferyczne (Fz – średnio 16,6%, czyli około 58 dni rocznie), najczęściej związane z aktywnymi układami niskiego ciśnienia napływającymi z Oceanu Atlantyckiego. Przynoszące wzrost temperatury fronty ciepłe (Fc) występowały średnio zaledwie w 8,4% dni rocznie (około 30 dni), a fronty okluzji (Fo) z towarzyszącą im rozległą strefą opadów w 5,2% dni (około 20 dni). Najrzadziej pogoda nad rozpatrywanym obszarem kształtowana była przez fronty stacjonarne (Fs – 2,8%, około 10 dni), a w 7,8% przypadków (około 28 dni) w ciągu jednego dnia odnotowywano pojawienie się różnych rodzajów stref frontowych (rf). Sezonowe zróżnicowanie występowania rozpatrywanych frontów nie jest duże (tab. 9). Główne zmiany częstości poszczególnych rodzajów frontów atmosferycznych występują w lecie i sezonie zimowym.

Tabela 9. Średnia sezonowa częstość [%] występowania rodzajów frontów atmosferycznych w południowej Polsce w latach 1961–2018 (objaśnienia w tekście i tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*)

| Rodzaj frontu atmosferycznego | Częstość [%] frontów atmosferycznych | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------|--------|-------|-------|
| | Wiosna | Lato | Jesień | Zima | Rok |
| brak | 59,1 | 60,6 | 61,4 | 57,9 | 59,7 |
| Fc | 9,0 | 5,8 | 8,5 | 10,0 | 8,3 |
| Fz | 15,4 | 18,8 | 16,1 | 13,8 | 16,0 |
| Fo | 5,5 | 4,6 | 4,5 | 7,6 | 5,6 |
| Fs | 2,8 | 3,5 | 2,1 | 2,0 | 2,6 |
| rf | 8,2 | 6,7 | 7,4 | 8,7 | 7,8 |
| Suma | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Źródło: na podstawie Niedźwiedzia (2019).

Temperatura powietrza

Głównymi czynnikami kształtującymi warunki termiczne rozpatrywanego obszaru są dopływ promieniowania słonecznego i cyrkulacja atmosferyczna. Natomiast w skali lokalnej temperatura powietrza jest modyfikowana przede wszystkim przez ukształtowanie i pokrycie terenu oraz wysokość nad poziomem morza.

W Krakowie w latach 1961–2018 średnia roczna temperatura powietrza wynosiła 8,9°C. Najcieplejszy był 2015 r. (10,7°C), a najchłodniejszy 1980 i 1996 r. (7,6°C). W przebiegu rocznym najcieplejszym miesiącem jest zwykle lipiec (19,0°C), natomiast najchłodniejszym styczeń (–1,8°C), chociaż w zależności od warunków pogodowych panujących w poszczególnych latach roczne maksimum lub minimum temperatury może przypadać w innych miesiącach. Warto również przypomnieć, iż w przebiegu wieloletnim dość wyraźnie zaznacza się wzrost temperatury powietrza, co potwierdza m.in. fakt, że od 2000 r. aż w 7 latach jej średnia roczna wartość była wyższa od 10,0°C.

Centrum miasta charakteryzuje się wyższą temperaturą powietrza niż tereny go otaczające, mniej zurbanizowane. W Balicach średnia roczna temperatura jest więc niższa o około 1°C od tej w centrum miasta. Wyraźne większe różnice występują w miesiącach zimowych, przy niskiej temperaturze powietrza, natomiast w cieplej części roku, od maja do sierpnia, średnie miesięczne wartości temperatury różnią się o 0,5°C (Matuszko i in. 2015).

Obszar powiatu krakowskiego charakteryzuje się znacznymi deniwelacjami terenu, a tym samym dużym zróżnicowaniem warunków termicznych. Na Wyżynie Olkuskiej średnia roczna temperatura powietrza wahała się od 7,2°C do 7,6°C, natomiast w rozcinających ją dolinach, jest niższa o około 1,0°C (Maciejowski 2020). Pomiar prowadzone w Ojcowskim Parku Narodowym w latach 1990–2005 wykazały, że średnia roczna temperatura powietrza w dolinie Prądnika wynosiła 6,9°C, a średnie miesięczne wartości wahały się od –2,5°C w styczniu do

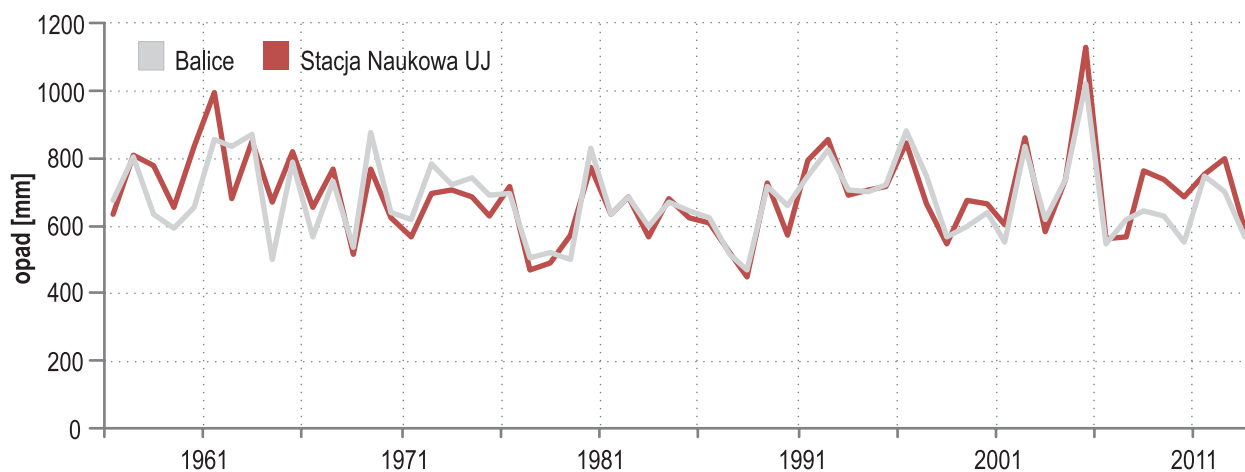
16,7°C w lipcu (Bokwa i in. 2006). Największe kontrasty termiczne występują między głęboko wciętymi dolinami a wierzchowinami oraz między chłodnymi i zacienionymi północnymi stokami a tymi znacznie cieplejszymi o ekspozycji południowej. W zimie wierzchowiny są chłodniejsze niż dna dolin średnio o około 3,0°C, natomiast w lecie w porośniętych lasem dnach dolin zaznacza się inwersja temperatury, stąd formy wypukłe są średnio o około 2,5°C cieplejsze niż formy wklęsłe.

Opady atmosferyczne

Kolejnym bardzo ważnym elementem meteorologicznym silnie kształtującym klimat danego obszaru są opady atmosferyczne. Wieloletni i roczny przebieg sum opadów w Krakowie i Balicach w latach 1961–2018 przedstawiono na rycinie 13 i 14. Średnia roczna ich suma wynosiła 688 mm (Stacja Naukowa UJ) i 677 mm (Balice), wahała się odpowiednio od 448 i 469 mm w 1993 r. do 1126 i 1021 mm w 2010 r. Opady atmosferyczne na Stacji Naukowej UJ w Ogrodzie Botanicznym są wyższe od tych w Balicach o około 6% (Matuszko i in. 2015). Znajduje to również odzwierciedlenie w średniej rocznej liczbie dni z opadem ($\geq 0,1$ mm), która w przypadku centrum Krakowa jest o 3% większa od tej w Balicach.

Maksimum opadów występuje w lecie, zwłaszcza w czerwcu i lipcu (około 90 mm), natomiast minimum zimą (głównie w styczniu i lutym; około 30–40 mm). W przebiegu wieloletnim brak wyraźnej tendencji zmian tego elementu meteorologicznego (Twardosz 2007).

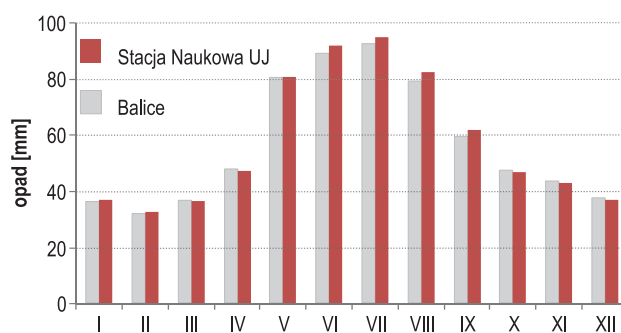
Opady atmosferyczne są bardzo zróżnicowane przestrzennie, nawet na niewielkim obszarze. Z badań przeprowadzonych na obszarze Krakowa wynika, że ich sumy roczne wykazują zróżnicowanie w przekroju równoleżnikowym (Bokwa, Limanówka 2008) i południkowym (Bokwa, Skowera 2008, 2009), czego powodem jest przede wszystkim urozmaicona rzeźba terenu. Zwykle, południowa i zachodnia część miasta otrzymuje więcej opadów niż część północna i wschodnia, która pozostaje w tzw. cieniu opadowym Wyżyny Małopolskiej (Lewińska 1967, Olechnowicz-Bobrowska i in. 2005, Bokwa 2010). Na zróżnicowanie opadów notowanych w ciągu roku i poszczególnych sezonach wpływa też bezwzględna wysokość danego obszaru. Przykładem są roczne sumy opadów osiągające w Nowej Hucie (położonej na wysokości około 210 m n.p.m.) 650 mm oraz sumy opadów przekraczające 750 mm w południowej części miasta, wyżej wzniesionej nad poziom dna doliny Wisły. Wyższe opady występują także na wypukłych formach terenu: w zachodniej i południowej części miasta oraz w jego centrum (Lewińska i in. 1990). Różnice pomiędzy sumami rocznymi opadów we wklęsłych formach terenowych, w obrębie doliny Wisły we wschodniej części Krakowa, a jego południową i zachodnią częścią wzniesioną ponad 300 m n.p.m., wynoszą około 100 mm (Lewińska i in. 1990).



Ryc. 13. Suma roczna opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018

Zróźnicowanie przestrzenne opadów w powiecie krakowskim jest słabiej poznane. Większość prac z tego zakresu dotyczy badań o charakterze lokalnym. Na tej podstawie stwierdzono, że w obrębie powiatu krakowskiego, obszary położone na tej samej wysokości co w Krakowie otrzymują około 80 mm mniejszą sumę opadów. Lewińska i in. (1990) tłumaczą to wpływem miasta (urbanizacji) na opady. Potwierdzają to badania Olechnowicz-Bobrowskiej i in. (2005), którzy wykazali, że w Garlicy Murowanej (gmina Zielonki) średnia roczna suma opadów w latach 1961–2000 wynosiła 613 mm i była niższa niż w Krakowie. Zdaniem Obrębskiej-Starkłowej i in. (1997) różnice w sumach opadów pomiędzy miastem a terenem go otaczającym są szczególnie wyraźne w lecie, kiedy w wyniku silniejszej konwekcji nad obszarem zurbanizowanym częściej dochodzi do opadów o charakterze burzowym. Zimą natomiast, nieznacznie wyższe sumy opadów mogą wynikać ze zwiększonej liczby jąder kondensacji (zwiększone zanieczyszczenie powietrza) i dużej emisji sztucznego ciepła powodującej krótkotrwałe i lokalne opady (Obrębska-Starkłowa i in. 1997).

W literaturze klimatologicznej można znaleźć również informacje o sumach opadów atmosferycznych m.in. w gminach: Sułoszowa, Krzeszowice i Skała (Olechnowicz-Bobrowska i in. 2005; Cebulka i in. 2013; Bokwa, Maciejowski 2014). W pierwszym z wymienionych miejsc (gmina Sułoszowa) średnie roczne sumy wahają się w granicach 700–775 mm. Nieco mniejsze są na zachodzie tej gminy, co wynika z faktu, że obszar ten znajduje się w cieniu opadowym wschodnich stoków Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej (Cebulka i in. 2013). Mniejsze opady otrzymują również dna dolin krasowych, zwłaszcza te głęboko wcięte lub znajdujące się w cieniu opadowym, m.in. Dolina Sąspowska w Ojcowskim Parku Narodowym (Klein 1974; Brzeźniak, Partyka 2008). Przykładem jest średnia roczna suma opadów w latach 1981–2010 w Nowej Górze (gmina Krzeszowice; ok. 450 m n.p.m.), która wynosiła 776 mm, natomiast w położonym w dolinie Prądnika Ojcowie (gmina Skała; 322 m n.p.m.) – 723 mm (Bokwa, Maciejowski 2014). Potwierdzają to również wyniki badań Kleina (1974) wskazujące, że w dolinach Wyżyny Olkuskiej opady są niższe o około 40–50 mm niż na wierzchołku i o 50–60 mm niższe od tych na zboczach o ekspozycji północnej.

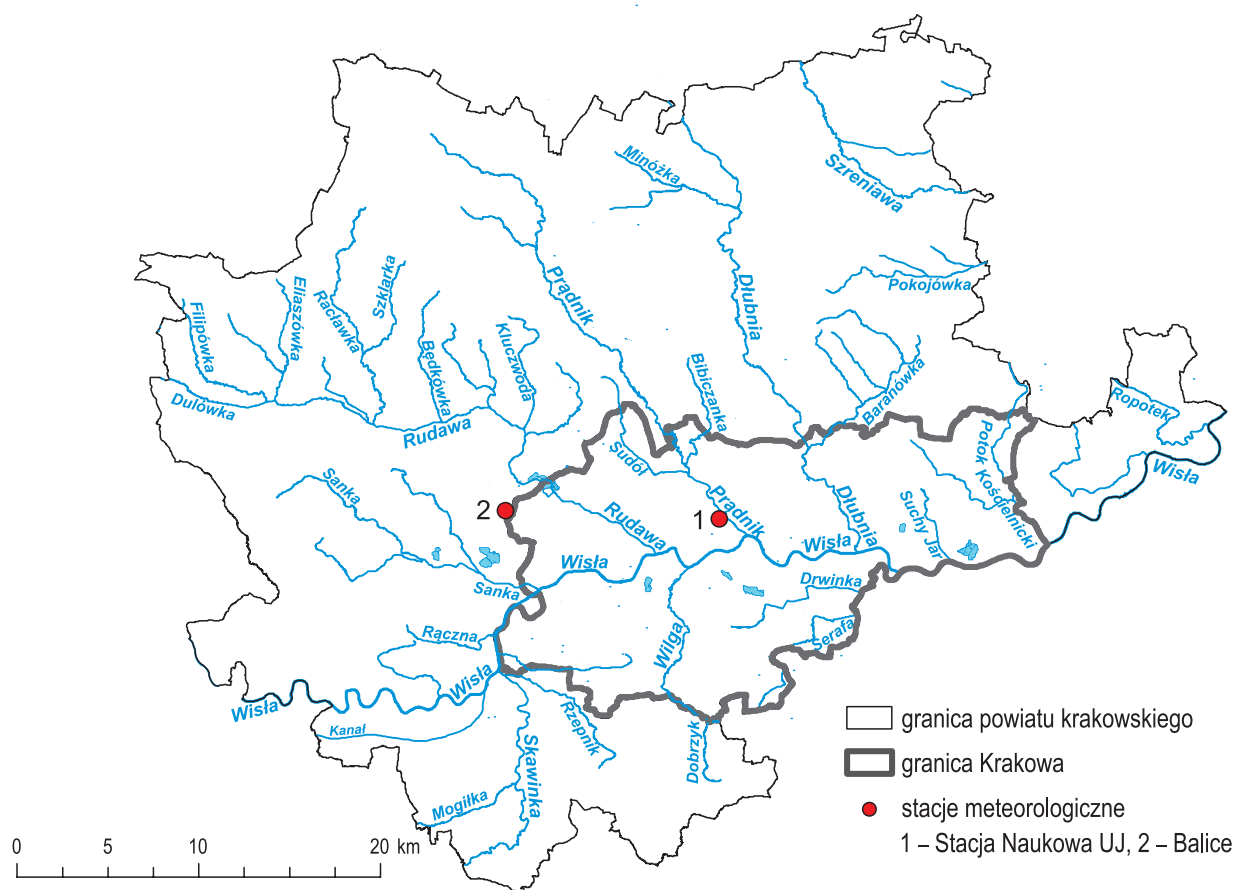


Ryc. 14. Średnie miesięczne sumy opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018

3.5. Warunki hydrologiczne

Teren Krakowa i powiatu krakowskiego należy do dorzecza Górnej Wisły, której głównymi dopływami na tym obszarze są: Sanka, Rudawa, Prądnik (w dolnym biegu na obszarze Krakowa pod nazwą Białucha), Dłubnia, Szreniawa, Suchy Jar i Potok Kościelnicki (dopływy lewobrzeżne) oraz Skawinka, Wilga, Drwina, Długa z Serafą i Potok Skotnicki (dopływy prawobrzeżne) (ryc. 15).

Wisła na obszarze powiatu krakowskiego płynie początkowo wzdłuż południowej granicy gminy Czernichów i Liszki oraz północnej gminy Skawina. W obrębie Krakowa Wisła początkowo stanowi południowo-zachodnią granicę miasta, a od stopnia wodnego „Kościuszkę” przebiega równoleżnikowo przez większą część miasta, które rozbudowywało się po obu jej brzegach. Końcowy odcinek Wisły na obszarze Krakowa, od stopnia wodnego „Przewóz”, stanowi południowo-wschodnią granicę miasta i południową granicę gminy Igołomia-Wawrzeńczyce. Wisła na terenie miasta stanowi odcinek o długości około 41 km (Baścik 2015), w całości obwałowany z uwagi na dużą zmienność stanów wody i wielkości przepływów w ciągu roku (Ptaszycka-Jackowska, Maciejowski 2011). Przykładem są stany wody na Wiśle na wysokości Bielan, które przekraczają 900 cm, przy średnim stanie wynoszącym 182 cm (Siwek i in. 2007). Średnia wartość przepływu Wisły w Krakowie wynosi około 92 m³/s,



Ryc. 15. Rzeki Krakowa i powiatu krakowskiego

jednak odnotowywane są również, odbiegające znacznie od średniej, przepływy skrajne – maksymalny przepływ równy $2330 \text{ m}^3/\text{s}$ wystąpił w maju 2010 r. (Baścik 2015).

Długość wszystkich cieków na terenie miasta, zarówno naturalnych, jak i antropogenicznych, wynosi około 195 km (Baścik 2015). Położenie rozpatrywanego obszaru oraz jego warunki klimatyczne powodują, że Wisła charakteryzuje się reżimem śnieżno-deszczowym, przez co występują dwa wezbrania w ciągu roku – wiosną i latem (Baścik 2015).

Sieć rzeczna na terenie Krakowa składa się również z licznych dopływów rzeki głównej. Przez południową część miasta (w obrębie prawego brzegu Wisły) przebiega 5, natomiast przez północną (w obrębie lewego brzegu Wisły) – 6 cieków uchodzących bezpośrednio do Wisły i odwadniających tę część miasta. Na szczególną uwagę zasługują obszary: w zlewni Potoku Kostrzyckiego (na południu Krakowa) – często podtapiany podczas wezbrań powodziowych oraz w obrębie doliny Dłubni (na północy miasta) – odznaczający się stosunkowo wysokim zagrożeniem powodziowym (Baścik 2015).

Na terenie Krakowa znajduje się również wiele zbiorników wodnych pochodzenia naturalnego i antropogenicznego. Zbiorniki naturalne są to przede wszystkim starorzecza Wisły, jak np. wiślicko Koło Tynieckie zlokalizowane we wschodniej części miasta. W pobliżu starorzecza znajduje się również zbiornik Kąty Tynieckie, będący odcięтым zakolem Wisły. Jednak zdecydowana większość zbiorników na terenie miasta ma genezę związaną z działalnością człowieka. Część z nich została utworzona w celu gromadzenia wody pitnej dla mieszkańców (Baścik 2015). Zbiorniki Zesławice I i II (tzw. Zalew Zesławicki) na Dłubni zostały utworzone w celu dostarczenia wody dla mieszkańców Nowej Huty, jak również uregulowania przepływów rzeki. Z kolei Zalew Nowohucki, również znajdujący się w tej części miasta, był rezerwuarem wody m.in. dla przemysłu. Na północno-zachodnich obrzeżach miasta zlokalizowane są stawy hodowlane w Mydlnikach, będące również zbiornikiem wody pitnej

(Baścik 2015). W południowo-zachodniej części miasta, w biegu rzeki Sidzinka, znajduje się także stosunkowo duży, cenny pod względem ekologicznym Staw Janasówka. Natomiast w południowo-wschodniej części miasta, w biegu rzeki Serafa, znajduje się zbiornik retencyjny, którego zadaniem jest ochrona przeciwpowodziowa dzielnicy Bieżanów (Baścik 2015).

Wiele zbiorników wodnych położonych w obrębie miasta, głównie w dolinie Wisły, powstało na skutek zalania dawnych wyrobisk pozostałych po eksploatacji różnego rodzaju materiałów. Jednym z tego typu zbiorników jest Zakrzówek, będący jednocześnie największym zbiornikiem pod względem ilości zgromadzonej wody (Baścik 2015). Powstał on w miejscu dawnego kamieniołomu wapienia. Dużą powierzchnię zajmują zbiorniki wodne Przylasek Rusiecki, Wolica, Bagry, Staw Płaszowski i Brzegi, zlokalizowane we wschodniej i południowej części miasta, które powstały na skutek wydobywania żwirów. Na obszarze Krakowa występuje także wiele innych, już zdecydowanie mniejszych zbiorników, zarówno powyrobiskowych – m.in. Staw Bonarka, Staw Szlachetny, Staw Dąbski, jak również o innej genezie – np. zespół Stawów Szuwarowych, Staw na Pasterniku (Baścik 2015).

Z większych zbiorników wodnych na terenie powiatu krakowskiego można wymienić m.in. zalewy w Kryspinowie, Zabierzowie czy zbiornik przeciwpowodziowy (polder) w Piekarach (gmina Liszki), powstały w 2017 r. w celu ochrony przeciwpowodziowej ze względu na niebezpieczny potok Szczyrzawa, który po intensywnych opadach podtapiał okoliczne tereny.

Pomimo zachodzących procesów naturalnych, jak i działalności człowieka, na obszarze Krakowa i częściowo powiatu krakowskiego wciąż znajdują się liczne tereny podmokłe. Występują one głównie w dolinie Wisły, w miejscach dawnych starorzeczy oraz w dolinach jej większych dopływów. W związku z tym jedne z większych obszarów podmokłych znajdują się m.in. w Toniach, w okolicy Czyżyn, Tyńca, Pychowic oraz Kostrza. Mokradła występują także na osiedlu Górka Narodowa, jak również w dzielnicy Bieżanów (Baścik 2015).

Dodatkowe informacje o warunkach hydrologicznych – powierzchni wód płynących i stojących w poszczególnych dzielnicach i gminach podano w dalszej części opracowania, w rozdziale 3.7. *Pokrycie terenu* i tabeli 11.

Biorąc pod uwagę cel niniejszego opracowania, należy podkreślić, iż największe zagrożenie powodziowe na analizowanym obszarze stanowi Wisła. Szczególnie narażone są tereny w dolinie rzeki w gminach Czernichów, Liszki, Skawina oraz Igołomia-Wawrzeńczyce. Również po intensywnych opadach występują z brzegów dopływy Wisły oraz liczne mniejsze ciek. Takie powodzie i podtopienia pojawiają się w większości gmin (m.in. Sułoszowa, Skąpa, Zielonki, Krzeszowice, Zabierzów, Słomniki), a na terenie Krakowa np. w dzielnicy Bieżanów-Prokocim, gdzie wylewa rzeka Serafa. O ile wielkie powodzie związane z przerwaniami wałów Wisły, tak jak ta z 1997 i 2010 r., zdarzają się rzadko, to wspomniane podtopienia na obszarze powiatu krakowskiego zwykle występują przynajmniej kilka razy w roku. Zasięg tych ostatnich jest z reguły niewielki, ale dla lokalnych społeczności stanowi poważne utrudnienie w codziennym życiu.

3.6. Szata roślinna

Bardzo ważnym elementem środowiska przyrodniczego jest szata roślinna. Ma ona duże znaczenie w łagodzeniu warunków klimatycznych danego regionu i wpływ na powstawanie lub wzmacnianie groźnych zjawisk meteorologicznych tworzących się lub przechodzących nad danym obszarem. Nie bez znaczenia jest także jej wpływ na retencję opadów i regulację stanu wód płynących. Ponadto, stan drzewostanu rozpatrywanego regionu rzutuje na możliwość powstawania szkód w środowisku i działalności człowieka, szczególnie podczas incydentów występowania porywistego wiatru.

Współczesna szata roślinna Krakowa została ukształtowana przede wszystkim na skutek działalności człowieka. Obecnie większe skupiska roślinności w granicach miasta występują w postaci zbiorowisk leśnych, łąkowych, polnych oraz związanych z obszarami wodnymi. Zbiorowiska naturalne i półnaturalne występują już tylko w postaci niewielkich skupisk na obrzeżach miasta, jednak zdecydowana większość krajobrazu Krakowa zdominowana jest przez zbiorowiska sztuczne (Dubiel 2015).

Tabela 10. Powierzchnia lasów w Krakowie i powiecie krakowskim (stan na 31.12.2018)

| Dzielnice / gminy | Powierzchnia [ha] | Lesistość [%] |
|-----------------------------|-------------------|---------------|
| Kraków | 1 377,3 | 4,2 |
| I Stare Miasto | - | - |
| II Grzegórzki | - | - |
| III Prądnik Czerwony | - | - |
| IV Prądnik Biały | 51,8 | 2,2 |
| V Krowodrza | - | - |
| VI Bronowice | 1,5 | 0,2 |
| VII Zwierzyniec | 471,4 | 16,4 |
| VIII Dębniki | 541,8 | 11,7 |
| IX Łagiewniki-Borek Fałęcki | 42,9 | 7,9 |
| X Swoszowice | 152,8 | 6,0 |
| XI Podgórze Duchackie | 9,2 | 1,0 |
| XII Bieżanów-Prokocim | 7,5 | 0,4 |
| XIII Podgórze | 16,8 | 0,7 |
| XIV Czyżyny | 20,1 | 1,6 |
| XV Mistrzejowice | - | - |
| XVI Bieńczyce | - | - |
| XVII Wzgórzka Krzesławickie | 5,4 | 0,2 |
| XVIII Nowa Huta | 56,2 | 0,9 |
| Powiat krakowski | 14 947,7 | 12,1 |
| Czemichów | 1 427,8 | 17,0 |
| Igołomia-Wawrzeńczyce | 8,4 | 0,1 |
| Iwanowice | 316,9 | 4,5 |
| Jerzmanowice-Przegonia | 617,8 | 9,1 |
| Kocmyrzów-Luborzyca | 428,4 | 5,3 |
| Krzeszowice | 4 783,7 | 34,4 |
| Liszki | 390,3 | 5,4 |
| Michałowice | 184,3 | 3,6 |
| Mogilany | 565,8 | 13,0 |
| Skąpa | 1 528,0 | 20,4 |
| Skawina | 960,7 | 9,6 |
| Słomniki | 1 064,2 | 9,4 |
| Sułoszowa | 404,0 | 7,6 |
| Świątniki Górne | 282,0 | 13,9 |
| Wielka Wieś | 355,7 | 7,4 |
| Zabierzów | 1 567,0 | 15,8 |
| Zielonki | 62,5 | 1,3 |

Źródło: *Raport o stanie Miasta 2018 (2019)*, Główny Urząd Statystyczny. *Bank Danych Lokalnych (2020)*.

najbogatsze pod względem ekologicznym łąki świeże występują głównie na terasach zalewowych, wałach przeciwpowodziowych oraz fragmentach niektórych zrębów (Dubiel 2015).

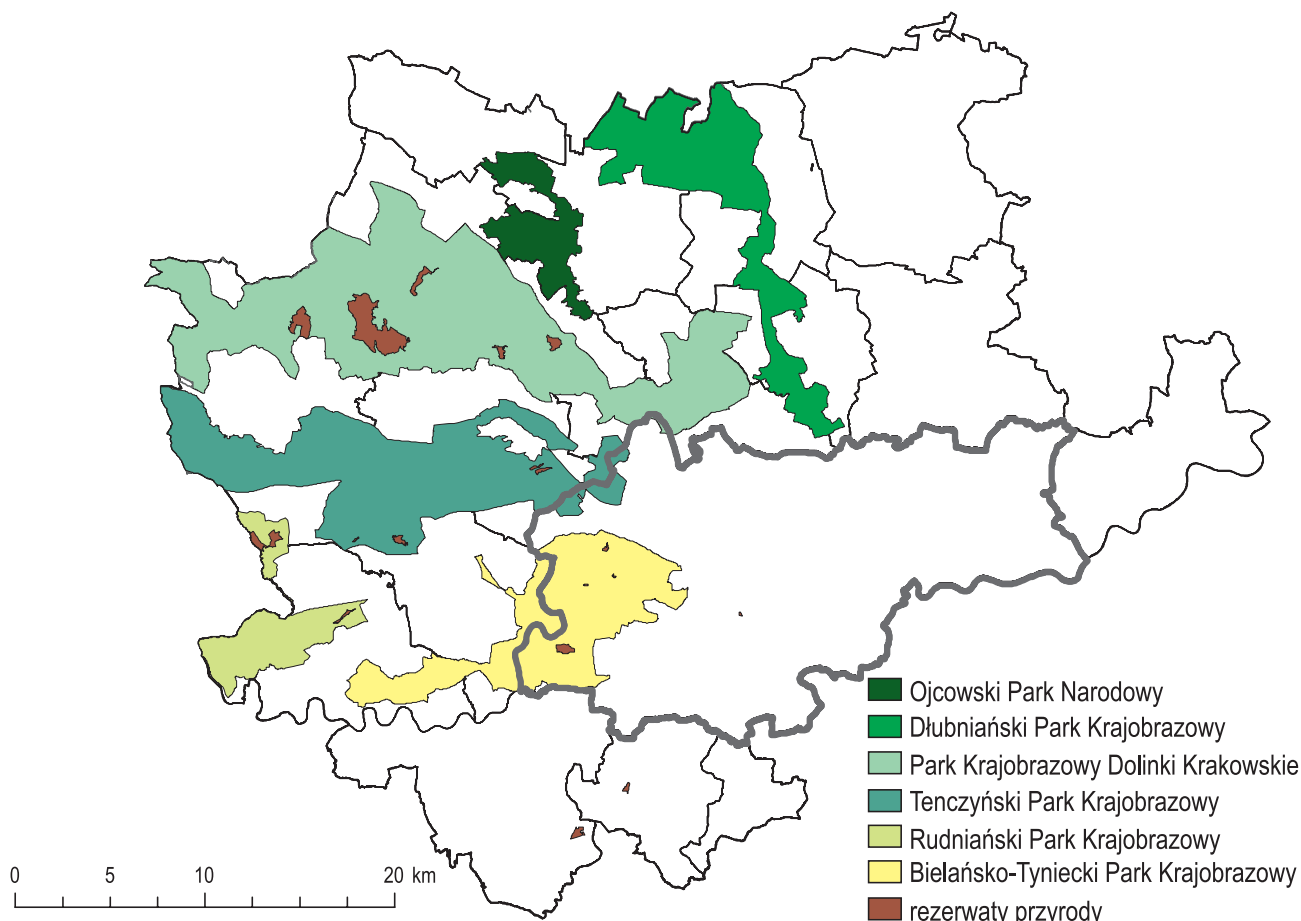
Na obszarze Krakowa, zwłaszcza w północno-wschodniej części, występują również pola uprawne. Dodatkowo na nasłonecznionych stokach wzniesień znajdujących się w obrębie Bramy Krakowskiej występują murawy kserotermiczne (Dubiel 2015).

Zróznicowana rzeźba terenu powiatu krakowskiego oraz występowanie różnych typów gleb przyczyniają się do tego, że szata roślinna jest bardzo urozmaicona. W dolinie Wisły i jej dopływów dominują zbiorowiska roślinności nizinnej. Na obszarach położonych nieco wyżej przeważają pola uprawne, łąki i pastwiska, zbiorowiska zaroślowe oraz zadrzewienia, głównie drzewami liściastymi, które częściowo stanowią pozostałości dawnych lasów łąkowych. W północnej części powiatu, na terenie Wyżyny Krakowskiej, występują m.in.: lasy (grądowe, olszynowe, buczyna karpacka), murawy naskalne i kserotermiczne.

W Krakowie 4,2% powierzchni miasta pokryte jest roślinnością leśną (tab. 10). Rośliny te tworzą różnego rodzaju zbiorowiska leśne z charakterystycznym dla każdego z nich zestawem gatunków drzew i krzewów, np. bagienny las olszowy występuje na niewielkich obszarach południowej części Nowej Huty, nadrzeczny łąg wierzbowy w okolicy Przegorza, łąg jesionowo-wiązowy tworzy Lasek Mogilski, a łąg jesionowo-olszowy występuje wzdłuż niewielkich cieków (Dubiel 2015). Na terenie miasta zlokalizowane są jeszcze dwa zbiorowiska leśne związane z sąsiedztwem rzek lub podmokłości. Wikliny nadrzeczne składające się głównie z różnych gatunków wierzb krzewiastych pokrywają nieduże fragmenty w pobliżu Wisły, na obszarze Tyńca i Pychowic, natomiast łożowiska, także składające się z krzewiastych wierzb, występują na podmokłościach w Tyńcu, Górcie Narodowej oraz w okolicy Toń i Kostrza (Dubiel 2015). Zbiorowiskiem leśnym mającym jeden z największych udziałów w ogólnej powierzchni lasów na terenie Krakowa jest grąd. W lesie tego typu dominują dwa gatunki drzew: grab zwyczajny i lipa drobnolistna. Ta formacja roślinna występuje przede wszystkim w Lesie Wolskim, na Sikorniku, Wzgórzach Tynieckich, a także miejscami w południowej części Krakowa. Zbiorowiska leśne z dominacją buka, nazywane buczynami, porastają fragmenty Lasu Wolskiego. Ostatnim z większych zbiorowisk roślinności leśnej występującym w Krakowie jest bór mieszany. W zbiorowisku tym występującym w części Lasu Wolskiego, w Borku Fałęckim i na Wzgórzach Tynieckich dominują gatunki takie jak: sosna zwyczajna, dąb szypułkowy i brzoza brodawkowata (Dubiel 2015).

Zbiorowiska roślinne w postaci łąk stanowią około 8% powierzchni miasta. Obecnie ten typ formacji roślinnej utrzymywany jest już tylko przez ich systematyczne koszenie. Najcenniejsze gospodarczo oraz

Na terenie Krakowa i powiatu krakowskiego funkcjonuje kilkadziesiąt różnych form ochrony przyrody. Duża ich część zlokalizowana jest w północnej i zachodniej części powiatu. Obejmują swoim zasięgiem znaczny obszar gmin (ryc. 16). Do najważniejszych form ochrony przyrody należy zaliczyć: Ojcowski Park Narodowy, pięć parków krajobrazowych: Rudniański, Bielańsko-Tyniecki, Dłubniański, Dolinki Krakowskie i Tenczyński. Z innych form ochrony można wymienić: Obszary Natura 2000 (np. Dolina Prądnika, Dolinki Jurajskie, gmina Sułoszowa), rezerваты przyrody czy użytki ekologiczne. Więcej szczegółów na ich temat można znaleźć m.in. w pracy Ptaszyckiej-Jackowskiej i Maciejowskiego (2011) oraz Baścik i Degórskiej (2015).



Ryc. 16. Wybrane formy ochrony przyrody w Krakowie i powiecie krakowskim
 Źródło: opracowanie własne na podstawie Bazy danych obiektów topograficznych (BDOT10k).

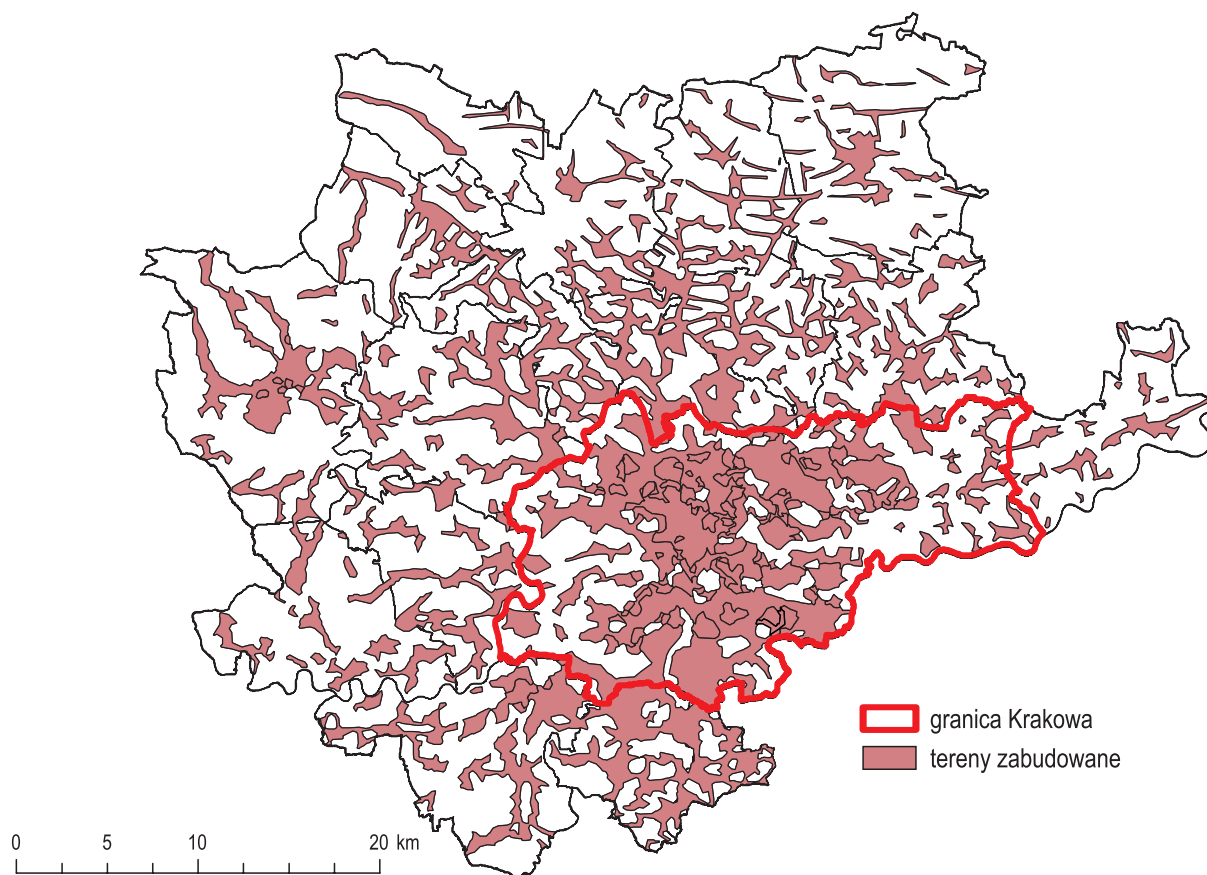
3.7. Pokrycie terenu

Różne typy pokrycia terenu odznaczają się odmienną wrażliwością na oddziaływanie warunków pogodowych, a przede wszystkim na niektóre zjawiska meteorologiczne, np. wyładowania atmosferyczne, intensywne opady deszczu i gradu, gołoledź, szadź czy porywy wiatru. W związku z tym, podejmując zagadnienie skutków występowania groźnych zjawisk meteorologicznych, należy również scharakteryzować użytkowanie terenu analizowanego obszaru.

Na podstawie *Bazy danych obiektów topograficznych* (BDOT10k), o dokładności odpowiadającej mapie topograficznej w skali 1:10 000, porównano powierzchnie zajmowane przez wybrane klasy obiektów pokrycia terenu (PT) zgodnie z ich klasyfikacją i systemem kodowania podanym w załączniku do *Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r. (Rozporządzenie ..., Dz.U. 2011 nr 279 poz. 1642)*.

W Krakowie zabudowa różnego rodzaju (wielorodzinna, jednorodzinna, przemysłowa, handlowo-usługowa i inna) zajmuje 26,6% powierzchni (ryc. 17, tab. 11). Wśród wszystkich osiemnastu dzielnic miasta aż cztery charakteryzują się ponad 50% pokryciem terenu przez zabudowę. Należą do nich: Stare Miasto, Bieńczyce, Grzegórzki i Prądnik Czerwony. Najmniej zabudowaną powierzchnię mają dzielnice: Nowa Huta, Wzgórza Krzesławickie i Zwierzyniec. W przypadku powiatu krakowskiego zabudowa zajmuje największą powierzchnię gmin: Świątyniki Górne, Zielonki i Mogilany, natomiast najmniejszą – Sułoszowa i Słomniki.

W Krakowie największy obszar miasta zajmuje roślinność różnego rodzaju, m.in. krzewiasta, trawiasta, na terenach ogródków działkowych, szkółek leśnych i roślin ozdobnych (37,2%). Wliczając w to tereny leśne i zadrzewione (11,0%; ryc. 18), te dwie formy użytkowania terenu stanowią 48,2% powierzchni miasta. Należy jednak zwrócić uwagę, że podane w rozdziale 3.6. *Szata roślinna* wartości dotyczące powierzchni lasów (tab. 10) różnią się od tych, zamieszczonych w tabeli 11. Różnice wynikają z innych kryteriów wyróżniania takich form użytkowania/pokrycia terenu. Za najbardziej „zieloną” dzielnicę Krakowa można więc uznać Dębniki (69,9%), a w dalszej kolejności: Swoszowice (62,1%), Zwierzyniec (55,5%), Czyżyny (51,1%) i Prądnik Biały (50,3%), gdzie łączna suma terenów pokrytych różnego rodzaju roślinnością wynosi ponad 50%. Z uwagi na gęstą zabudowę, najmniejszą powierzchnią terenów zielonych charakteryzuje się Stare Miasto (18,9%), natomiast w drugiej kolejności Wzgórza Krzesławickie (22,6%) z tym, że w tej dzielnicy dominującą formą



Ryc. 17. Tereny zabudowane w Krakowie i powiecie krakowskim

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Bazy danych obiektów topograficznych* (BDOT10k).

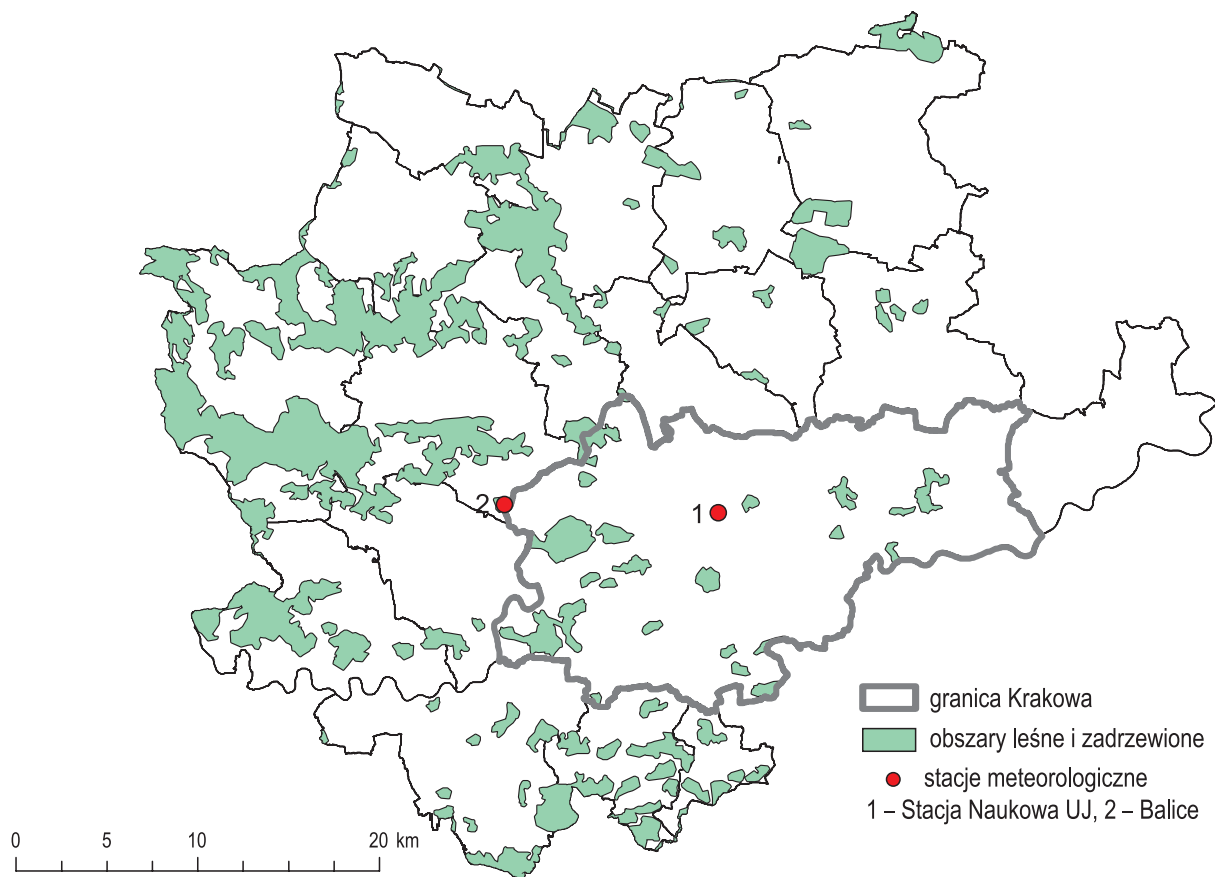
Tabela 11. Udział różnych form pokrycia terenu w Krakowie i powiecie krakowskim

| Dzielnice / gminy | Zabudowa (ZB01-05) | Teren leśny i zadrzewiony (LZ01-03) | Roślinność krzewiasta, trawiasta i uprawa trwała (RK01-02; UT01-05; TR01) | Uprawa na gruntach ornym (TR02) | Teren pod drogami kołowymi, szynowymi i lotniskowymi (KM01-04) | Woda powierzchniowa (płynąca i stojąca) (WP01-02) | Inne (pozostałe) |
|----------------------------|--------------------|-------------------------------------|---|---------------------------------|--|---|------------------|
| Kraków | 26,6 | 11,0 | 37,2 | 14,4 | 4,4 | 2,1 | 4,3 |
| I Stare Miasto | 58,0 | 4,9 | 14,1 | 0,0 | 10,1 | 2,1 | 10,8 |
| II Grzegórzki | 52,4 | 5,5 | 25,3 | 0,0 | 7,5 | 4,3 | 5,1 |
| III Prądnik Czerwony | 50,2 | 4,6 | 30,0 | 0,7 | 5,8 | 0,0 | 8,6 |
| IV Prądnik Biały | 28,2 | 10,8 | 39,5 | 15,1 | 3,6 | 0,0 | 2,7 |
| V Krowodrza | 49,6 | 5,2 | 34,2 | 1,2 | 6,1 | 0,0 | 3,6 |
| VI Bronowice | 33,1 | 8,5 | 38,0 | 12,4 | 4,0 | 1,8 | 2,1 |
| VII Zwierzyniec | 18,9 | 24,7 | 30,8 | 19,9 | 1,1 | 3,5 | 1,2 |
| VIII Dębniki | 22,9 | 17,9 | 52,0 | 1,9 | 1,6 | 2,4 | 1,2 |
| IX Łągowie-Borek Fałęcki | 41,3 | 16,9 | 30,8 | 0,2 | 6,1 | 0,4 | 4,2 |
| X Swoszowice | 27,6 | 19,2 | 42,9 | 6,3 | 1,9 | 0,3 | 1,9 |
| XI Podgórze Duchackie | 43,8 | 6,5 | 38,8 | 0,6 | 5,5 | 0,4 | 4,5 |
| XII Bieżanów-Prokocim | 39,8 | 9,6 | 39,3 | 0,9 | 7,7 | 0,1 | 2,6 |
| XIII Podgórze | 26,0 | 5,0 | 43,4 | 4,7 | 8,5 | 5,1 | 7,3 |
| XIV Czyżyny | 29,6 | 8,8 | 42,3 | 1,7 | 6,1 | 2,1 | 9,3 |
| XV Mistrzejowice | 43,9 | 5,4 | 33,5 | 9,1 | 3,8 | 0,2 | 4,0 |
| XVI Bieżczyce | 52,9 | 1,8 | 24,2 | 0,7 | 10,4 | 0,5 | 9,6 |
| XVII Wzgórze Krzesławickie | 16,0 | 2,8 | 19,8 | 52,9 | 4,2 | 0,7 | 3,5 |
| XVIII Nowa Huta | 15,8 | 8,0 | 34,5 | 27,3 | 4,5 | 3,1 | 6,9 |
| Powiat krakowski | 9,3 | 17,5 | 22,0 | 49,4 | 0,7 | 0,5 | 0,6 |
| Czernichów | 8,3 | 22,6 | 15,4 | 51,6 | 0,1 | 1,6 | 0,4 |
| Igołomia-Wawrzeńczyce | 6,5 | 0,8 | 10,3 | 80,0 | 0,5 | 1,3 | 0,5 |
| Iwanowice | 7,0 | 6,8 | 10,6 | 75,2 | 0,3 | 0,0 | 0,1 |
| Jerzmanowice-Przegonia | 8,0 | 12,8 | 23,4 | 55,5 | 0,3 | 0,0 | 0,1 |
| Kocmyrzów-Luborzycza | 8,4 | 6,3 | 17,2 | 67,0 | 0,8 | 0,1 | 0,2 |
| Krzeszowice | 9,4 | 44,0 | 23,0 | 20,7 | 0,8 | 0,1 | 2,0 |
| Liszki | 9,2 | 10,4 | 41,4 | 35,8 | 0,6 | 2,0 | 0,5 |
| Michałowice | 9,7 | 6,7 | 21,7 | 60,8 | 0,5 | 0,3 | 0,3 |
| Mogilany | 14,6 | 26,3 | 38,4 | 19,0 | 0,7 | 0,1 | 0,8 |
| Skala | 6,6 | 24,2 | 15,2 | 53,5 | 0,3 | 0,0 | 0,3 |
| Skawina | 12,5 | 17,3 | 38,2 | 28,2 | 0,9 | 1,6 | 1,3 |
| Stomniki | 5,8 | 10,6 | 8,5 | 73,9 | 0,6 | 0,3 | 0,2 |
| Sułoszowa | 4,9 | 9,9 | 7,8 | 76,8 | 0,4 | 0,0 | 0,1 |
| Świątniki Górne | 20,6 | 25,9 | 36,9 | 16,1 | 0,0 | 0,1 | 0,4 |
| Wielka Wieś | 12,0 | 17,8 | 24,4 | 43,8 | 1,2 | 0,0 | 0,8 |
| Zabierzów | 10,6 | 24,1 | 29,2 | 33,2 | 1,6 | 0,4 | 0,7 |
| Zielonki | 15,3 | 5,6 | 26,1 | 51,9 | 0,6 | 0,1 | 0,3 |

Źródło: Baza Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k).

użytkowania terenu są uprawy na gruntach ornym (tab. 11). Dlatego też ta dzielnica (XVII) pod tym względem jest zbliżona do gmin powiatu krakowskiego. Stosunkowo duży udział gruntów ornym występuje również we wschodniej części miasta, wokół kombinatu hutniczego (dzielnica Nowa Huta).

Wśród gmin powiatu krakowskiego największy procent terenów leśnych, zadrzewionych oraz z roślinnością krzewiastą i trawiastą występuje w gminach: Krzeszowice (67%), Mogilany (64,7%), Świątniki Górne (62,8%), Skawina (55,4%), Zabierzów (53,3%) oraz Liszki (51,9%), czyli w zachodniej i południowej części



Ryc. 18. Obszary leśne i zadrzewione w Krakowie i powiecie krakowskim

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Bazy danych obiektów topograficznych* (BDOT10k).

powiatu. Najmniejszy odsetek terenów „zielonych” jest w gminach: Igołomia-Wawrzeńczyce (11,2%), Iwanowice (17,4%) oraz Sułoszowa (17,7%), co związane jest ze znacznym udziałem obszarów zajętych przez grunty orne (75%) (tab. 11).

Powierzchnie wodne, czyli m.in. rzeki, zbiorniki wodne i rowy, zajmują 2,1% obszaru Krakowa i 0,5% powiatu krakowskiego. Ten rodzaj pokrycia terenu ma większy udział w dzielnicach Podgórze (5,1%) i Grzegórzki (4,3%) oraz gminach: Liszki, Czernichów i Skawina (1,6–2,0%). W kilku dzielnicach i gminach ich odsetek jest niewielki i nie przekracza 0,05% (tab. 11).

Tereny związane z różnymi formami komunikacji (drogi, torowiska, linie kolejowe, lotniska) zajmują zdecydowanie większą powierzchnię w Krakowie (4,4%) niż w powiecie krakowskim (0,7%). Największym udziałem (około 10%) tego rodzaju pokrycia terenu charakteryzują się dzielnice Bieńczyce i Stare Miasto, natomiast wśród gmin Zabierzów i Wielka Wieś (około 1,5%).

Pozostałe formy pokrycia terenu, do których należą m.in. grunty niezabudowane, nieużytkowane, place, tereny składowania odpadów oraz wyrobiska i zwałowiska, przedstawiono w tabeli 11.

3.8. Szlaki komunikacyjne (drogi, linie kolejowe, lotniska)

Rozważając występowanie zagrożeń meteorologicznych i klimatologicznych, nie sposób pominąć zagadnienia transportu i związanych z nim szlaków komunikacyjnych. Przez Kraków i powiat krakowski przebiegają ważne szlaki komunikacyjne o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Gęstość sieci dróg publicznych wynosi

w Krakowie 3,38 km/km², natomiast w powiecie krakowskim – 0,73 km/km². Długość dróg różnego rodzaju przedstawiono w tabeli 12.

Na zagrożenie powstania kolizji i wypadków związanych z występowaniem niekorzystnych dla transportu warunków pogodowych narażone są przede wszystkim drogi i skrzyżowania o znacznym natężeniu ruchu samochodowego. Na rozpatrywanym obszarze największe natężenie ruchu samochodowego jest na autostradzie A4 i obwodnicach Krakowa oraz drogach krajowych i wojewódzkich (ryc. 19, tab. 13).

W granicach miasta największy ruch samochodowy jest na ulicach będących odcinkami wspomnianych powyżej dróg, a więc m.in.: alei 29 Listopada i Jana Pawła II, ulic: T. Bora-Komorowskiego, Opolskiej, J. Conrada, W.E. Radzikowskiego, Pasternik, Skotnickiej, Brzeskiej, Igołomskiej, T. Ptaszyckiego, W. Andersa, L. Okulickiego oraz na węzłach: Balice, Radzikowskiego, Zakopiańskim, Wielickim i Sidzina. Na części z nich często dochodzi do wypadków i kolizji drogowych. Dane z Komendy Miejskiej Policji w Krakowie wskazują, że do największej liczby zdarzeń tylko w 2016 r. doszło na ulicach: Wielickiej (242 zdarzenia), 29 Listopada (208), Opolskiej (207), Zakopiańskiej (189), Słowackiego (150), Jana Pawła II (143), Mickiewicza (140),

Tabela 12. Długość dróg [w km] w Krakowie i powiecie krakowskim

| Rodzaje dróg | Kraków | Powiat krakowski |
|-------------------|--------|------------------|
| Drogi krajowe | 36,0 | 148,0 |
| Drogi wojewódzkie | 25,2 | 101,5 |
| Drogi powiatowe | 236,1 | 673,0 |
| Drogi gminne | 715,3 | 1582,2 |

Źródło: *Kraków w liczbach 2018 (2019)*, *Raport o stanie powiatu krakowskiego za 2018 (2019)*, *Główny Urząd Statystyczny. Bank Danych Lokalnych (2020)*.



Ryc. 19. Drogi krajowe i wojewódzkie oraz średni dobowy ruch roczny pojazdów (SDRR) w Krakowie i powiecie krakowskim w 2015 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k), danych z Zarządu Dróg Powiatu Krakowskiego (zdpk.krakow.pl/), Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA; www.gddkia.gov.pl) oraz Zarządu Infrastruktury Komunalnej i Transportu w Krakowie (ZIKiT; zikit.krakow.pl).

Tabela 13. Średni dobowy ruch roczny (SDRR) pojazdów na wybranych drogach Krakowa i powiatu krakowskiego w 2005 i 2015 r.

| Nr drogi | Odcinek drogi | 2005 | 2015 | Różnica w natężeniu ruchu (%) |
|----------|--|---------|--------|-------------------------------|
| A4 | Węzeł Chrzanów – Węzeł Balice I | 24 160 | 37 390 | 54,8 |
| | Węzeł Balice I – Węzeł Balice II | 24 342 | 49 637 | 103,9 |
| | Węzeł Balice II – Węzeł Kraków Piekary | 29 426 | 54 175 | 84,1 |
| | Węzeł Kraków Piekary – Węzeł Kraków Tyniec | 28 333 | 58 630 | 106,9 |
| 7 | Słomniki – Wesola | 10 819 | 13 945 | 28,9 |
| | Wesola – Kraków | 14 267 | 17 429 | 22,2 |
| | Kraków – Głogoczów | 32 224* | 40 806 | 26,6* |
| 44 | Zator – Skawina | 3 890 | 7 902 | 103,1 |
| | Skawina – Kraków | 19 209 | 20 331 | 5,8 |
| 79 | Wawrzeńczyce – Kraków | 8 548 | 11 302 | 32,2 |
| | Modniczka – Zabierzów | 12 326 | 19 250 | 56,2 |
| | Zabierzów – Krzeszowice | 11 371 | 14 647 | 28,8 |
| | Krzeszowice – Trzebinia | 7 279 | 10 393 | 42,8 |
| 94 | Sieniczno – Jerzmanowice | 14 257 | 14 979 | 5,1 |
| | Jerzmanowice – Węzeł Modlnica | 14 885 | 20 120 | 35,2 |
| 773 | Sieniczno – Sułoszowa | 2 223 | 2 120 | -4,6 |
| | Sułoszowa – Skala | 2 738 | 3 586 | 31,0 |
| | Skala – Iwanowice | 1 226 | 4 057 | 230,9 |
| | Iwanowice – Wesola | 1 226 | 2 247 | 83,3 |
| 774 | Zabierzów – Balice | 8 262 | 6 084 | -26,4 |
| | Balice – Kryspinów | 6 894 | 11 057 | 60,4 |
| 775 | Słomniki – Niegardów | 2 571* | 2 743 | 6,7* |
| 776 | Kraków – Kocmyrzów | 10 133 | 18 793 | 85,5 |
| | Kocmyrzów – Proszowice | 6 512 | 8 370 | 28,5 |
| 780 | Kraków – Kryspinów | 6 773 | 10 703 | 58,0 |
| | Kryspinów – Liszki | 8 811 | 16 679 | 89,3 |
| | Liszki – Przeginia Duchowna | 5 151 | 9 692 | 88,2 |
| | Przeginia Duchowna – Alwernia | | 8 942 | 73,6 |
| 791 | Lgota – Trzebinia | 4 848 | 6 565 | 35,4 |
| 794 | Wolbrom – Skala | 3 724 | 4 823 | 29,5 |
| | Skala – Zielonki | | 5 850 | -43,2 |
| | Zielonki – Kraków | 10 302 | 13 408 | 30,1 |
| 953 | Skawina – Rzozów | 6 554* | 5 108 | -22,1* |
| | Rzozów – Przytkowice | 3 751* | 2 811 | -25,1* |

* – dane z 2010 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA; www.gddkia.gov.pl).

Kamińskiego (134; 1 osoba zabita), Pokoju (128; 1 osoba zabita). Więcej szczegółów na temat liczby wypadków i kolizji drogowych przedstawiono w rozdziale 2.3.1 *Liczba wypadków i kolizji drogowych na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego*.

Warunki meteorologiczne mogą również znacząco wpłynąć na działanie innych rodzajów transportu, w tym kolejowego i lotniczego. Transport kolejowy (pasażerski i towarowy) w obrębie Krakowa i gmin powiatu krakowskiego odbywa się kilkoma liniami (ryc. 20). Jedną z najważniejszych jest linia kolejowa Kraków–Warszawa przebiegająca przez gminy Michałowice, Kocmyrzów-Luborzyca i Słomniki. Na osi wschód–zachód



Ryc. 20. Linie kolejowe i lotniska w Krakowie i powiecie krakowskim

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Bazy Danych Obiektów Topograficznych (BDOT10k)*.

ruch kolejowy odbywa się kilkoma liniami w kierunku: Katowic (przez gminy Zabierzów i Krzeszowice), Oświęcimia i Kalwarii Zebrzydowskiej (przez gminę Skawina) oraz w kierunku Przemyśla. Duże znaczenie mają także linie kolejowe aglomeracyjne, m.in.: Kraków–Wieliczka, Kraków–Balice (Lotnisko) i towarowe w Nowej Hucie.

Na terenie powiatu krakowskiego zlokalizowane są także dwa lotniska. Międzynarodowy Port Lotniczy im. Jana Pawła II położony jest w Balicach, w gminie Zabierzów, a lotnisko sportowe Aeroklubu Krakowskiego – w Pobiedniku, w gminie Igołomia-Wawrzeńczyce (ryc. 20). Lotnisko w Balicach pełni funkcję lotniska cywilnego (obsługującego pasażerów i transport towarów), sanitarnego (Lotnicze Pogotowie Ratunkowe) oraz lotniska wojskowego (8. Baza Lotnictwa Transportowego).

Ocena możliwości wystąpienia zakłóceń oraz ich wpływu na funkcjonowanie transportu na danym obszarze jest przedmiotem analiz wielu podmiotów odpowiedzialnych za utrzymanie infrastruktury transportowej. W tym celu niezbędne jest działanie tych instytucji we współpracy z IMGW-PIB oraz znajomość tzw. wrażliwości transportu na warunki pogodowe. W opracowaniu Rymusy (2013) można znaleźć przykładową skalę wraz z oceną tej wrażliwości z podziałem na transport drogowy i kolejowy, w tym w odniesieniu do trzech elementów: infrastruktury, środków transportu i komfortu socjalnego (tab. 14). Wprawdzie autorka nie podała zakresu oddziaływania pogody na transport lotniczy, ale można przypuszczać, że większość infrastruktury i środków tego transportu jest bardzo wrażliwa na warunki meteorologiczne.

Tabela 14. Skala wrażliwości oraz zakres oddziaływania warunków meteorologicznych na transport drogowy i kolejowy

| Stopień | Warunki | Charakterystyka oddziaływania | | |
|---------|------------------|--|--|--|
| 0 | Neutralne | Warunki korzystne lub obojętne. | | |
| 1 | Utrudniające | Warunki utrudniające funkcjonowanie. Występują odczuwalne utrudnienia w funkcjonowaniu transportu. | | |
| 2 | Ograniczające | Warunki bardzo uciążliwe – obok utrudnień występują szkody, które powodują ograniczenia w funkcjonowaniu transportu. | | |
| 3 | Uniemożliwiające | Warunki uniemożliwiające funkcjonowanie wskazanego elementu związanego z transportem. | | |

| Warunki meteorologiczne | Infrastruktura | Środek transportu | Komfort socjalny |
|--|--------------------|-------------------|------------------|
| | Transport drogowy | | |
| Mróz bardzo niska temperatura, przemarzanie gruntu, pokrywa lodowa, gołoledź | 2 | 2 | 2 |
| Śnieg intensywne opady, przy niskiej temperaturze powietrza, pokrywa śnieżna, zamiecie śnieżne, gradobicie | 3 | 1 | 2 |
| Deszcz intensywne opady przy dodatniej temperaturze powietrza, występowanie powodzi lub podtopień | 3 | 1 | 1 |
| Wiatr silny wiatr, burza, wyładowania atmosferyczne, duża różnica ciśnienia atmosferycznego, turbulencja | 3 | 2 | 1 |
| Upał bardzo wysoka temperatura, duże usłonecznienie | 2 | 1 | 2 |
| Mgła ograniczona widzialności, niska podstawa chmur | 1 | 0 | 2 |
| | Transport kolejowy | | |
| Mróz bardzo niska temperatura, przemarzanie gruntu, pokrywa lodowa, gołoledź | 3 | 1 | 1 |
| Śnieg intensywne opady, przy niskiej temperaturze powietrza, pokrywa śnieżna, zamiecie śnieżne, gradobicie | 3 | 1 | 1 |
| Deszcz Intensywne opady przy dodatniej temperaturze powietrza, występowanie powodzi lub podtopień | 3 | 0 | 1 |
| Wiatr silny wiatr, burza, wyładowania atmosferyczne, duża różnica ciśnienia atmosferycznego, turbulencja | 3 | 0 | 0 |
| Upał bardzo wysoka temperatury, wysokie usłonecznienie | 2 | 0 | 1 |
| Mgła ograniczona widzialność, niska podstawa chmur | 0 | 0 | 2 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie Rymszy (2013).

CZĘŚĆ II

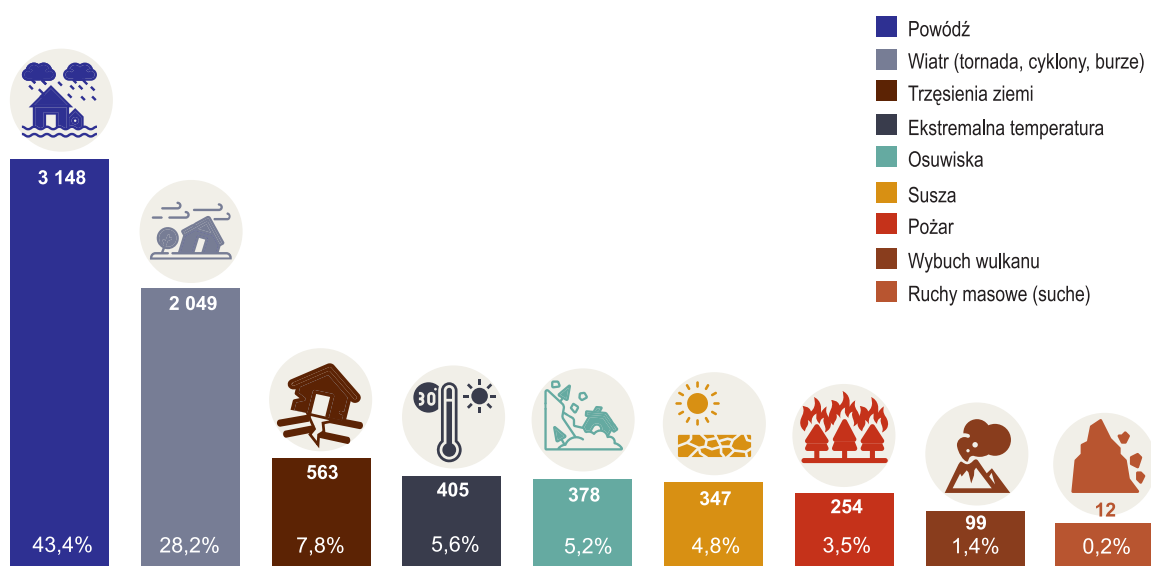
Groźne zjawiska meteorologiczne

4. Wiatr

Według Raportu Światowej Organizacji Meteorologicznej (*World Meteorological Organization*; WMO) na liście żywiołów, które spowodowały największe straty materialne w Europie, silne wiatry zajmowały drugie miejsce, zaraz po powodziach. Podobnie jest na całym świecie, choć w tym przypadku silne wiatry częściej są utożsamiane z trąbami powietrznymi (tornadami), cyklonami tropikalnymi i burzami (ryc. 21).

W Europie, w tym również w Polsce, występowanie bardzo silnego wiatru najczęściej spowodowane jest przemieszczaniem się nad kontynentem tzw. głębokich niżów oraz intensywną konwekcją.

Głębokie niże to zaburzenia atmosferyczne obejmujące znaczną część troposfery, charakteryzujące się występowaniem silnego, porywistego wiatru przez znaczną część doby lub nawet kilka dni. Jest on wynikiem dużego ($\geq 1,5$ hPa/100 km; Lorenc 2012), poziomego gradientu ciśnienia atmosferycznego, czyli różnicy ciśnienia atmosferycznego na jednostkę odległości (hPa/100 km). Gdy wielkość gradientu ciśnienia wynosi $> 2,5$ hPa/100 km porywy wiatru przekraczają 17 m/s (Lorenc 2012). W Europie Środkowej takie układy baryczne występują najczęściej od listopada do lutego, ale nieco słabsze mogą pojawiać się również w innych miesiącach (Bielec--Bakowska 2010a).



Ryc. 21. Liczba katastrof według rodzaju w latach 1998–2017

Źródło: za *Economic Losses, Poverty & Disasters 1998–2017* (2018).

W zależności od siły wiatru stosuje się różne jego określenia opisane w skali Beauforta (tab. 15). Wiatr o największej sile (o prędkości przekraczającej 32,6 m/s lub 117 km/h) zwany jest huraganem, a z niemieckiego orkanem. Jest to jednocześnie wartość zbliżona do najniższej progowej prędkości wiatrów dla cyklonów tropikalnych w skali Saffira-Simpsona (33 m/s lub 119 km/h).

Silne porywy wiatru występują także wzdłuż frontów atmosferycznych związanych ze wspomnianymi niżami, szczególnie wzdłuż frontu chłodnego. Jednak czasami, nawet jeżeli układ baryczny nie jest bardzo głęboki, w pobliżu frontów pojawiają się linie zbieżności (linie szkwałów). Towarzyszy im rozwój wypiętrzonych chmur burzowych (*Cumulonimbus*) i związane z nimi silne porywy wiatru, a niekiedy nawet pojawienie się trąb powietrznych (tornad). W tych przypadkach ich zasięg ma zwykle charakter lokalny, a czas trwania zależy od szybkości przemieszczania się wspomnianych zjawisk nad rozpatrywanym regionem.

W południowej Polsce **silny wiatr** jest również związany z występowaniem **efektu fenowego**. W rejonach górskich przy niektórych układach barycznych, które determinują przepływ powietrza przez barierę orograficzną, dochodzi do powstania ciepłego i suchego wiatru „spadającego” (katabatycznego), tzw. wiatru fenowego (w Tatrach noszącego nazwę wiatru halnego), charakteryzującego się silnymi i porywistymi podmuchami o zasięgu regionalnym. Do Krakowa i powiatu krakowskiego mogą docierać jego silne porywy, dlatego też w dalszej części opracowania zwrócono uwagę, czy i ewentualnie jakie szkody może powodować taki wiatr na analizowanym obszarze.

Porywy wiatru oznaczają nagły (2–3 sekundy) wzrost prędkości wiatru, przewyższający co najmniej o 5 m/s średnią prędkość z przedziału 10- lub 2-minutowego (*Słownik meteorologiczny* 2003). Na stacjach meteorologicznych odnotowuje się porywy wiatru, gdy jego prędkość jest równa lub przekroczy wartość 10 m/s, a na stacjach synoptycznych dodatkowo również 15 m/s. Takie porywy wiatru są notowane także poza terminami obserwacyjnymi, czyli w ciągu całej doby, i zapisywane w dziennikach obserwacyjnych pod symbolem QNT.

Silny wiatr związany z głębokimi niżami powoduje liczne szkody nie tylko w wyniku jego dużych prędkości, ale również z powodu intensywnych opadów często towarzyszących układom niskiego ciśnienia, które zostaną omówione w kolejnym rozdziale. Wśród szkód spowodowanych przez silny wiatr Rządowe Centrum Bezpieczeństwa (*Zagrożenia okresowe występujące w Polsce* 2010) wymienia m.in.: zerwane linie wysokiego napięcia i powstałe z tej przyczyny przerwy w dostawach energii elektrycznej, ofiary śmiertelne w wyniku przygniecenia przez przewracające się drzewa lub łamiące gałęzie, uszkodzone elementy konstrukcji budynków lub reklam, przerwy w kursowaniu pociągów z powodu uszkodzenia trakcji elektrycznej i zablokowania torów, zniszczenia zadaszeń na obiektach stanowiących dobra kultury, straty w rolnictwie i awarie w zakładach przemysłowych połączone z uwolnieniem się niebezpiecznych substancji. Warto też pamiętać, że silny wiatr utrudnia lub nawet uniemożliwia transport lotniczy i samochodowy (fot. 1). Powoduje trudności w utrzymaniu toru lotu i jazdy oraz stwarza dodatkowe zagrożenie, gdy na drodze pojawiają się niepożądane obiekty (powalone drzewa, różne przedmioty przyniesione przez wiatr) (Szot 2013; Ryguła, Konior 2014).

Badając występowanie silnego wiatru, najczęściej zwraca się uwagę na ich genezę oraz przestrzenne i czasowe zróżnicowanie ich występowania. Jednak autorzy części opracowań zwracają również uwagę na aplikacyjny charakter otrzymanych wyników. Przykładem mogą być m.in. prace określające wpływ silnego wiatru na awarie sieci energetycznych (Owczarek 2005) i też na bardzo ważny element środowiska – lasy (Chojnacka-Oźga, Oźga 2018) lub na poszczególne gatunki drzew (Będkowski, Norman 2005). Ostatnie z wymienionych badań wskazują, że porywy wiatru powyżej 11 m/s mogą powodować pierwsze uszkodzenia drzew, a powyżej 30 m/s ich poważne uszkodzenie lub destrukcję (Chojnacka-Oźga, Oźga 2018). Uszkodzenia drzew i lasów w wyniku silnego wiatru nie zależą jedynie od jego prędkości, ale także od przyczyn pośrednich, m.in. cech drzewostanu: składu gatunkowego, wysokości drzew, budowy koron, stabilności i kondycji drzew (Chojnacka-Oźga, Oźga 2018),

Tabela 15. Skala Beauforta

| Stopień skali | Średnia prędkość wiatru | | Opis | Zjawiska na lądzie |
|---------------|-------------------------|---------|--------------------------------------|--|
| | m/s | km/h | | |
| 0 | 0–0,2 | 0 | Cisza, flauta | Spokój, dym unosi się pionowo. |
| 1 | 0,3–1,5 | 1–6 | Powiew | Ruch powietrza lekko oddziałuje na dym, który rozchodzi się wzdłuż kierunku wiatru, jest jednak zbyt słaby i nie porusza flag i chorągiewek. |
| 2 | 1,6–3,3 | 7–11 | Słaby wiatr | Wiatr wyczuwany na skórze, porusza flagi i chorągiewki. Liście szeleszczą. |
| 3 | 3,4–5,4 | 12–19 | Łagodny wiatr | Liście i małe gałązki w stałym ruchu. Flagi trzepoczą. |
| 4 | 5,5–7,9 | 20–29 | Umiarkowany wiatr | Kurz i papier podnoszą się. Gałęzie zaczynają się poruszać. |
| 5 | 8,0–10,7 | 30–39 | Dość silny wiatr | Małe drzewa kołyszą się. |
| 6 | 10,8–13,8 | 40–50 | Silny wiatr | Duże gałęzie w ruchu. Słychać świst wiatru nad głową. Kapelusze zrywane z głowy. Użycie parasola jest utrudnione. |
| 7 | 13,9–17,1 | 51–62 | Bardzo silny wiatr | Całe drzewa w ruchu. Pod wiatr idzie się z wysiłkiem. |
| 8 | 17,2–20,7 | 63–75 | Wicher / Sztorm | Gałązki są odłamywane od drzew. Samochody skręcają pod wpływem wiatru. |
| 9 | 20,8–24,4 | 76–87 | Wichura / Silny sztorm | Wiatr zrywa dachówki, unosi lekkie elementy i małe przedmioty. Lekkie konstrukcje ulegają zniszczeniu. |
| 10 | 24,5–28,4 | 88–102 | Silna wichura / Bardzo silny sztorm | Wiatr łamie gałęzie. Drzewa wyrwane są z korzeniami. Poważne zniszczenia konstrukcji. |
| 11 | 28,5–32,6 | 103–117 | Gwałtowna wichura / Gwałtowny sztorm | Powoduje rozległe zniszczenia, może zrywać dachy budynków. Znaczna część konstrukcji zniszczona. |
| 12 | >32,6 | >117 | Huragan | Powoduje bardzo rozległe zniszczenia, może zrywać napowietrzne linie energetyczne i przewody trakcji kolejowych, może łamać wysokie maszty i złe zabezpieczone elementy dźwigów, billboardy reklamowe, paraliżuje transport w ruchu drogowym, kolejowym, lotniczym i wodnym. |



Fot. 1. Interwencja strażaków z Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie usuwających skutki silnego wiatru (fot. P. Paweł)

jak również od pory roku. Drzewa liściaste w chłodnej połowie roku, pozbawione liści, stawiają mniejszy opór, niż te same drzewa w okresie, gdy gałęzie pokryte są liśćmi, co potwierdzają badania przeprowadzone przez Bruchwalda i Dmyterko (2010). Wśród gatunków najbardziej odpornych na bardzo silne wiatry są: jarzębina, wierzba, kosodrzewina, grusze i jabłonie (tzw. współczynnik ryzyka ($Wr = 0$)), a w dalszej kolejności: grab, olsza (olcha), robinia pseudoakacja (potocznie akacja), limba, wiąz ($Wr = 0,5$). Najmniej odpornymi gatunkami są: świerk ($Wr = 3$) oraz jodła i daglezwia ($Wr = 2,5$) (Bruchwald i Dmyterko 2010). Z tego powodu duże znaczenie w zagospodarowaniu przestrzennym poszczególnych obszarów ma właściwy dobór gatunków drzew, które pełnią wiele funkcji w danym ekosystemie oraz odgrywają ważną rolę w życiu i działalności człowieka. Jednocześnie, na podstawie szkód powstałych w drzewostanie można pośrednio określić, jakie prędkości wiatru mogły występować na obszarze, gdzie brak jest pomiarów meteorologicznych (tab. 16).

Tabela. 16. Klasyfikacja stopni zagrożenia lasu w zależności od prędkości wiatru w Polsce

| Stopień zagrożenia lasu | Prędkość wiatru (m/s) na wysokości 10 m n.p.g. | Charakterystyka wiatru | Skutki działania wiatru |
|-------------------------|--|------------------------|--|
| 1 | ≥ 11 | Porywisty | Porusza duże gałęzie i mniejsze drzewa, utrudnia prowadzenie prac terenowych |
| | ≥ 17 | Gwałtowny | Łamie gałęzie drzew |
| 2 | ≥ 21 | Wichura | Łamie grube gałęzie i konary |
| | ≥ 25 | Silna wichura | Łamie i wyrwa drzewa o płytkim systemie korzeniowym |
| 3 | ≥ 29 | Bardzo silna wichura | Wyrwa drzewa z korzeniami, powoduje straty na większych powierzchniach |
| | ≥ 33 | Huragan | Wyrwa lub łamie duże drzewa, niszczy rozległe obszary lasu |

Źródło: Chojnacka-Ożga, Ożga (2018).

W obszarach zurbanizowanych silny wiatr jest szczególnie niebezpieczny dla życia i zdrowia mieszkańców oraz przyczynia się do ogromnych strat materialnych. Obszary miejskie podlegają silnym wpływom warunków anemologicznych (wiatrowych) z uwagi na fakt, że zabudowa miejska (zwłaszcza gęsta zabudowa centrum i dzielnic mieszkaniowych) wywołuje spadek prędkości wiatru w wyniku zwiększonej szorstkości podłoża, ale też miejscami jego wzrost przez tzw. efekt tunelowy (Oke 1995). W miastach średnia prędkość wiatru jest o około 20–30% niższa niż na otwartym terenie pozamiejskim (Fortuniak 2003). W przypadku Krakowa, podobnie jak w innych miastach Europy Środkowej (Fortuniak 2003, Fortuniak i in. 2006), osłabienie prędkości wiatru nad centrum miasta występuje w ciągu całej doby bez względu na porę roku (od 10–15% w nocy do 25–30% w dzień), przy czym jest większe w półroczu ciepłym niż chłodnym (Lewińska i in. 1990). Zdaniem Fortuniaka (2003) w skrajnych przypadkach (przy dużych prędkościach wiatru) osłabienie prędkości wiatru w mieście może wynieść nawet do 50%. Jedynie w niektórych przypadkach (silny wiatr w górnych warstwach atmosfery) „rzeźba miasta” może intensyfikować wzrost prędkości przepływu powietrza (Oke 1995). Zdaniem Fortuniaka (2003) ilościowe informacje o wpływie miasta na prędkość wiatru, uzyskane na podstawie pomiarów z jednej lub nawet kilku stacji, mogą być obarczone dużym błędem. Dlatego też wiele prac dotyczących warunków anemologicznych w miastach opierało się na badaniach eksperymentalnych (DePaul, Sheih 1986; Nakamura, Oke 1988) i symulacjach komputerowych (Macdonald 2000) uwzględniających przepływ powietrza m.in. w „kanionie ulicznym”.

Szkody powstające w wyniku występowania silnego wiatru oraz zachodzące w ostatnich dekadach wyraźne zmiany klimatu skłoniły naukowców do poszukiwania odpowiedzi na pytania o zmiany częstości ich występowania. Według Raportów Międzyrządowego Zespołu do Spraw Zmian Klimatu (*Intergovernmental Panel on Climate Change*; IPCC; 2007) oraz Europejskiej Agencji Środowiskowej (*European Environment Agency; Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016... 2017*) przewiduje się wzrost ryzyka występowania dużych prędkości wiatru w różnych regionach na świecie. Badania klimatologów wskazują również, że w ostatnich latach nad

Europą wzrasta częstość pojawiania się wiatru o dużych prędkościach (Knippertz i in. 2000; Ulbrich i in. 2001; Leckebusch, Ulbrich 2004; Pryor i in. 2005; Araźny i in. 2007; Makkonen i in. 2007; Jania, Zwoliński 2011). Z obliczeń Leckebuscha i Ulbricha (2004) wynika, że w ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat liczba przypadków z silnym wiatrem w Europie Środkowej wzrośnie o około 20% i towarzyszyć temu będzie wzrost ich prędkości. Mogą być one nawet silniejsze o 7–10% od tych, które jeszcze niedawno występowały nad kontynentem europejskim (Leckebusch, Ulbrich 2004). Autorzy zastrzegają, że jest to tylko scenariusz. Niemniej jednak potwierdzeniem ich symulacji komputerowych są już obecnie, coraz częściej i stosunkowo regularnie, pojawiające się wichury nad Europą, szczególnie w zachodniej części kontynentu: Irlandii, Wielkiej Brytanii, Francji, Danii, Niemczech i krajach Beneluksu oraz w Europie Środkowej, zwłaszcza w styczniu i lutym (Lambert 1996; Graham, Diaz 2001; Geng, Sugi 2001; McCabe i in. 2001; Paciorek i in. 2002; Leckebusch, Ulbrich 2004; Rockel, Worth 2007; Leckebusch i in. 2008). Również w raporcie Europejskiej Agencji Środowiska (*Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016... 2017*) zaznaczono, że do końca XXI w., m.in. w Europie Środkowej, siła wiatrów i burz może wzrosnąć nawet o 11–44%, a jesienne i zimowe układy niskiego ciśnienia tworzące się nad północnym Atlantykiem częściej będą przesuwać się bardziej na wschód i kierować nad Europę Środkową, a więc i nad Polskę.

Przykładem wzrostu częstości i intensywności tzw. cyklonów pozazwrotnikowych (*extratropical cyclones*) i głębokich niżów w sezonie zimowym (*winter storms*) jest seria trzech gwałtownych burz, jakie wystąpiły w grudniu 1999 r., kiedy to śmierć poniosło ponad 130 osób, a straty materialne przekroczyły 13 mld euro (Ulbrich i in. 2001, Berz 2005). Pierwszy z ekstremalnych sztormów przemieszczał się od 2 grudnia 1999 r. znad Morza Północnego w kierunku Szwecji. Ciśnienie w jego centrum obniżyło się 3 grudnia o godz. 18 UTC do 953 hPa nad wschodnim wybrzeżem Półwyspu Jutlandzkiego (Dania). Niż, który otrzymał nadane przez Niemiecką Służbę Meteorologiczną imię Anatol, nad Morzem Bałtyckim zaczął się wypełniać, ale jeszcze 4 grudnia, gdy dotarł do Litwy, ciśnienie w jego centrum wynosiło 970 hPa. Największe prędkości wiatru wystąpiły w pasie na południe od centrum tego niżu, od Niemiec i duńskiego wybrzeża Morza Północnego po polskie wybrzeże Morza Bałtyckiego. Prędkość wiatru na Helu 4 grudnia osiągnęła 43 m/s (154,8 km/h). Dwa kolejne sztormy, Lothar i Martin, pojawiły się pod koniec grudnia 1999 r. (Dupont i in. 2006). Ich szlaki przemieszczania się były jednak inne niż cyklonu Anatol. Przechodziły przez środkową część kontynentu, powodując duże szkody m.in. w Polsce. Przykładów takich silnych, zimowych niżów (*severe winter storms*) było w XXI w. już kilkanaście, m.in.: Elizabeth w listopadzie 2004 r., Erwin/Grudrun w styczniu 2005 r., Britta na przełomie października i listopada 2006 r., Hanno (Per) i Kyrill (Cyryl) w styczniu 2007 r., Paula w styczniu 2008 r., Emma na przełomie lutego i marca 2008 r., Carmen w listopadzie 2010 r., Patrick (Dagmar) w grudniu 2011 r., Xaver (Bodil) w grudniu 2013 r. czy Ksawery w październiku 2017 r. (Soomere i in. 2008; Kundzewicz, Matczak 2010; Więclaw-Michniewska, Piotrowicz 2011; Chojnacka-Oźga, Oźga 2018; *Extreme Wind Storms (XWS) Catalogue 2020*; www.europeanwindstorms.org). Część z nich również w Krakowie i powiecie krakowskim powodowała liczne szkody, co zostało opisane w dalszej części rozdziału i w tabeli 17.

W Europie przyjęło się nadawanie imion głębokim niżom, podobnie jak w przypadku cyklonów tropikalnych. Zasadę tę wprowadzili Niemcy, stąd również w Polsce coraz powszechniej do określenia tych najsilniejszych wiatrów stosuje się ogólne określenie orkan (z języka niemieckiego). W Europie Środkowej imiona wyżom i niżom (od 1954 r.) nadają pracownicy Instytutu Meteorologii Wolnego Uniwersytetu Berlińskiego (*Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin*; www.met.fu-berlin.de/wetterpate/) i to one są najczęściej w powszechnym użyciu w większości krajów europejskich, chociaż nazwy niektórym układom barycznym nadają również Szwedzi czy Brytyjczycy (np. we wrześniu 2015 r. brytyjski Met Office zaprosił do zgłaszania nazw burz przez media społecznościowe). Dlatego czasami w mediach można spotkać podwójne nazewnictwo i/lub niekiedy np. spolszczoną ich nazwę. Z tego powodu Europejska Sieć Meteorologiczna (*European Meteorological Network, EUMETNET*), organizacja skupiająca państwowe służby meteorologiczne większości krajów europejskich, w tym IMGW-PIB, powołała grupę roboczą, której zadaniem jest opracowanie jednolitego systemu nazewnictwa wyżów i niżów w Europie.

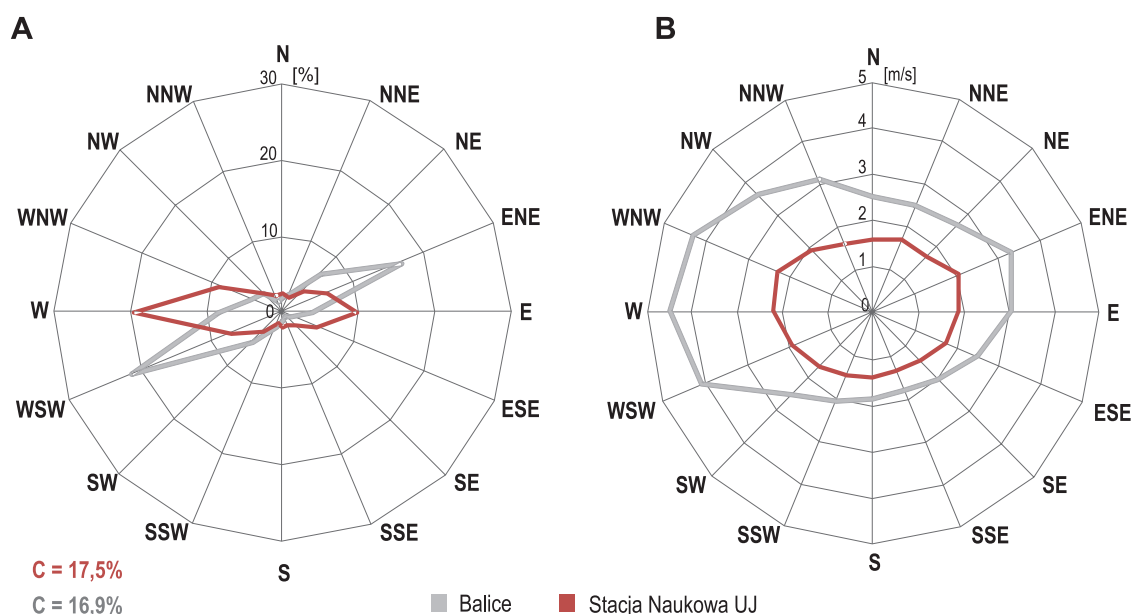
4.1. Wiatr w latach 1991–2018

W niniejszym rozdziale opisano występowanie wiatru na rozpatrywanym obszarze. W związku z tym, że w XX i XXI w. na stacjach meteorologicznych dość często zmieniano przyrządy do pomiaru wiatru (z wiatromierza Wilda na coraz nowocześniejsze anemometry, w tym ultradźwiękowe), z czym związane są znaczne różnice w dokładności pomiarów, szczegółową analizę ograniczono tylko do ostatniego 28-letniego (1991–2018).

Położenie Krakowa w dolinie Wisły (wklęsłej formie terenowej), ograniczonej od południa i północy wzniesieniami (ryc. 11 w rozdziale 3.3. *Ukształtowanie terenu*) powoduje osłabienie prędkości wiatru i utrudnia naturalne przewietrzanie miasta. Dzieje się tak nawet mimo tego, że przeważającym kierunkiem wiatru jest zachodni, czyli zgodny z układem doliny Wisły na osi wschód–zachód. Również większa szorstkość podłoża wpływa na spadek prędkości wiatru, choć zdarzają się sytuacje, kiedy nierównomiernie nagrzane powierzchnie ulic i otaczających je terenów przyczyniają się do powstania efektu tunelowego powodującego pojawienie się wiatru o większej prędkości, z silniejszymi porywami.

Porównując częstość występowania wiatru z poszczególnych kierunków i jego prędkość w mieście i na terenach pozamiejskich, zauważa się dość duże różnice. W rozpatrywanym okresie w centrum Krakowa przeważał wiatr zachodni (W – 19,6%), natomiast w Balicach zachodnio-południowo-zachodni (WSW – 21,3%) (ryc. 22). Na obu stacjach z niemal dwukrotnie mniejszą częstością występował wiatr z kierunków wschodnich, szczególnie ze wschodu (E – 9,8% na Stacji Naukowej UJ) i wschodu północnego wschodu (ENE – 16,8% w Balicach). Bardzo duży udział mają sytuacje, w których występuje tzw. cisza atmosferyczna, czyli w których prędkość wiatru nie przekracza 0,5 m/s. W analizowanym wieloleciu takich przypadków było 17,5% w centrum Krakowa i 16,9% na jego obrzeżach, reprezentowanych przez stację w Balicach (ryc. 22).

Średnia prędkość wiatru ze wszystkich kierunków wynosiła w Krakowie 1,7 m/s, natomiast w Balicach 2,9 m/s. Oznacza to, że według klasyfikacji Parczewskiego (1961) w obu przypadkach dominują wiatry słabe i bardzo słabe (Matuszko i in. 2015). Największymi prędkościami charakteryzuje się wiatr z sektora zachodniego (WSW-W-WNW), a w drugiej kolejności – wschodniego (ESE-E-ENE) (ryc. 22). W przebiegu rocznym wiatr o największej średniej prędkości występuje w półroczu chłodnym (listopad–kwiecień), a zwłaszcza w marcu. W analizowanym wieloleciu średnia prędkość wiatru w tym miesiącu wynosiła 3,5 m/s w Balicach i 2,1 m/s na



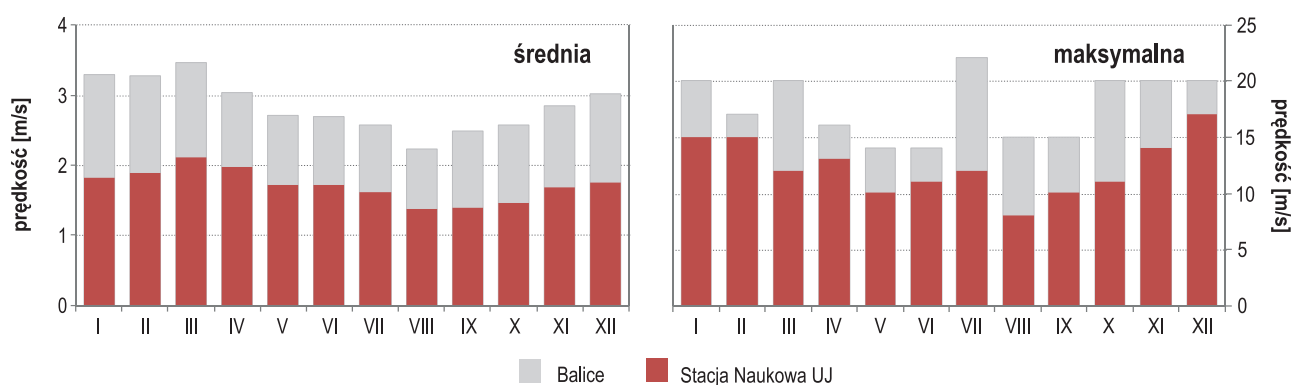
Ryc. 22. Częstość [%] kierunków wiatru i cisza (A) oraz średnia prędkość wiatru [m/s] z poszczególnych kierunków (B) na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1991–2018

Stacji Naukowej UJ (ryc. 23). Biorąc jednak pod uwagę maksymalne prędkości wiatru, to ich przebieg roczny jest dość wyrównany. Silne wiatry występują na analizowanym obszarze zarówno w okresie od października do marca, jak i w miesiącach letnich, zwłaszcza w lipcu, kiedy to w Balicach zanotowano największe prędkości wiatru – 22 m/s (79,2 km/h) (ryc. 23).

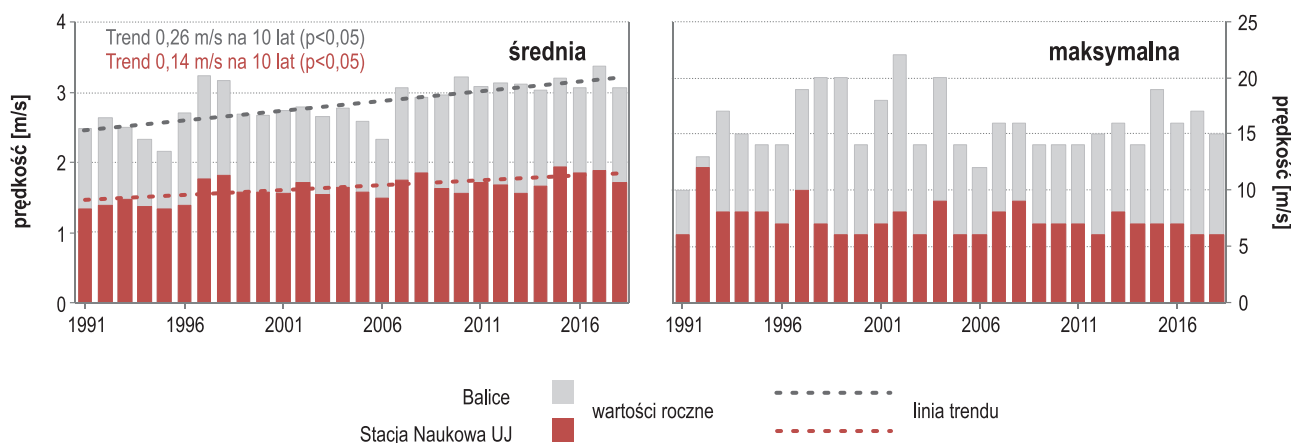
Na podstawie analizowanych danych z dwóch stacji reprezentujących centrum Krakowa i obszary pozamiejskie powiatu krakowskiego stwierdzono, że w ostatnich latach wzrosła średnia prędkość wiatru. W Balicach trend wynosił 0,26 m/s, natomiast w Krakowie 0,14 m/s na 10 lat (ryc. 24). Zmiany te były istotne statystycznie na poziomie 0,05, natomiast w przypadku maksymalnych prędkości wiatru nie zauważono wyraźnych tendencji zmian.

Możliwość przeprowadzenia szczegółowej analizy m.in. prędkości wiatru w przebiegu dobowym dają, dostępne od 1993 r., godzinne pomiary meteorologiczne prowadzone na stacji synoptycznej w Balicach. Średnie prędkości wiatru są największe w godzinach okołopołudniowych (11–14 UTC), z maksimum 4,1 m/s o godz. 12 UTC (ryc. 25). Biorąc jednak pod uwagę maksymalne prędkości wiatru, należy stwierdzić, że wartości ponad 10 m/s (36 km/h) mogą występować w ciągu całej doby (ryc. 25).

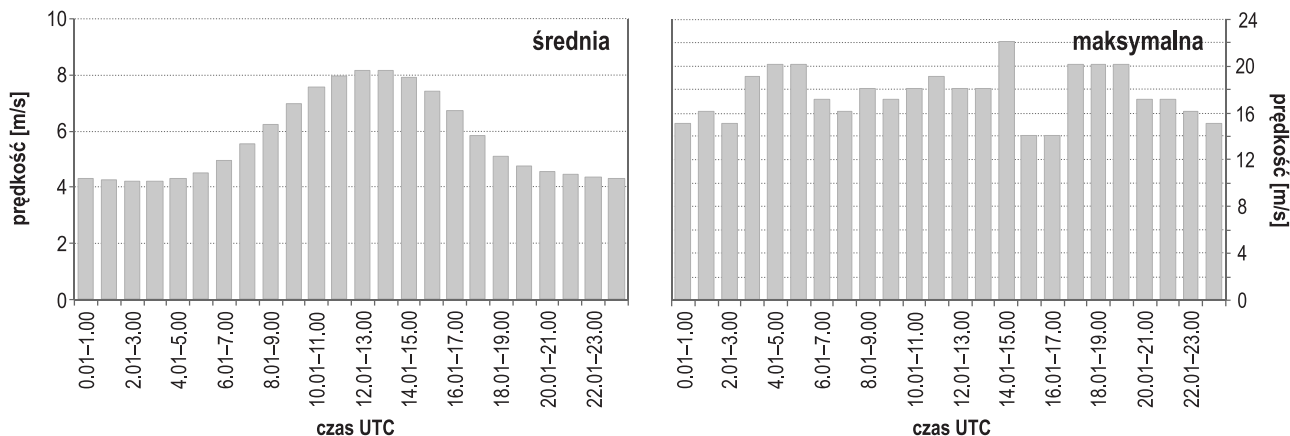
W opracowaniach naukowych, m.in.: Kowanetza (2007), Bokwy (2010) oraz Matuszko i in. (2015), można znaleźć informacje o średnich prędkościach wiatru i jego kierunku z kilku innych stacji meteorologicznych zlokalizowanych w Krakowie i jego otoczeniu, np.: Garlicy Murowanej (gmina Zielonki), Libertowa (gmina Mogilany) czy Igołomii (gmina Igołomia-Wawrzeńczyce). I chociaż pomiary na tych stacjach były prowadzone



Ryc. 23. Średnia i maksymalna prędkość wiatru [m/s] w poszczególnych miesiącach na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1991–2018



Ryc. 24. Średnia i maksymalna prędkość wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1991–2018



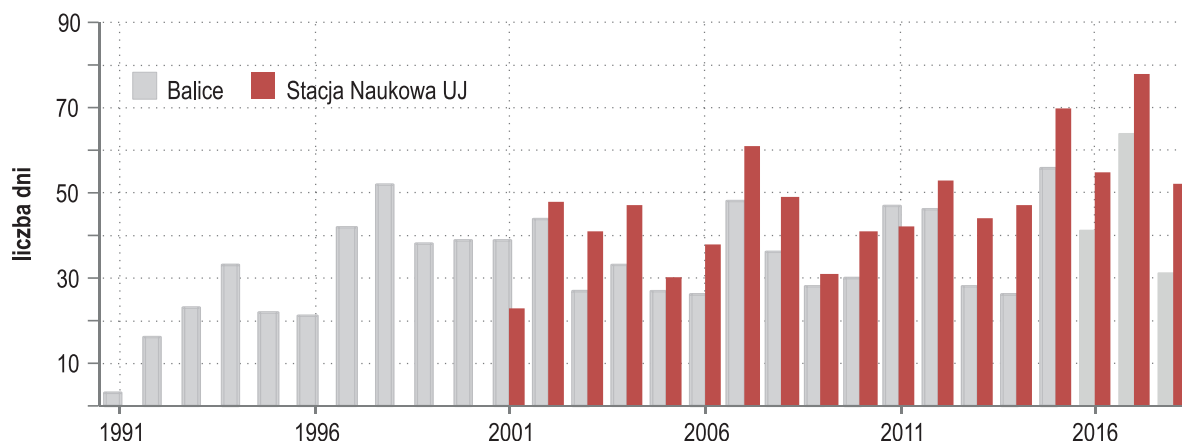
Ryc. 25. Średnia i maksymalna prędkość wiatru [m/s] w ciągu doby w Balicach w latach 1993–2018

w różnych latach, wyniki badań potwierdziły wyraźny wpływ ukształtowania terenu powiatu krakowskiego na warunki anemologiczne, zwłaszcza położenia obszaru w dnach dolin lub na wierzchowinie, gdzie prędkość wiatru jest zdecydowanie większa, a częstość występowania cisz atmosferycznych mniejsza. Warto także wspomnieć, zwłaszcza w kontekście kolejnych rozdziałów dotyczących występowania mgieł, szadzi i gołoledzi, że charakterystycznym zjawiskiem na analizowanym obszarze są nocne spływy chłodnego powietrza. Występują one najczęściej przy słabym ogólnocyrculacyjnym ruchu powietrza, charakterystycznym dla układów wysokiego ciśnienia, z niewielkim zachmurzeniem. Takie spływy powietrza do obniżen terenowych, m.in. dolin rzecznych Wisły, Rudawy, Prądnika czy Dłubni, przyczyniają się do powstania inwersji termicznych i zastoisk zimnego powietrza, które powodują powstawanie mgieł, a w okresie zimowym dodatkowo oblodzenia powierzchni dróg i chodników (Kowanetz 2007).

Szczególnie groźny jest wiatr, którego średnia prędkość, zgodnie z ustawą (*Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej ... Dz.U.2019 poz. 1215*), przekracza 15 m/s (54 km/h) lub w porywach wynosi ponad 20 m/s (72 m/s). W klimatologii za silny uważa się wiatr, którego średnia prędkość jest równa lub przekracza 10 m/s, a za bardzo silny ten ≥ 15 m/s (*Słownik meteorologiczny* 2013). Na rozpatrywanym obszarze nie zdarzają się one wyjątkowo często, ale czasami mogą przyjmować w porywach wartości przekraczające nawet 30 m/s (w Balicach maksymalny poryw wiatru w analizowanym okresie wynosił 34 m/s i wystąpił w lipcu 2015 r.) (patrz rozdział 6. *Burze*).

W Krakowie i Balicach występuje średnio w roku około 40–50 dni z porywami wiatru ≥ 10 m/s (ryc. 26) oraz niecałe 2 dni z tymi ≥ 15 m/s w Balicach. Na podstawie wieloletniego przebiegu analizowanych dni można stwierdzić, że w centrum miasta średnio było o około 11 dni więcej z porywami ≥ 10 m/s niż w Balicach, co może wynikać m.in. z występowania efektu tunelowego. Z powodu braku szczegółowych danych dotyczących porywów ≥ 15 m/s na Stacji Naukowej UJ nie było możliwości porównania częstości ich występowania na obu stacjach. Należy jednak pamiętać, że na przedstawione tu wyniki znacznie wpływają nie tylko warunki lokalne, ale również stosowane przyrządy i sposób prowadzenia obserwacji, nieco różniący się na obu stacjach z uwagi na główny cel ich prowadzenia – stacja w Balicach jest stacją synoptyczną, natomiast Stacja Naukowa UJ – klimatologiczną.

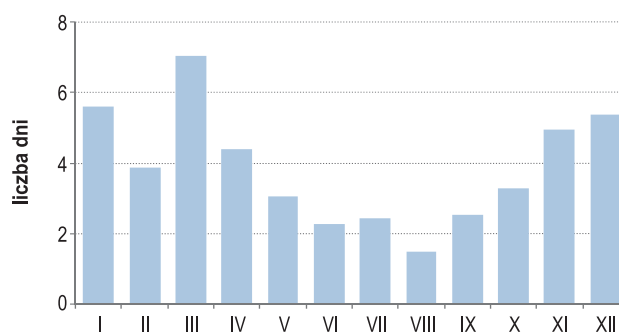
Występowanie silnego wiatru jest ściśle związane z makroskalową cyrculacją atmosfery. Z tego powodu dokonano bardziej szczegółowej analizy częstości pojawiania się silnego wiatru w badanym regionie w kontekście występujących typów cyrculacji. W analizie uwzględniono dni bez wystąpienia burzy, w których co najmniej na jednej stacji wiatr osiągał w porywach prędkość ≥ 10 m/s, dlatego też ograniczono zakres pomiarów do lat 2001–2018. Łącznie rozpatrywanych dni było 835, z czego najwięcej w 2017 r. (9,3%), a najmniej w 2009 r. (3,6%). Przebieg wieloletni jest więc zbliżony do tego, który został przedstawiony na rycinie 26. W przebiegu rocznym średnio najwięcej dni z porywami ≥ 10 m/s było w marcu (6,9), a w dalszej kolejności w grudniu



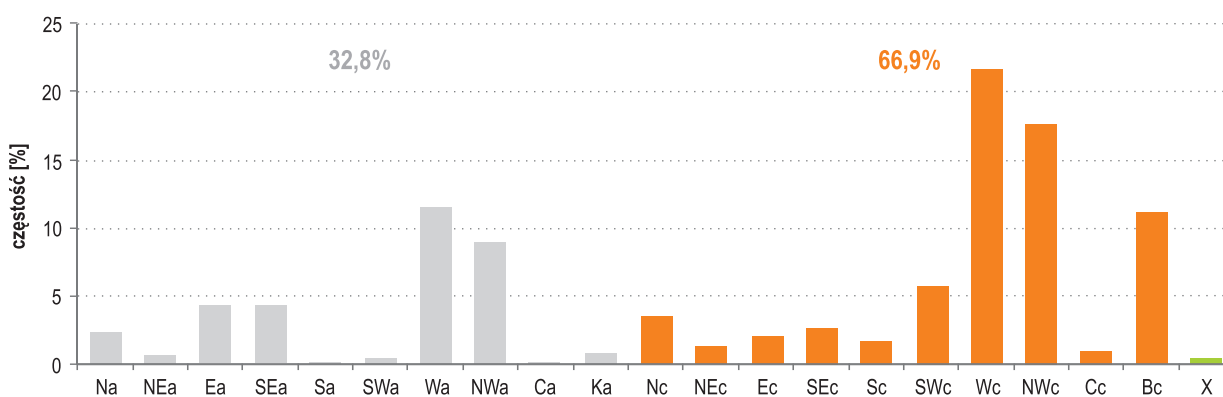
Ryc. 26. Liczba dni z porywami wiatru ≥ 10 m/s na Stacji Naukowej UJ (2001–2018) i w Balicach (1991–2018)

i styczniu (odpowiednio 5,2 i 5,4 dni). W zimie (grudzień–luty) występuje około 30% takich dni, natomiast w lecie (czerwiec–sierpień) jest ich zaledwie 7%, czyli około 2,3 dni w miesiącu (ryc. 27). Ze względu na dużą częstość występowania silnego wiatru w marcu, nieco więcej było dni z porywami ≥ 10 m/s wiosną (marzec–maj; 14,6%) niż jesienią (wrzesień–październik; 10,4%).

Wśród wyróżnionych 835 dni, w których zanotowano porywy wiatru ≥ 10 m/s na co najmniej jednej z analizowanych stacji (Naukowej UJ i/lub Balicach), oraz w których nie było burzy, najczęściej występowało ich podczas sytuacji cyklonalnych (niżowych; 66,9%), w tym zwłaszcza przy adwekcji mas powietrza z zachodu (Wc; 21,5%), północnego zachodu (NWc; 17,7%) i podczas bruzdy cyklonalnej (Bc; 11,0%) (ryc. 28). Ponad połowa przypadków dni z analizowanymi porywami wiatru (50,1%) była związana z trzema wymienionymi sytuacjami. Wśród sytuacji antycyklonalnych wyróżniały się również te z adwekcją mas powietrza z zachodu i północnego zachodu (Wa – 11,4; Nwa – 8,9%).



Ryc. 27. Średnia liczba dni z porywami wiatru ≥ 10 m/s na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 2001–2018

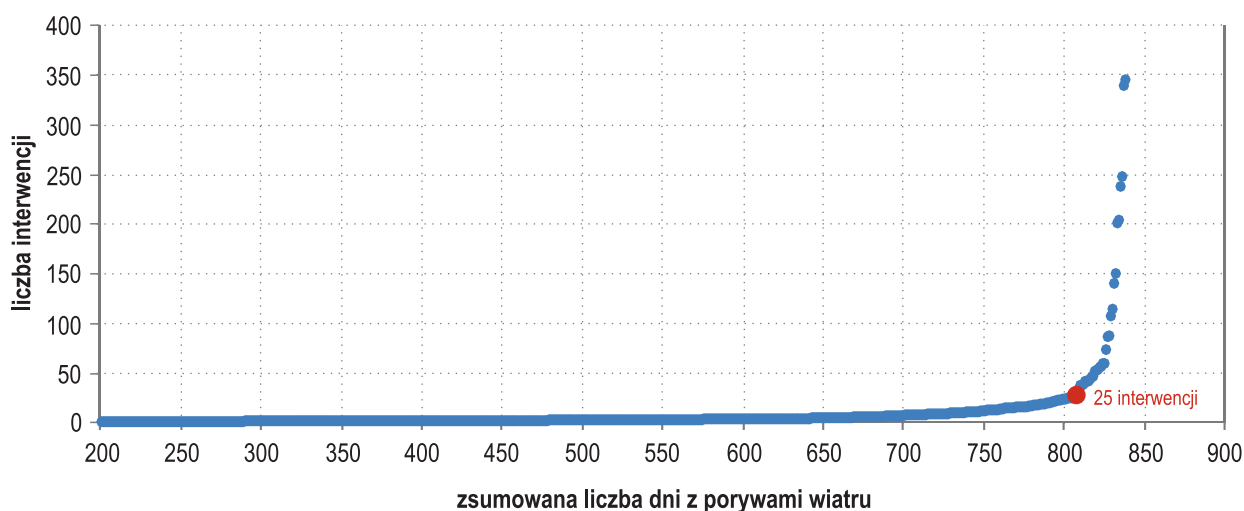


Ryc. 28. Częstość [%] występowania typów cyrkulacji w dniach z porywami wiatru ≥ 10 m/s na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 2001–2018 (objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*)

4.2. Wyjątkowo silne porywy wiatru i ich skutki w latach 2000–2018

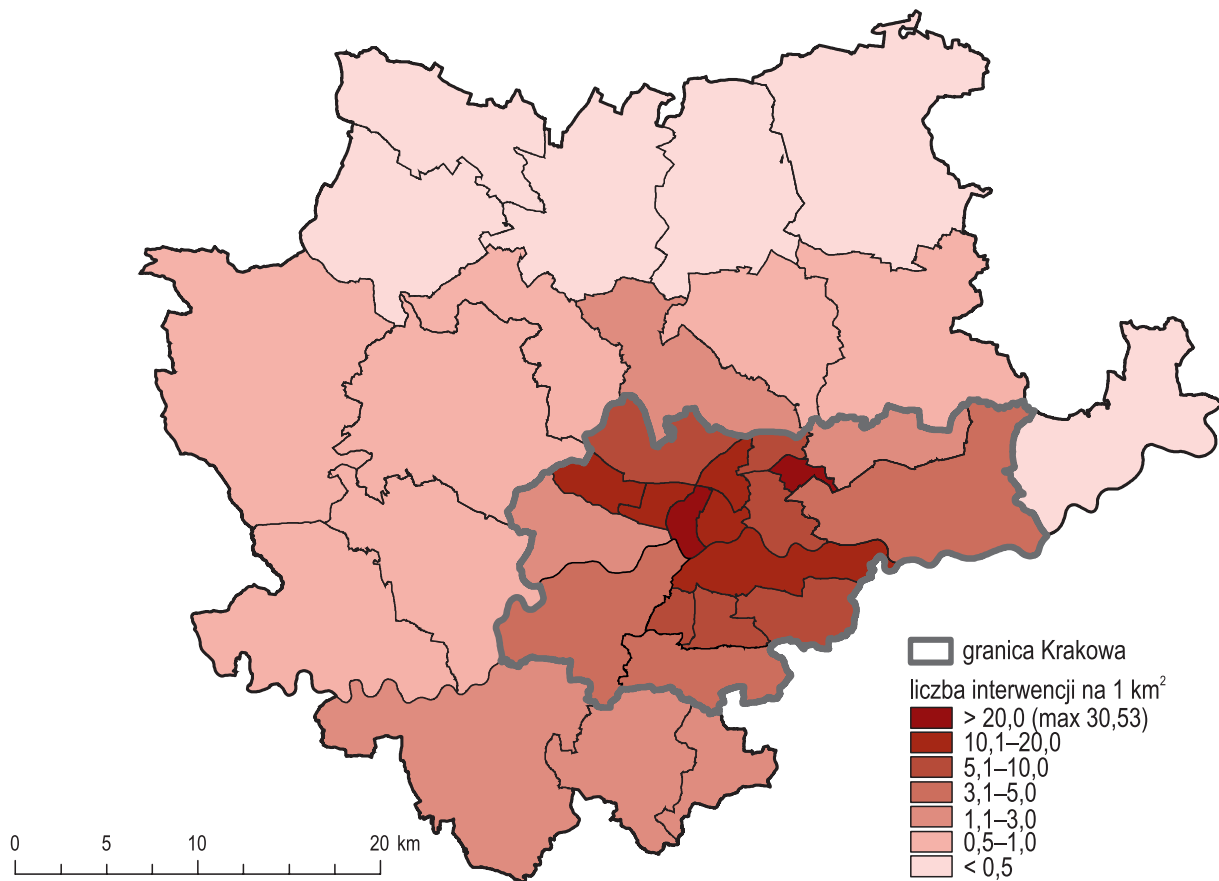
Informacje o wystąpieniu silnego wiatru możemy odnaleźć w danych pochodzących ze stacji meteorologicznych. Jednak na większym obszarze, gdzie nie prowadzi się pomiarów, nie ma możliwości określenia dokładnej prędkości wiatru. W takich sytuacjach o wystąpieniu dużych prędkości wiatru można wnioskować na podstawie skutków, jakie one spowodowały, a ich źródłem może być liczba i rodzaj interwencji straży pożarnej. W niniejszym rozdziale z uwagi na odmienne przyczyny występowania silnego wiatru – związanego z głębokimi niżami i silnymi burzami, opisane zostaną przypadki silnego wiatru towarzyszącego aktywnym układom niskiego ciśnienia. Skutki silnych wiatrów towarzyszących burzom przedstawiono w rozdziale 6. *Burze*. Należy również zaznaczyć, że do szczegółowego opisu wybrano tylko te dni, w których liczba interwencji była wyjątkowo duża, co sugeruje wystąpienie wiatru o największych prędkościach na badanym obszarze.

Na podstawie liczby interwencji Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie na terenie miasta i powiatu krakowskiego okazało się, że podczas wyróżnionych dni z porywami wiatru ≥ 10 m/s (835 dni; niebieskie kropki na ryc. 29) aż w 86,5% strażacy usuwali szkody spowodowane przez silny wiatr. Największa liczba analizowanych dni – 83,6% wiązała się z wystąpieniem od 1 do 10 interwencji, natomiast 92,0% do 20, a 94,2% do 25 interwencji. W związku z tym przyjęto, że wyjątkowo silny wiatr na analizowanym obszarze skutkuje ponad 25 interwencjami straży pożarnej w ciągu doby. Maksymalnie strażacy interweniowali w dniach z silnym wiatrem 346 razy (ryc. 29).



Ryc. 29. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej w dniach z porywami wiatru ≥ 10 m/s w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018

W latach 2000–2018 wyróżniono 32 dni (tab. 17), w których strażacy interweniowali od 26 do 346 razy, w tym 6 dni, kiedy interwencji było ponad 200. Na podstawie lokalizacji interwencji straży pożarnej w tych dniach opracowano mapę z częstością występowania negatywnych skutków związanych z tym zdarzeniem (ryc. 30). Może ona pośrednio wskazywać na podatność poszczególnych części miasta i gmin powiatu krakowskiego na oddziaływanie silnego wiatru. Najwyższą częstością, a więc i największą podatnością na negatywne skutki wywołane przez silne burze, odznaczają się w Krakowie dzielnice: Stare Miasto (30,5 interwencji na 1 km²), Bieńczyce (20,0), Prądnik Czerwony (16,8), Krowodrza (13,3), Bronowice (11,7), Podgórze (10,6) i Grzegórzki (10,1) (ryc. 30). Zdecydowanie mniej interwencji w przeliczeniu na 1 km² powierzchni było w gminach powiatu krakowskiego. W porównaniu z wszystkimi, nieco więcej było ich w gminach: Świątniki Górne (2,4), Skawina (1,8), Zielonki (1,7) i Mogilany (1,4) (ryc. 30).



Ryc. 30. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na 1 km² powierzchni w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego w dniach z silnym wiatrem w latach 2000–2018

Warto również zwrócić uwagę, że w przypadku wyróżnionych dni z silnym wiatrem (tab. 17) interwencje strażaków były związane w większości tylko z tym zjawiskiem. Niemniej jednak zdarzają się przypadki, w których podczas silnego wiatru występują również opady atmosferyczne, a powstałe szkody są związane z oboma zjawiskami. Przykładami takich zdarzeń są m.in. te z: 16–17 maja 2010 r., 15–16 maja 2014 r., 12 października 2015 r. (tab. 17). Zostaną one omówione również w rozdziale 5. *Opady*.

4.3. Wybrane przypadki wystąpienia silnego wiatru

18–20 listopada 2004 r.

Katastrofalny w skutkach dla znacznej części Europy Środkowej był wiatr, który wystąpił w dniach 18–19 listopada 2004 r. Był on związany z głębokimi niżami powstałymi nad środkowym Atlantykiem, na zachód od Wysp Brytyjskich (Bąkowski, Piotrowicz 2007). Przemieszczały się one bardzo szybko przez północną Francję, Niemcy i Polskę (Unton-Pyziółek 2005). Z uwagi na wyjątkowo duże prędkości wiatru w Polsce śmierć poniosło w ich wyniku 7 osób, a 7 innych było rannych. W Tatrach Słowackich uległ zniszczeniu las o powierzchni około 12 tys. ha. Zdarzenie to nosi w literaturze nazwę *Vel'ka Vetrova Kalamita* (Widawski, Łakomiak 2008). W Krakowie w tych dniach prędkość wiatru osiągała 16 m/s (ryc. 31), a na stacji w Balicach nawet 18 m/s, w porywach do 26 m/s (93,6 km/h) (tab. 17). W mieście zniszczeniu uległo wiele drzew oraz trakcja elektryczna, w wyniku czego wstrzymany został ruch w centrum miasta na ponad 2,5 godziny.

Tabela 17. Charakterystyka dni z silnym wiatrem w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018

| Data | Typ cyrkulacji | Rodzaj frontu | Masa powietrza | Nazwa niżu | Trasa | Państwa przemieszczania centrum układu | Najniższa wartość ciśnienia [hPa] | Różnica ciśnienia – 6h [hPa] | Różnica ciśnienia – 12h [hPa] | Kierunek wiatru [°] | Czas $\geq 10 / \geq 15$ m/s [godz.] | Max | | Liczba interwencji | | Obszar występowania największych szkód związanych z wiatrem |
|------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------------|---------|--|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------|-----------|--------------------|------|--|
| | | | | | | | | | | | | V [m/s] | QNT [m/s] | Wiatr | Opad | |
| 07.03.2002 | Wc | z | rmp | - | T2 (2A) | Islandia, Szwecja, Norwegia, Finlandia | 998,8 | -2,3 | -3,1 | 240–280 (SW-W) | 14,4 / 7,1 | 19 | 24 | 86 | - | centrum Krakowa, gminy w południowo-zachodniej części powiatu, m.in. Skawina |
| 28.10.2002 | NWc | z | PA | Jeanette | T3 (3B) | Irlandia, Wielka Brytania, Dania, Szwecja, Litwa, Rosja | 1002,7 | -1,1 | -10,0 | 240–270 (W) | 21,0 / 4,0 | 20 | 26 | 114 | - | centrum Krakowa, dzielnice Bieńczone, Biezańów-Prokocim, gminy: Skawina i Zabierzów |
| 18.11.2004 | Wc | z | rmp | | T2 (2B) | Islandia, Norwegia, Szwecja, Polska, Litwa, Lotwa, Estonia, Rosja | 1003,4 | -3,6 | -8,1 | 240–250 (SW) | 9,1 / 0,0 | 15 | 20 | 51 | - | centrum Krakowa, dzielnice Podgórze Duchackie, Biezańów-Prokocim, Bieńczone, Mistrzejowice, zachodnia część Nowej Huty oraz gminy: Skawina, Słomniki, Zielonki |
| 19.11.2004 | Cc | c, z, o | rmp | Elizabeth (Quimbarga) | T2 (2A) | Irlandia, Wielka Brytania, Belgia, Holandia, Niemcy, Polska, Białoruś, Rosja | 983,3 | -10,7 | -20,3 | 240–310 (SW-NW) 260–290 (W) | 4,8 / 2,3 0,7 / - | 18 11 | 26 13 | 346 87 | - | |
| 20.11.2004 | NWc | - | PA | | | | | | | | | | | | | |
| 18.01.2007 | Wc | z | PPmc | | T3 (3C) | Irlandia, Wielka Brytania, Dania, Niemcy, Polska, Litwa, Lotwa, Rosja | | | | 220–230 (SW) | 12,9 / 0,2 | 14 | 20 | 94 | - | południowo-wschodnia część Krakowa, północna część gminy Skawina |
| 19.01.2007 | NWc | z | PPm | Cyryl Kyrill | T3 (3B) | Norwegia, Dania, Szwecja, Litwa, Lotwa, Estonia, Rosja | 985,4 | -12,1 | -21,6 | 250–270 (W) | 10,6 / 0,5 | 14 | 20 | 342 | 2 | południowo-zachodnia i południowo-wschodnia część Krakowa oraz gminy Igołomia-Wawrzeńczyce, Zabierzów, Krzeszowice |
| 20.01.2007 | Wc | c | PPm | | | | | | | 250–280 (W) | 2,0 / - | 13 | 15 | 37 | - | |
| 24.03.2007 | SEC | - | PPk | | T7 | Francja, Belgia, Holandia, Dania, Niemcy, Polska, Litwa, Lotwa, Rosja | 1005,0 | 0,9 | -1,6 | 60–80 (E) | 14,9 / 0,0 | 13 | 18 | 55 | 2 | południowo-zachodnia część Krakowa |
| 01.03.2008 | Bc | c, z | rmp (PPms /PPm) | Emma | T2 (2B) | Islandia, Norwegia, Szwecja, Dania, Lotwa, Estonia, Rosja | 981,3 | -9,9 | -23,8 | 250–280 (W) | 10,3 / 2,1 | 16 | 26 | 59 | 4 | centrum i północna część Krakowa, dzielnica Biezańów-Prokocim |
| 15.10.2009 | Cc | o | PA | Wimar | T7 | Włochy, Czarnogóra, Serbia, Rumunia, Ukraina, Białoruś, Litwa, Polska | 1007,4 | 0,1 | -1,2 | 250–270 (W) | - / - | 7 | - | 37 | 73 | dzielnice Prądnik Biały i Podgórze |

| Data | Typ cyrkulacji | Rodzaj frontu | Masa powietrza | Nazwa niżu | Trasa | Państwa mieszczenia centrum układu | Najniższa wartość ciśnienia [hPa] | Różnica ciśnienia – 6h [hPa] | Różnica ciśnienia – 12h [hPa] | Kierunek wiatru [°] | Czas $\geq 10 / \geq 15$ m/s [godz.] | Max V [m/s] | Max QNT [m/s] | Liczba interwencji | | Obszar występowania największych szkód związanych z wiatrem |
|------------|----------------|---------------|-----------------------|-----------------|---------|---|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------|---------------|--------------------|----------|--|
| | | | | | | | | | | | | | | Wiatr | Opad | |
| 16.05.2010 | NEC | c | PPms | - | T7 | Włochy, Chorwacja, Bośnia i Hercegowina, Węgry, Słowacja, Ukraina, Białoruś, Polska | 1000,4 | -1,1 | -0,9 | 300-330 (NW) | 5,2 / 0,0 | 10 | 16 | 45 | 187 | północna część Krakowa |
| 17.05.2010 | Nc | o | PPms | - | - | Słowacja, Ukraina, Białoruś, Polska | 1000,4 | -1,1 | -0,9 | 300-330 (NW) | 1,8 / 0,0 | 10 | 16 | 59 | 329 | północna część Krakowa |
| 05.12.2011 | Bc | c, z | rmp (PPms /PPmc /PPm) | - | T2 (2C) | Islandia, Norwegia | 990,2 | -7,4 | -11,7 | 220-270 (SW-W) | 2,5 / 0,5 | 12 | 20 | 52 | - | centrum Krakowa oraz dzielnice Prądnik Biały i Czerwonny, Podgórze i zachodnia część Nowej Huty |
| 06.12.2013 | NWc | z | PA | Ksawery (Xaver) | T2 (2B) | Norwegia, Dania, Szwecja, Litwa, Łotwa, Białoruś, Rosja | 999,2 | -6,0 | -18,8 | 240-260 (SW-W) 260-275 (W) | 21,8 / 0,3 14,8 / 0,0 | 16 14 | 22 21 | 145 43 | - | cały obszar Krakowa oraz gmina Skawina centralna, północna oraz południowo-wschodnia część Krakowa |
| 15.05.2014 | NEC | - | PPms | - | Wyż | Włochy, Czechy, Serbia, Bułgaria, Rumunia, Węgry, Słowacja, Ukraina, Polska | 1013,1 | -2,3 | -3,5 | 345-10 (N) 350-10 (N) | 0,0 / 0,0 0,0 / 0,0 | 9 9 | 16 14 | 56 41 | 27 73 | północna część Krakowa |
| 16.05.2014 | NEC | o | PPms | - | T7 | Włochy, Czechy, Serbia, Bułgaria, Rumunia, Węgry, Słowacja, Ukraina, Polska | 1013,1 | -2,3 | -3,5 | 345-10 (N) 350-10 (N) | 0,0 / 0,0 0,0 / 0,0 | 9 9 | 16 14 | 56 41 | 27 73 | północna część Krakowa |
| 10.01.2015 | NWc | c, z | rmp (PPms /PPmc /PPm) | Felix | T3 (3B) | Norwegia, Szwecja, Łotwa, Estonia, Rosja | 999,7 | -2,7 | -7,6 | 240-300 (SW-W -NW) 250-280 (W) | 8,7 / 0,0 7,8 / 0,0 | 13 12 | 19 17 | 37 38 | - | gminy Zielonki i Michałowice |
| 11.01.2015 | NWc | - | PPm | - | - | Norwegia, Szwecja, Łotwa, Estonia, Rosja | 999,7 | -2,7 | -7,6 | 240-300 (SW-W -NW) 250-280 (W) | 8,7 / 0,0 7,8 / 0,0 | 13 12 | 19 17 | 37 38 | - | gminy Zielonki i Michałowice |
| 31.03.2015 | Bc | c, z | PPm | - | Wyż | Włochy, Czarnogóra, Serbia, Węgry | 1019,5 | -0,5 | -0,7 | 40-50 (NE) | - / - | 8 | - | 44 | 111 | północna część gmin Skawina, Mogilany i Świątynki Górne |
| 01.04.2015 | NWc | - | PPm | Niklas | T3 (3C) | Wielka Brytania, Dania, Niemcy, Polska, Litwa, Łotwa, Estonia, Finlandia | 992,6 | -9,9 | -14,4 | 140-250 (SE-S -SW) 230-270 (SW-W) | 3,1 / - 10,0 / 0,0 | 11 11 | 13 15 | 37 41 | - | północna część gmin Skawina, Mogilany i Świątynki Górne północna część Krakowa oraz dzielnica Swoszowice i północna część gminy Świątynki Górne |
| 12.10.2015 | SEa | - | PPk | - | Wyż | Włochy, Czarnogóra, Serbia, Węgry | 1019,5 | -0,5 | -0,7 | 40-50 (NE) | - / - | 8 | - | 44 | 111 | południowa część Krakowa oraz gmina Zabierzów |
| 02.12.2016 | Nc | c, z, o | rmp (PPm /PA) | - | T2 (2A) | Islandia, Norwegia, Szwecja, Polska, Ukraina, Mołdawia, Rosja | 998,9 | -5,8 | -12,0 | 240-300 (SW-W -NW) | 6,8 / 0,0 | 12 | 18 | 41 | 7 | cały obszar Krakowa |
| 24.02.2017 | Bc | z | rmp (PPmc /PPm) | Thomas | T3 (3C) | Irlandia, Wielka Brytania, Dania, Niemcy, Polska, Litwa, Rosja | 993,0 | -5,4 | -11,7 | 230-270 (SW-W) | 12,3 / 1,4 | 16 | 24 | 248 | - | cały obszar Krakowa |

Tabela 17. Charakterystyka dni z silnym wiatrem w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018 cd.

| Data | Typ cyrkulacji | Rodzaj frontu | Masa powietrza | Nazwa niżu | Trasa | Państwa przemieszczania centrum układu | Najniższa wartość ciśnienia [hPa] | Różnica ciśnienia – 6h [hPa] | Różnica ciśnienia – 12h [hPa] | Kierunek wiatru [°] | Czas $\geq 10 / \geq 15$ m/s [godz.] | Liczba interwencji | | Obszar występowania największych szkód związanych z wiatrem | | |
|------------|----------------|---------------|----------------------|------------------|---------|--|-----------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------|---------------|---|-------|--|
| | | | | | | | | | | | | Max V [m/s] | Max QNT [m/s] | | Wiatr | Opad |
| 05.10.2017 | Bc | c, z | rmp (PPm /PPmc /PPm) | Ksawery (Xavier) | T3 (3C) | Irlandia, Wielka Brytania, Dania, Niemcy, Polska, Litwa, Białoruś, Rosja | 997,9 | -6,1 | -12,5 | 250-270 (W) | 5,5 / 1,1 | 17 | 23 | 107 | 5 | centralna, północna oraz południowo-wschodnia część Krakowa |
| 06.10.2017 | NWc | - | PPm | | | | | | | 250-260 (W) | 1,6 / 0,0 | 13 | 22 | 238 | 11 | |
| 07.10.2017 | Wa | - | PPm | | | | | | | 240-260 (SW-W) | - / - | 8 | - | 32 | - | południowa część Krakowa |
| 29.10.2017 | Bc | o | rmp (PPm /PA) | Herwart | T2 (2A) | Norwegia, Szwecja, Polska, Litwa, Łotwa, Estonia, Białoruś, Rosja | 983,4 | -13,0 | -22,1 | 230-290 (SW-W) | 11,7 / 0,3 | 13 | 20 | 204 | 64 | centralna, północna i południowo-wschodnia część Krakowa oraz gminy Skawina, Mogilany, Świątniki Górne i Krzeszowice |
| 30.10.2017 | Nc | - | PA | | | | | | | 260-280 (W) | 6,8 / 0,0 | 10 | 18 | 53 | 9 | centrum Krakowa oraz gmina Skawina |
| 24.09.2018 | Cc | c, z, o | PA | Fabienne | T3 (3A) | Wielka Brytania, Francja, Belgia, Niemcy, Polska, Białoruś, Rosja | 1000,3 | -12,1 | -17,4 | 250-280 (W) | 7,5 / 0,0 | 15 | 21 | 201 | 5 | centralna, północno-wschodnia i południowo-wschodnia część Krakowa oraz gminy w zachodniej części powiatu |
| 24.10.2018 | Nc | o | PA | - | T2 (2B) | Islandia, Norwegia, Szwecja, Łotwa, Estonia, Rosja | 1000,5 | -3,7 | -9,7 | 250-295 (W) | 8,9 / 0,0 | 14 | 20 | 46 | 3 | centrum Krakowa, zachodnia część dzielnicy Nowa Huta oraz gmina Słomniki |

Przykłady omówione w tekście.

Typ cyrkulacji, rodzaj frontu atmosferycznego i rodzaj masy powietrza według klasyfikacji Niedźwiedzia (2019) – objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne.*

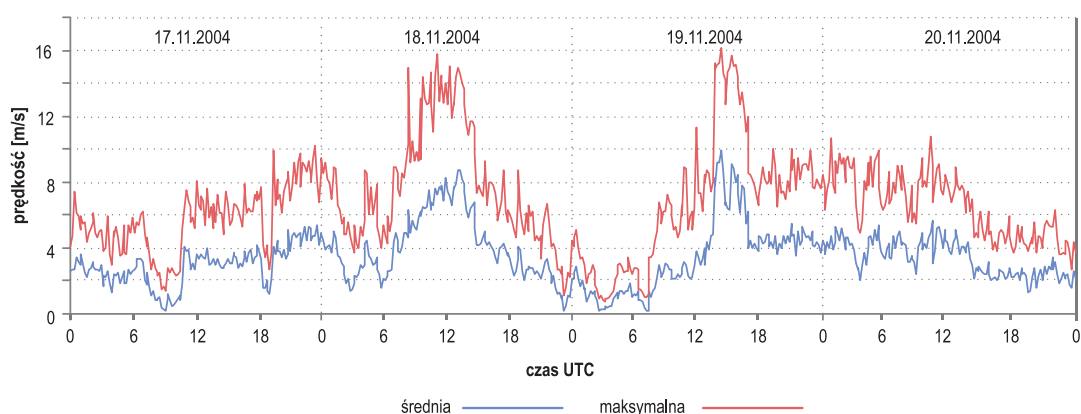
Trasa – szlaki przemieszczania się niżów (Bielec-Bakowska 2010a; ryc. 2 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne.*)

Czas $\geq 10 / \geq 15$ m/s [godz.] – czas trwania wiatru o prędkości ≥ 10 lub ≥ 15 m/s.

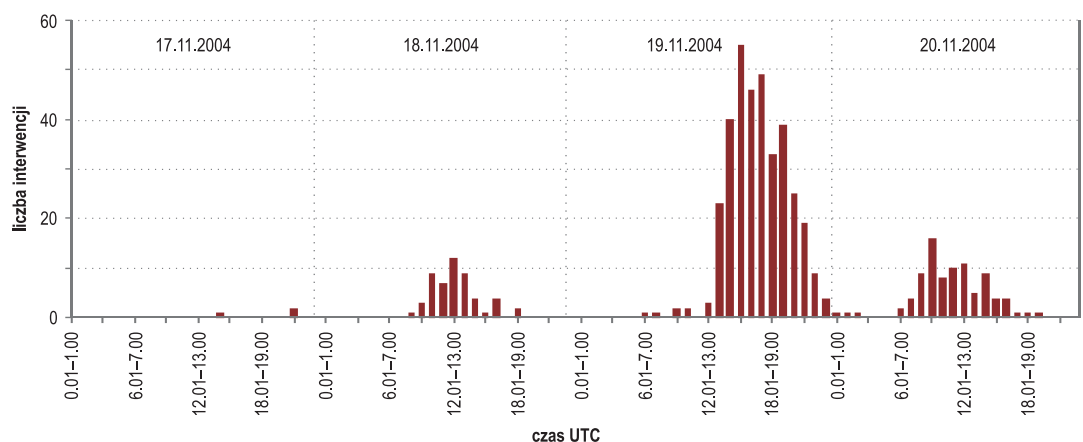
Max V – maksymalna średnia prędkość wiatru [m/s], Max QNT – maksymalny poryw wiatru [m/s].

Źródło: opracowanie własne m.in. na podstawie: www.wetter-extrem.de/or Kane.htm, www.europeanwindstorms.org/cgi-bin/storms/storms.cgi?sort=date&opt=, en.wikipedia.org/wiki/List_of_European_windstorms.

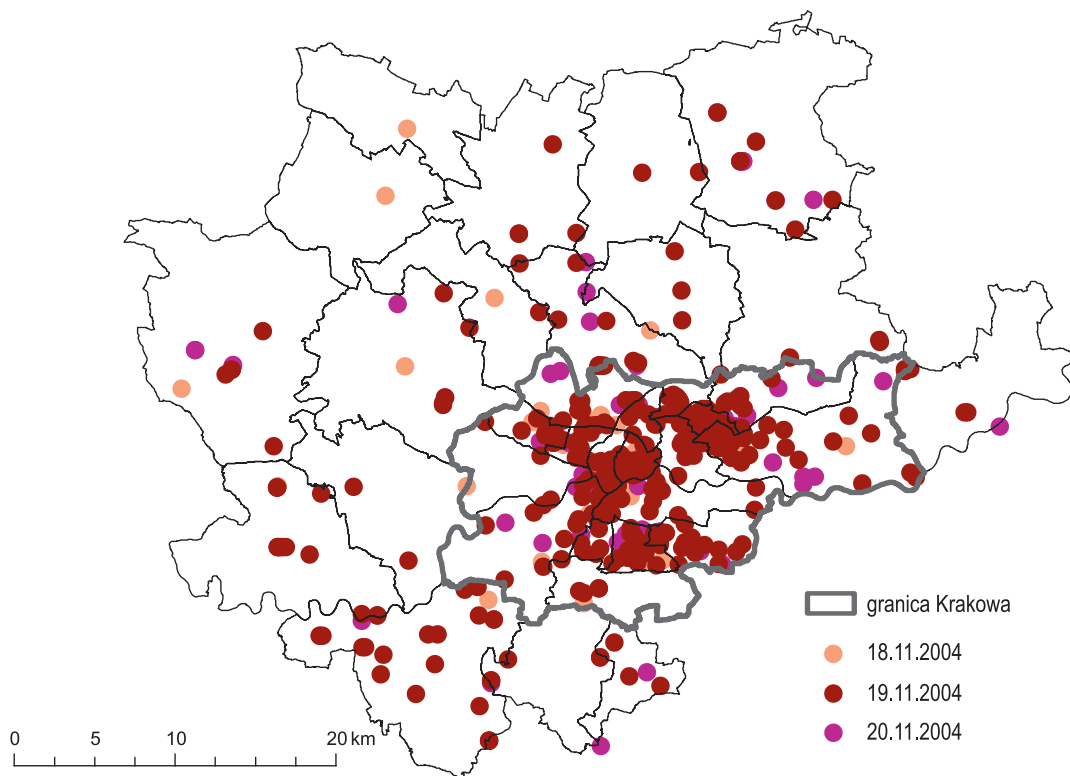
Pierwsze zgłoszenie o szkodach wyrządzonych przez wiatr wiejący w analizowanych dniach straż pożarna odebrała 18 listopada o godzinie 8.55 w Rybnej (gmina Czernichów), gdzie na budynek mieszkalny przewróciło się drzewo. W Krakowie pierwsze zgłoszenie (godz. 9.02) dotyczyło powalonego drzewa na samochód osobowy i jezdnię przy ul. Wybickiego (dzielnica IV Prądnik Biały). Do 18.40, gdy wiatr wiał już ze zdecydowanie mniejszą prędkością, interweniowano w 52 zdarzeniach, głównie w celu usunięcia drzew z jezdni, sieci trakcyjnej czy przyczepy zepchniętej do rowu. Zdecydowanie groźniejsze były porywy wiatru w dniu następnym, 19 listopada 2004 r. Choć średnia 10-minutowa prędkość wiatru była tylko o niecałe 2 m/s większa niż w dniu poprzednim, natomiast porywy miały porównywalną prędkość w centrum miasta w obu dniach (ryc. 31, tab. 17), to jednak straż pożarna musiała wyjeżdżać do usuwania szkód 346 razy. Była to największa dobowa liczba zgłoszeń związanych z silnym wiatrem, którym nie towarzyszyła burza, w całym analizowanym wieloleciu (2000–2018). Najwięcej zgłoszeń, ponad 40 na godzinę, odnotowano między godziną 13.00 a 17.00 (ryc. 32), a skutki tego wiatru usuwano jeszcze następnego dnia (87 zgłoszeń). Były one związane przede wszystkim z uszkodzeniami dachów budynków, słupów i linii elektrycznych oraz ogrodzeń przez powalone drzewa i konary. Największe szkody wiatr wyrządził w centrum miasta, w dzielnicach: Podgórze Duchackie, Bieżanów-Prokocim, Bięńczyce, Mistrzejowice, zachodniej części Nowej Huty oraz w gminach: Skawina, Słomniki, Zielonki (ryc. 33). Na drogach wyjazdowych z Krakowa silne podmuchy wiatru spychały samochody z jezdni. Obliczona energia porywów wiatru w dniu 18 listopada wyniosła 27,4 kWh/m² (Piotrowicz i in. 2004–2005).



Ryc. 31. Średnia 10-minutowa i maksymalna prędkość wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniach 17–20.11.2004 r.



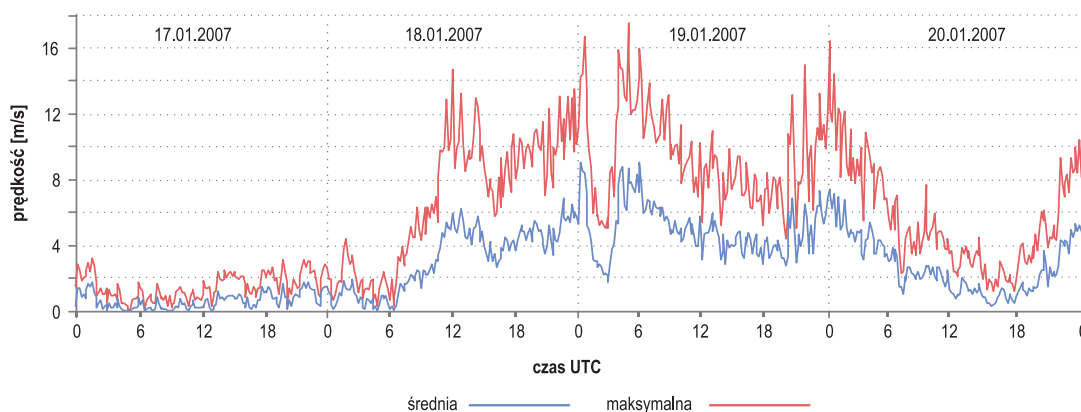
Ryc. 32. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 18–20.11.2004 r.



Ryc. 33. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 18–20.11.2004 r.

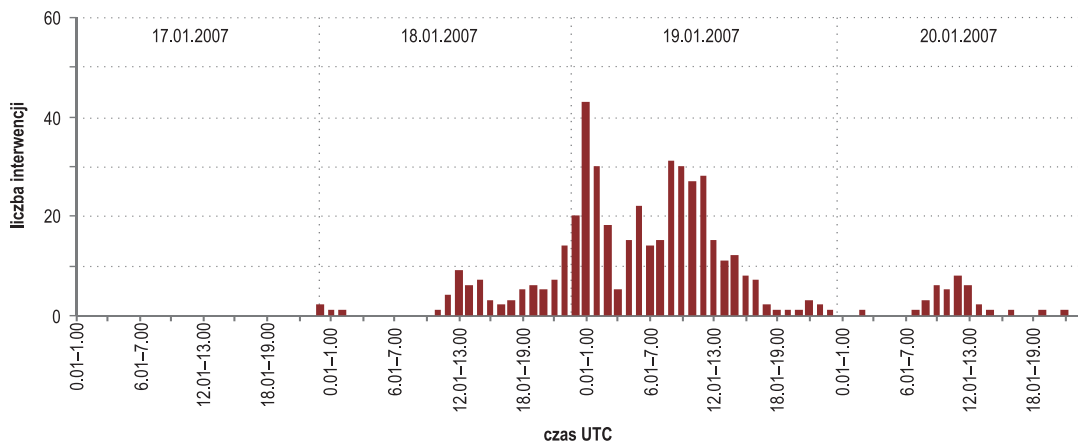
18–20 stycznia 2007 r.

Silny wiatr w styczniu 2007 r., który wystąpił na znacznym obszarze Polski i Europy Środkowej, również spowodowany był przez głęboki niż z centrum przemieszczającym się z nad Morza Północnego nad Bałtyk (tab. 17). Szczegółowy opis tego niżu przedstawił Antoniów (2015; lowcyburz.pl/download/cyryl_analiza.pdf), a w literaturze otrzymał on nazwę Cyryl lub Kyrill (Holub i in. 2008, Kaseja 2007). Podczas przemieszczania się wspomnianego układu, wzdłuż linii frontu chłodnego tworzyły się burze, lokalnie z opadem gradu, podczas których prędkość wiatru dodatkowo wzrastała, w Krakowie maksymalnie do 18 m/s, a w Balicach w porywach do 20 m/s (ryc. 34, tab. 17).

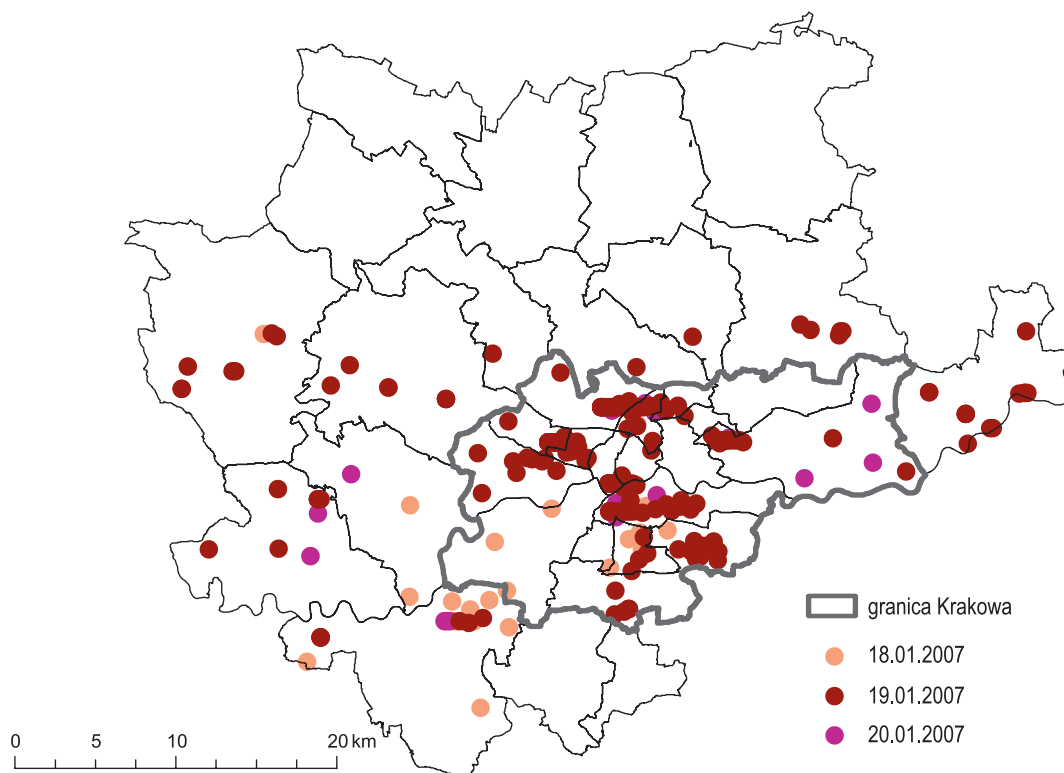


Ryc. 34. Średnia 10-minutowa i maksymalna prędkość [m/s] wiatru na Stacji Naukowej UJ w dniach 17–20.01.2007 r.

Na rozpatrywanym obszarze pierwsze zgłoszenia straży pożarnej otrzymała w godzinach przedpołudniowych 18 stycznia, chociaż najczęściej nocą z 18 na 19 stycznia oraz do południa 19 stycznia 2007 r. (ponad 20 na godzinę) (ryc. 35). Dotyczyły one przede wszystkim uszkodzeń budynków i drzew. Największe szkody wiatr wyrządził w Krakowie w pasie na linii wschód–zachód (ryc. 36), a straża pożarna musiała interweniować 94 razy 18 stycznia, 342 razy 19 stycznia oraz 37 razy 20 stycznia 2007 r. W całej Polsce w wyniku silnego wiatru życie straciło 6 osób.



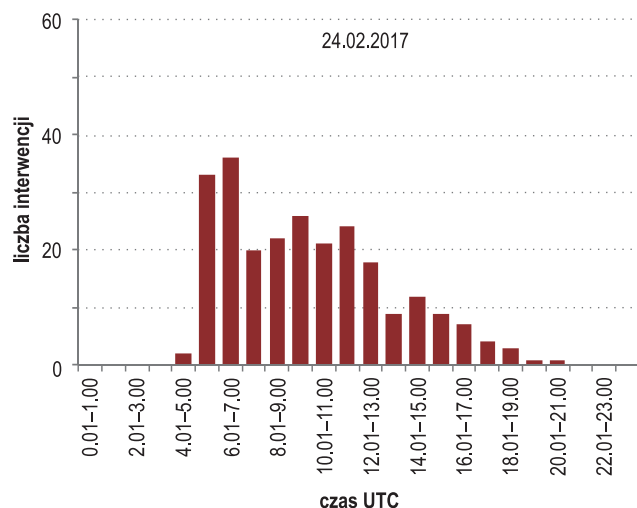
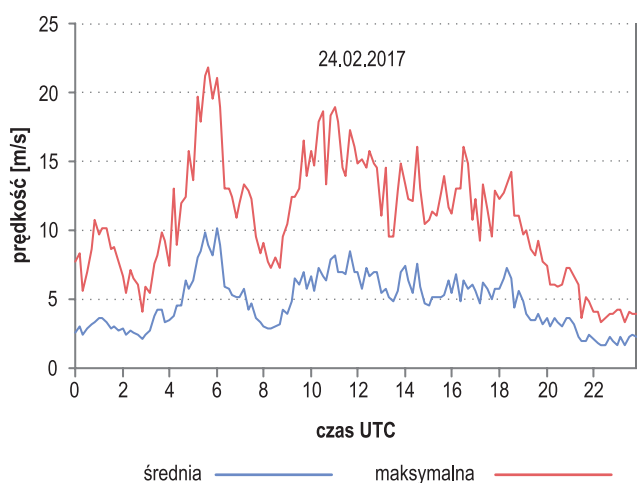
Ryc. 35. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 17–20.01.2007 r.



Ryc. 36. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 18–20.01.2007 r.

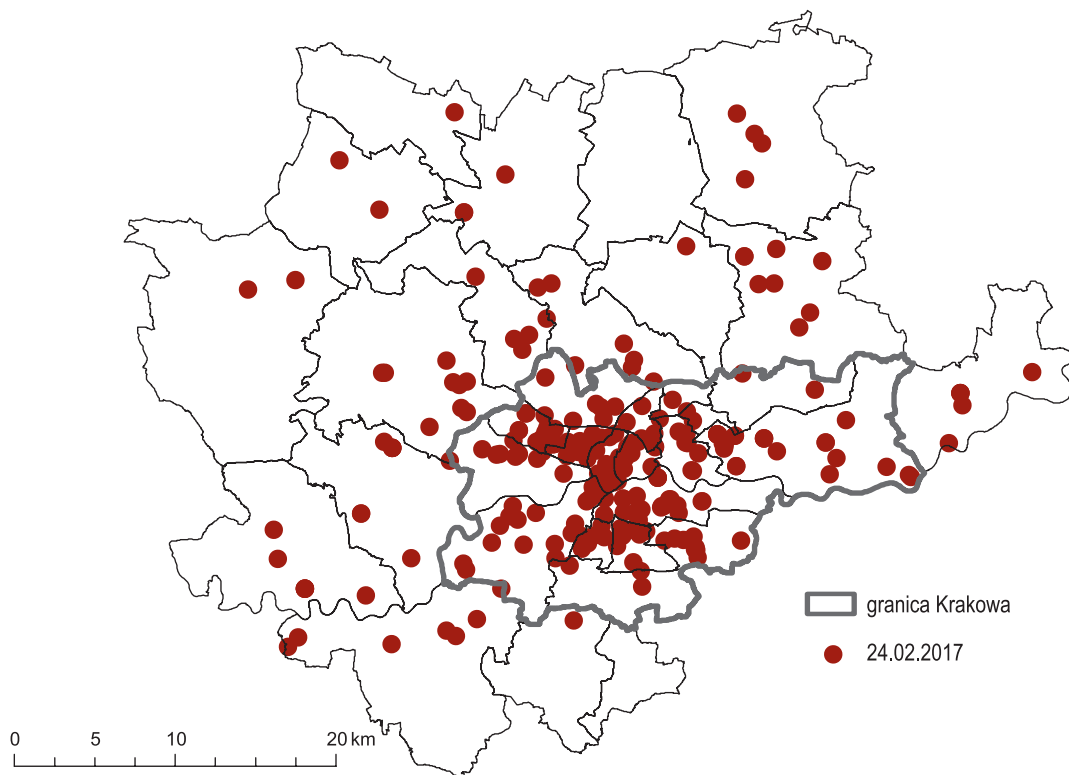
24 lutego 2017 r.

Innym przypadkiem groźnego wiatru był ten odnotowany w lutym 2017 r. Głęboki niż, nazwany przez niemiecką służbę meteorologiczną Thomas, utworzył się w pobliżu Islandii i w bardzo krótkim czasie dotarł do Europy Środkowej. Silny wiatr wiejący w Balicach przez około 12 godzin osiągał prędkość w porywach ponad 24 m/s (86,4 km/h) (tab. 17). W porównaniu z poprzednio omówionymi zdarzeniami, tym razem głęboki niż bardzo szybko przemieszczał się nad Polską, więc silny wiatr występował na omawianym obszarze od około godziny 4.00 do 19.00 (ryc. 37). Najwięcej zgłoszeń było w godzinach porannych, do 36 między 6.00–7.00 (ryc. 38).



Ryc. 37. Średnia 10-minutowa i maksymalna prędkość wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniu 24.02.2017 r.

Ryc. 38. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniu 24.02.2017 r.



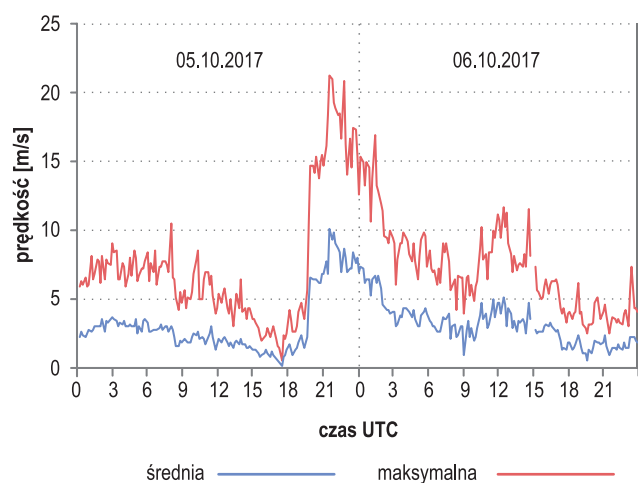
Ryc. 39. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniu 24.02.2017 r.

Również w tym przypadku najwięcej interwencji, z 248 przeprowadzonych przez straż pożarną, związanych było z zerwanymi dachami i połamanymi drzewami. Przykładem są podkrakowskie Zielonki (gmina Zielonki), gdzie zerwany został dach z tamtejszego kościoła. W Krakowie odnotowano najwięcej interwencji (ryc. 39). Powalone drzewa uszkodziły trakcję tramwajową i blokowały torowiska, m.in. na ulicach: Igołomskiej, Wadowickiej, Kalwaryjskiej, Limanowskiego, Starowiślniej, Dietla oraz przejazd samochodów na Beliny-Prażmowskiego, skrzyżowaniu Wielickiej i Powstańców Wielkopolskich. Spowodowało to bardzo duże utrudnienia komunikacji w całym mieście. Również pasażerowie podróżujący koleją odczuli skutki tego wiatru. Powalone drzewo blokowało bowiem jeden z torów na stacji Kraków-Prokocim w kierunku Tarnowa i pociągi przez kilka godzin kursowały wahadłowo jednym torem. Niestety, wiele drzew zostało uszkodzonych lub powalonych na krakowskich Plantach, w tym około 100-letni jesion w okolicach Teatru Bagatela, a prace porządkowe trwały w mieście kilka kolejnych dni.

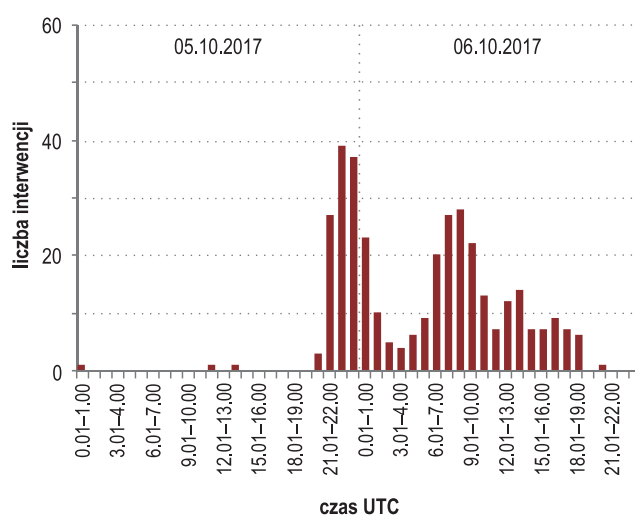
5–7 października 2017 r.

Podobnie jak poprzednio opisany głęboki niż (Thomas z 24 lutego 2017 r.), również Ksawery (Xavier), powstały w okolicach Islandii przemieszczał się nad Europą trasą T3 (tab. 17). Największe prędkości wiatr osiągnął w nocy z 5 na 6 października 2017 r., w centrum Krakowa w porywach nieco ponad 20 m/s (ryc. 40), a w Balicach nawet 23 m/s. Z tego powodu najwięcej zgłoszeń do straży pożarnej odnotowano w godzinach 21.00–1.00 oraz kolejnego dnia w godzinach przedpołudniowych (ryc. 41).

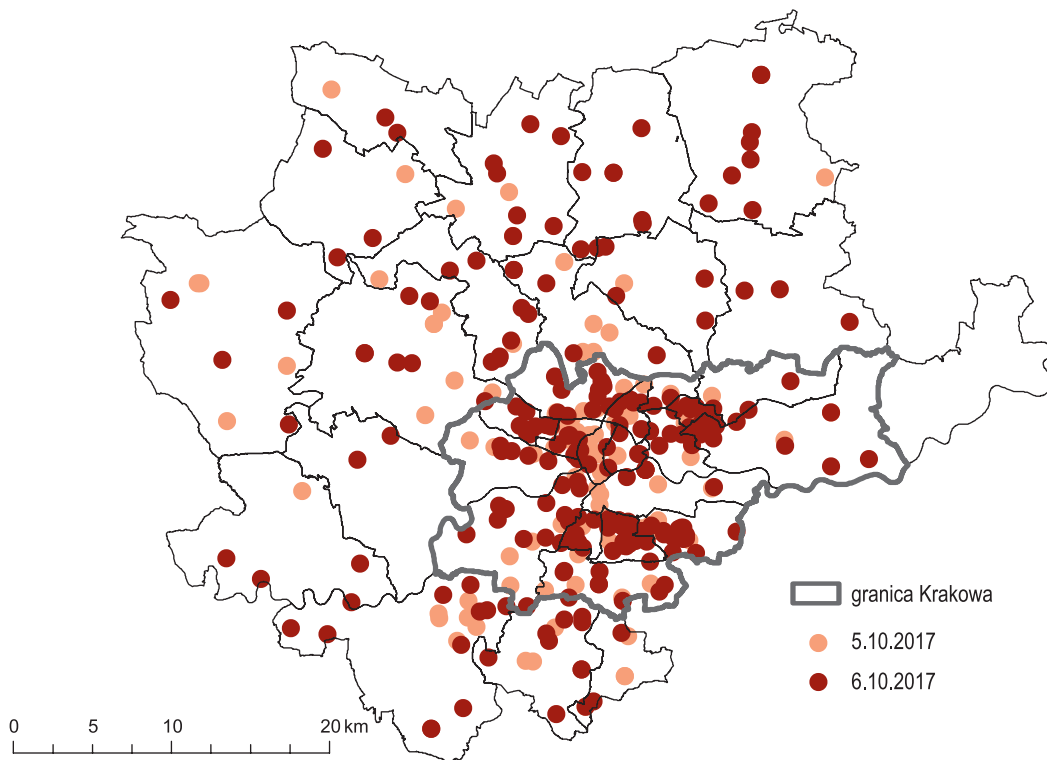
Na podstawie mapy prezentującej przestrzenne zróżnicowanie podjętych przez strażaków interwencji wynika, że w przypadku silnego wiatru występującego na przełomie tych dwóch dni najwięcej zniszczeń było w północnej i południowej części Krakowa i gmin powiatu krakowskiego, zwłaszcza: Słomnik, Skały, Zielonek, Wielkiej Wsi oraz Skawiny i Mogilan (ryc. 42).



Ryc. 40. Średnia 10-minutowa i maksymalna prędkość wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniach 5–6.10.2017 r.



Ryc. 41. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 5–6.10.2017 r.



Ryc. 42. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 5–06.10.2017 r.

4.4. Skutki silnego wiatru w latach 1961–2002 – kalendarium

Przykłady innych przypadków silnego wiatru, który wyrządził liczne szkody w Krakowie i powiecie krakowskim można znaleźć na stronie KM PSP. W latach 1961–2002 odnotowano tam 8 zdarzeń (tab. 18), choć z pewnością było ich dużo więcej.

Tabela 18. Opis interwencji związanych z wystąpieniem silnego wiatru z kalendarium Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

| Daty | Opis interwencji |
|---------------|---|
| 19/20.11.1973 | Nad Krakowem przeszedł silny wiatr, niszcząc wiele słupów, drzew, zrywając dachy. Strażacy przez 3 dni likwidowali w mieście skutki wichury. |
| 22–26.01.1993 | Strażacy usuwali skutki silnego wiatru, który wyrządził znaczne szkody. |
| 08.04.1995 | Przechodzący nad Krakowem huragan poczynił wiele szkód. Z dachów 5 budynków zerwał blachę, poprzewracał drzewa na ulice, linie energetyczne, domy. W związku z powyższym strażacy wzywani byli 17 razy do udzielenia pomocy. |
| 30.10.1998 | Nad Krakowem przeszła wichura. Pisał o tym „Dziennik Polski” z 31.10–01.11.1998 r. w artykule „Walka z wiatrem”: <i>Wichura (prędkość wiatru dochodziła momentami do 90 kilometrów na godzinę), która rozszalała się wczoraj wieczorem nad Krakowem – zdeorganizowała komunikację tramwajową. Na ul. Karmelickiej, ok. godz. 18.30, na sieć trakcyjną upadło drzewo – zrywając ją na długości około 100 metrów i odcinając w ten sposób od tramwaju sporą część zachodniego Krakowa. (...) Złamane konary zniszczyły także sieć (złamany pantograf) na ul. Piłsudskiego (...). Konar spadł również na sieć w rejonie pętli Katowickiej (...). MPK musiało wstrzymać także ruch tramwajowy, na około 20 minut, w rejonie skrzyżowania koło Dworca Głównego, gdyż strażacy ściągali, zagrażające przechodniom, fragmenty dachu z narożnej kamienicy. Straż pożarna, w ciągu kilku godzin odebrała dziesiątki zgłoszeń od mieszkańców – w sprawie powalonych drzew, odpadających tynków i fruwającej blachy z dachów. Na ul. Gdyńskiej drzewo spadło na dom jednorodzinny, na ul. Biskupiej z dachu spadła blacha, na ul. Basztowej drzewo niebezpiecznie pochyliło się nad chodnikiem, upadło natomiast na alei Mickiewicza i ul. Bożego Ciała. W rejonie ronda Polsadu na jezdni wyładowała natomiast uliczna lampa.</i> |
| 07.03.2002 | Nad Krakowem szalała wichura. Jak napisał „Dziennik Polski” z 08.03.2002 r. w notatce „Wiatr zniszczenia”: <i>Najwięcej szkód wiatr poczynił w Krakowie. Wczesnym popołudniem na autostradowej obwodnicy miasta, w pobliżu Balic, wichura przewróciła ciężarówkę z przyczepą wypełnioną styropianem. Obwodnica została zablokowana na kilka godzin; policjanci kierowali samochody na objazdy. Ponad godzinę samochody nie mogły przejechać przez ul. Warszawską (blisko Dworca Głównego PKP), bo strażacy musieli stamtąd usunąć deski z rusztowania stojącego przy jednym z budynków. Spadające deski z tego rusztowania zraniły w głowę 20-letnią kobietę, którą odwieziono do szpitala. W związku z wichurą strażacy interweniowali 94 razy.</i> |

Źródło: www.psp.krakow.pl.

5. Opady

Opady atmosferyczne odgrywają bardzo ważną rolę w środowisku przyrodniczym, przy czym zarówno ich niedobór, jak i nadmiar jest dla niego szkodliwy – doprowadza do suszy lub powodzi. To właśnie powodie, jak wspomniano w poprzednim rozdziale (4. *Wiatr*; ryc. 21) zajmują pierwsze miejsce wśród żywiołów, które powodują w Europie największe straty materialne.

W niniejszym rozdziale analizie poddano jedynie te powodie i podtopienia, które były związane z intensywnymi opadami występującymi bezpośrednio nad obszarem Krakowa i powiatu krakowskiego. Warto jednak wspomnieć, że analizowany obszar należy do regionu południowej Polski (województw: małopolskiego, podkarpackiego, śląskiego, opolskiego, dolnośląskiego i świętokrzyskiego), gdzie ryzyko występowania powodzi opadowych jest bardzo duże. Więcej informacji na temat obszarów zagrożonych powodziami rzeczными można znaleźć m.in. na stronach: www.bip.krakow.pl/?dok_id=43809, mapy.isok.gov.pl/imap/ czy w publikacji pt. *Plan Adaptacji Miasta Krakowa do zmian klimatu do roku 2030* (2019).

Analizując opady atmosferyczne, warto pamiętać, że ich suma dobową określa wysokość warstwy wody w milimetrach, która utworzyłaby się na powierzchni poziomej, gdyby woda nie parowała, nie wsiąkała i nie spływała. Jeden milimetr odpowiada 1 litrowi wody, który spadł na powierzchni 1 m². Opady dobowe na stacjach klimatologicznych (a więc w przypadku Stacji Naukowej UJ) podaje się jako sumę ich występowania od 6.00 UTC danego dnia do 6.00 kolejnego. Wartość dobową przypisuje się do tego pierwszego dnia.

Każdy opad atmosferyczny można scharakteryzować kilkoma cechami: czasem jego trwania, sumą opadów, natężeniem (czyli sumą opadów w jednostce czasu, np.: mm/min, mm/godz.) i rodzajem opadu (deszcz, śnieg, mżawka itp.). W Polsce klasyfikację opadów pod względem wydajności opracował Chomicz (1951; tab. 19). Wyróżnił on 12 kategorii opadów, m.in.: deszcze zwykłe, silne, ulewne (ulewy; 4 stopnie) i nawalne (7 stopni). Dodatkowo wyróżnia się też tzw. opady (deszcze) rozlewne, trwające nieprzerwanie od 5 godzin do kilku dni (Lambor 1971; za Święchowicz 2012). Tego typu opady były m.in. przyczyną wielkich powodzi w Polsce w 1997 i 2010 r. (Bernas, Kolendowicz 2013). W praktyce często stosuje się nomogramy pozwalające na określenie poszczególnych kategorii natężenia opadów na podstawie ich wysokości (sumy opadów) i czasu trwania (ryc. 43).

W kontekście niniejszej pracy warto przywołać też definicję kilku terminów: **deszcz ulewny**, **deszcz nawalny**, **deszcz rozlewny**, **podtopienie**, **wezbranie**, **powódź**, **powódź błyskawiczna** (*flash flood*) i **powódź miejska**. Terminy te charakteryzują wielkość opadu atmosferycznego głównie ze względu na jego natężenie i czas trwania.

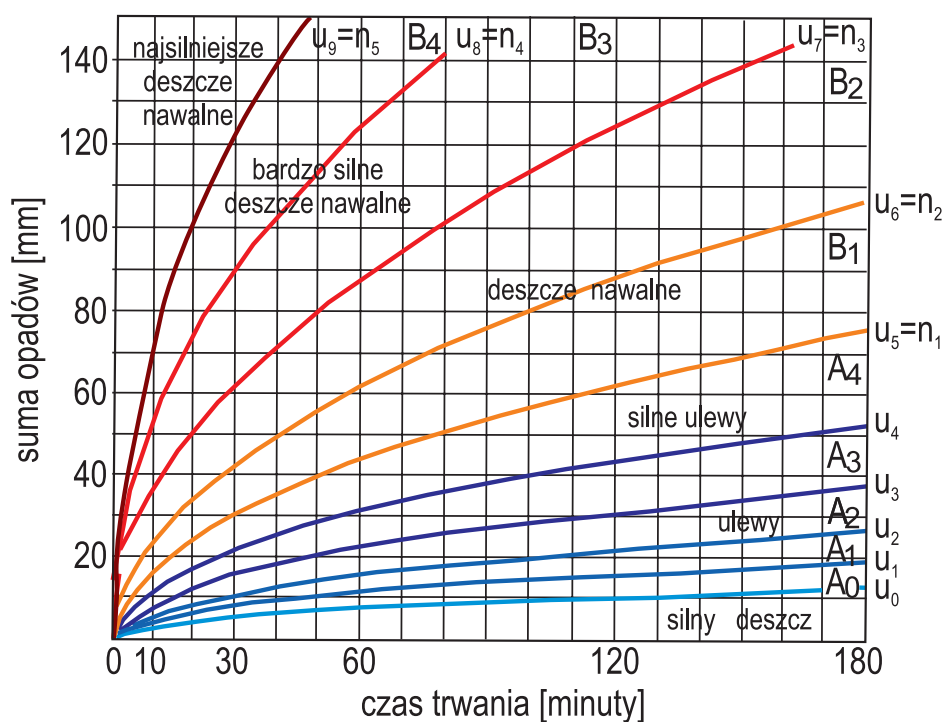
Według *Słownika meteorologicznego* (2003) poszczególne rodzaje natężenia opadów określono jako:

- **deszcz ulewny** – rodzaj opadu przelotnego o natężeniu powyżej 3,2 mm/10 min lub powyżej 7,7 mm/godz.,
- **deszcz nawalny** – rodzaj opadu przelotnego o natężeniu powyżej 12,8 mm/10 min lub powyżej 30,8 mm/godz.,

Tabela 19. Skala klasyfikacji deszczów według Chomicza (1951)

| Numer skali (k) | Współczynnik wydajności deszczów α_k | Określenie | | Znak literowy |
|-----------------|---|----------------|---------|----------------|
| | | | | |
| 0 | 0,00–1,00 | zwykły deszcz | - | - |
| 1 | 1,01–1,40 | silny deszcz | - | A ₀ |
| 2 | 1,41–2,00 | deszcz ulewny | I st. | A ₁ |
| 3 | 2,01–2,82 | | II st. | A ₂ |
| 4 | 2,83–4,00 | | III st. | A ₃ |
| 5 | 4,01–5,65 | | IV st. | A ₄ |
| 6 | 5,66 – 8,00 | deszcz nawalny | I st. | B ₁ |
| 7 | 8,01–11,30 | | II st. | B ₂ |
| 8 | 11,31–16,00 | | III st. | B ₃ |
| 9 | 16,01–22,61 | | IV st. | B ₄ |
| 10 | 22,62–32,00 | | V st. | B ₅ |
| 11 | 32,01–45,23 | | VI st. | B ₆ |
| 12 | 45,24–64,00 | | VII st. | B ₇ |

gdzie: α – współczynnik wydajności opadu zależny od czasu trwania, k – liczba ze skali Chomicza.



Ryc. 43. Krzywe wydajności opadów w skali Chomicza (1951)

– **deszcz rozlewny** – rodzaj intensywnego opadu jednostajnego, trwającego dłużej, np. trzy dni, obejmującego swym zajęciem większy obszar; w Polsce głównie występującego na południu, w Karpatach i Sudetach, przy adwekcji wilgotnych mas powietrza z północy lub północnego wschodu towarzyszących układom niskiego ciśnienia (Nc i NEc według klasyfikacji Niedźwiedzia; tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*).

W przypadku sum dobowych opadów (mm/24 godz.) często stosuje się klasyfikację Olechnowicz-Bobrowskiej (1970), w której autorka wyróżniła opady: bardzo słabe (0,1–1,0 mm), słabe (1,1–5,0 mm), umiarkowane (5,1–10,0 mm), umiarkowanie silne (10,1–20,0 mm), silne (20,1–30,0 mm) i bardzo silne (>30,1 mm).

W wyniku występowania opadów atmosferycznych o dużym natężeniu (w niniejszym opracowaniu określono je ogólnie jako intensywne opady) może dochodzić do podtopień, wezbrań w rzekach lub powodzi. **Podtopieniem** określa się zalanie terenów w wyniku wystąpienia deszczu ulewnego lub nawalnego, a w obszarach o urozmaiconej rzeźbie dodatkowo w wyniku spływu powierzchniowego wód po zboczach lub stokach, gdyż infiltracja gruntu przy tak intensywnych opadach jest ograniczona. Do podtopień może również dochodzić w czasie odwilży (roztopów; patrz rozdział 7. *Odwilże / Roztopy*), kiedy zalegająca pokrywa śnieżna na zamrożonym gruncie topiąc się, nie wsiąka, a utrzymuje się w dużych ilościach na powierzchni ziemi. **Wezbraniem** określamy wysoki stan wody w rzekach wywołany opadami, roztopami, zaterem lodowym lub podczas sztormów w ujściowych odcinkach rzek. W chwili, gdy wezbranie wody powoduje straty w wymiarze gospodarczym i społecznym, określa się go jako powódź. **Powódź** jest więc określonym przypadkiem wezbrania. Wśród rodzajów powodzi wyróżnia się m.in.: **powódzie ulewne** lub **nawalne**, wywołane intensywnymi opadami o dużym natężeniu (wysokimi sumami opadów w krótkim czasie) lub **powódzie rozlewnie**, powstałe po długotrwałych opadach. Coraz częściej do określenia powodzi występujących nagle, trwających krótko i mających lokalny zasięg używa się też terminu **powódź błyskawiczna** (*flash floods*) i **powódź miejska** (*urban flood*). Powódź błyskawiczna może być wywołana opadami nawalnymi, intensywnym topnieniem pokrywy śnieżnej, uszkodzeniem lub zniszczeniem budowli piętrzącej (zapory, grobli), przerwaniem wałów powodziowych (Pociask-Karteczka, Żychowski 2014). Powódź miejska jest rodzajem powodzi błyskawicznej występującej na obszarach zurbanizowanych. Nie jest ona zazwyczaj związana z rzekami (wystąpieniem wody z jej koryta), ale z podtopieniem wywołanym nagromadzeniem wody deszczowej po intensywnych opadach w wyniku ograniczonej infiltracji wody w związku z przewagą antropogenicznych powierzchni oraz zbyt małą przepustowością sieci kanalizacji deszczowej (Pociask-Karteczka, Żychowski 2014).

Przyczyny występowania intensywnych opadów w Polsce

Przyczynami występowania intensywnych opadów są m.in.: adwekcja bardzo wilgotnych mas powietrza, dłuższy czas zalegania układów niskiego ciśnienia nad danym obszarem oraz konwekcja termiczna związana z równowagą chwiejną w troposferze (prądy powietrzne skierowane z dolnych warstw troposfery ku górze – prądy wstępujące), ale także warunki lokalne – ukształtowanie terenu i jego zagospodarowanie (pokrycie terenu).

Najbardziej intensywne opady stanowią zazwyczaj te o charakterze burzowym, które zostaną omówione w rozdziale 6. *Burze*. Zdarza się jednak, że intensywnym opadom z chmur *Cumulonimbus* nie towarzyszą wyładowania atmosferyczne i takie przypadki zostaną omówione w dalszej części niniejszego rozdziału. Brak wyładowań może wynikać z momentu w cyklu „życia” burzy (wyładowania już wystąpiły lub dopiero wystąpią) lub zbyt słabo rozbudowanej chmury burzowej, w której nie doszło do zgromadzenia odpowiednio dużego ładunku elektrycznego. Niezależnie od wystąpienia wyładowania lub jego braku, chmury *Cumulonimbus* mogą występować w jednorodnej masie powietrza i być związane z silną konwekcją termiczną lub orograficzną i/lub przejściem frontu atmosferycznego, najczęściej chłodnego.

Opady o charakterze rozlewnym są związane z układami niskiego ciśnienia przemieszczającymi się nad Polską znad Oceanu Atlantyckiego lub (znacznie rzadziej) z obszaru Morza Śródziemnego (tzw. szlakiem Vb – Van Bebbera; Degirmendżić i in. 2014). Takie niże mogą zostać zablokowane przez wyż zlokalizowany nad terytorium Rosji lub Skandynawii. Stają się wówczas niżami stacjonarnymi lub quasi-stacjonarnymi, czyli układami wolno przemieszczającymi się na wschód (nad Ukrainę i Białoruś). Do tego w południowej Polsce dochodzi dodatkowo do spiętrzenia się wilgotnych mas powietrza na barierze górskiej, jaką stanowią Karpaty i Sudety. Taka sytuacja powoduje, że opady związane z niżami trwają dłużej, a ich sumy dobowe są bardzo wysokie. Przykładem takiej powodzi była ta w lipcu 1997 r. (tzw. powódź tysiąclecia), związana z niżem przemieszczającym się szlakiem Vb (Degirmendżić i in. 2014).

Tendencje zmian opadów

Opady są jednym z elementów meteorologicznych najbardziej zmiennych w czasie i przestrzeni. Wynika to z bardzo wielu czynników kształtujących jego występowanie i sumy opadów na danym obszarze. Z tego powodu, według analiz wielu klimatologów na świecie, w Europie i Polsce trudno jednoznacznie wskazać tendencję zmian sum opadów atmosferycznych (Cebulska i in. 2007, Zolina i in. 2010; van den Besselaar i in. 2013; Gallant i in. 2013; Donat i in. 2013; Fischer i in. 2014; Casanueva i in. 2014, Łupikasa 2017, Szyga-Pluta 2018). Przewiduje się, że globalne ocieplenie przyczyni się zarówno do wzrostu intensywności opadów, jak i występowania dłuższych okresów trwania suszy. Zależy to od położenia geograficznego rozpatrywanego regionu (IPCC 2007, Hov i in. 2013). W przypadku Europy w latach 1960–2015 średnie roczne sumy opadów nie wykazywały znaczących zmian. Jednak w północno-wschodniej i północno-zachodniej części kontynentu zauważono tendencję wzrostową (głównie zimą) oraz spadek w niektórych obszarach południowej Europy, notowany zwłaszcza w okresie letnim (*Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016... 2017*). Hov i in. (2013) uważają, że za wzrost opadów w Europie Północnej odpowiedzialna jest zmiana torów przemieszczania się niżów północnoatlantycznych (o czym wspomniano w rozdziale 4. *Wiatr*). W części Europy położonej w szerokościach umiarkowanych, w której położona jest m.in. Polska, nie zaobserwowano istotnych zmian rocznych sum opadów. Niemniej jednak w przypadku opadów występujących w okresie letnim prognozuje się, że znacznie częściej mogą występować zarówno intensywne opady, jak i okresy bez opadów, przyczyniające się do powstania suszy. Również w obszarach, w których przewiduje się ogólny spadek opadów, nadal bardzo prawdopodobne jest występowanie opadów ekstremalnych – intensywnych, ale krótkotrwałych, które mogą powodować powodzie (Westra i in. 2014; Kendon i in. 2014; Ban i in. 2015; Lehmann i in. 2015).

W Polsce intensywne opady występują głównie w okresie letnim. Przeważnie związane są one z silną konwekcją i często towarzyszy im burza z wyładowaniami atmosferycznymi. Mają więc charakter opadów lokalnych. Obejmują obszar od kilku do kilkudziesięciu kilometrów kwadratowych, jednak zwykle nie osiągają najwyższych kategorii w skali Chomicza (tab. 19, ryc. 43). Najbardziej intensywne opady w Polsce to najczęściej deszcze ulewne III i IV stopnia (Kossowska-Cezak, Bajkiewicz-Grabowska 2008), a w ekstremalnych przypadkach zostały one zaklasyfikowane jako B₄ (do 71,4 mm/10 minut lub 175,2 mm/godz.; Kossowska-Cezak, Bajkiewicz-Grabowska 2008; Prokop 2006) lub nawet B₅ (opady z 18 maja 1996 r. w Sułoszowej w powiecie krakowskim, gdzie w ciągu godziny prawdopodobnie spadło około 120–180 mm – wartość szacowana; Cebulak, Niedźwiedz 1998).

Jak już wcześniej wspomniano, największym zagrożeniem związanym z intensywnymi i krótkotrwałymi opadami jest wystąpienie podtopień oraz powodzi błyskawicznych. Lorenc i in. (2012) wykazali, że w latach 1971–2010 wzrastała liczba takich zjawisk i miejsc ich występowania w Polsce. W dekadzie 1971–1980 wynosiła odpowiednio 121 i 216, natomiast już w pierwszej dekadzie XXI w. (2001–2010) było to 554 i 984.

Skutki intensywnych opadów

Zmiany częstości występowania i natężenie opadów atmosferycznych mają znaczący wpływ na życie i gospodarczą działalność człowieka. W dobie obserwowanych i szeroko komentowanych zmian klimatu dostosowanie się do dużej zmienności tego elementu meteorologicznego w czasie i przestrzeni (okresy susz i powodzi) jest jednym z zasadniczych zadań adaptacji do prognozowanych zmian i łagodzenia ich skutków.

Bezpośrednim rezultatem intensywnych opadów jest występowanie podtopień, wezbrań i powodzi. Trzeba jednak pamiętać, że wpływ na nie mają nie tylko czynniki meteorologiczne (opady atmosferyczne), lecz także zagospodarowanie terenu, w tym zwłaszcza obszarów położonych w pobliżu rzek (terenów zalewowych), zmiana użytkowania gruntów (szczególnie obszary zabudowane) oraz gęstość zaludnienia. Z tego powodu bardzo ważna jest właściwa gospodarka przestrzenna, szczególnie na obszarach silnie zurbanizowanych, oraz działania przeciwpowodziowe, które pozwalają częściowo minimalizować skutki intensywnych opadów. Do tych ostatnich zaliczyć należy m.in.: budowę zbiorników retencyjnych, wałów przeciwpowodziowych,

niezagospodarowywanie terenów zalewowych czy budowę oraz regularną konserwację kanalizacji przeciwburzowej i rowów melioracyjnych.

W Krakowie i powiecie krakowskim zagrożenie powodziowe od strony rzek dotyczy nie tylko Wisły i jej dopływów (Rudawy, Prądnika/Białuchy, Dłubni, Wilgi), a także mniejszych rzek i potoków (Serafa, Drwinka, Drwina Długa, Rozrywka, Sudoł od Modlnicy, Potok Kościelnicki i Kostrzecki) (patrz ryc. 15 w rozdziale 3.5. *Warunki hydrologiczne*). Zagrożenia lokalnymi podtopieniami w wyniku intensywnych opadów w Krakowie i większych miastach związane są także z:

- brakiem możliwości wchłaniania wód opadowych przez grunt, który w dużej części jest pokryty asfaltem lub brukiem (drogi, parkingi),
- brakiem kanalizacji,
- nie zawsze wydolną instalacją odprowadzenia nadmiaru wód z dróg czy dachów budynków (zbyt mała ich przepustowość), co prowadzi do przyspieszenia spływu wody do miejsc niżej położonych, np. przejść podziemnych, dróg pod mostami itp. (fot. 2).



Fot. 2. Zalane drogi po intensywnych opadach w Krakowie (fot. S. Wypych)

Intensywne opady oraz te długotrwałe przyczyniają się również do występowania tzw. ruchów masowych, czyli: osuwania, obrywania, odpadania, osiadania, spelzwywania, spływania i zeslizgiwania. Urozmaicona rzeźba Krakowa i powiatu krakowskiego sprzyja powstawaniu wymienionych zdarzeń, co dodatkowo potęguje szkody powstałe w wyniku opadów i utrudnia ich usuwanie. Na stronach internetowych, m.in. www.bip.krakow.pl/?sub_dok_id=117835, można zapoznać się z *Atlasem Osuwisk Miasta Krakowa* (2020).

Opady atmosferyczne wpływają także na zmniejszenie bezpieczeństwa jazdy. Zwłaszcza intensywne opady ograniczają widzialność na drodze i powodują zmniejszenie przyczepności kół pojazdu do mokrego podłoża. Powstające kałuże, w tym szczególnie w koleinach dróg, przyczyniają się do powstawania strug wody tryskających spod kół, co dodatkowo utrudnia jazdę i może przyczynić się do wypadków i kolizji drogowych (fot. 3). Zdarzenia te są nie tylko bardzo niebezpieczne, lecz także uciążliwe dla innych uczestników ruchu drogowego i to zarówno w bardzo zatłoczonym Krakowie, jak i w terenach pozamiejskich, które charakteryzują się słabszą infrastrukturą drogową (brak poboczy i chodników, niższa jakość nawierzchni drogowej).

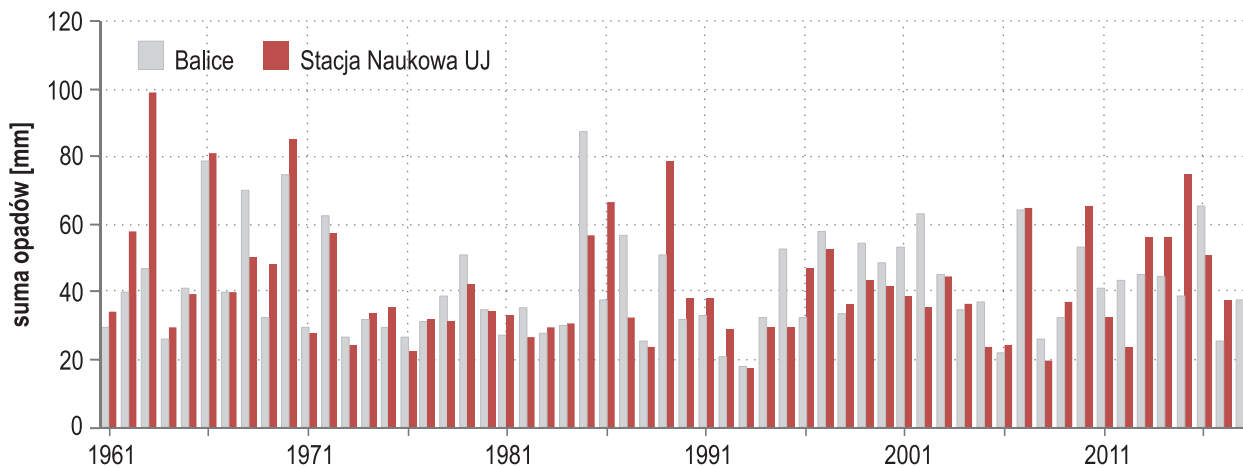


Fot. 3. Utrudnienia na drogach podczas intensywnych opadów deszczu (fot. S. Wypych)

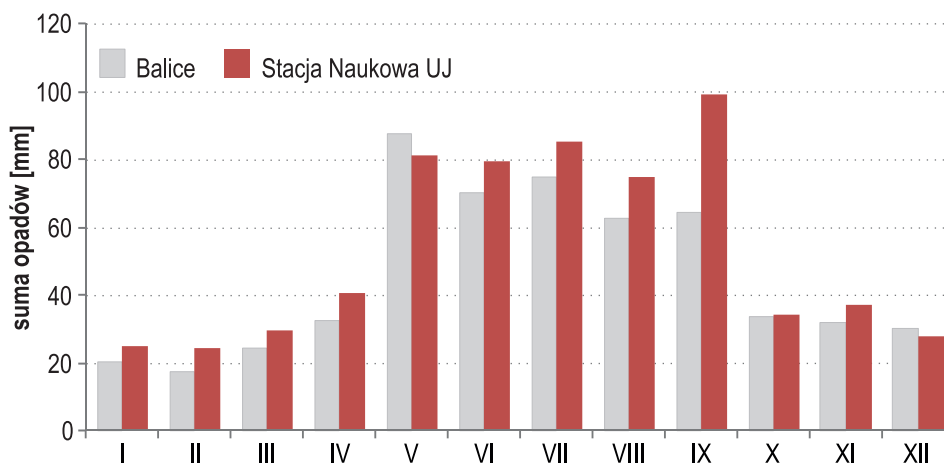
5.1. Opady w latach 1961–2018

Wstępne informacje dotyczące sum opadów atmosferycznych w Krakowie i powiecie krakowskim przedstawiono w rozdziale 3.4. *Warunki klimatyczne*. W tej części analizie poddano maksymalne sumy opadów na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w poszczególnych latach i miesiącach wielolecia 1961–2018 (ryc. 44 i 45). Na tej podstawie stwierdzono, że najczęściej wynosiły one od 35–45 mm w ciągu doby, a w niektórych latach przekraczały nawet 60 mm/24 godz. Tak wysokie sumy opadów dobowych występowały głównie w okresie maj–wrzesień (ryc. 45). Przykładem jest najwyższy opad na Stacji Naukowej UJ, który wystąpił 9 września 1963 r. i wyniósł 99 mm oraz najwyższa suma opadów zanotowana w Balicach 17 maja 1985 r. – 87,4 mm. Oba te zdarzenia były związane z burzami.

W chłodnej połowie roku maksymalne opady atmosferyczne są znacznie niższe, co potwierdzają badania Twardosza (2000) dotyczące wieloletniej (1874–1995) zmienności dobowych sum opadów w Krakowie i ich uwarunkowań synoptycznych. Wynika z nich, że maksymalne opady dobowe są zwykle najniższe pomiędzy 10 grudnia a 10 stycznia (<20 mm), natomiast w okresie 16 kwietnia (78,8 mm) – 9 września (99,0 mm) najwyższe



Ryc. 44. Maksymalne sumy dobowe opadów atmosferycznych [mm] na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018



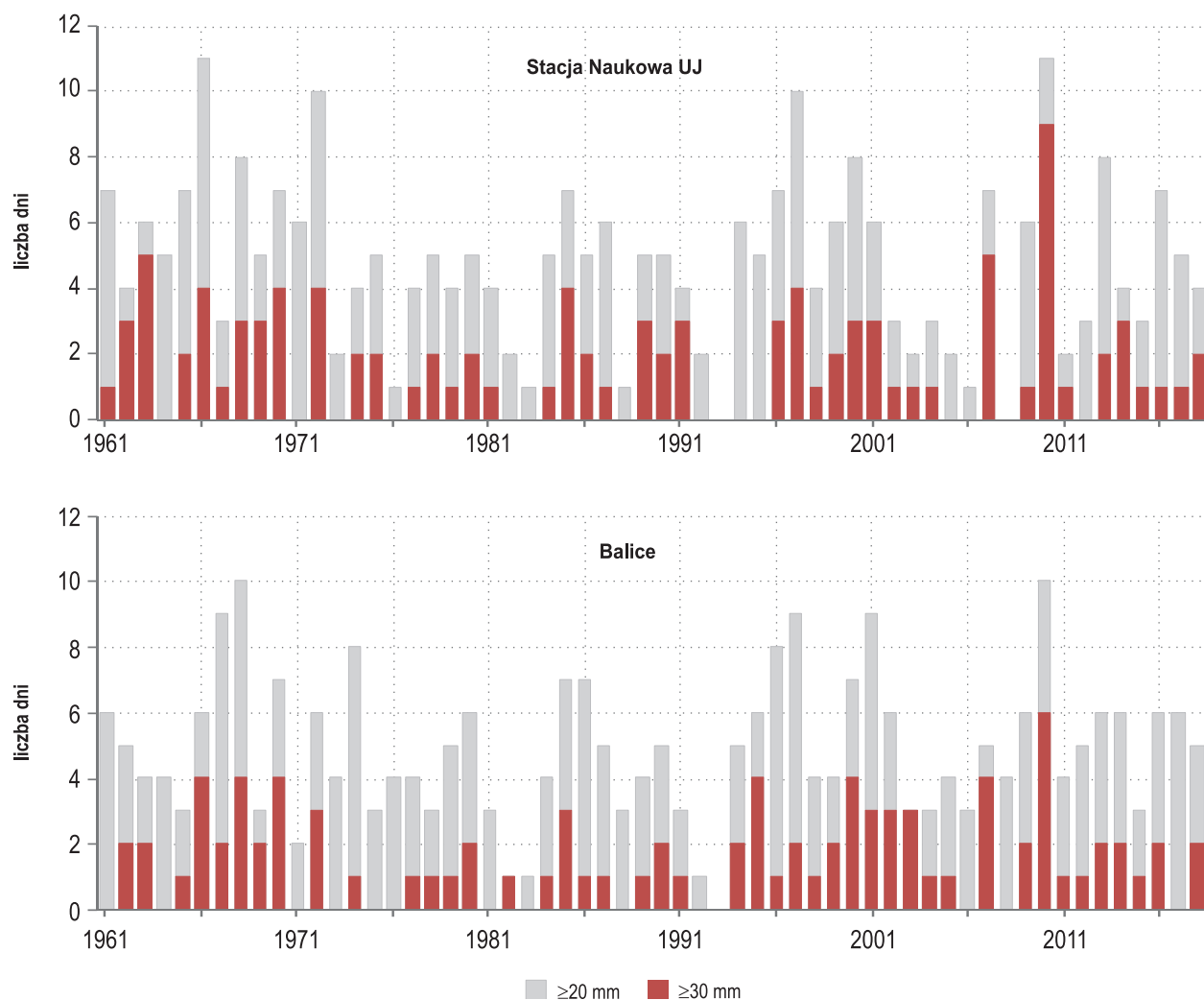
Ryc. 45. Maksymalne sumy dobowe opadów atmosferycznych [mm] na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w poszczególnych miesiącach w latach 1961–2018

w roku. Warto jednak pamiętać, że wartości najwyższych opadów bardzo silnie związane są z warunkami pogodowymi występującymi w danym sezonie czy roku. Z tego powodu oszacowanie ich wysokości i częstości występowania w rozpatrywanym okresie jest dość trudne, czego dobrym przykładem jest wieloletnia zmienność najwyższych dobowych opadów w badanym wieloleciu (1961–2018; ryc. 44). Łatwo bowiem zauważyć, że okresy w których najwyższe sumy opadów były wyjątkowo wysokie, przeplatają się z latami o mniejszych opadach. Czasami też bardzo wysokie opady w jednym roku występują zaraz po lub przed rokiem o opadach zdecydowanie niskich (np. lata 2006–2008).

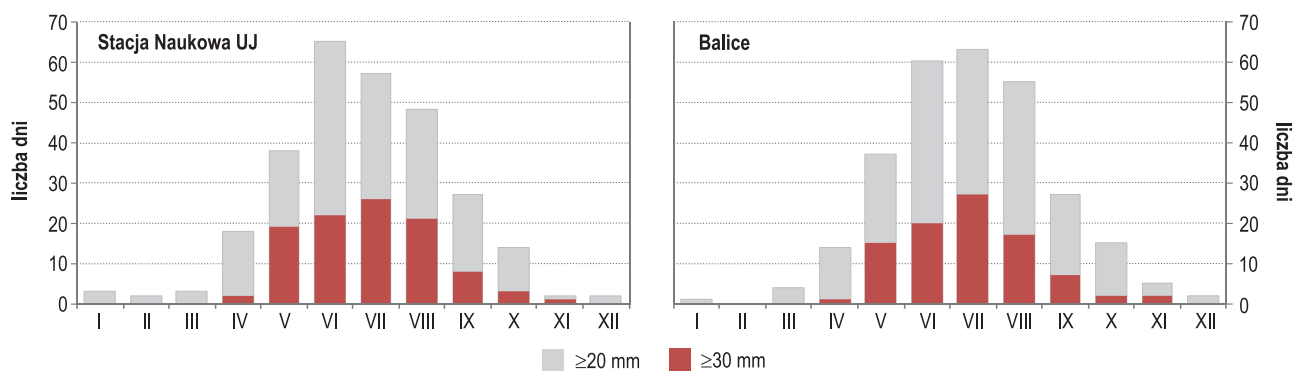
Bardzo ważnymi wskaźnikami rozpatrywanymi podczas analizy występowania intensywnych opadów są dni z dobowymi sumami ≥ 20 i ≥ 30 mm (ryc. 46 i 47). Te dwa przedziały wartości są jednym z częściej przyjmowanych do wyróżnienia silnych i bardzo silnych opadów, a w przypadku tych drugich (≥ 30 mm) stanowi pierwszy próg ogłaszania ostrzeżeń przed występowaniem intensywnych opadów (Załącznik na końcu książki).

W analizowanym wieloleciu na obu stacjach średnio w roku występowało 5 dni z opadem ≥ 20 mm i 2 dni z sumą dobową ≥ 30 mm (ryc. 46). W skrajnych przypadkach na Stacji Naukowej UJ było ich odpowiednio 11 (1966 i 2010) i 9 (2010), natomiast w Balicach 10 (1968 i 2010) i 6 dni (2010). Choć dość dobrze zarysowują się kilkuletnie okresy większej i mniejszej liczby analizowanych dni, w całym wieloleciu nie stwierdzono istotnej

statystycznie tendencji ich zmian na obu stacjach. W przebiegu rocznym badanych dni można stwierdzić, że największa ich liczba przypadła na miesiące letnie (ryc. 47). W centrum Krakowa najczęściej występowały one w czerwcu, w Balicach w lipcu. Na obu stacjach od listopada do marca analizowane dni pojawiają się sporadycznie.

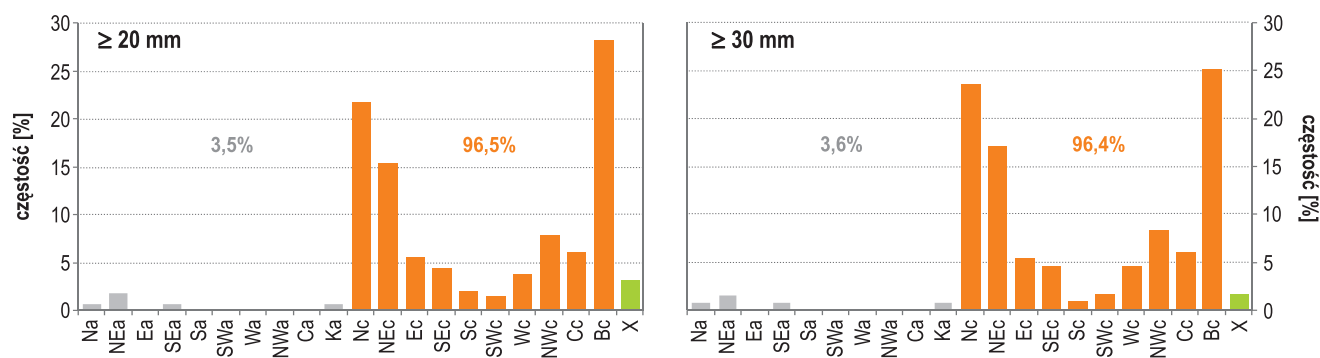


Ryc. 46. Liczba dni z sumą dobową opadów ≥ 20 i ≥ 30 mm na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018



Ryc. 47. Liczba dni z sumą dobową opadów ≥ 20 i ≥ 30 mm na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w poszczególnych miesiącach w latach 1961–2018

Intensywne opady atmosferyczne są związane ze szczególnymi warunkami pogodowymi. Dlatego też analizie poddano typy cyrkulacji według klasyfikacji Niedźwiedzia (2019) i dni z dobową sumą opadów ≥ 20 mm i ≥ 30 mm, które wystąpiły na co najmniej jednej z uwzględnionych stacji i nie były związane z burzą. W badanym wieloleciu było 172 dni z opadem ≥ 20 mm i 137 z opadem ≥ 30 mm. Na rycinie 48 przedstawiono częstość ich występowania w poszczególnych typach cyrkulacji na każdej z analizowanych stacji. Stwierdzono, że w około 96% intensywne opady występowały, gdy nad południową Polską zalegały układy niskiego ciśnienia, a zwłaszcza bruzda cyklonalna (Bc; 27–28% w zależności od stacji), niż z adwekcją mas powietrza z północy (Nc; 21–23%) lub północnego wschodu (NEc; 15–17%).



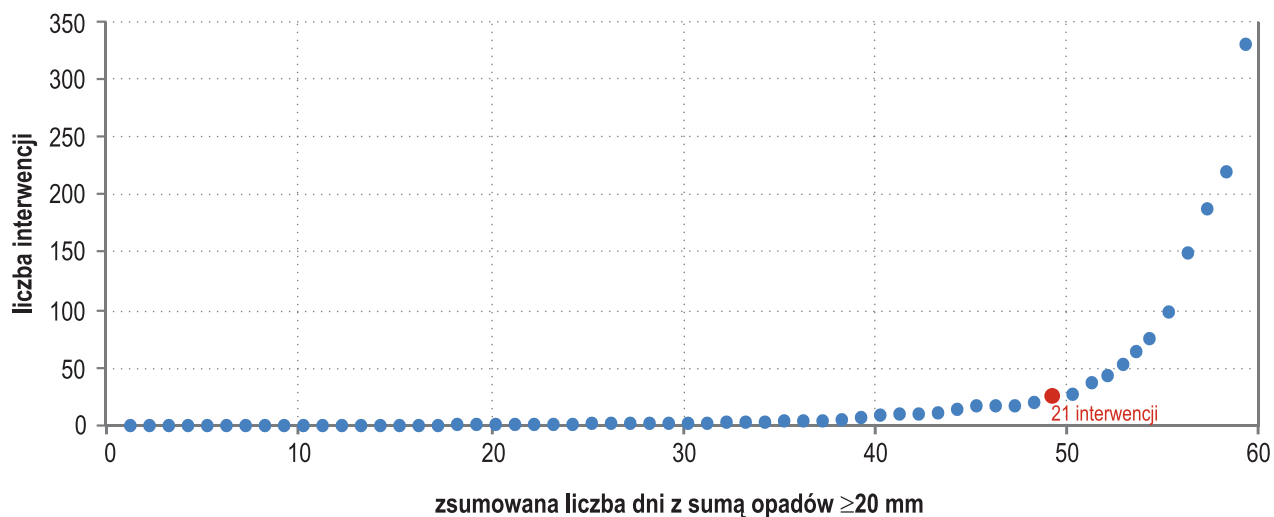
Ryc. 48. Częstość [%] występowania typów cyrkulacji w dniach z sumą dobową opadów ≥ 20 mm i ≥ 30 mm na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 2001–2018 (objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. Dane meteorologiczne)

5.2. Wyjątkowo intensywne opady i ich skutki w latach 2000–2018

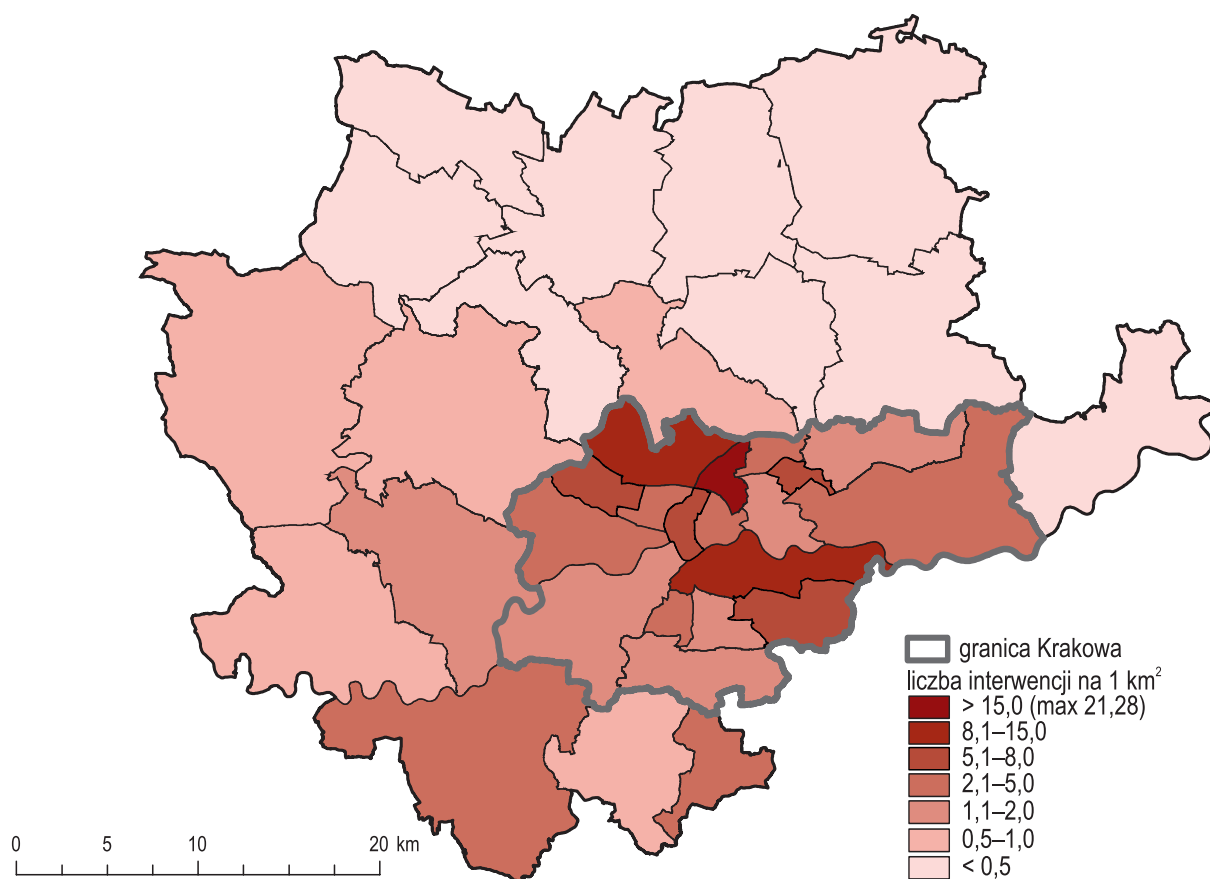
W dalszej kolejności analizie poddano liczbę interwencji Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie z lat 2000–2018 w dniach z sumą opadów ≥ 20 mm odnotowanej na co najmniej jednej stacji, którym nie towarzyszyła burza. Takich dni było 59, z czego w 28,8% z nich strażacy nie interweniowali, w 42,4% podjęli od 1 do 10 akcji, w 10,2% – od 10 do 20, natomiast w 11 dniach (18,6%) interweniowali w ciągu doby od 21 (czerwona kropka na rycinie) do maksymalnie 349 razy (ryc. 49). W dalszej części opracowania bardziej szczegółowo omówiono te ostatnie przypadki, których było 11 (tab. 20). W opisie uwzględniono również dni poprzedzające lub następujące po dniu, w którym zanotowano co najmniej 20 mm opadu i 21 interwencji (oznaczonym gwiazdką w tabeli 20). Wybór ten wynikał z faktu, że opady w dniach wcześniejszych wpływały na podtopienia powstałe w kolejnych dniach, natomiast usuwanie szkód często trwało po ustąpieniu największych opadów.

Na podstawie liczby interwencji Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie podczas intensywnych opadów w latach 2000–2018 (tab. 20), uwzględniając podział na poszczególne jednostki administracyjne (dzielnice Krakowa i gminy powiatu krakowskiego) i w przeliczeniu na ich powierzchnię, stwierdzono, że najczęściej tego typu zdarzeń wystąpiło w Krakowie w dzielnicach: Prądnik Czerwony (21,3 interwencji na km²), Podgórze (13,4) i Prądnik Biały (8,4), natomiast w powiecie krakowskim w gminach: Skawina (3,6), Świątniki Górne (3,1) oraz Liszki (1,2) (ryc. 50).

W przypadku tego typu zdarzeń rozkład przestrzenny liczby interwencji nie oddaje precyzyjnie (właściwie) rozmiaru ich skutków. Obszary zalane w wyniku podtopień lub powodzi mogą obejmować znaczny obszar, w których interwencje PSP są ograniczone np. do jednego miejsca i mogą trwać nawet przez kilka dni. Przykładem rozbieżności między liczbą interwencji a rozmiarem szkód jest przypadek powodzi z maja 2010 r., podczas której strażacy m.in. przez kilka dni wypompowywali wodę z zalanych miejsc.



Ryc. 49. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej w dniach z sumą dobową opadów ≥ 20 mm w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018



Ryc. 50. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na 1 km² powierzchni w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego w dniach z intensywnymi opadami w latach 2000–2010

Tabela 20. Charakterystyka dni z intensywnymi opadami w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018

| Data | Czas występowania | Stacja UJ suma opadów [mm/24h] | Typ cyrkulacji | Rodzaj frontu | Masa powietrza | Liczba interwencji straży pożarnej | | | Obszary wystąpienia największej liczby szkód |
|-------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------------------------|-------------|---------|--|
| | | | | | | Opady | Silny wiatr | Łącznie | |
| 28.07.2000 | 12:00–24:00 | 23,4 | Bc | - | PPms | - | 1 | 1 | centrum Krakowa, południowe dzielnice i wschodnia część Nowej Huty oraz gmina Skawina |
| 29.07.2000* | całą dobę | 41,6 | NWc | o | PPms | 75 | 2 | 77 | |
| 05.09.2007 | całą dobę | 35,2 | NEc | - | PA | 1 | 5 | 6 | zachodnie (zwłaszcza Zwierzyniec i Dębnik) oraz południowe (Biezanów-Prokocim i Swoszowice) dzielnice Krakowa, gmina Skawina |
| 06.09.2007 | całą dobę | 65,1 | Bc | rf | PPms | 10 | 10 | 20 | |
| 07.09.2007* | całą dobę | 53,5 | Nc | o | PPm | 219 | 8 | 227 | |
| 08.09.2007 | całą dobę nocą | 6,4 | NW/a | - | PPm | 250 | 8 | 258 | |
| 14.10.2009* | prawie całą dobę | 28,0 | Nc | - | PA | 98 | 10 | 108 | gmina Krzeszowice i Zabierzów oraz północne (Prądnik Biały, Prądnik Czerwony) i południowo-wschodnie (Podgórze, Biezanów-Prokocim) dzielnice Krakowa |
| 15.10.2009 | do południa | 1,6 | Cc | o | PA | 73 | 37 | 110 | |
| 15.05.2010 | 19:00 – 24:00 | 37,6 | Ec | - | PPms | 1 | - | 1 | wzdłuż dolin rzek na obszarze Krakowa oraz gminy powiatu krakowskiego, szczególnie w gminach Skawina i Liszki |
| 16.05.2010* | całą dobę | 46,4 | NEc | c | PPms | 187 | 45 | 232 | |
| 17.05.2010* | całą dobę | 50,9 | Nc | o | PPms | 329 | 59 | 388 | |
| 18.05.2010 | prawie całą dobę | 14,5 | Nc | - | PPms | 198 | 7 | 205 | |
| 27.07.2010 | 8:00 – 24:00 | 65,2 | Nc | - | PPm | 2 | 1 | 3 | dzielnice Biezanów-Prokocim, Podgórze, Nowa Huta |
| 28.07.2010* | 00:00 – 17:00 | 25,5 | NWc | - | PPm | 149 | 16 | 165 | |
| 30.08.2010 | 10:00–...–24:00 | 15,7 | Bc | o | PPms | 4 | - | 4 | dzielnice Podgórze, Nowa Huta, Prądnik Biały, Prądnik Czerwony oraz gmina Krzeszowice |
| 31.08.2010* | całą dobę | 44,1 | NEc | o | PPms | 66 | 11 | 77 | |
| 01.09.2010 | prawie całą dobę | 17,7 | Nc | o | PPms | 48 | 10 | 58 | |
| 15.05.2014* | prawie całą dobę | 38,2 | NEc | - | PPms | 27 | 56 | 83 | cała północna, zachodnia i południowo-wschodnia część Krakowa oraz Nowa Huta, a także gminy: Mogilany, Skawina, Krzeszowice, Zielonki, Skąła |
| 16.05.2014 | 00:00–...–19:00 | 10,7 | NEc | o | PPms | 63 | 41 | 104 | |
| 19.08.2017 | 13:00– 24:00 | 37,8 | Bc | st | rmp | - | 3 | 3 | dzielnica Biezanów-Prokocim, gmina Krzeszowice |
| 20.08.2017* | 00:00– 17:00 | 28,2 | Nc | st | PPm | 24 | 8 | 32 | |
| 21.09.2017* | 3:00– 24:00 | 28,4 | NEc | - | PPms | 41 | 2 | 43 | południowe i zachodnie dzielnice Krakowa, zwłaszcza Swoszowice, gmina Skawina, |
| 22.09.2017 | 00:00–...– 24:00 | 14,2 | Nc | - | PPms | 12 | 1 | 13 | |
| 17.07.2018 | 4:00–...–24:00 | 33,7 | Nc | - | PPms | 17 | 5 | 22 | dzielnica Prądnik Biały, gmina Skąła |
| 18.07.2018* | 00:00–...–21:00 | 27,5 | Nc | st | PPms | 37 | 21 | 58 | |

Przykłady omówione w tekście.

* – dni spełniające kryteria – suma opadów ≥ 20 mm, liczba interwencji w ciągu doby > 20 .
... – opady z przerwami.

Typ cyrkulacji, rodzaj frontu atmosferycznego i rodzaj masy powietrza według klasyfikacji Niedźwiedzia (2019) – objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. Dane meteorologiczne.

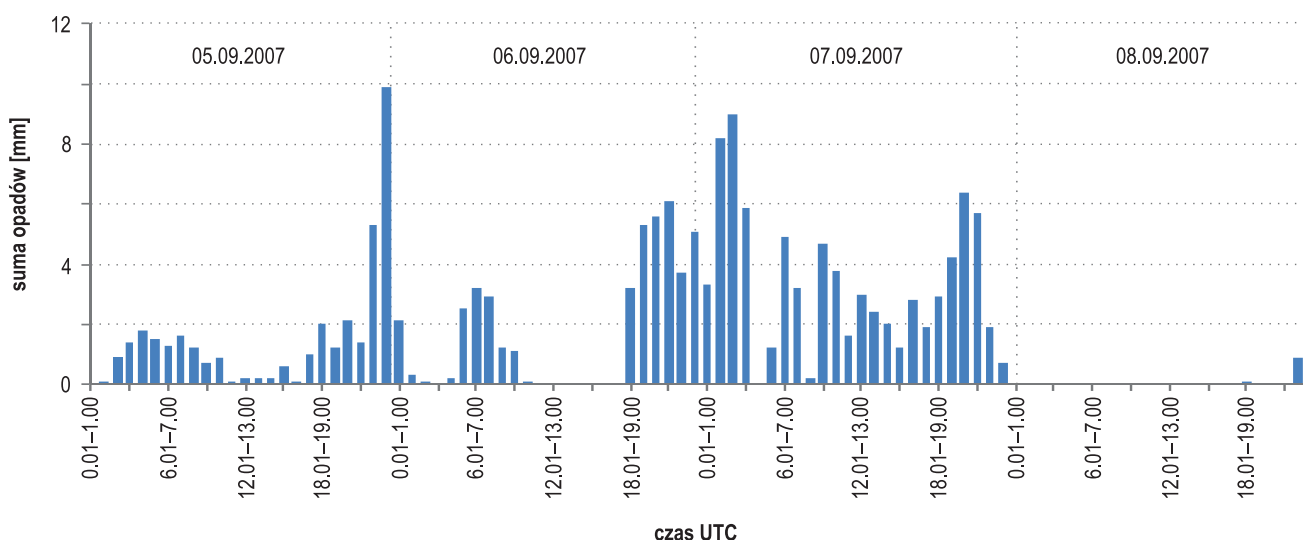
5.3. Wybrane przypadki wystąpienia intensywnych opadów

5–8 września 2007 r.

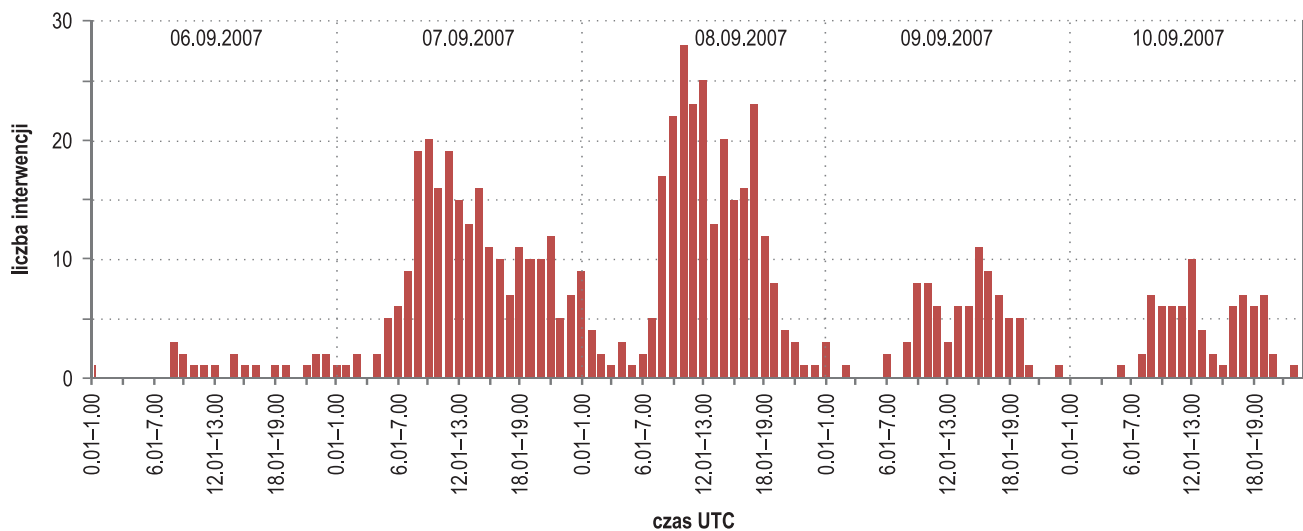
Z początkiem września 2007 r. nad Europą przemieszczały się układy niskiego ciśnienia z systemami frontów atmosferycznych i towarzyszącymi im opadami. W rozpatrywanych dniach niż, który ukształtował się nad Atlantykiem, przemieszczał się nad północnymi fragmentami Europy. Jego centrum znajdowało się kolejno nad: Morzem Norweskim (5.09), Morzem Barentsa (6.09), Półwyspem Kolskim (7.09), aby w następnych dniach przesunąć się nad północną Rosję. Jego miejsce zajął dynamiczny niż znad Islandii, którego centrum 8 września znajdowało się nad Bałtykiem. Jednocześnie od południa Polskę otaczał zafalowany front stacjonarny, na którym już 5 września zaczął kształtować się wtórny ośrodek obniżonego ciśnienia. Pełnię swojego rozwoju oraz położenie nad centrum Polski osiągnął następnego dnia (6.09), po czym szybko przemieścił się na wschód. Taka sytuacja baryczna spowodowała napływ do Polski ciepłego i wilgotnego powietrza z sektora północnego wraz z dużym zachmurzeniem i wysokimi opadami atmosferycznymi, szczególnie nad południowymi regionami Polski (tab. 20).

Na rozpatrywanym obszarze najwyższa suma opadów w analizowanych dniach wystąpiła 6 września, osiągając 64,0–65,1 mm w zależności od stacji i tylko nieznacznie niższa była w kolejnym dniu, w którym odnotowano 45,7–53,5 mm. Rozkład godzinnych sum opadów na Stacji Naukowej UJ przedstawiono na rycinie 51. Wynika z niego, że 5 i 7 września natężenie opadów wynosiło nawet ponad 8 mm/godz., co pozwala zaklasyfikować je jako deszcz ulewny, z wyższymi sumami przypadającymi na godziny nocne.

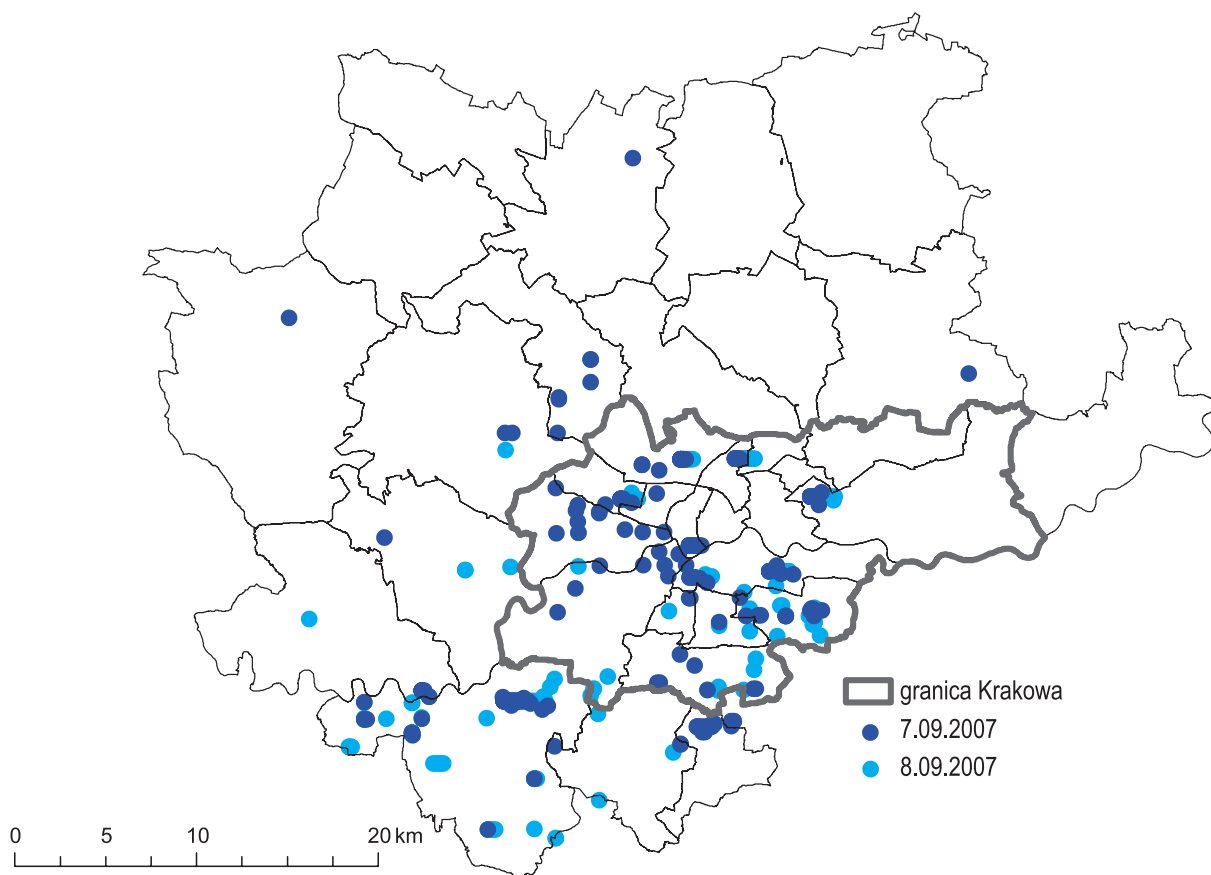
Tak intensywne opady, szczególnie po kilku wcześniejszych deszczowych dniach, spowodowały wiele szkód zarówno w Krakowie, jak i okolicach. Pierwsze zgłoszenia do PSP w Krakowie, związane z intensywnymi opadami, zostały odnotowane tuż po północy 6 września, natomiast kolejne w godzinach porannych (8.00–9.00) (ryc. 52). Najwięcej interwencji podjęto w dwóch kolejnych dniach, chociaż skutki opadów likwidowano jeszcze w następnych kilku dniach (ryc. 52 i 53). Było ich nawet ponad 20 w ciągu godziny, z największą liczbą zgłoszeń 8 września około południa, kiedy najbardziej intensywne opady już się zakończyły (porównaj ryc. 51 i 52). Najczęściej straż pożarna była wzywana do wypompowywania wody z budynków i posesji, zabezpieczenia wałów przeciwpowodziowych, usuwania powalonych drzew i udrażniania przejazdów oraz rowów melioracyjnych.



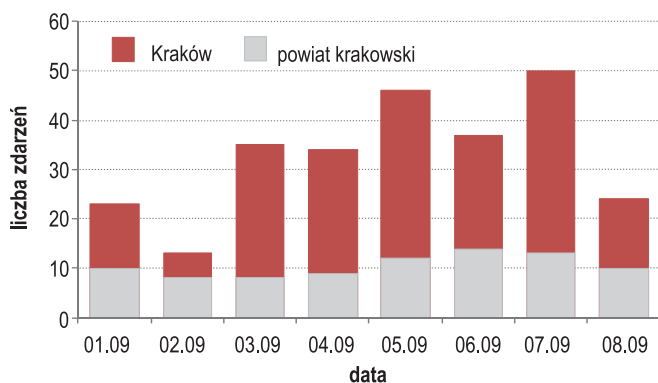
Ryc. 51. Sumy godzinowe opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ w dniach 5–8.09.2007 r.



Ryc. 52. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 6–10.09.2007 r.



Ryc. 53. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 7–8.09.2007 r.



Ryc. 54. Liczba wypadków i kolizji drogowych w Krakowie i powiecie krakowskim w dniach 1–8.09.2007 r. (sobota–sobota); intensywne opady 5–7.09.2007 r.

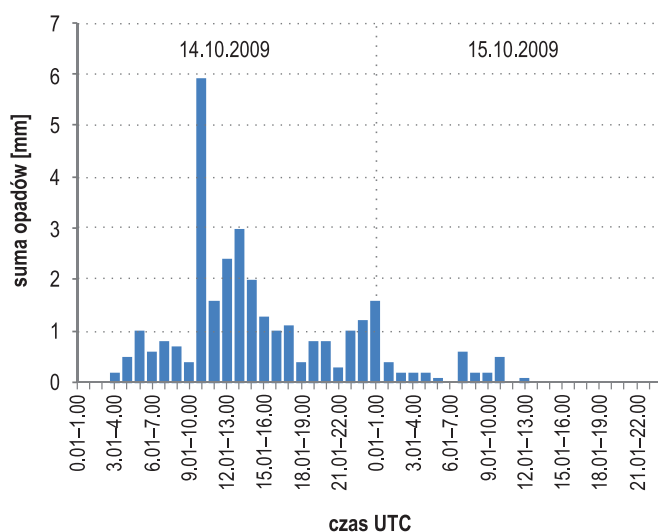
Najwięcej interwencji na obszarze Krakowa było w dzielnicach: Stare Miasto, Zwierzyniec (zalane zostały m.in. bulwary wiślane pod Wawelem – dwa poziomy chodnika wraz ze ścieżką rowerową), Bieżanów-Prokocim i Swoszowice, natomiast w powiecie krakowskim – w gminie Skawina.

W tych kilku dniach doszło również do nieco większej od średniej dla danego dnia liczby kolizji i wypadków drogowych w Krakowie niż w dniach poprzedzających opisywane opady. W powiecie krakowskim różnice w liczbie wypadków były dużo mniejsze (ryc. 54). Najwięcej badanych zdarzeń odnotowano w mieście 7 września (piątek; 50 zdarzeń), kiedy intensywne opady występowały również w ciągu dnia, a nie w nocy, gdy ruch samochodowy jest znacznie ograniczony (ryc. 54).

14–15 października 2009 r.

Do bardzo rzadko występującej sytuacji doszło w połowie października 2009 r. Na całym obszarze Polski wystąpiły intensywne opady, ale nie deszczu, jak można byłoby się spodziewać w tym miesiącu, a głównie śniegu lub deszczu ze śniegiem. Co prawda, opady śniegu w październiku zdarzają się w Polsce, zwłaszcza w górach lub w północno-wschodniej części kraju, ale niezmiernie rzadko obejmują niemal cały kraj i to z tak dużym natężeniem, jak to miało miejsce w analizowanym przypadku. W centrum Krakowa 15 października utworzyła się nawet 2 centymetrowa pokrywa śnieżna, która jednak szybko się stopiła.

Pogodę w tych dniach kształtował głęboki niż znad Ukrainy, który w następnych dniach przesunął się nad Polskę, oraz wyż znad Skandynawii, który klinem obejmował zachodnią Europę aż do Hiszpanii. Układy te spowodowały napływ arktycznych mas powietrza i towarzyszących im opadów. Rozpoczęły się one w Krakowie 14 października od godziny 3.00 i nieprzerwanie trwały do południa kolejnego dnia (ryc. 55). Ich natężenie wynosiło do 5,9 mm/godz. przed południem i stopniowo malało. Należy jednak zwrócić uwagę, że sumy godzinowych opadów śniegu mogą być obarczone większym błędem pomiaru, tj. mogą być bardziej zaniżone niż w przypadku opadów deszczu.



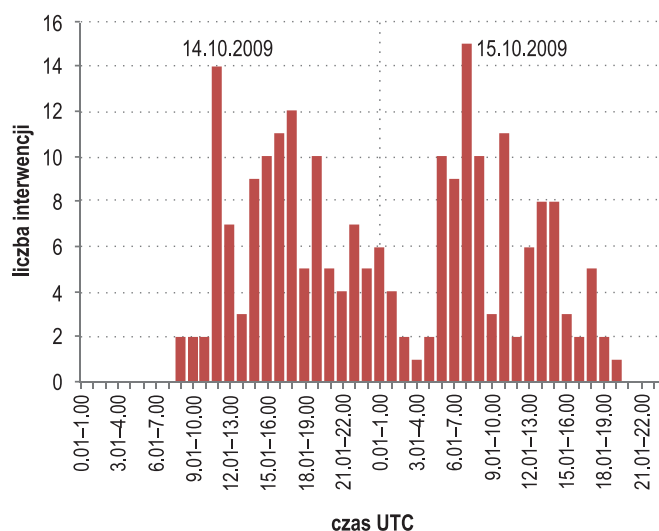
Ryc. 55. Sumy godzinowe opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ w dniach 14–15.10.2009 r.

Chociaż zanotowana suma opadów nie należała do wyjątkowo wysokich (w Krakowie wynosiła ona 28,0 mm 14 października i 1,6 mm dnia kolejnego), to największe zagrożenie stanowił ciężki, mokry śnieg, który powodował obciążenie gałęzi oraz mokrych liści drzew i krzewów (w większości drzewa liściaste posiadały jeszcze w tym czasie liście). Z tego powodu dochodziło do częstego łamania gałęzi lub niebezpiecznego ich zwisania nad chodnikami i drogami. Pod naporem śniegu i powalonych drzew lub gałęzi uszkodzeniu ulegały linie energetyczne, co spowodowało pozbawienie prądu mieszkańców wielu miejscowości. Dochodziło też do dużych opóźnień w kursowaniu pociągów, m.in. na trasie Nowy Sącz – Kraków. Opadom śniegu towarzyszył

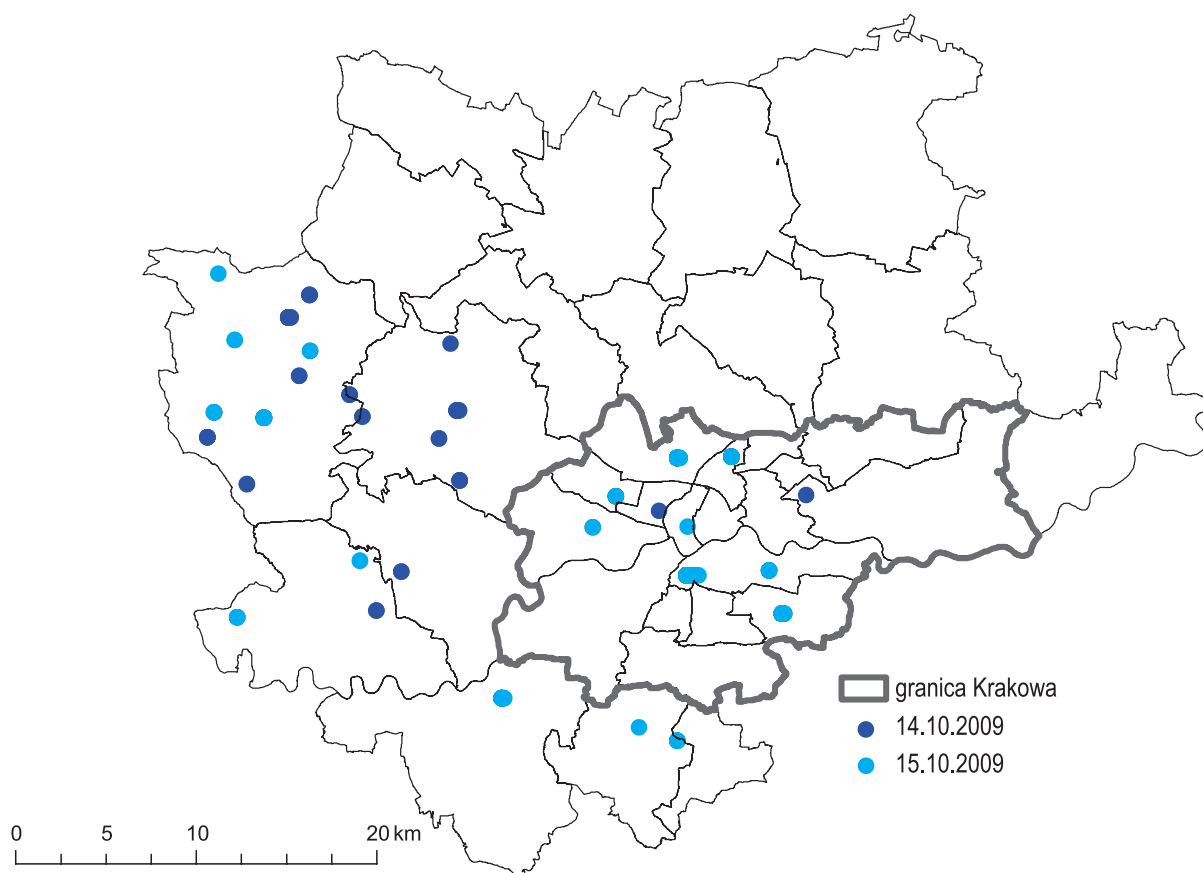
miejscami silny wiatr powodujący zawieje śnieżne, co jak na ten miesiąc, jest zjawiskiem występującym sporadycznie. Skutki zjawisk występujących w analizowanych dniach były więc związane nie tylko z opadami, ale również w dużo mniejszym zakresie z silnym wiatrem (tab. 18 w rozdziale 4.2. *Wyjątkowo silne porywy wiatru i ich skutki w latach 2000–2018*). Z tym dwudniowym atakiem zimy poradziło sobie podkrakowskie lotnisko w Balicach. Jak wynika z informacji prasowych („Dziennik Polski” z dnia 15 października 2009 r.), ten Międzynarodowy Port Lotniczy im. Jana Pawła II przyjął nawet kilka dodatkowych samolotów, które nie mogły wylądować na lotniskach w Warszawie i Rzeszowie.

Opisane opady i wyrządzone przez nie szkody były na tyle duże, że w bardzo wielu przypadkach niezbędna była interwencja straży pożarnej. Pierwsze zdarzenia do krakowskiej PSP zgłoszono 14 października w godzinach porannych (8–11; ryc. 56).

W miarę upływu czasu i wzrostu intensywności opadów liczba interwencji strażaków również rosła, maksymalnie do 14–15 w ciągu godziny w obu analizowanych dniach. Najwięcej interwencji było w gminie Krzeszowice i Zabierzów, natomiast w Krakowie w dzielnicach: Prądnik Biały, Prądnik Czerwony, Podgórze i Bieżanów-Prokocim (ryc. 57).



Ryc. 56. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 14–15.10.2009 r.



Ryc. 57. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 14–15.10.2009 r.



Ryc. 58. Liczba wypadków i kolizji drogowych w Krakowie i powiecie krakowskim w dniach 13–17.10.2009 r. (wtorek–sobota); intensywne opady 14–15.10.2009 r.

Opady tego miesiąca wynosiły 275–325 mm, co stanowiło 350–450% średniej w maju z okresu wieloletniego (1971–2000) (ryc. 59).

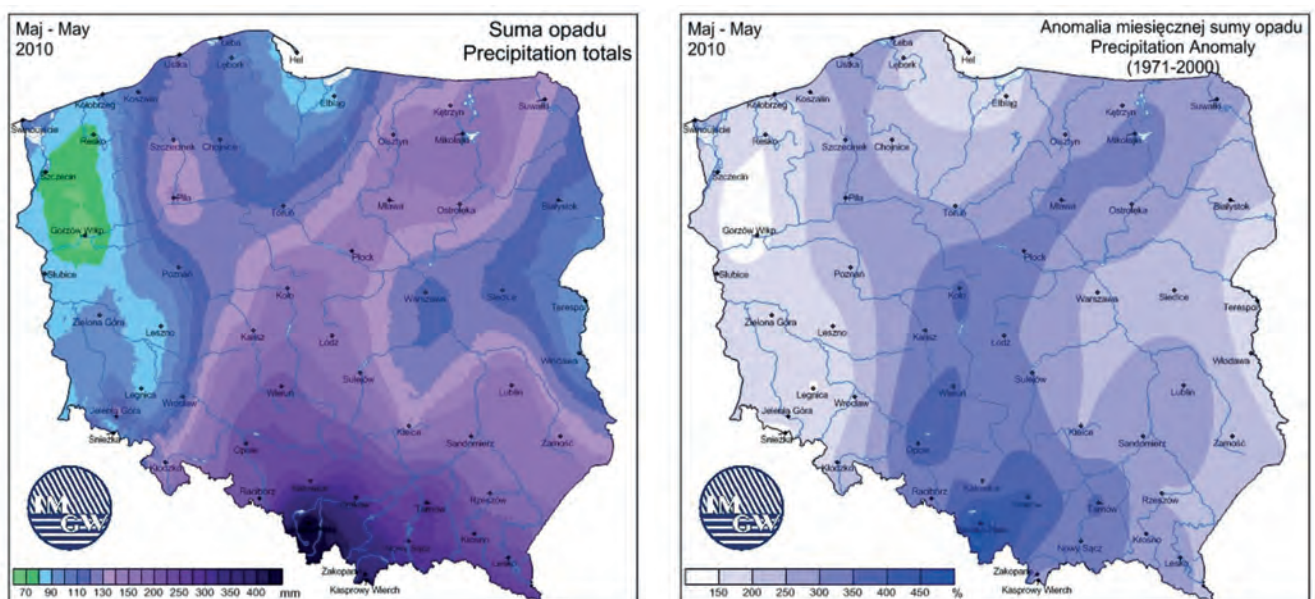
Rozkład opadów w poszczególnych dniach maja 2010 r. w Krakowie i Balicach przedstawiono na rycinie 60. Już od 1. dnia miesiąca suma dobową opadów była dość znaczna i wynosiła około 10 mm. Opady występowały każdego dnia, a w połowie miesiąca (15–17 maja) ich suma wahała się od około 28 do 54 mm (ryc. 60, tab. 20). Pojawienie się tak wysokich opadów, po wcześniejszych, występujących od ponad dwóch tygodni, spowodowało dodatkowo liczne lokalne powodzie i podtopienia.

Przyczyną tak wysokich opadów były dwa układy niskiego ciśnienia. Pierwszy wykształcił się jako wtórny niż na froncie stacjonarnym przechodzącym przez prawie całą Europę, w tym Polskę. W kolejnych dniach układ ten, wraz z towarzyszącymi mu frontami atmosferycznymi, wypełniał się i przesunął nad Bałtyk oraz Skandynawię. W tym czasie do Polski dotarł przemieszczający się znan Morza Śródziemnego (Zatoki Genueńskiej) szlakiem Vb Van Bebbera aktywny niż, który już 15 maja swoim zasięgiem obejmował kraj. W kolejnych dniach, chociaż jego centrum znajdowało się nad Ukrainą i Białorusią, cały czas kształtował pogodę w Polsce, a wypełnił

Trudne warunki na drogach spowodowały nieco większą liczbę kolizji i wypadków drogowych w Krakowie (43–45 kolizji i wypadków). W powiecie krakowskim nie było ich dużo więcej niż w dniu poprzedzającym czy dniu po wystąpieniu intensywnych opadów i zaniku pokrywy śnieżnej (około 9–10 kolizji i wypadków) (ryc. 58).

16–18 maja 2010 r.

Opady atmosferyczne, które wystąpiły w maju 2010 r., podobnie jak te z lipca 1997 r., przyczyniły się do występowania powodzi na znacznym obszarze południowej Polski. Rejon Krakowa i powiatu krakowskiego znajdował się w strefie, w której sumy



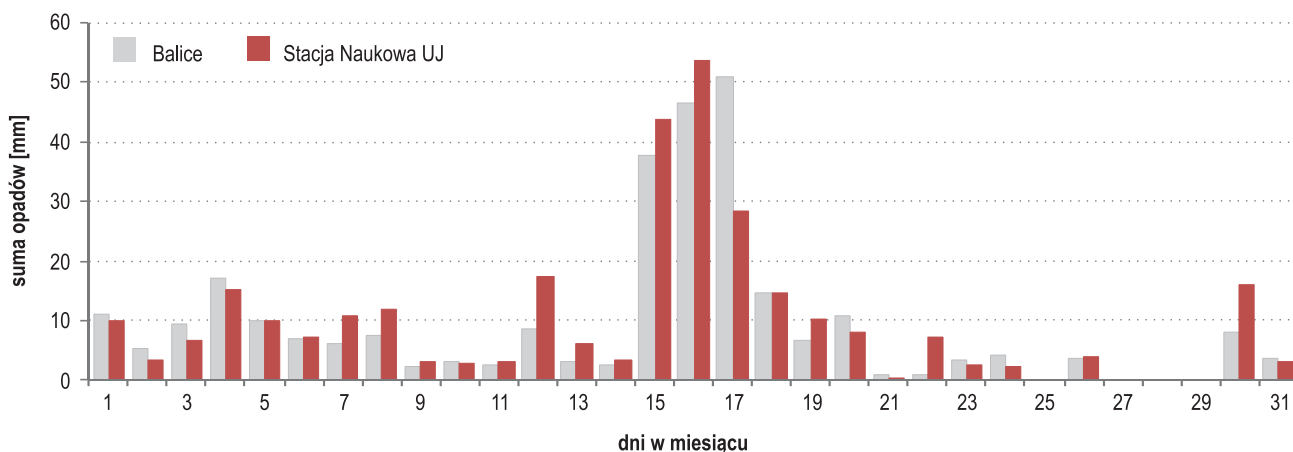
Ryc. 59. Suma opadów atmosferycznych [mm] w maju 2010 r. w Polsce oraz wartości anomalii sum opadów tego miesiąca w porównaniu z okresem normalnym (1971–2000)

Źródło: IMGW-PIB.

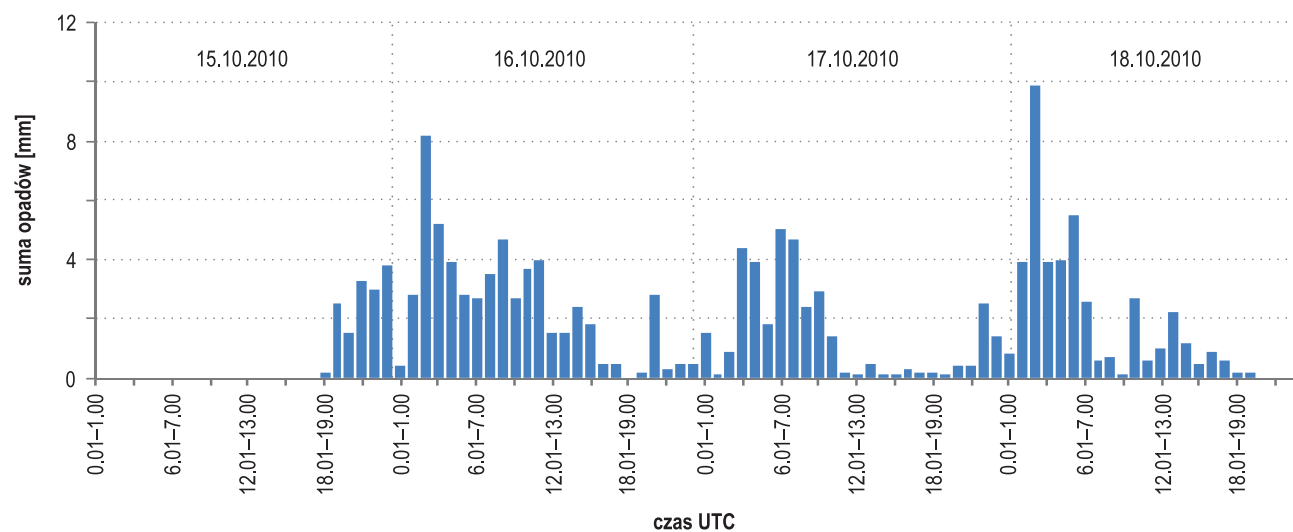
się i zaczął zanikać dopiero około 19 maja. Jak wspomniano w początkowej części niniejszego rozdziału, i tym razem dodatkowo doszło do wzmocnienia opadów w obszarach górskich (tym razem zwłaszcza w Beskidzie Śląskim, Beskidzie Żywieckim i Tatrach), gdzie powietrze napływające z północy zostało wyniesione orograficznie, co wzmocniło konwekcję i rozwój chmur deszczowych.

Wysokie opady występujące w trakcie opisanych dni spowodowały liczne szkody na terenie całego kraju. W rozpatrywanym regionie szczególnie niebezpieczne okazały się trzy dni maja 2010 r., w których sumy opadów były najwyższe (16–18 maja). Na podstawie godzinnych wartości ze Stacji Naukowej UJ analizie poddano natężenie opadów, które było największe 16 i 18 maja (ryc. 61). W skrajnych przypadkach wynosiło odpowiednio 8,2 i 10,6 mm/godz., co oznacza, że opady te można zaklasyfikować jako deszcz ulewny. Należy jednak pamiętać, że suma opadów przypisana np. do 17 maja jest wypadkową tych, które wystąpiły od godziny 6.00 tego dnia do 6.00 UTC 18 maja.

Intensywne majowe opady stały się przyczyną licznych interwencji straży pożarnej. Od 1 do 15 maja 2010 r. straż pożarna w Krakowie i powiecie krakowskim tylko sporadycznie interweniowała w zdarzeniach, których przyczyną były warunki meteorologiczne. Dopiero od godzin porannych 16 maja liczba zgłoszeń związanych ze szkodami wyrządzonymi przez deszcz i silny wiatr szybko wzrastała (tab. 20, ryc. 62), a najwięcej ich odnotowano

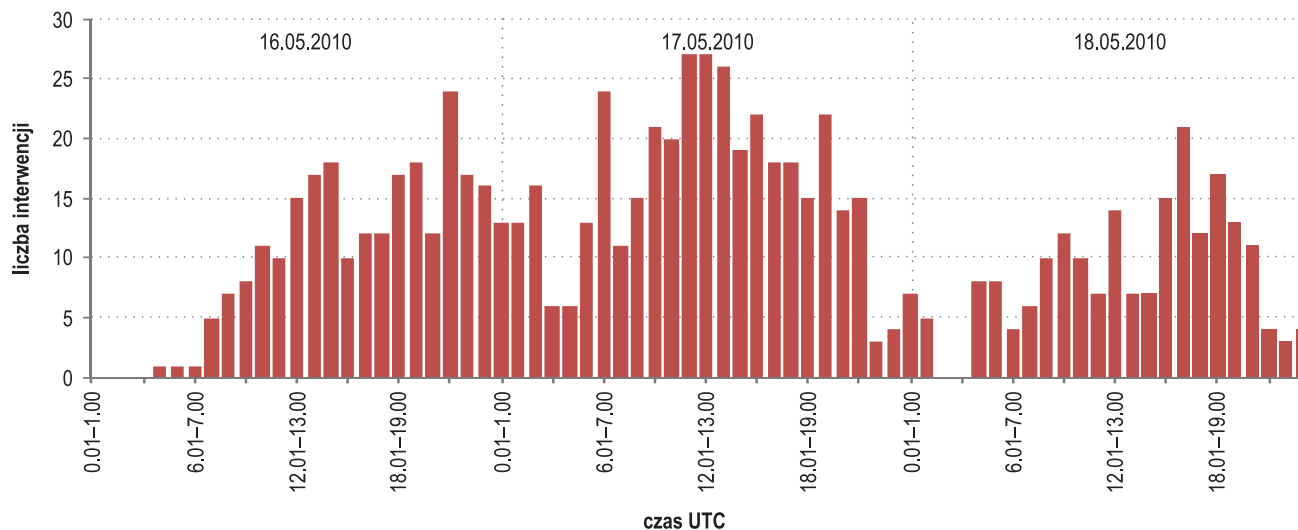


Ryc. 60. Sumy dobowe opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w maju 2010 r.

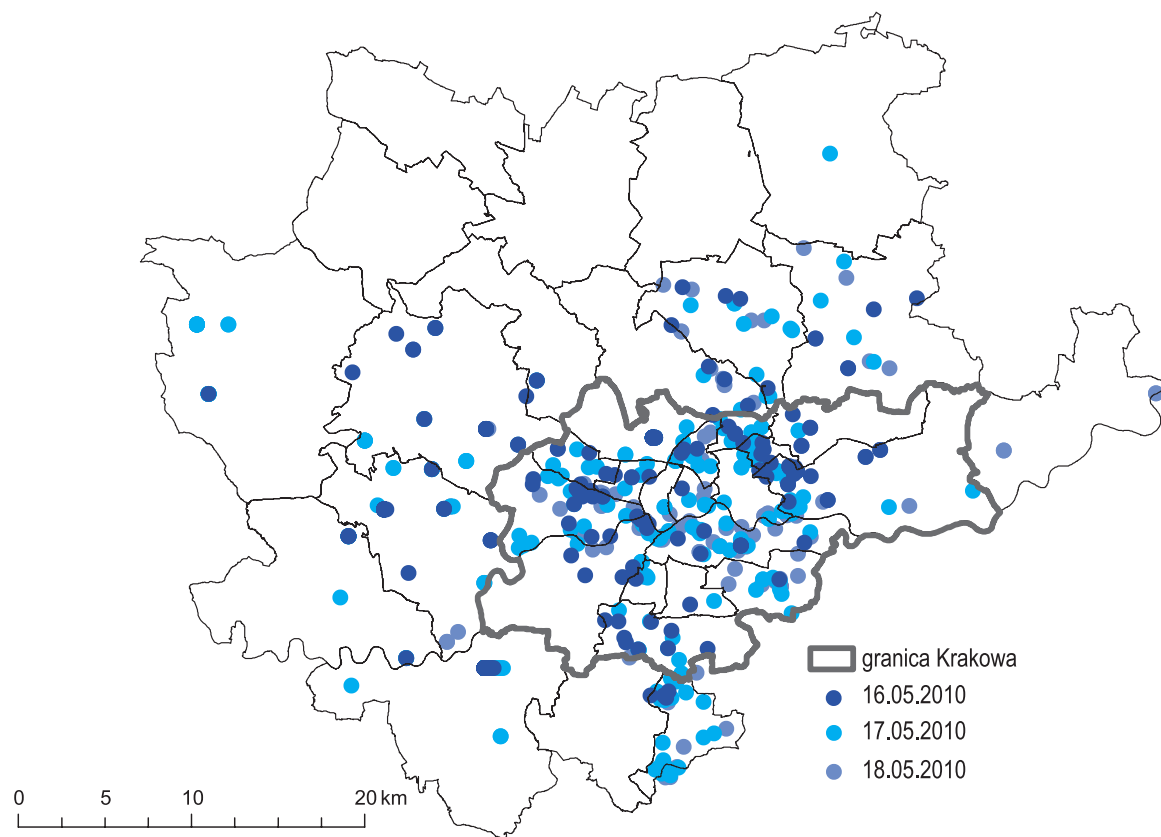


Ryc. 61. Sumy godzinowe opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ w dniach 15–18.05.2010 r.

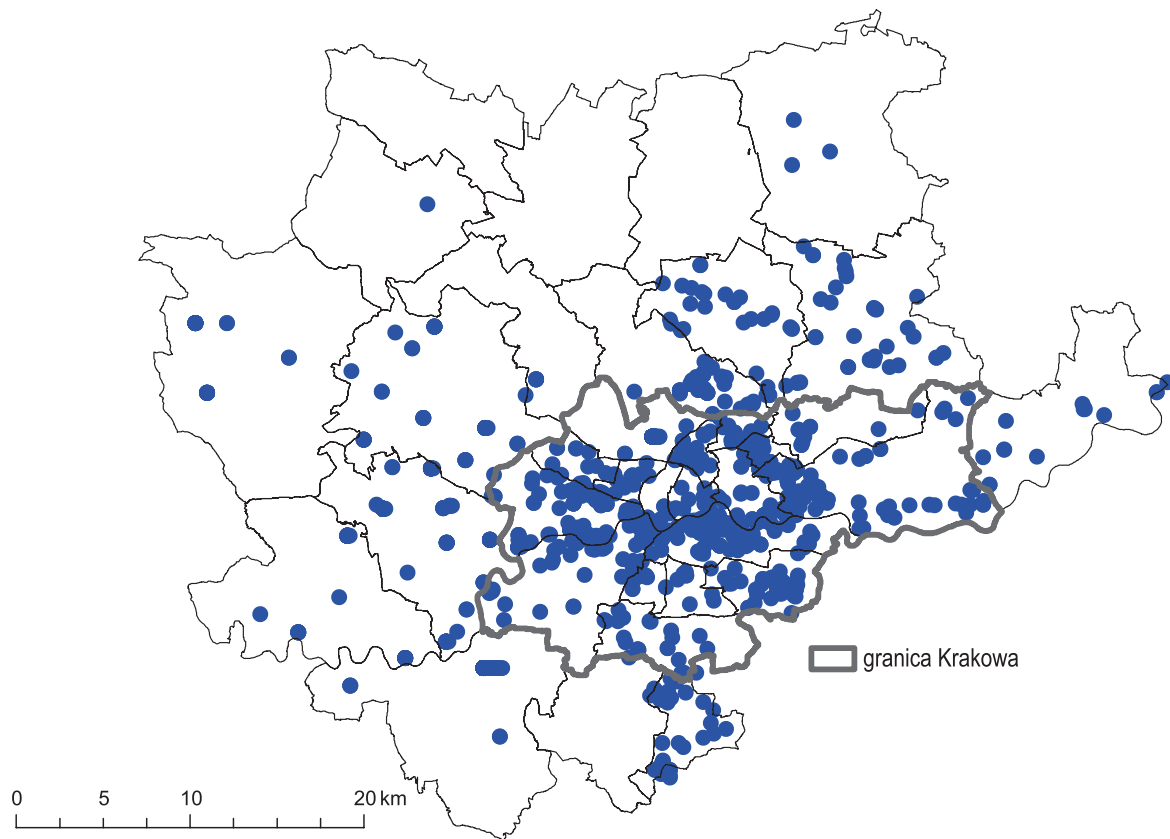
17 maja, nawet ponad 25 w ciągu godziny. Usuwanie szkód trwało jednak przez wiele kolejnych dni. Dlatego też w przypadku tych zdarzeń lokalizację interwencji straży pożarnej zaprezentowano na dwóch rycinach – interwencje w dniach 16–18 maja (ryc. 63) i 16–31 maja (ryc. 64), a także w przeliczeniu na 1 km² jednostki administracyjnej (w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego) – ryc. 65. Interwencje te w zdecydowanej większości (92,2%) były związane z usuwaniem szkód po intensywnych opadach, w mniejszym stopniu w związku z silnym wiatrem (7,8%).



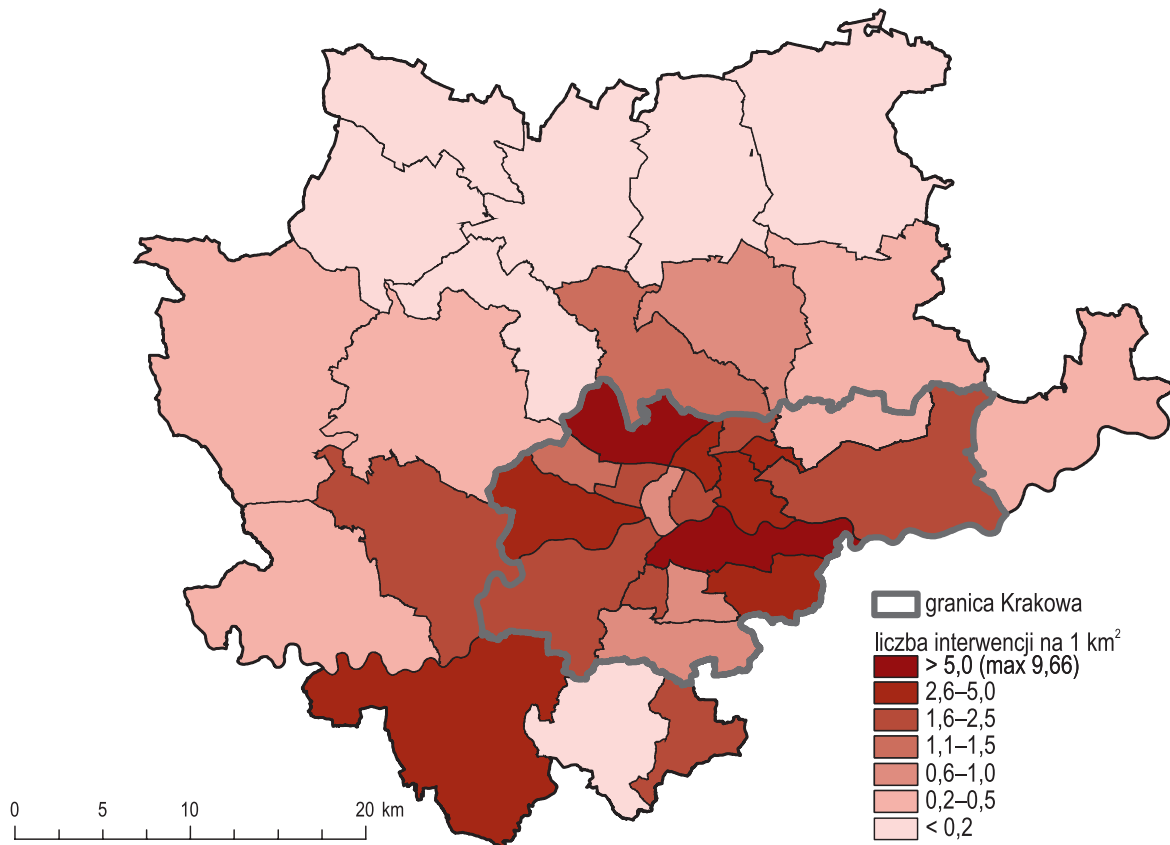
Ryc. 62. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 16–18.05.2010 r.



Ryc. 63. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 16–18.05.2010 r.



Ryc. 64. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 16–31.10.2010 r.



Ryc. 65. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na 1 km² powierzchni w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego w dniach 16–31 maja 2010 r.

Skutki analizowanych, intensywnych opadów w Krakowie i powiecie krakowskim nałożyły się z gwałtownym przybojem wód w rzekach całej południowej Polski, gdzie opady były jeszcze wyższe niż na badanym obszarze. W opublikowanym *Raporcie po powodzi z maja i czerwca 2010 r.* (2010), sporządzonym przez pracowników Referatu Ochrony Przed Powodzią w Wydziale Bezpieczeństwa i Zarządzania Kryzysowego Urzędu Miasta Krakowa można m.in. zapoznać się z przebiegiem fali powodziowej, decyzjami, jakie podjęto w celu ochrony miasta, stratami oraz formami pomocy, jaka została udzielona poszkodowanym. W raporcie tym stwierdzono, że powódź w maju 2010 r. w Krakowie była największa od 1813 r. (*Raport po powodzi 2010*). Opady w zlewniach rzek karpackich, będących m.in. dopływami Wisły, były w tym okresie wyższe niż w lipcu 1997 r., czyli podczas tzw. powodzi tysiąclecia. Poziom wód w Wiśle rósł w takim tempie, że odpowiednio wcześniej zamknięto bramy powodziowe wzdłuż ul. Księcia Józefa i Kościuszki oraz wstrzymano ruch na Moście Dębnickim i przegrodzono go tak, aby woda nie przelała się i nie spłynęła Alejami Trzech Wieszców (Kraśnińskiego, Mickiewicza, Słowackiego) i ul. Konopnickiej do niżej położonych obszarów miasta. Przekrój tego mostu został bowiem całkowicie wypełniony.

Przekroczenie stanu alarmowego na Wiśle (520 cm na wodowskazie na Bielanych) powoduje nie tylko zalanie doliny tej rzeki wzdłuż wałów, ale również podtopienia niektórych obszarów miasta wywołane odcięciem swobodnego odpływu wód z rzek będących jej dopływami lub wód z kanałów melioracyjnych. Na obszarze miasta zlokalizowanych jest 40 śluz wałowych, które zostały w takiej sytuacji automatycznie zamknięte. Równocześnie zapobiegały one wtargnięciu wód wiślanych na teren miasta. Dlatego też znaczna część interwencji straży pożarnej polegała na przepompowywaniu wód z tych cieków do Wisły. Dotyczyło to m.in. ulic w dzielnicach:

- Zwierzyniec: Mirowska, Orla, Do Przystani, Rybna, Wioślarska, Księcia Józefa, Polnych Kwiatów, Borowego, Emaus, Korzeniowskiego, Becka, Ciechanowskiego, Morełowa, Pylna, Strzelnica, Wyrobka, Wyrwy-Furgalskiego, Żłota, Agrestowa, 28-Lipca, Krzywickiego, Pększyca-Grudzińskiego, Piastowska, Podłącze, Słonecznikowa, Zarudawie,
- Dębniki: Browarniana, Heligundy, Benedyktyńska, Falista, Kolna, Krzewowa, Widłakowa, Wielkanocna, Nierówna, Jemiołowa, Skalica, Sodowa,
- Czyżyny: Ciepłownicza, Cupłowa, Wiklinowa, Do Wisły, Isep, Stręcka,
- Nowa Huta: Na Niwach, Niepokalanej Marii Panny, Odmetowa, Zbyszka z Bogdańca, Podbipięty, Hutnika, Jagienki, Klasztorna, Kmicica, Kopaniec, Samostrzelnika, Syrachowska, Wiśniowieckiego, Wołodziejowskiego, Zagłoby, Zakarnie, Graniczna, Bardosa, Jeżynowa, Żąglowa, Kąkolowa, Bartnicza, Biwakowa, Nadwodna,
- Podgórze: Golikówka, Skromna, Szparagowa, Wrobela, Bugaj, Czeczotta, Pod Wierzbami, Traczy.

Dodatkowo intensywne opady występujące nad miastem i wysoki stan Wisły spowodował zamknięcie zasuw na przelewach burzowych kanalizacji w śródmiejskiej części miasta (*Raport po powodzi 2010*). W związku z tym również zalane zostały ulice w dzielnicach:

- Stare Miasto: pl. Kossaka, al. Kraśnińskiego,
- Grzegórzki: Widok, Nizinna, Prochowa, Rogozińskiego, Bobrowskiego, Żółkiewskiego,
- Dębniki: Pułaskiego, Bałuckiego, Barska, Jaworowa, Konfederacka, Praska, Różana, Sandomierska, Zduńska, Biała Droga, Rynek Dębnicki, Skwerowa, Szwedzka, Wasilewskiego, Zagrody, Przedwiośnie, Komandosów, Wierzbowa, Zatorska, Ludwinowska, Długosza, Krasickiego, Twardowskiego,
- Zwierzyniec: Kościuszki, Młaskotów, Królowej Jadwigi,
- Podgórze: Dekerta, Herlinga-Grudzińskiego, Na Dołach, Zabłocie, Klimeckiego.

Na podstawie danych z Komendy Wojewódzkiej PSP i Komendy miejskiej PSP w Krakowie stwierdzono, że najbardziej dotkniętymi przez powódź rejonami miasta były fragmenty dzielnic:

- Bieżanów-Prokocim: Stary Bieżanów i Złocien,
- Dębniki: Bodzów, Dębniki, Kostrze, Tynec,
- Nowa Huta: Chałupki, Lesisko, Wolica,
- Podgórze: Płaszów, Przewóz, Rybitwy.

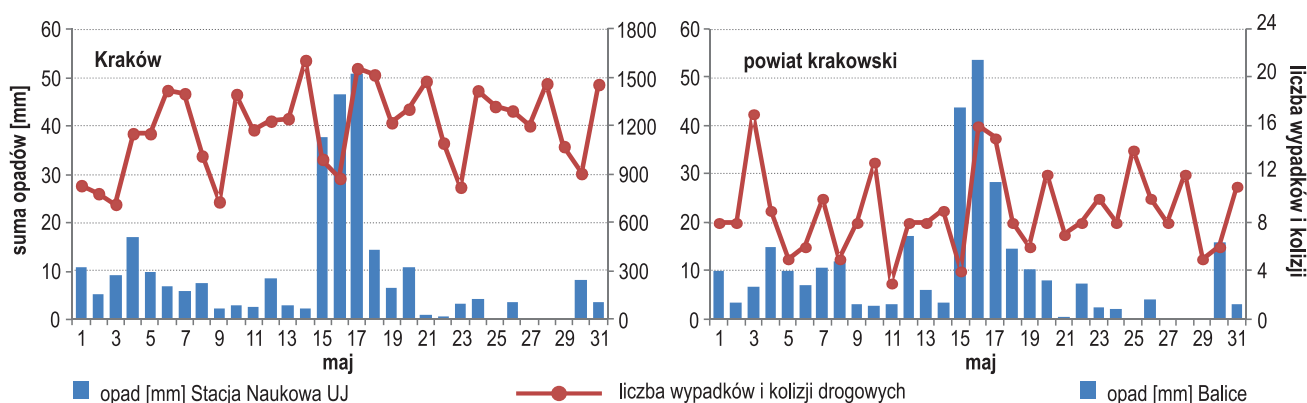
W dniu 19 maja około godziny 2:00 (00:00 czasu UTC) doszło do przerwania wału przy ulicy Na Zakolu Wisły (dzielnica Podgórze), gdzie około 10-metrowa wyrwa spowodowała początkowo zalanie ogródków

działkowych, a w dalszej kolejności rozlała się po sąsiednich ulicach, podtapiając kilkaset posesji i budynków. Przeliczając natomiast liczbę interwencji PSP na 1 km², okazało się, że w drugiej połowie maja 2010 r. najwięcej ich było w dzielnicach: Podgórze (9,7), Prądnik Biały (7,6) i Bieńczyce (4,3) oraz gminach: Skawina (2,9), Świątniki Górne (1,7) i Liszki (1,5) (ryc. 65).

W powiecie krakowskim największy obszar uległ zalaniu w obrębie gmin Liszki i Skawina (*Powódź w województwie małopolskim w 2010 roku* 2011), gdzie 17 maja 2010 r. doszło do przelania się przez wały rzeki Skawinka (gmina Skawina), co spowodowało konieczność ewakuacji mieszkańców.

Szkody i straty m.in. w infrastrukturze komunalnej (budynki i ulice), przeciwpowodziowej (wały, obiekty hydrotechniczne) czy rolnictwie były ogromne, zwłaszcza że przekroczenie stanu alarmowego na Wiśle trwało około 6,5 dnia, od 17 do 23 maja (*Raport po powodzi ...* 2010). Z początkiem czerwca 2010 r. (2 i 4.06) w południowej Polsce ponownie pojawiły się intensywne opady i powróciło zagrożenie powodziowe na Wiśle. Na szczęście w Krakowie opady nie były już tak intensywne, jak w maju.

Jak już wspomniano, intensywne opady stwarzają również zagrożenie na drodze, a w maju 2010 r. liczba kolizji i wypadków drogowych w Krakowie była najwyższa wśród pozostałych miesięcy w latach 2007–2018 (patrz tab. 4 w rozdziale 2.3.1. *Liczba wypadków i kolizji drogowych...*). Jednak nie stwierdzono wyraźnej zależności statystycznej między sumą dobową opadów a liczbą kolizji i wypadków drogowych, choć można zauważyć ich większą liczbę w niektórych dniach (ryc. 66). Prawdopodobnie związane jest to z większą ostrożnością kierowców w dniach z trudnymi warunkami atmosferycznymi oraz zmniejszającym się natężeniem ruchu samochodowego wraz z pogarszającymi się warunkami na drogach.



Ryc. 66. Liczba wypadków i kolizji drogowych na tle sum dobowych opadów w Krakowie i powiecie krakowskim w maju 2010 r.

5.4. Skutki intensywnych opadów w latach 1961–2002 – kalendarium

Na podstawie Kalendarium Komendy Miejskiej PSP w tabeli 21 wynotowano przypadki, w których występowały intensywne opady nietowarzyszące burzom. Strażacy w tych dniach podejmowali liczne interwencje, najczęściej związane z wypompowywaniem wody. Zdarzenia te miały miejsce głównie w okresie letnim i wiązały się z opadami o charakterze ulewnym lub rozlewnym.

Tabela 21. Opis interwencji związanych z wystąpieniem intensywnych opadów atmosferycznych z kalendarium Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

| Daty | Opis interwencji |
|---------------|--|
| 10.08.1964 | Na skutek obfitych opadów woda zalala wiele piwnic i magazynów. Straż pożarna interweniowała w ponad 20 przypadkach, osuszając zalane pomieszczenia. |
| 30.05.1966 | Nad Krakowem przeszła ogromna ulewa. Straż pożarna wzywana była kilkadziesiąt razy do wypompowywania wody z piwnic, magazynów i nisko położonych mieszkań. |
| 18–19.03.1970 | Na skutek gwałtownych roztopów i obfitych opadów deszczu woda zalala dziesiątki krakowskich piwnic i magazynów. Straż pożarna przez 3 dni wypompowywała wodę z tych pomieszczeń. |
| 2.07.1971 | Nad Krakowem przeszła ogromna ulewa, co w połączeniu z trwającymi od 28 czerwca opadami spowodowało poważne zagrożenie powodziowe w Krakowie. W dniu 3 lipca z udziałem oficerów Komendy Zawodowej Straży Pożarnej odbyło się posiedzenie krakowskiego komitetu przeciwpowodziowego. |
| 1–10.08.1985 | Województwo krakowskie nawiedziła groźna powódź. Poziom wody w Wiśle 12 sierpnia podniósł się o 3,5 m. Zalanych zostało wiele nisko położonych obiektów. |
| 10.07.1997 | Przez Kraków przechodziła fala powodziowa na Wiśle. Poziom wody w okresie od 6 lipca podniósł się z 2 m do 8,6 m. Stale padający deszcz przyczynił się do licznych lokalnych podtopień i zalań. W związku z warunkami pogodowymi oraz zagrożeniem spowodowanym falą powodziową w okresie od 7 do 12 lipca strażacy interweniowali 344 razy, w tym najwięcej 10 lipca – 76 razy. |
| 15–25.06.1999 | W związku z opadami deszczu i podniesieniem się poziomu wody w rzekach Kraków w ciągu kilku następných dni był zagrożony powodzią. O wydarzeniach tych napisała „Gazeta Krakowska” w notatce „Strażacy pompują”: <i>Krakowowi no razie powódź nie grozi. Woda na największej rzece Wiśle opada w tempie 44 cm na godzinę. Pod Wawelem zniknęła już z bulwarów. Nadal w mieście jest kilkadziesiąt podtopionych miejsc, budynków i posesji. Przede wszystkim dlatego, że niedrożna jest sieć kanalizacji burzowej. Strażacy nadal pompują wodę z zalanych terenów. W Krakowie były wczoraj 4 duże akcje przy ul. Tynieckiej w Kostrzu, w Lesisku w Nowej Hucie, przy ul. Brzeskiej koło Niepołomic oraz na Odwiśle. W kilkunastu innych przypadkach pojedyncze samochody strażackie opróżniały z wody piwnice domów, szkoły, a nawet korty tenisowe „Garbami”.</i> |
| 16–26.07.2001 | Przez Kraków przechodziła (26.07) kulminacyjna fala powodziowa. Poziom Wisły podniósł się o ponad 3 metry powyżej stanu alarmowego, ale do poziomu z 1997 r. brakowało 34 cm. Ciągłe padał deszcz i podtopieniu uległy m.in. okolice ul. Tynieckiej, Księcia Józefa, Przystanku Rusieckiego. Krakowskie jednostki Państwowej Straży Pożarnej w okresie od 25–28 lipca ponad 400 razy w związku z podtopieniami i zalaniem, współpracowały przy umacnianiu wałów. Zastępca Komendanta Miejskiego PSP na łamach „Gazety Krakowskiej” z 28–29.07.2001 r. pracę służb ratowniczych ocenił następująco: <i>Wszystkie działania były prawidłowe, nawet wyprzedzały prognozy i były prowadzone profesjonalnie. Były kosztowniejsze, ale dzięki temu nie było sytuacji, że mądry Polak po szkodzie. Zawczasu ściągnąłem centralny odwód z województw kujawsko-pomorskiego i lubuskiego. W sumie 135 strażaków 39 pojazdami z urządzeniami ratowniczymi. Od środy pracujemy w systemie 24-godzinny, co oznacza, że w ciągu jednej zmiany mamy 195 ludzi, którzy zabezpieczają obsadę wszystkich pojazdów.</i> |

Źródło: www.psp.krakow.pl.

5.5. Opady śniegu

W przypadku analizy przyczyn i skutków występowania takiego elementu meteorologicznego, jakim są opady atmosferyczne, warto zwrócić uwagę nie tylko na ich sumy dobowe czy natężenie, ale również uwzględnić rodzaj opadów, wśród których wyróżnia się m.in.: deszcz, mżawkę, grad, deszcz ze śniegiem, śnieg, krupy śnieżne, ziarna lodowe, śnieg ziarnisty.

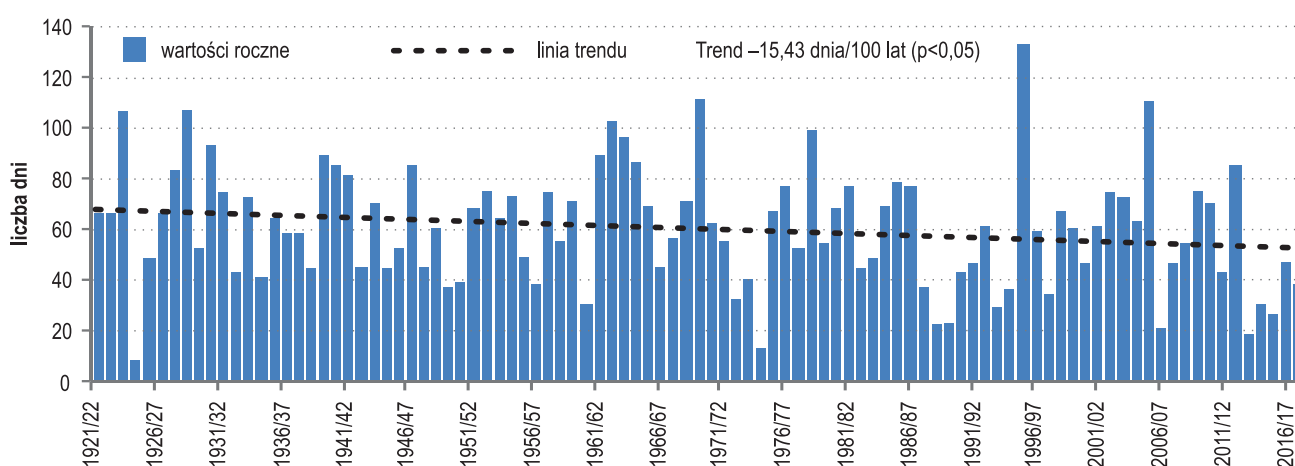
Poza opadami deszczu, których oddziaływanie zależy głównie od ich wysokości, pozostałe rodzaje opadu wywołują głównie zagrożenia na drogach, nadmierne obciążenia budynków i utrudnianie poruszania się pieszych i kierowców (głównie śnieg) oraz lokalnie uszkodzenia mienia i roślinności (głównie grad i krupy śnieżne). O ile wśród opadów atmosferycznych deszcz i grad są najważniejszymi przyczynami zagrożeń w sezonie letnim, o tyle w chłodnej połowie roku największe szkody i utrudnienia związane są z opadami śniegu. Z tego powodu w tej części opracowania zdecydowano się opisać kilka takich przypadków.

Jak wiadomo, opady śniegu związane są głównie z sezonem zimowym. Jednak, jak wynika z pracy Twardosza i in. (2011), w Krakowie w latach 1863–2008 opady śniegu zwykle występowały od 17 listopada do 1 kwietnia, ale najwcześniej zanotowano je 25 września 1906 r., najpóźniej natomiast 22 maja 1866 r. Okres śnieżny w tym mieście trwa średnio 136 dni, natomiast pokrywa śnieżna w centrum Krakowa w latach 1921/22–2017/18 utrzymywała się średnio przez około 60 dni (ryc. 67). W związku z niezwykle ciepłymi zimami, które coraz częściej występują w ostatnich latach, pokrywa śnieżna utrzymuje się w Krakowie stosunkowo krótko, np. w sezonie zimowym 2013/2014 było zaledwie 18 takich dni. Wprawdzie nie była to rekordowo niska wartość, bo mniej było

takich dni zimą 1924/25 (8 dni) i 1974/75 (13 dni), niemniej jednak w wieloletnim przebiegu liczby dni z pokrywą śnieżną zaznacza się wyraźna tendencja malejąca (ryc. 67). Na obszarze powiatu krakowskiego pokrywa śnieżna utrzymuje się nieco dłużej, zwłaszcza w obszarach nieco wyżej położonych nad poziomem morza lub w głęboko wciętych dolinach (Falarz 1998).

Suma opadów śniegu zwykle jest znacznie niższa niż opadów deszczu i rzadko przekracza 10 mm w ciągu doby. Z tego powodu bardzo rzadko klasyfikowane są jako intensywne, czyli takie, których suma dobową wynosi powyżej 20 mm (*Załącznik* na końcu książki). Taki przypadek, wraz z jego przyczynami i skutkami, omówiono w poprzednim podrozdziale (14–15.10.2009 r.).

W latach 1863–2008 wysokie opady śniegu (powyżej 10 mm) odnotowano zaledwie 89 razy (Twardosz i in. 2011), co oznacza, że prawdopodobieństwo wystąpienia takich przypadków jest bardzo małe. W grudniu, lutym, marcu wynosi 0,4%, a w listopadzie i styczniu 0,3%. Również całkowity udział opadów śniegu w ogólnej sumie opadów jest niewielki i w Krakowie stanowi nieco ponad 16% (Twardosz i in. 2011). Szanse na wystąpienie opadów śniegu wzrastają w okresie od października do maja przy napływie mas powietrza z sektora północnego i wschodniego przy układach niskiego ciśnienia (Nc – 32,9%, NEc – 30,3%, Ec – 28,1%), a w zimie (grudzień–luty) przy sytuacjach wynoszą: Ec – 71%, NEc – 66% i Nc – 61,5% (Twardosz i in. 2011).



Ryc. 67. Liczba dni z pokrywą śnieżną na Stacji Naukowej UJ w latach 1921/22–2017/18

5.6. Wyjątkowo intensywne opady śniegu i ich skutki w latach 2000–2018

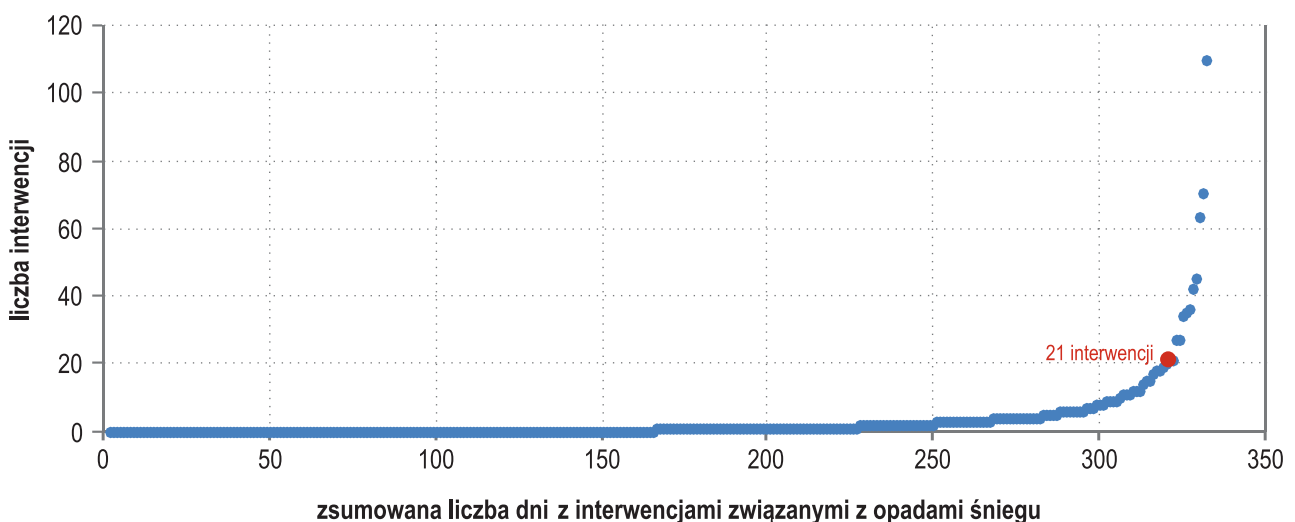
Kryteria wyróżniania poszczególnych stopni zagrożeń związanych z opadami śniegu i tworzeniem się pokrywy śnieżnej podano w *Załączniku* na końcu książki. Największe zagrożenie tymi zdarzeniami jest w transporcie (drogowym, kolejowym i lotniczym). Narastająca pokrywa śnieżna stanowi również zagrożenie w budownictwie, energetyce i leśnictwie (fot. 4). Szczególnie niebezpieczny jest padający śnieg na początku i końcu sezonu zimowego (październik–listopad i marzec–kwiecień), kiedy śnieg jest zazwyczaj bardzo mokry i ciężki. Na drogach i chodnikach tworzy się wówczas „maź śnieżna”, która utrudnia jazdę i poruszanie się, a w przypadku spadku temperatury szybko zamarza, tworząc warstwę lodowo-śnieżną. Gruba warstwa śniegu zalegająca na dachach budynków z czasem podlega przemianom: topiąc się, staje się bardziej wodnista, a zamarzając, przekształca się stopniowo w lód. Stanowi duże obciążenie dla konstrukcji budynków i ich otoczenia, zwłaszcza jeśli dachy są płaskie lub o niewielkim nachyleniu. Do jednej z największych katastrof tego typu w Polsce doszło w Chorzowie (województwo śląskie) 28 stycznia 2006 r., kiedy pod naporem śniegu i w skutek wad konstrukcyjnych zawalił się dach pawilonu handlowego, w którym odbywała się wystawa gołębi pocztowych. Śmierć poniosło wówczas 65 osób.



Fot. 4. Intensywne opady śniegu w ciągu jednej doby (fot. S. Wypych)

Dodatkowym zagrożeniem jest również śnieg zsuwający się z dachów o większym nachyleniu, czyli tzw. lawiny dachowe, a także nawisy i sople. Administratorzy budynków powinni więc na bieżąco monitorować stan dachów i w razie konieczności odsnieżać je, nie dopuszczając do wystąpienia nadmiaru śniegu i lodu. Pod naporem śniegu i lodu dochodzi też do uszkodzenia drzew i zerwania linii energetycznych. Na drzewach tworzy się tzw. okiść, warstwa ciężkiego śniegu silnie przylegającego do gałęzi, które pod jego naporem mogą się łamać. Połamane w ten sposób gałęzie drzew nazywane są śniegołomem, natomiast wywrócenie całego drzewa – śniegowiałem.

W latach 2000–2008 straż pożarna była stosunkowo rzadko wzywana do zdarzeń związanych z dużymi opadami śniegu (tab. 22). W sumie było 330 dni, w których podjęto przynajmniej jedną akcję związaną ze śniegiem, a zaledwie 14 dni, kiedy interweniowano z tej przyczyny więcej niż 20 razy w ciągu doby (ryc. 68). Podobnie jak w przypadku intensywnych opadów (tab. 20), również i w tabeli 22 dodano dni poprzedzające lub następujące po opadach.



Ryc. 68. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej w dniach z opadami śniegu w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018

Tabela 22. Charakterystyka dni z intensywnymi opadami śniegu lub deszczu ze śniegiem w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018

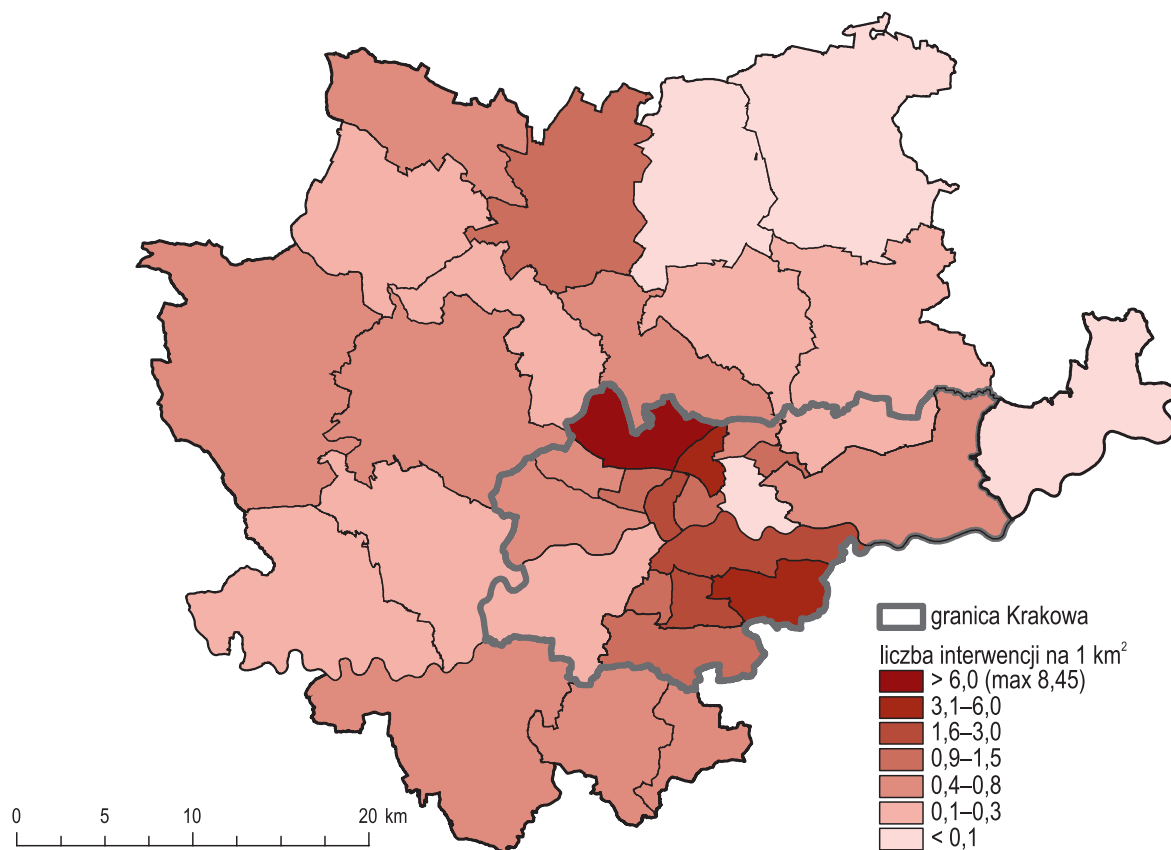
| Data | Czas występowania | Stacja UJ suma opadów [mm/24h] | Stacja UJ pokrywa śnieżna [cm] | Typ cyrkulacji | Rodzaj frontu | Masa powietrza | Liczba interwencji straży pożarnej | | | Obszary wystąpienia największej liczby szkód | |
|-------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|---------------|----------------|------------------------------------|-------------|---------|---|--|
| | | | | | | | Opady | Silny wiatr | Łącznie | | |
| 14.10.2009* | prawie całą dobę do południa | 28,0 | - | Nc | - | PA | 98 | 10 | 108 | gmina Krzeszowice i Zabierzów oraz północne (Prądnik Biały, Prądnik Czerwonny) i południowo-wschodnie (Podgórze, Bieżanów-Prokocim) dzielnice Krakowa | |
| 15.10.2009* | | 1,6 | - | Cc | o | PA | 73 | 37 | 110 | | |
| 09.01.2010 | 17.00–...–24.00 | 6,8 | 9 | SEC | c | PPms | 12 | 7 | 19 | północne i północno-zachodnie gminy, zwłaszcza Skala, Suloszowa, Krzeszowice oraz dzielnice: Prądnik Biały, Stare Miasto i Krowodrza | |
| 10.01.2010* | 00.00–...–15.30 | 7,8 | 9 | Ec | c | PPms | 49 | 14 | 63 | | |
| 11.01.2010* | 10.00–11.00 | 1,4 | 15 | NEC | o | PPms | 21 | 3 | 24 | | |
| 12.01.2010 | 4.00–...–24.00 | 2,2 | 16 | NEC | - | PPms | 13 | 1 | 14 | | |
| 13.01.2010* | popołudniu | 0,1 | 17 | SEa | - | PPms | 22 | 1 | 23 | | |
| 14.01.2010* | rano | 0,0 | 17 | SEa | - | PPK | 22 | 7 | 29 | | |
| 15.01.2010 | śląd opadu | 0,0 | 17 | SEa | - | PPK | 13 | 16 | 29 | | |
| 16.01.2010* | śląd opadu | 0,0 | 16 | SEa | - | PPK | 39 | 15 | 54 | | |
| 17.01.2010 | - | - | 16 | Sa | - | PPK | 18 | 6 | 24 | | |
| 18.01.2010* | - | - | 15 | Sa | - | PPK | 29 | 4 | 33 | | |
| 19.01.2010* | 9.00–...–16.00 | 0,2 | 14 | SEa | - | PPK | 50 | 2 | 52 | | |
| 20.01.2010* | 00.00–...–24.00 | 0,7 | 14 | Ea | - | PPK | 28 | 2 | 30 | | |
| 15.02.2010* | całą dobę | 3,7 | 38 | Nc | - | PPms | 37 | 1 | 38 | | dzielnica Stare Miasto, gmina Zabierzów |
| 12.10.2015* | 2.00–...–18.00 | 9,2 | 0 | SEa | - | PPK | 111 | 44 | 155 | | południowe (Podgórze Duchackie, Bieżanów-Prokocim, Swoszowice) i północne (Prądnik Czerwonny, Mistrzejowice): dzielnice Krakowa oraz gminy: Świątyni Górne, Mogilany, Skawina, Zabierzów i Michałowice |
| 13.10.2015* | - | - | - | SEa | - | PPK | 23 | 1 | 24 | | |
| 19.02.2016 | prawie całą dobę | 19,1 | - | Bc | st | PPms | 5 | 3 | 8 | | zachodnie gminy powiatu krakowskiego (Krzeszowice, Czernichów) oraz dzielnice: Swoszowice i Zwierzyniec |
| 20.02.2016* | 00.00–5.00 | 0,9 | 3 | Wa | st | PPms | 35 | 3 | 38 | | |

Przykłady omówione w tekście.

* – dni spełniające kryteria – liczba interwencji związanych z opadami śniegu w ciągu doby > 20.

... – opady z przerwami. Typ cyrkulacji, rodzaj frontu atmosferycznego i rodzaj mas powietrza według klasyfikacji Niedźwiedzia (2019) – objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne.*

Najwięcej interwencji związanych z intensywnymi opadami śniegu w Krakowie w wyróżnionych 13 dniach (tab. 22) było w dzielnicy Prądnik Biały (8,45 na 1km²), a w dalszej kolejności na Prądniku Czerwonym (4,66) i Bieżanowie-Prokocimiu (3,09). W niemal 50% dzielnic było jednak mniej niż jedna interwencja na km² (ryc. 69). Podobnie było w poszczególnych gminach powiatu krakowskiego. Najwięcej interwencji spowodowanych opadami śniegu, ale poniżej jednej na km², było w gminach: Skała (0,88 1km²), Świątniki Górne (0,65) oraz Zabierzów (0,59).



Ryc. 69. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na 1 km² powierzchni w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego w dniach z intensywnymi opadami śniegu w latach 2000–2018

5.7. Wybrane przypadki wystąpienia intensywnych opadów śniegu

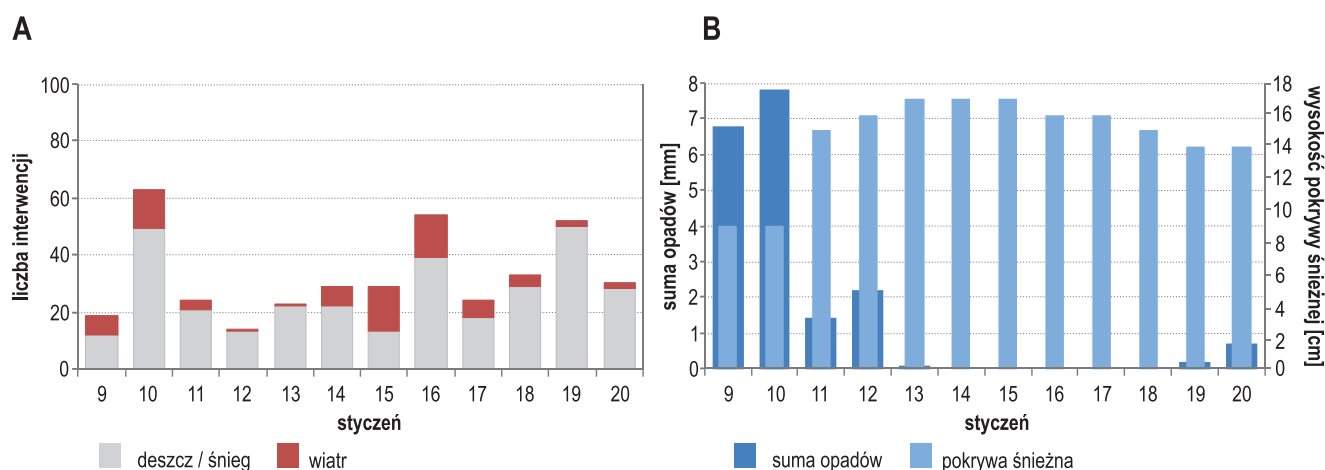
14–15 października 2009 r.

Najbardziej intensywny opad śniegu wystąpił w dniach 14–15.10.2009 r., jednak z uwagi na to, że suma opadów śniegu i deszczu ze śniegiem w ciągu jednej doby przekroczyła 20 mm, został on już omówiony w podrozdziale 5.3 *Wybrane przypadki wystąpienia intensywnych opadów*.

9–20 stycznia 2010 r.

Okresem, w którym wystąpiły intensywne opady śniegu, z powodu których strażacy musieli interweniować co najmniej 21 razy w ciągu doby, była druga dekada stycznia 2010 r. (ryc. 70). Od 9. do 20. dnia tego miesiąca aż

w 7 dniach odebrano wyjątkowo dużo zgłoszeń dotyczących m.in.: połamanych drzew i gałęzi, wypompowywania wody, usuwania sopli i nawisów śnieżnych, uszkodzenia linii telekomunikacyjnych i elektrycznych. W dwóch pierwszych rozpatrywanych dniach (9 i 10 stycznia 2010 r.) na Stacji Naukowej UJ opady śniegu spowodowały duży wzrost pokrywy śnieżnej, z 9 do 15 cm 11 stycznia, która w kolejnych dniach jeszcze się zwiększyła (do 17 cm w dniach 13–15 stycznia) (ryc. 70). Często opadom tym towarzyszył silny wiatr, powodując zawieje i zamiecie śnieżne, które były przyczyną dodatkowych interwencji, zwłaszcza 10, 15 i 16 stycznia (tab. 22, ryc. 70).

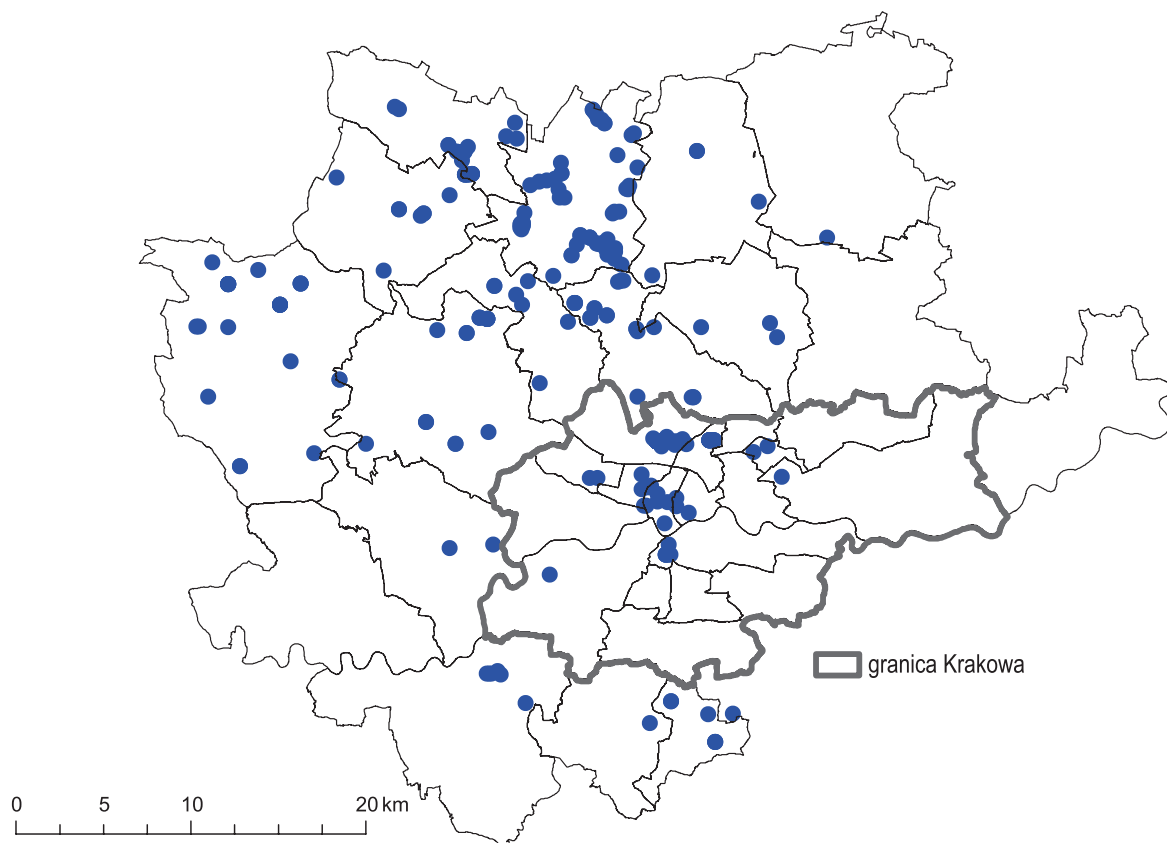


Ryc. 70. Liczba interwencji w ciągu doby Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie i powiecie krakowskim (A) oraz suma opadów [mm] i wysokość pokrywy śnieżnej [cm] na Stacji Naukowej UJ (B) w dniach 9–20.01.2010 r.

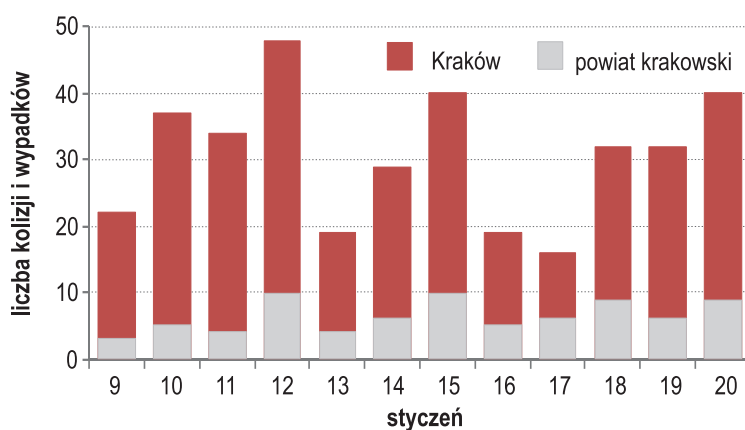
Przyczyną opisywanych opadów był niż, który dotarł do Polski znad Atlantyku przez Morze Śródziemne szlakiem Vb Van Bebbera, aby następnie odsunąć się nad Ukrainę i Morze Czarne. W tym czasie nad Skandynawią rozbudowywał się silny układ wysokiego ciśnienia, który następnie powoli zajmował miejsce przemieszczającego się niżu. Taka sytuacja baryczna umożliwiła spotkanie się cieplejszych i wilgotnych mas powietrza z południa z chłodnymi masami powietrza polarnego kontynentalnego z sektora północnego i wschodniego. Rezultatem były opady śniegu towarzyszące frontom atmosferycznym. Powstała pokrywa śnieżna utrzymywała się przez dłuższy czas dzięki niskiej temperaturze powietrza związanej z wyżem znad Skandynawii, który kształtował pogodę w Polsce aż do przelomu 17 i 18 stycznia. W kolejnych dniach nad rozpatrywany region ponownie dotarł słaby front atmosferyczny z niewielkimi opadami.

W analizowanych dniach najwięcej interwencji strażacy podejmowali w dniach 10, 16 i 19 stycznia 2010 r. (>50 w ciągu doby; tab. 22). Większość z nich miała miejsce w północno-zachodniej części powiatu krakowskiego, w gminach: Skąła, Sułoszowa i Krzeszowice, natomiast w przypadku Krakowa – w dzielnicach Prądnik Biały, Stare Miasto i Krowodrza (ryc. 71).

Zaistniałe warunki pogodowe były również przyczyną utrudnień w ruchu drogowym. Na podstawie ewidencji wypadków i kolizji drogowych w Krakowie i powiecie krakowskim w badanych dniach stwierdzono, że większa liczba tych zdarzeń wystąpiła 12 stycznia (odpowiednio 48 w Krakowie i 10 w powiecie krakowskim), 15 stycznia (40 i 10) i 20 stycznia 2010 r. (40 i 9) (ryc. 72). Warto jednak zaznaczyć, że nie można wskazać bardzo wyraźnej zależności liczby wypadków i kolizji drogowych z liczbą interwencji oraz sumą dobową opadów.



Ryc. 71. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 9–20.01.2010 r.



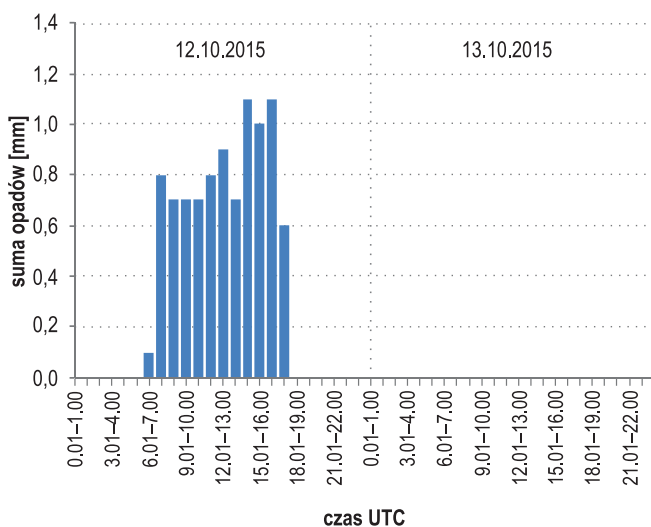
Ryc. 72. Liczba wypadków i kolizji drogowych w Krakowie i powiecie krakowskim w dniach 9–20.01.2010 r. (sobota–środa; opady 9–12.01.2010 r.)

Jak wspomniano, zdarza się, że opady śniegu występują stosunkowo wcześnie. W ostatnich 19 latach (2000–2018) miały miejsce dwa zdarzenia, w których z powodu wczesnych opadów śniegu straż pożarna musiała interweniować bardzo wiele razy w ciągu doby. Pierwszy z nich wystąpił 14 i 15 października 2009 r. i został już omówiony przy analizie intensywnych opadów. Kolejne tego typu zdarzenie wystąpiło 6 lat później – 12 i 13 października 2015 r. Suma dobowa opadów nie była już tak wysoka, jak w poprzednim przypadku (tab. 22). Na Stacji Naukowej UJ okazała się jednak wielokrotnie wyższa niż w Balicach (odpowiednio 9,2 i 3,3 mm) (tab. 22), a opady o natężeniu do 1,1 mm/godz. wystąpiły jedynie w pierwszym z analizowanych dni (ryc. 73).

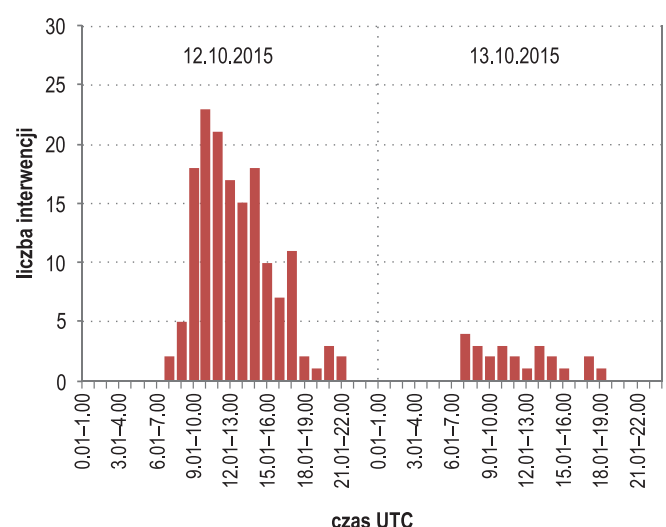
Przyczyną analizowanych opadów był płytki niż, który utworzył się na południe od Polski na froncie stacjonarnym i przez dwa dni kształtował pogodę głównie w południowych regionach kraju. W tym czasie pozostała część Polski pozostawała pod wpływem silnego wyżu znad Skandynawii, który powoli przesunął się na południowy wschód.

Wśród wszystkich dni z opadami śniegu lub deszczu ze śniegiem w latach 2000–2018, w których straż pożarna musiała interweniować, to właśnie 12 października 2015 r. było najwięcej interwencji – 155 (tab. 22). Interwencje niemal wyłącznie związane były z powalonymi na drogi, chodniki i słupy telefoniczne drzewami lub ich konarami. Pierwsze zgłoszenia straż pożarna otrzymała w godzinach rannych, ale najwięcej interwencji przeprowadzono w godzinach okołopołudniowych 12 października (15–23 w ciągu godziny). Liczba zgłoszeń była tak duża, że interwencje trwały jeszcze w kolejnym dniu, chociaż było ich już zdecydowanie mniej, poniżej 5 na godzinę (ryc. 74 i 75). Najwięcej szkód śnieg wyrządził w południowych (Podgórze Duchackie, Bieżanów-Prokocim, Swoszowice) i północnych (Prądnik Czerwony, Mistrzejowice) dzielnicach Krakowa. Również gminy zlokalizowane głównie w północnej i południowej części powiatu krakowskiego borykały się ze skutkami tego zdarzenia. Najwięcej interwencji było w gminach: Świątyniki Górne, Mogilany, Skawina, Zabierzów i Michałowice (ryc. 75).

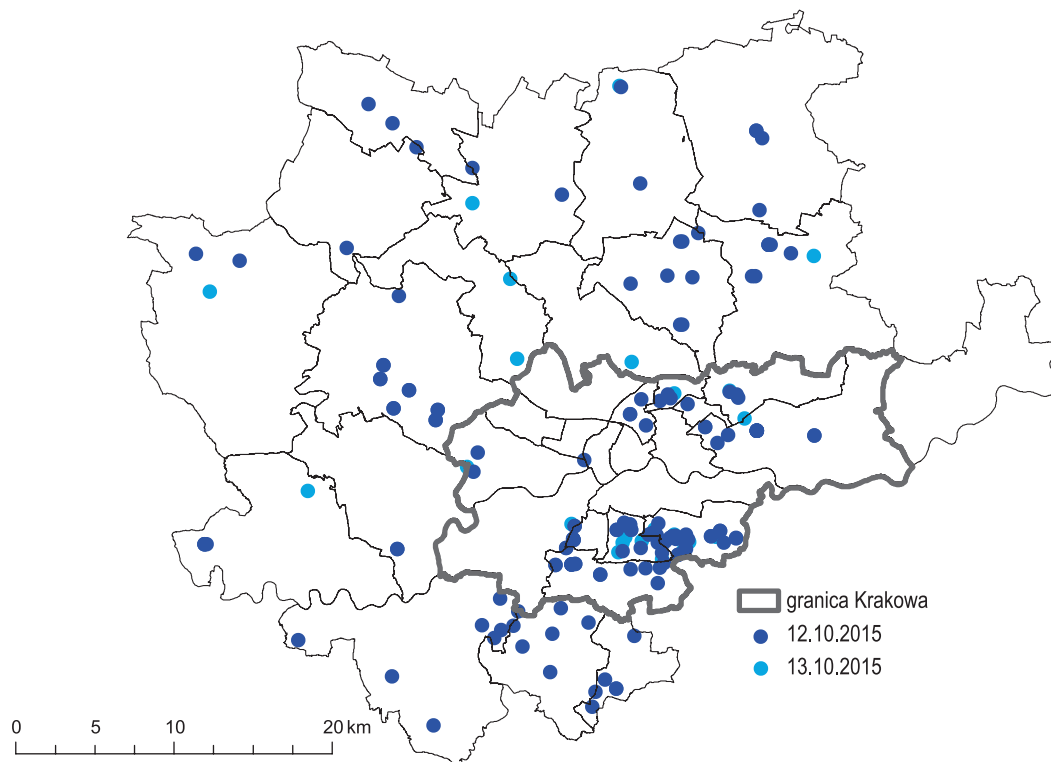
Liczbę kolizji i wypadków drogowych w dniach 11–14 października 2015 r. przedstawiono na rycinie 76. O ile wyraźny wzrost liczby tego typu zdarzeń w Krakowie z 11 na 12 października jest wyraźny (z 17 do 38), o tyle jednak istotne jest to, że dni te przypadły na niedzielę i poniedziałek, dlatego też stosunkowo niewielka liczba wypadków i kolizji drogowych 11 października była niewątpliwie związana z mniejszym ruchem na drogach, a nie tylko lepszymi warunkami atmosferycznymi.



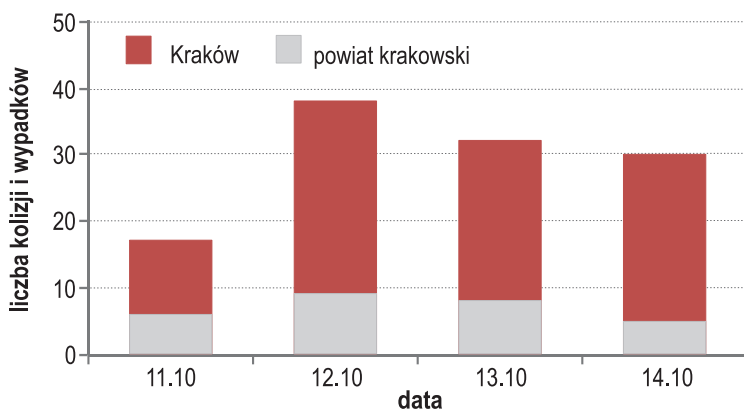
Ryc. 73. Sumy godzinowe opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ w dniach 12–13.10.2015 r.



Ryc. 74. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 12–13.10.2015 r.



Ryc. 75. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 12–13.10.2015 r.



Ryc. 76. Liczba wypadków i kolizji drogowych w Krakowie i powiecie krakowskim w dniach 11–14.10.2015 r. (niedziela–środa; opady 12.10.2015 r.)

5.8. Skutki intensywnych opadów śniegu w latach 1961–2002 – kalendarium

Przykłady innych dni z intensywnymi opadami śniegu, które wyrządziły szkody w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 1961–2002 przedstawiono w tabeli 23.

Tabela 23. Opis interwencji związanych z wystąpieniem intensywnych opadów śniegu z kalendarium Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

| Daty | Opis interwencji |
|------------------------|--|
| początek stycznia 1963 | Nad Krakowem przeszła duża śnieżycza, zasypując ulice grubą warstwą śniegu. Do odśnieżania zaangażowano straż pożarną. |
| 9.03.1964 | Nad Krakowem przeszła duża śnieżycza, zasypując ulice grubą warstwą śniegu. Do odśnieżania zaangażowano straż pożarną. |

Źródło: www.psp.krakow.pl.

6. Burze

Do zjawisk meteorologicznych, których wystąpienie często związane jest ze znacznymi szkodami w środowisku oraz w działalności człowieka, zaliczane są również burze. I chociaż zjawisko to potrafi wzbudzić zachwyt obserwatora, często towarzyszy mu uczucie grozy i bezradności wobec siły przyrody. Odczuć związanych z tym zjawiskiem nie poprawiają medialne doniesienia o licznych szkodach, jakie wyrządziły przechodzące burze, a tym bardziej o rannych i ofiarach śmiertelnych w wyniku m.in. porażenia piorunem (jak 22 sierpnia 2019 r. w Tatrach, kiedy zginęło 5 osób, a 157 zostało rannych) czy przygniecenia przez powalone drzewa, o czym donoszą media prawie każdego roku. Silne burze nierzadko w bardzo krótkim czasie potrafią doprowadzić do podtopień, uszkodzeń budynków, drzew lub linii energetycznych. Szkody te są szczególnie dotkliwe dla mieszkańców miast, zwłaszcza dla obszarów najgęściej zabudowanych.

Niszczycielska siła burz związana jest z ogromną energią, jaka wydziela się podczas kondensacji pary wodnej i powstawania burzowych chmur *Cumulonimbus* (fot. 5). Energia „ukryta” w typowej chmurze burzowej jest porównywalna z energią, jaka towarzyszyła wybuchowi bomby atomowej w Hiroszynie w 1945 r. (www.britannica.com). Z tego powodu skala zniszczeń powstałych w wyniku przechodzenia burzy nad danym obszarem może być wyjątkowo duża, szczególnie, jeżeli mamy do czynienia z kompleksem chmur burzowych, który może przybierać różne formy i obejmować swoim zasięgiem obszar nawet całego kraju. Należy jednak pamiętać, że proces powstawania chmur *Cumulonimbus* jest długotrwały i nie jest jednoznaczny z wystąpieniem burzy.

Burze można podzielić według wielu kryteriów. W zależności od cechy tego zjawiska, która podlega analizie, można spotkać podziały o zróżnicowanym stopniu szczegółowości. Do najbardziej oczywistych należą podziały burz ze względu na:

- ich rozmiar poziomy i czas trwania (burze: meso-alpha do 1000 km, meso-beta do 100 km, meso-gama do 10 km),
- czynnik warunkujący chwiejność atmosfery (burze wewnątrzmasowe – w tym termiczne i adwekcyjne, burze orograficzne, burze frontalne, mezoskalowe kompleksy konwekcyjne),
- genezę (pojedyncze, lokalne komórki burzowe, burze typu *supercell*, burze typu *multi-cell* – w formie klastra, linie szkwałów oraz mezoskalowe systemy konwekcyjne (*Mesoscale Convective Systems*) – w tym mezoskalowe wiry konwekcyjne (*Mesoscale Convective Vortex*) i mezoskalowe kompleksy konwekcyjne (*Mesoscale Convective Complex*).

Do najgroźniejszych burz zaliczane są przede wszystkim burze typu *supercell* oraz mezoskalowe kompleksy konwekcyjne (często obejmujące swoim zasięgiem obszary równe powierzchni województw, a nawet państw), którym dość często towarzyszą trąby powietrzne i duże prawdopodobieństwo wystąpienia

opadu gradu. Bardzo niebezpieczne są również linie szkwałów, szczególnie te, których linia przybiera kształt łuku (sygnatura radarowa takiej formacji nosi nazwę *bow echo*). Zwykle towarzyszy im bardzo silny, przyziemny wiatr o prędkości przekraczającej 24–26 m/s oraz rozchodzący się horyzontalnie i zgodnie z kierunkiem ruchu układu (burze typu *derecho*). Efektem przejścia nad danym obszarem tego rodzaju burz są pasy zniszczeń przypominające nieco szkody powstałe po przejściu trąb powietrznych.

Więcej szczegółowych informacji o rodzajach burz i zjawiskach im towarzyszących znajdzie Czytelnik w licznych pracach z zakresu klimatologii i meteorologii oraz na stronach internetowych poświęconych groźnym zjawiskom atmosferycznym (m.in.: www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101 czy lowcyburz.pl).

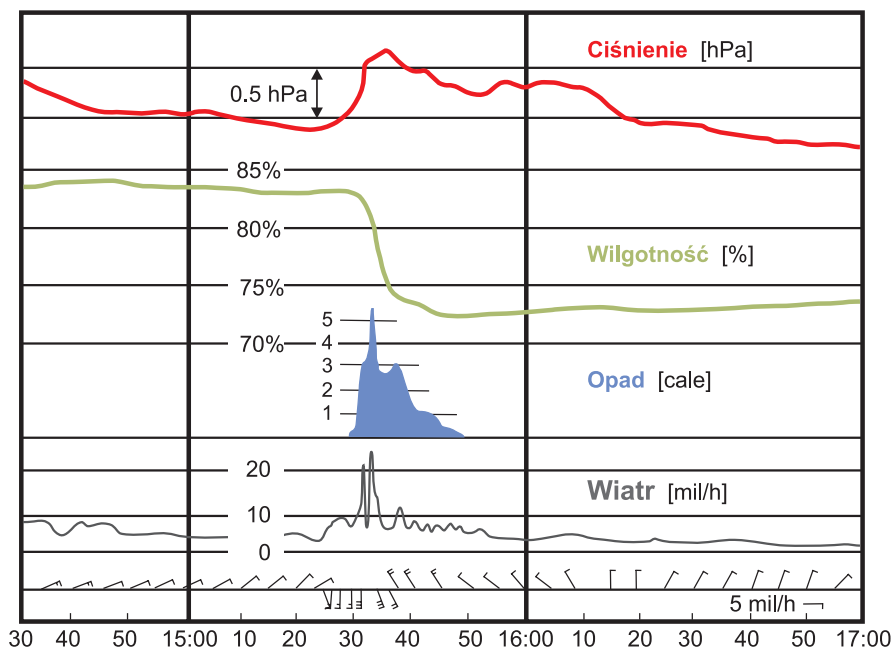


Fot. 5. Burze nad gminami: Zielonki (a) (fot. Z. Bielec-Bąkowska) i Michałowice (b) (fot. K. Krzyworzeka)

W meteorologii **za burzę** przyjmuje się „jedno lub kilka nagłych wyładowań elektryczności atmosferycznej, przejawiających się krótkim i silnym błyskiem (błyskawica) oraz suchym trzaskiem lub głuchym dudnieniem (grzmot) wewnątrz chmury *Cumulonimbus* lub pomiędzy chmurą a ziemią” (*Instrukcja...* 1962). Oznacza to, że wyznacznikiem wystąpienia burzy jest powstanie wyładowania, które słyszymy jako grzmot. Zazwyczaj towarzyszy temu pojawienie się na niebie błyskawicy, ale nie zawsze musi być ona zauważalna. Przykładem są burze występujące w ciągu dnia lub burze przemieszczające się nad dużymi miastami, w których hałas i oświetlenie miejskie mogą spowodować trudności w dostrzeżeniu zarówno błyskawicy, jak i usłyszenia grzmotu.

Ze względu na odległość od miejsca obserwacji wyróżniamy też: **burzę (bliską)**, za którą uznaje się grzmot słyszany po upływie mniej niż 10 sekund od czasu ujrzenia błyskawicy oraz **burzę odległą**, czyli zjawisko wystąpienia grzmotu po upływie więcej niż 10 sekund, któremu błyskawica może towarzyszyć lub nie. Początek burzy wyznacza moment usłyszenia pierwszego grzmotu, koniec – grzmot, po którym w ciągu 15 minut nie słychać następnego (*Instrukcja...* 1962). Czasami zdarza się, że obserwator widzi błyskawicę przecinającą niebo, ale nie słyszy wyładowania. W takim przypadku zjawisko to nie zostaje zaliczone do burz występujących w danym rejonie (w dzienniku obserwatora zapisane zostanie jako błyskawica), chociaż wyraźnie wskazuje na pojawienie się burzy w znacznej odległości od stacji. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że z obserwacjami zjawisk meteorologicznych wiąże się wiele trudności wpływających na ich późniejszą analizę klimatologiczną (Bielec, Kolendowicz 2001). Z tego powodu w badaniach dotyczących występowania burz najbardziej pewnym wskaźnikiem charakteryzującym ich częstość na danym terenie jest liczba dni z burzą, która może być uzupełniona bardziej szczegółową analizą liczby występujących burz, ich przebiegiem dobowym i czasem trwania. Obecnie, dzięki znacznemu rozwojowi techniki (mając do dyspozycji zdjęcia satelitarne, obrazy radarowe czy dane z systemów wyładowań atmosferycznych), możemy poznać dodatkowe cechy występowania rozpatrywanego zjawiska, takie jak: szczegółową charakterystykę struktury chmur burzowych (ich rozmiary, wielkość i rodzaj cząstek opadu), dokładną lokalizację, wielkość i rodzaj wyładowań atmosferycznych (dodatnie lub ujemne, doziemne, międzycmurowe lub wyładowania ku górnym warstwom atmosfery).

Warto pamiętać, że burza jest swojego rodzaju zespołem zjawisk atmosferycznych. Zwykle wyładowaniom atmosferycznym towarzyszą: porywisty wiatr, silnie zmieniający kierunek i prędkość, tornada, opady deszczu lub gradu (rzadziej śniegu – w chłodnej połowie roku) o różnym natężeniu, a także znaczne zmiany ciśnienia powietrza atmosferycznego i wilgotności powietrza (ryc. 77). W niektórych przypadkach jako zjawisko towarzyszące



Ryc. 77. Przykładowy, automatyczny zapis wartości wybranych elementów meteorologicznych podczas przejścia burzy (za Magono 1980)

występują również trąby powietrzne zwane powszechnie tornadami. I to właśnie pierwsze trzy z wymienionych zjawisk (wyładowania atmosferyczne, wiatr i opady) są odpowiedzialne za większość szkód powstałych w wyniku przejścia burzy. Mogą one wystąpić łącznie lub pojedynczo. W zależności od etapu rozwoju burzy przemieszczającej się nad danym obszarem, wymienione zjawiska mogą pojawić się jako towarzyszące wyładowaniom atmosferycznym, poprzedzać je lub wystąpić już po ostatnim grzmocie. Ich siła lub natężenie zależą od rodzaju burzy i niesionej przez nią energii. W przypadku wystąpienia wspomnianych zjawisk, którym nie towarzyszy wyładowanie atmosferyczne, rozpatrywane są one jako zjawiska samodzielne.

W niniejszym rozdziale zaprezentowane zostaną przyczyny i skutki najgroźniejszych burz, jakie wystąpiły w latach 1961–2018 w Krakowie i powiecie krakowskim. Jak już wcześniej wspomniano, intensywność burz, ich siła i skala powstałych zniszczeń mogą być bardzo różne. Bardzo trudno jest także zdefiniować pojęcia słabej, silnej lub bardzo silnej burzy. Zwykle są to kryteria subiektywne i najczęściej burza oceniana jest po skutkach, jakie wywołała. Z tego powodu nawet bardzo silna burza przechodząca nad np. trawiastym i niezamieszkałym obszarem może nie być odnotowana jako groźna. Inne podejście do oceny siły omawianego zjawiska polega na ocenie siły zjawisk jej towarzyszących. Burza uznawana jest za groźną, jeżeli towarzyszy jej co najmniej jedno zjawisko:

- grad o średnicy co najmniej 5 mm,
- wysokie opady (często opady ulewne i nawalne),
- wiatr przy powierzchni ziemi o prędkości około 90 km/h (25 m/s),
- trąba powietrzna (w terminologii angielskojęzycznej najczęściej zwana tornadem).

Jednak w Polsce o wydaniu komunikatu o zagrożeniu burzami decydują kryteria opisane w *Załączniku* na końcu książki.

Ze względu na gwałtowny charakter omawianego zjawiska bardzo często jest ono zaliczane do ekstremalnych zjawisk meteorologicznych. Należy jednak zauważyć, że w większości przypadków jest to błędem, i to zarówno rozpatrując ich występowanie w ujęciu probabilistycznym, jak i ich oddziaływanie na środowisko.

W pierwszym przypadku, zgodnie z obowiązującymi zasadami, do zjawisk ekstremalnych zaliczane są te, które rzadko występują w danym miejscu i porze roku (z częstością mniejszą/większą lub równą wartości 10/90 percentyla wszystkich analizowanych przypadków; IPCC 2007). W Polsce burze występują głównie od kwietnia do września (około 97%), stanowiąc nawet do około 25% wszystkich dni tego okresu. Oznacza to, że występują znacznie częściej niż wyznaczają to określone w definicji progi częstości. Jeżeli jednak rozpatrywać będziemy ich występowanie w chłodnej połowie roku, czy też pojawianie się burz gradowych (rzadko notowanych więcej niż raz w roku), to takie zjawiska uznamy za ekstremalne.

Rozpatrując oddziaływanie burz i zjawisk im towarzyszących na środowisko, pod uwagę najczęściej bierzemy takie cechy jak: regularność i intensywność ich występowania oraz wielkość powstałych szkód. Jeżeli te ostatnie, szczególnie występujące nieregularnie, noszą znamiona klęski żywiołowej, to burzę taką możemy uznać za zjawisko ekstremalne (Pruchnicki 1999; Wisner i in. 2004; Beniston i in. 2007). W Polsce w większości przypadków przebieg analizowanego zjawiska nie wskazuje na ich wyjątkowy charakter. Warto jednak zauważyć, iż pojawiają się sygnały o wzroście ogólnej intensywności burz. Jednocześnie nie można zapominać, że zmiana naszego spojrzenia (nawet popartego wskaźnikami strat) może wynikać z gwałtownego wzrostu zainteresowania zmianami klimatu oraz z faktu, iż bogacenie się społeczeństw oznacza również wzrost wartości strat powodowanych przez zjawiska przyrodnicze.

Potencjalnie najgroźniejszym **opadem burzowym** i związanym jedynie z chmurami burzowymi *Cumulonimbus* jest **opad gradu** (fot. 6). W Polsce zjawisko to notowane jest niezwykle rzadko, poza obszarami góorskimi od średnio około 0,5 do około 2 przypadków rocznie. W wyjątkowych przypadkach, tak jak w 1977 r. w Świnoujściu, odnotowano 8 dni z gradem w roku (Bielec-Bąkowska 2013). Jedynie na terenach o bardziej zróżnicowanej rzeźbie terenu częstość występowania gradu jest większa i od 1985 r. średnie roczne wartości badanego elementu wynoszą 3,5 dnia na Śnieżce oraz 9,5 dnia na Kasprowym Wierchu. Prawie wszystkie przypadki gradu występują w cieplej połowie roku od kwietnia do września,

a warunki najbardziej sprzyjające ich wystąpieniu przypadają na miesiące wiosenne i tylko w rejonie Półwyspu Helskiego jesienią odnotowuje się wtórne maksimum ich częstości (Bielec-Bąkowska 2013, Pożarska i in. 2016). Wśród odnotowanych przypadków opadu gradu dominują te o średnicy poniżej 2 cm. Gradziny przekraczające tę średnicę mogą wystąpić na obszarze Polski w ponad 20 dniach w roku, z czego ponad 70% to grad o średnicy 2–4 cm, 25% o średnicy 4–6 cm i 5% to opad gradu większego niż 6 cm (Taszarek, Suwała 2015). Bardzo rzadko spotykane są przypadki gradu przekraczające 7, a nawet 10 cm średnicy. Stanowią one nieco ponad 10% wszystkich przypadków opadu większego niż 5 cm (Pilorz 2015). Opady gradu o największych średnicach (powyżej 4–5 cm) pojawiają się głównie w lipcu i sierpniu oraz w godzinach popołudniowych (15.00–18.00 UTC; Pilorz 2015; Taszarek, Suwała 2015). Burze gradowe najczęściej związane są z występowaniem nad danym obszarem bruzdy cyklonalnej oraz napływu powietrza z sektora zachodniego i północnego, szczególnie powietrza polarnego morskiego i polarnego kontynentalnego. Zdecydowana większość opadów gradu związana jest również z przemieszczaniem się frontów atmosferycznych, chociaż około 40% przypadków występuje w jednorodnej masie powietrza i często jest to powietrze zwrotnikowe (Bielec-Bąkowska 2010b; Twardosz i in. 2010).



Fot. 6. Opad gradu w Krakowie (fot. K. Piotrowicz)

Opady gradu zazwyczaj trwają bardzo krótko, rzadko przekraczając kilkanaście minut. Do wyjątkowych przypadków należy trwający około 30 minut opad gradu, jaki wystąpił 31 maja 1924 r. (średnica przekraczała wielkość wiśni), który w centrum Krakowa spowodował powstanie warstwy gradzin o grubości około 3 cm (Twardosz i in. 2010).

Szkody wyrządzone przez opad gradu bywają często bardzo dotkliwe, czego przykładem może być opad w dniu 10 czerwca 2013 r. w Tychach i okolicy. W jego wyniku zniszczone zostały m.in.: dachy i elewacje licznych budynków, powybijane szyby w domach i samochodach, zniszczone karoserie pojazdów, uszkodzone drzewa, zerwane linie energetyczne oraz zniszczone okoliczne uprawy. Oszacowane straty przekroczyły 1 milion złotych, a Straż Pożarna interweniowała ponad 140 razy (tvs.pl).

Należy jednak podkreślić, iż bardzo często opadom gradu towarzyszy **porywisty wiatr**, a także **deszcz**, które mogą powodować dodatkowe szkody. Zwykle też wysokość opadów towarzyszących burzy gradowej jest związana głównie z deszczem. Do takich przypadków należał największy opad nawalny odnotowany w Krakowie podczas burzy gradowej 9 września 1963 r. Suma opadu trwającego około 3 godzin wyniosła 99,0 mm, z czego 98,0 mm spadło w ciągu 45 minut (Lewińska 1964, Twardosz 2000; Twardosz i in. 2010).

Wysokość opadów burzowych bywa bardzo różna. Najczęściej pamiętamy te burze o najbardziej gwałtownym charakterze i wysokich opadach, jednak około 15% wszystkich burz, to zjawiska, którym

one nie towarzyszą. Większość opadów burzowych (63,5% wszystkich przypadków) waha się od 0,1 do 10,0 mm, czyli jest opadem słabym. Wyższe opady (od 10,1 do 20,0 mm) stanowią średnio 14,5% wszystkich przypadków, opady silne (od 20,1 do 30,0 mm) 4,4%, a opady bardzo silne (≥ 30 mm) zdarzają się jedynie w około 3% przypadków (Bielec-Bąkowska, Łupikasza 2009). Oznacza to, że poza obszarami górkimi, najwyższe z opadów burzowych są notowane rzadziej niż raz w roku.

W przypadku porywów wiatru, wyjątkowo duże szkody wyrządzane są, gdy przybierają one formę:

- silnych prądów zstępujących i docierających z chmury burzowej do powierzchni Ziemi, a następnie rozplywających się we wszystkich kierunkach (*downburst*; Wilson, Wakimoto 2001),
- silnego prostoliniowego wiatru związanego z charakterystycznym kompleksem chmur burzowych (*derecho*), który na obrazach radarowych przybiera charakterystyczny kształt łuku (*bow echo*) (Celiński-Mysław 2014, Celiński-Mysław, Palarz 2017b).

Zjawisko *downburst*, a szczególnie jego odmiana zwana *microburst*, charakteryzuje się niewielkim zasięgiem przestrzennym (około 4 km), krótkim czasem trwania (zwykle 2–5 minut) oraz prędkością wiatru znacząco przekraczającą 100 km/h. Takie podmuchy wiatru są szczególnie niebezpieczne podczas startu i lądowania w obszarze, nad którym przemieszczają się chmury burzowe.

Znacznie większy obszar obejmują zniszczenia związane z występowaniem *derecho*, czasami mylone ze skutkami przejścia tornada. Bardzo silny wiatr prostoliniowy towarzyszący burzom (o prędkości powyżej 24–26 km/h), trwający ponad 30 minut, zazwyczaj pozostawia po sobie pas zniszczeń o długości przekraczającej 400 km (Walczakiewicz, Ostrowski 2010). W Polsce do największych szkód powstałych w wyniku przejścia *derecho* należy zaliczyć uszkodzenia ponad 45 tys. ha lasów, w tym 11% powierzchni Puszczy Piskiej. Dramatyczny przebieg miało także wystąpienie „białego szkwału” 21 sierpnia 2007 r. na jeziorach mazurskich, podczas którego silne porywy wiatru związane z przejściem burzy zatopiły 15 jachtów, a śmierć poniosło 12 osób.

Rzadkim, ale bardzo niebezpiecznym zjawiskiem towarzyszącym burzy jest wystąpienie **trąby powietrznej** powszechnie już zwanej **tornadem**. Prawie zawsze towarzyszy ono chmurom burzowym, ale sporadycznie może występować samodzielnie. Olbrzymie straty powodowane przez tornado związane są z bardzo dużą różnicą ciśnienia powietrza wewnątrz i poza lejem tornado, znaczną prędkością wiatru oraz niesionymi przez wiatr przedmiotami. Skali zniszczeń dopełniają skutki opadów i wyładowań atmosferycznych zwykle występujących wraz z tym zjawiskiem. W Polsce występuje około 8–14 tornad każdego roku, z czego 1–3 to zjawiska silne i bardzo silne (Taszarek, Brooks 2015), a ich siła, tak jak 20 lipca 1931 r. w Lublinie, może dochodzić nawet do F4 w skali Fujity. Na wybrzeżu możliwe jest również obserwowanie około 2–3 trąb wodnych rocznie. Znaczna ilość energii niezbędna do powstania rozpatrywanego zjawiska powoduje, że występuje ono od maja do września, a maksimum jego aktywności dobowej przypada na godziny między 15.00 a 18.00 UTC. Słabe tornado mogą wystąpić na obszarze prawie całego kraju. Jednak najczęściej, poza Pobrzeżem, tornado występują w pasie ciągnącym się od Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej aż do Niziny Mazowieckiej. Tam też zwykle pojawiają się najsilniejsze z zarejestrowanych zjawisk. Szacuje się, że w ciągu dekady odnotowuje się 1 lub 2 tornado (stanowiące 5–10% silnych tornad) powodujących do około 5 ofiar śmiertelnych (Taszarek, Gromadzki 2017). Do takich zjawisk występujących w południowej Polsce należy zaliczyć tornado, jakie wystąpiło: 12 maja 1851 r. w Charsznicy oraz 18 lipca 1851 r. w Bobrownikach i Szopienicach w województwie śląskim (w sumie 15 ofiar śmiertelnych), 1 czerwca 1853 r. w Wieliczce (1 ofiara śmiertelna) i 5 sierpnia 1922 r. w Jędrzejowie w Małopolsce (8 ofiar śmiertelnych), 13 czerwca 1946 r. w Zabrzegu (1 ofiara śmiertelna) oraz 5 sierpnia 2008 r. w Rusinowicach (2 ofiary śmiertelne) w województwie śląskim (Taszarek, Gromadzki 2017).

Nie można także zapominać o tragicznych w skutkach samych **wyładowaniach atmosferycznych** (fot. 7), które są wyznacznikiem wystąpienia burzy. Ich powstanie związane jest ze zróżnicowanym rozmieszczeniem ładunków elektrycznych w chmurze burzowej oraz na powierzchni Ziemi. Powoduje to powstanie napięcia pomiędzy fragmentami chmury, między chmurami lub między chmurą a ziemią. Efektem tak dużych różnic potencjału elektrycznego jest powstanie przepływu ładunku w postaci wyładowania

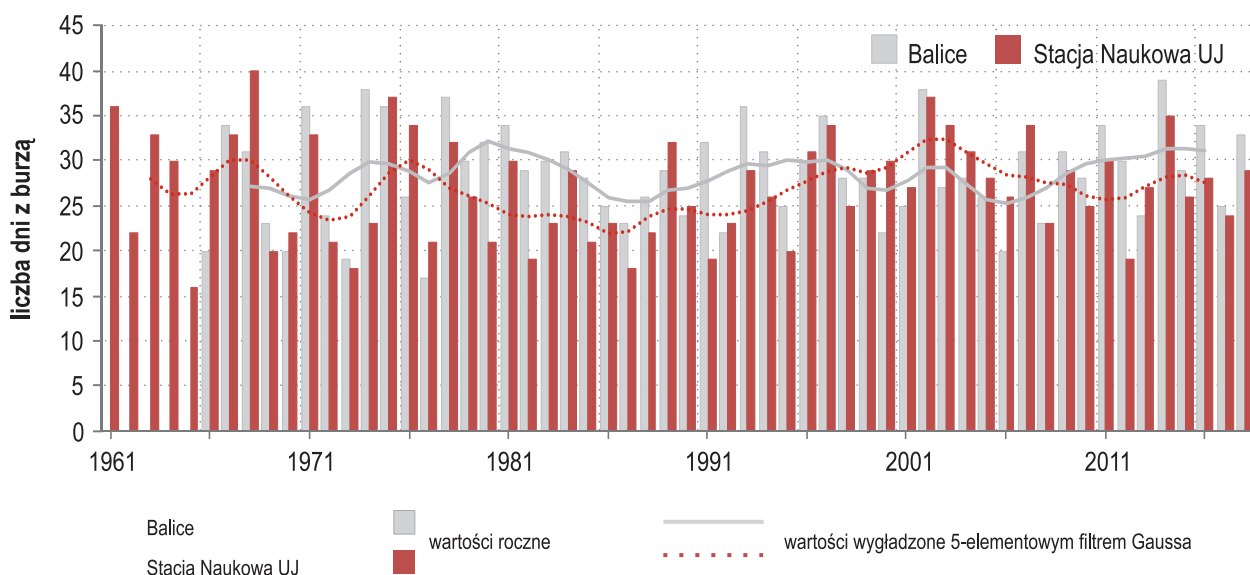
atmosferycznego. Towarzyszy mu silny rozbłysk światła (błyskawica) oraz grzmot zwany piorunem. Wyładowania te mogą przybierać różne formy. Najbardziej znane to błyskawice: liniowe, płaskie, wstęgowe i kuliste. Rozpatrywane wyładowania zachodzą w kanałach silnie zjonizowanego powietrza. Gwałtowny wzrost temperatury powietrza podczas wyładowania (temperatura powietrza sięga od około 10 000°C do nawet 30 000°C) oraz jednoczesny chemiczny rozpad pary wodnej na tlen i wodór powodują znaczne rozprężenie powietrza, a następnie jego gwałtowne oziębienie. Podczas wyładowania wydziela się olbrzymia ilość energii, której towarzyszy błysk, a zmiana objętości gazu powoduje falę akustyczną znaną jako grzmot. Większość wyładowań nie czyni znaczących szkód w środowisku, jednak w niektórych przypadkach energia niesiona wraz z wyładowaniem potrafi rozerwać pnie drzew, niszczyć budynki, inicjować pożary czy powodować awarie sieci elektrycznych i przyłączonych do nich urządzeń. Porażenie piorunem człowieka zwykle kończy się jego śmiercią lub poważnymi obrażeniami. Związane jest to z działaniem prądu, który zaburza funkcjonowanie układu nerwowego człowieka oraz poraża działanie mięśni poszczególnych organów, w tym serca i płuc.



Fot. 7. Wyładowanie atmosferyczne (piorun) nad Krakowem (fot. S. Wypych)

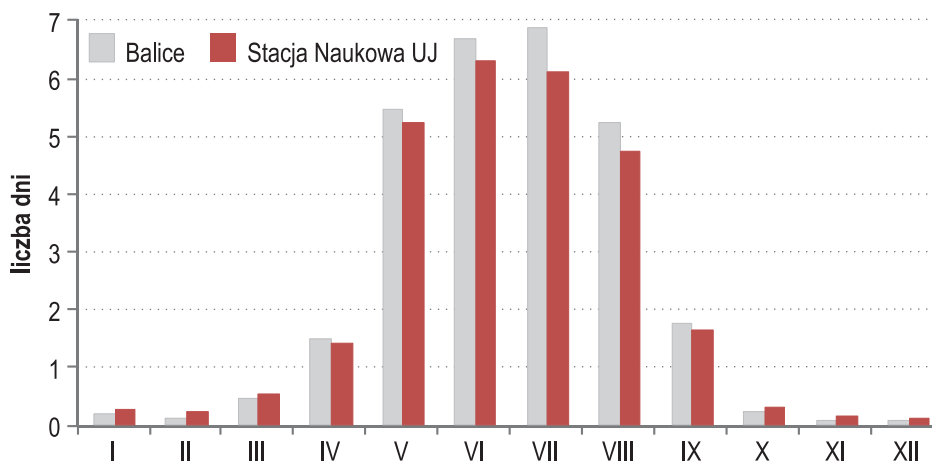
6.1. Burze w latach 1961–2018

Występowanie burz w południowej Polsce nie różni się znacząco od pojawiania się tego zjawiska w innych regionach kraju. W rozpatrywanym okresie (1961–2018; w przypadku obserwacji w Balicach w latach 1966–2018) średnio notowano 27,0 dni z burzą w centrum Krakowa i 28,6 dnia w Balicach, z czego zdecydowana większość występowała od kwietnia do października (94,1% na Stacji Naukowej UJ i 96,0% w Balicach). Mimo iż liczba dni burzowych odnotowanych na obu stacjach różni się nieco w poszczególnych latach, ogólny przebieg jej zmian jest zbliżony (ryc. 78). Na każdej ze stacji notowano przynajmniej 16 dni burzowych w roku, a największa ich liczba w centrum miasta wyniosła 40 w 1967 r., w Balicach natomiast 39 w 2014 r. Zwykle roczne różnice liczby dni z burzą nie były zbyt duże, jednak w 1990 r. w Balicach było ich aż o 13, a w 1974 r. o 15 więcej niż w centrum Krakowa.



Ryc. 78. Roczna liczba dni z burzą na Stacji Naukowej UJ (1961–2018) i w Balicach (1966–2018)

Opisywane zróżnicowanie widoczne jest także w miesięcznej liczbie dni burzowych (ryc. 79; tab. 24). W ciepłej porze roku średnie wartości rozpatrywanego wskaźnika są wyższe na stacji pozamiejskiej i dochodzą do 6,9 dnia w lipcu, podczas gdy na Stacji Naukowej UJ sięgają jedynie 6,3 w czerwcu. Odwrotna sytuacja występuje w porze chłodnej, podczas której ocieplający wpływ miasta oraz większa liczba jąder kondensacji sprzyja nieco większej częstotliwości występowania burz w Krakowie. Na rozpatrywanym obszarze okres największej częstotliwości występowania burz przypada na miesiące od kwietnia do sierpnia. W tym sezonie średnia miesięczna liczba dni z burzą waha się od 4,7 dnia w Krakowie do 6,9 dnia w Balicach. Jednak zdarzają się lata, w których burze w wymienionych miesiącach występują nawet co drugi lub trzeci dzień. W sezonie chłodnym nieco częściej możemy spodziewać się burz w początkowych niż w ostatnich miesiącach roku. I chociaż zwykle są to pojedyncze dni i notowane raz na kilka lat, pojawiają się przypadki wystąpienia kilku takich dni w miesiącach chłodnych, a nawet zimowych. Przykładem mogą być cztery dni z burzą zanotowane w styczniu 1976 r. oraz trzy w styczniu 1993 r. Powodem pojawienia się tak rzadkiego zjawiska meteorologicznego w chłodnej połowie roku jest przemieszczanie się nad Polską wyjątkowo dynamicznych układów niskiego ciśnienia, którym towarzyszą fronty atmosferyczne i burze.



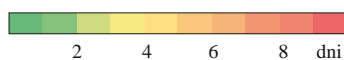
Ryc. 79. Średnia miesięczna liczba dni z burzą na Stacji Naukowej UJ (1961–2018) i w Balicach (1966–2018)

Tabela 24. Miesięczna liczba dni z burzą na Stacji Naukowej UJ (1961–2018) i w Balicach (1966–2018)

| Rok | Liczba dni z burzą w Balicach | | | | | | | | | | | | Rok | |
|------|-------------------------------|----|-----|----|----|----|-----|------|----|---|----|-----|------|------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | | |
| 1961 | brak danych | | | | | | | | | | | | 1961 | |
| 1962 | brak danych | | | | | | | | | | | | 1962 | |
| 1963 | brak danych | | | | | | | | | | | | 1963 | |
| 1964 | brak danych | | | | | | | | | | | | 1964 | |
| 1965 | brak danych | | | | | | | | | | | | 1965 | |
| 1966 | | | | 2 | 4 | 8 | 4 | 1 | 1 | | | | 1966 | |
| 1967 | 3 | 1 | | 3 | 6 | 9 | 8 | 4 | | | | | 1967 | |
| 1968 | | | 1 | 2 | 6 | 8 | 4 | 8 | 2 | | | | 1968 | |
| 1969 | | | | | 6 | 8 | 7 | 1 | 1 | | | | 1969 | |
| 1970 | | | | | 4 | 6 | 3 | 5 | 2 | | | | 1970 | |
| 1971 | | | | | 11 | 13 | 6 | 4 | 2 | | | | 1971 | |
| 1972 | | | | 2 | 5 | 5 | 7 | 5 | | | | | 1972 | |
| 1973 | | | | | 5 | 2 | 4 | 5 | 2 | | | 1 | 1973 | |
| 1974 | | | | | 7 | 11 | 11 | 8 | | | | 1 | 1974 | |
| 1975 | | | 2 | | 6 | 8 | 5 | 11 | 3 | 1 | | | 1975 | |
| 1976 | 2 | | | | 3 | 3 | 8 | 6 | 4 | | | | 1976 | |
| 1977 | | | | | 3 | 3 | 3 | 5 | 3 | | | | 1977 | |
| 1978 | | | | 3 | 7 | 9 | 7 | 9 | 1 | 1 | | | 1978 | |
| 1979 | | | | 1 | 7 | 8 | 6 | 6 | 1 | | | 1 | 1979 | |
| 1980 | | | 1 | 2 | 2 | 9 | 11 | 6 | 1 | | | | 1980 | |
| 1981 | | | 1 | | 8 | 7 | 7 | 7 | 2 | 2 | | | 1981 | |
| 1982 | | | | | 5 | 9 | 7 | 4 | 4 | | | | 1982 | |
| 1983 | 1 | | 1 | 3 | 7 | 5 | 6 | 6 | 1 | | | | 1983 | |
| 1984 | | | 1 | 2 | 8 | 6 | 4 | 8 | 2 | | | | 1984 | |
| 1985 | | | | 4 | 6 | 6 | 7 | 3 | 2 | | | | 1985 | |
| 1986 | | | | 3 | 4 | 7 | 5 | 6 | | | | | 1986 | |
| 1987 | 1 | | | | | 5 | 8 | 5 | 4 | | | | 1987 | |
| 1988 | | | 2 | | 8 | 5 | 5 | 3 | 1 | | | 1 | 1 | 1988 |
| 1989 | | | | 5 | 8 | 7 | 6 | 3 | | | | | | 1989 |
| 1990 | | | 1 | 2 | 7 | 6 | 2 | 5 | 1 | | | | | 1990 |
| 1991 | | | 1 | 3 | 4 | 7 | 5 | 7 | 4 | 1 | | | | 1991 |
| 1992 | | | 1 | 1 | 2 | 5 | 8 | 3 | 1 | | | 1 | | 1992 |
| 1993 | 1 | | | 1 | 8 | 12 | 8 | 3 | 2 | 1 | | | | 1993 |
| 1994 | 1 | | 3 | | 7 | 3 | 4 | 7 | 5 | 1 | | | | 1994 |
| 1995 | | | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 | 6 | 2 | | | | | 1995 |
| 1996 | | | | | 8 | 8 | 5 | 8 | 1 | | | | | 1996 |
| 1997 | | | | 1 | 6 | 9 | 12 | 2 | 4 | 1 | | | | 1997 |
| 1998 | 1 | | 1 | 3 | 5 | 10 | 4 | 3 | 1 | | | | | 1998 |
| 1999 | | 1 | | 2 | 5 | 5 | 8 | 4 | 3 | | | | | 1999 |
| 2000 | 1 | | 2 | 1 | 2 | 5 | 4 | 6 | | 1 | | | | 2000 |
| 2001 | | | | | 6 | 1 | 10 | 6 | 2 | | | | | 2001 |
| 2002 | | 2 | | 3 | 10 | 8 | 7 | 6 | 1 | 1 | | | | 2002 |
| 2003 | | | | 2 | 4 | 5 | 10 | 5 | 1 | | | | | 2003 |
| 2004 | | | 1 | | 5 | 6 | 8 | 7 | 1 | | | | | 2004 |
| 2005 | 1 | | | 2 | 4 | 6 | 9 | 1 | 3 | | | | | 2005 |
| 2006 | | | | 3 | 2 | 5 | 4 | 4 | 2 | | | | | 2006 |
| 2007 | 2 | | | 1 | 8 | 8 | 7 | 5 | | | | | | 2007 |

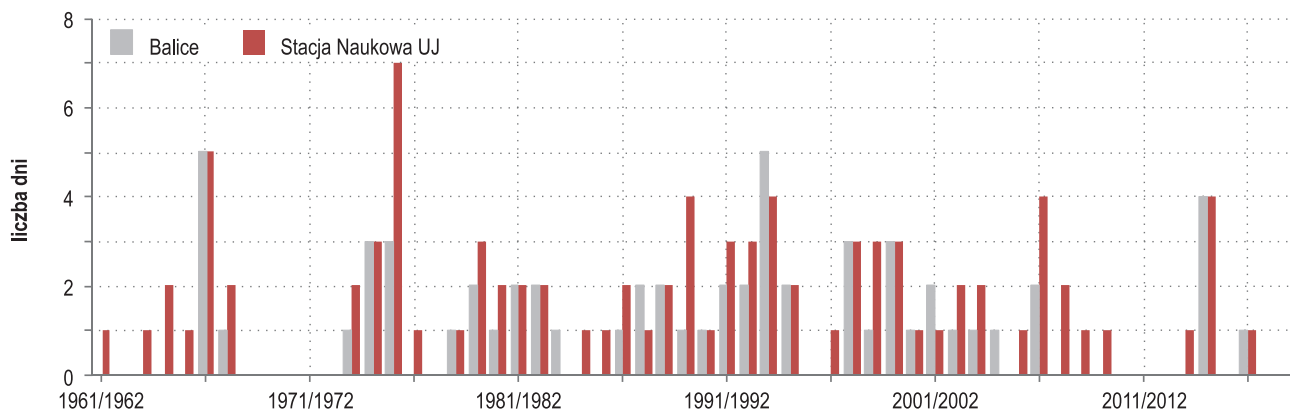
| Liczba dni z burzą na Stacji Naukowej UJ | | | | | | | | | | | | Rok | |
|--|----|-----|----|----|----|-----|------|----|---|----|-----|-----|------|
| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | | |
| | | 1 | 2 | 9 | 10 | 7 | 4 | 3 | | | | | 1961 |
| | 1 | | 3 | 4 | 3 | 8 | 3 | | | | | | 1962 |
| | | | 4 | 10 | 5 | 5 | 3 | 6 | | | | | 1963 |
| | 1 | | 2 | 5 | 9 | 6 | 4 | 1 | | 2 | | | 1964 |
| | | | 1 | 5 | 5 | 2 | 2 | 1 | | | | | 1965 |
| | | 1 | 2 | 5 | 6 | 8 | 4 | 2 | 1 | | | | 1966 |
| | 3 | 1 | | 4 | 5 | 10 | 7 | 3 | | | | | 1967 |
| | | 2 | 4 | 5 | 5 | 5 | 12 | 7 | | | | | 1968 |
| | | | | 5 | 7 | 5 | 3 | | | | | | 1969 |
| | | | | 6 | 7 | 1 | 5 | 3 | | | | | 1970 |
| | | | | 9 | 12 | 8 | 3 | 1 | | | | | 1971 |
| | | | 2 | 5 | 5 | 4 | 4 | 1 | | | | | 1972 |
| | | | | 4 | 3 | 3 | 5 | 1 | | 1 | 1 | | 1973 |
| | | | | 5 | 7 | 7 | 3 | | | | 1 | | 1974 |
| | | 2 | 1 | 6 | 11 | 3 | 9 | 3 | 2 | | | | 1975 |
| 4 | | 1 | | 2 | 3 | 10 | 9 | 4 | | 1 | | | 1976 |
| | | | 1 | 3 | 5 | 4 | 5 | 3 | | | | | 1977 |
| | | | 1 | 5 | 11 | 8 | 5 | 1 | 1 | | | | 1978 |
| | | | 1 | 7 | 9 | 5 | 2 | 1 | | | | 1 | 1979 |
| | 1 | 1 | 3 | 2 | 6 | 6 | 2 | | | | | | 1980 |
| 1 | | 1 | | 5 | 5 | 8 | 6 | 2 | 2 | | | | 1981 |
| | | | | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 | | | | | 1982 |
| 1 | | 1 | 1 | 6 | 3 | 5 | 5 | 1 | | | | | 1983 |
| | | | 4 | 7 | 5 | 5 | 6 | 2 | | | | | 1984 |
| | 1 | | 2 | 6 | 4 | 4 | 3 | 1 | | | | | 1985 |
| 1 | | | 1 | 3 | 6 | 5 | 6 | | | | 1 | | 1986 |
| 1 | | | | 2 | 4 | 6 | 2 | 3 | | | | | 1987 |
| | | 1 | 1 | 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | | 1 | 1 | | 1988 |
| | | | 7 | 7 | 9 | 6 | 2 | | 1 | | | | 1989 |
| | 1 | 2 | 3 | 5 | 7 | 1 | 5 | 1 | | | | | 1990 |
| | | 1 | 1 | 2 | 4 | 2 | 5 | 3 | 1 | | | | 1991 |
| | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 | 7 | 5 | 1 | | | | | 1992 |
| 3 | | | 1 | 7 | 9 | 7 | 1 | 1 | | | | | 1993 |
| 1 | | 3 | 1 | 7 | 1 | 3 | 6 | 3 | 1 | | | | 1994 |
| | | 1 | 1 | 3 | 5 | 4 | 5 | 1 | | | | | 1995 |
| | | | | 6 | 7 | 7 | 9 | 1 | | | 1 | | 1996 |
| | | | 2 | 4 | 9 | 10 | 4 | 4 | 1 | | | | 1997 |
| 1 | | 1 | 1 | 5 | 11 | 3 | 2 | 1 | | | | | 1998 |
| | 3 | | 1 | 5 | 7 | 9 | 2 | 2 | | | | | 1999 |
| 1 | | 2 | 1 | 5 | 5 | 5 | 10 | | 1 | | | | 2000 |
| | | | | 7 | 2 | 10 | 6 | 2 | | | | | 2001 |
| | 1 | | 2 | 9 | 9 | 7 | 7 | 1 | 1 | | | | 2002 |
| | | 1 | 2 | 7 | 7 | 10 | 5 | 1 | 1 | | | | 2003 |
| | | 1 | 1 | 6 | 6 | 9 | 7 | 1 | | | | | 2004 |
| | | | 1 | 5 | 7 | 11 | 2 | 2 | | | | | 2005 |
| | | 1 | 1 | 3 | 6 | 4 | 7 | 1 | 2 | 1 | | | 2006 |
| 1 | | | | 9 | 9 | 6 | 7 | 1 | 1 | | | | 2007 |

| Rok | Liczba dni z burzą w Balicach | | | | | | | | | | | | Liczba dni z burzą na Stacji Naukowej UJ | | | | | | | | | | | | Rok |
|---------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|---------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
| 2008 | | | | | 4 | 5 | 7 | 4 | 3 | | | | 1 | | | 5 | 4 | 5 | 5 | 2 | | 1 | | 2008 | |
| 2009 | | | | 1 | 7 | 12 | 11 | | | | | | | | 1 | 8 | 12 | 8 | | | | | | 2009 | |
| 2010 | | | | 1 | 7 | 5 | 7 | 8 | | | | | | 1 | | 4 | 4 | 8 | 8 | | | | | 2010 | |
| 2011 | | | | | 6 | 7 | 8 | 8 | 5 | | | | | | | 5 | 4 | 7 | 8 | 6 | | | | 2011 | |
| 2012 | | | | 2 | 4 | 6 | 12 | 5 | 1 | | | | | | 1 | 3 | 5 | 7 | 2 | 1 | | | | 2012 | |
| 2013 | | | | 1 | 7 | 10 | 3 | 2 | 1 | | | | | | 1 | 7 | 12 | 3 | 2 | 1 | | | 1 | 2013 | |
| 2014 | | | | | 7 | 4 | 2 | 12 | 10 | 2 | 2 | | | | | 5 | 4 | 2 | 11 | 9 | 2 | 2 | | 2014 | |
| 2015 | | | 2 | 2 | 5 | 7 | 5 | 4 | 4 | | | | | | 2 | | 5 | 5 | 7 | 4 | 3 | | | 2015 | |
| 2016 | | | | 1 | 8 | 10 | 11 | 3 | 1 | | | | | | | 1 | 6 | 10 | 7 | 2 | 2 | | | 2016 | |
| 2017 | | | 1 | 1 | 3 | 6 | 8 | 4 | 2 | | | | | | 1 | 1 | 3 | 5 | 8 | 4 | 2 | | | 2017 | |
| 2018 | | | | 3 | 4 | 9 | 7 | 8 | 2 | | | | | | | 3 | 3 | 7 | 6 | 7 | 2 | | 1 | 2018 | |
| średnia | 0,2 | 0,1 | 0,5 | 1,5 | 5,5 | 6,7 | 6,9 | 5,2 | 1,8 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,5 | 1,4 | 5,2 | 6,3 | 6,1 | 4,7 | 1,7 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | średnia |
| max | 2 | 3 | 3 | 7 | 11 | 13 | 12 | 11 | 5 | 2 | 1 | 1 | 4 | 3 | 3 | 7 | 10 | 12 | 11 | 12 | 7 | 2 | 2 | 1 | max |

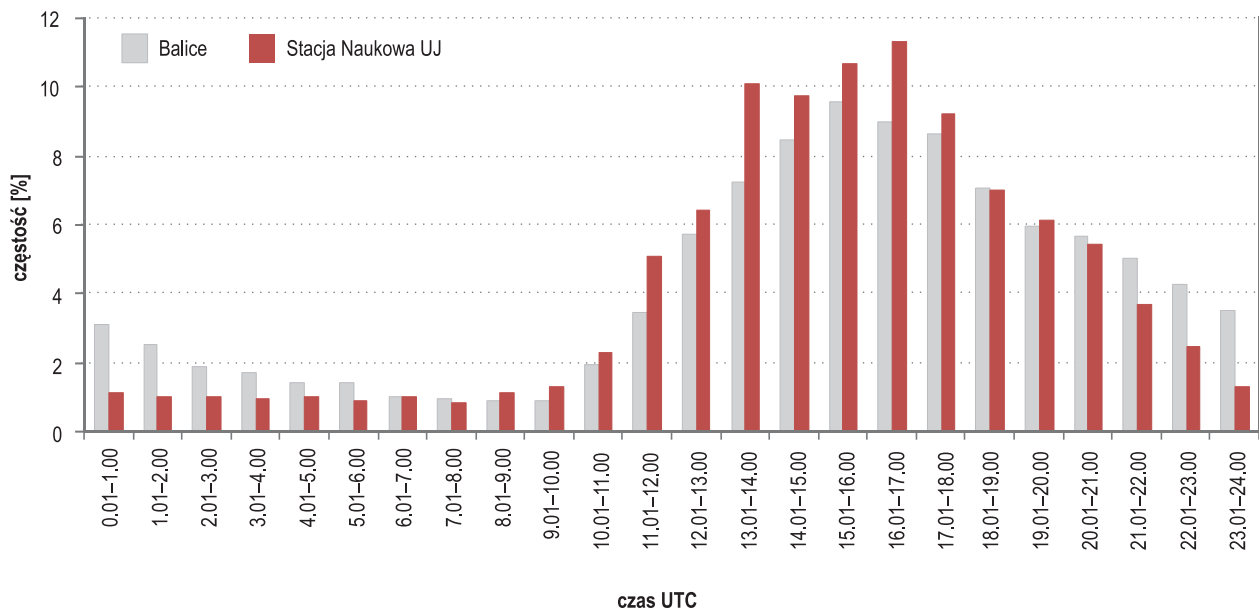


Opisywana liczba dni burzowych występujących w chłodnej połowie roku jest jednym z ciekawszych wskaźników zmian klimatu. Wieloletnie zmiany liczby dni z takimi burzami obserwowane od 1885 r. wskazują na występowanie w Polsce krótkich okresów o wyraźnie większej częstości burz pojawiających się w sezonie chłodnym (Bielec-Bąkowska 2013). Jeden z nich szczególnie silnie zaznaczał się pod koniec XX i na przełomie XX i XXI wieku. Potwierdza to również występowanie burz chłodnej połowy roku w Balicach i Krakowie w latach 1961–2018 (ryc. 80). Okazuje się jednak, że po wielu latach, w których prawie zawsze przynajmniej raz notowano burze w sezonie chłodnym, od 2009 r. zjawisko to występuje znacznie rzadziej.

Warunkiem wystąpienia burzy jest pojawienie się stanu znacznej chwiejności powietrza, związanych z nią silnych prądów wstępujących oraz uskoków wiatru (znaczących zmian kierunku i prędkości wiatru z wysokością). Warunki takie występują zarówno na frontach atmosferycznych, jak i w jednorodnej masie powietrza. W obu przypadkach ważnym czynnikiem powodującym lub wzmacniającym istnienie warunków sprzyjających powstawaniu burz jest nagrzewanie się powietrza od podłoża. W warunkach pogody radiacyjnej jest ono szczególnie silne w godzinach południowych i popołudniowych. Z tego powodu dobowe maksimum występowania burz przypada na godziny od 13.00 do 18.00 UTC (ryc. 81).



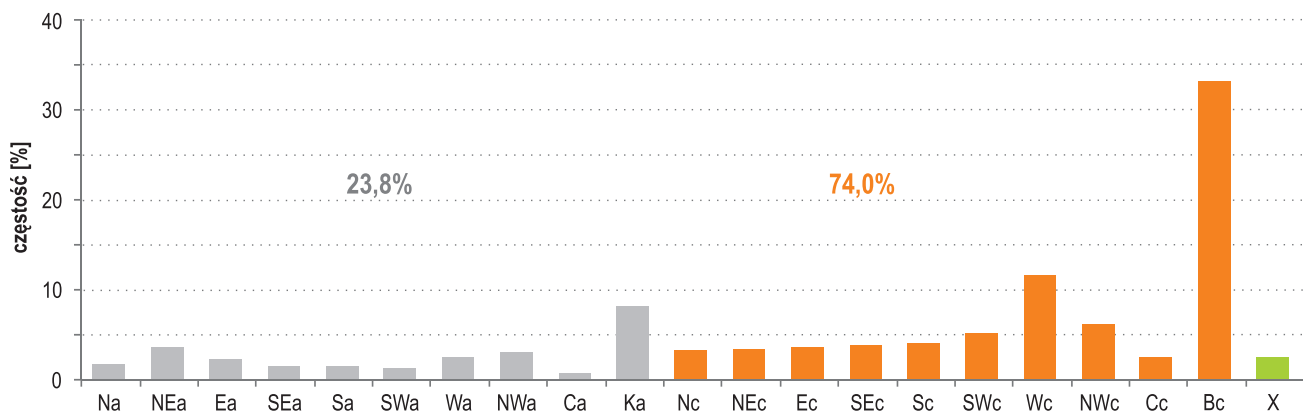
Ryc. 80. Liczba dni z burzą na Stacji Naukowej UJ (1961–2018) i w Balicach (1966–2018) w okresie od października do marca



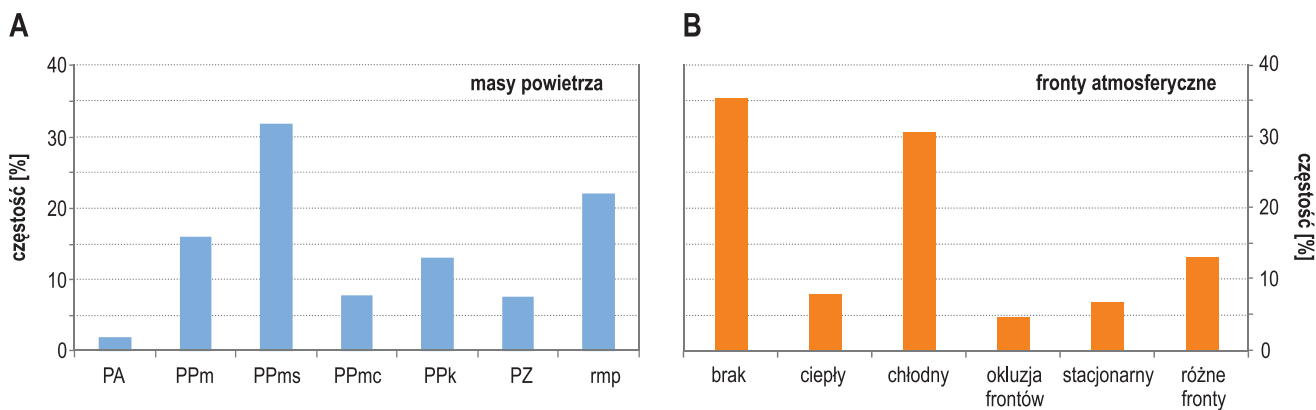
Ryc. 81. Częstość [%] występowania burz w przebiegu dobowym na Stacji Naukowej UJ (1896–1995) i w Balicach (1993–2018)

Synoptyczne uwarunkowania występowania burz najczęściej charakteryzowane są poprzez typ cyrkulacji atmosferycznej, rodzaje mas powietrza oraz frontów atmosferycznych występujących nad danym regionem w poszczególnych dniach. W przypadku Krakowa i powiatu krakowskiego do najbardziej sprzyjających typów cyrkulacji należy zaliczyć występowanie sytuacji cyklonalnych, którym towarzyszy 74,0% wszystkich zanotowanych na obu stacjach burz. Dotyczy to przede wszystkim bruzdy cyklonalnej (Bc – 32,4%) i adwekcji powietrza z sektora zachodniego (typy SWc – 4,9%, Wc – 11,3%, NWc – 5,9%; ryc. 82). Znacznie rzadziej burze pojawiają się podczas pogody antycyklonalnej (23,8%), w szczególności w dniach, w których nad południową Polską zalega klin antycyklonalny (Ka – 7,8%) oraz napływa powietrze z północnego zachodu (Nwa – 2,9%) i północnego wschodu (NEa – 3,4%).

Ponad połowa burz związana jest z napływem nad badany region powietrza polarnego morskiego (PPm, PPms, PPmc – stanowiąc w sumie 55,5% wszystkich dni z burzą), które zwykle, przemieszczając się z Atlantyku, przynosi ciepłe i wilgotne powietrze, zapewniając tym samym niezbędny do powstania burz dopływ energii i pary wodnej (ryc. 83). Znacznie rzadziej burze towarzyszą masom powietrza polarnego kontynentalnego (PPk – 13,1%) oraz różnym masom powietrza przemieszczającym się w danym dniu nad badanym obszarem (rmp – 22,0%).



Ryc. 82. Częstość [%] występowania burz w typach cyrkulacji atmosfery na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1961–2018 (objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*)

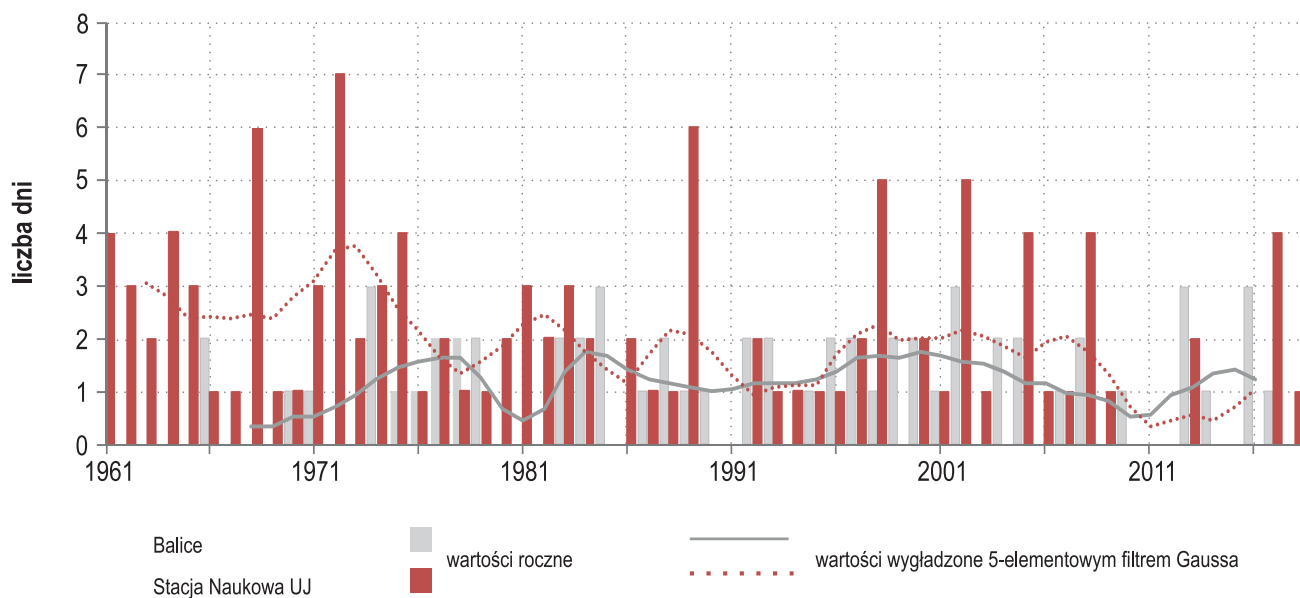


Ryc. 83. Częstość [%] występowania burz w poszczególnych masach powietrza (A) oraz podczas przechodzenia frontów atmosferycznych (B) na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1961–2018 (objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*)

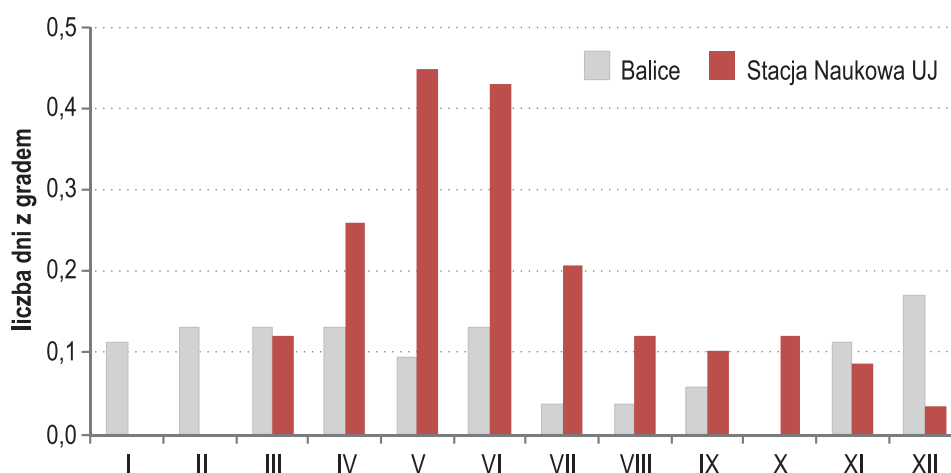
Ścieranie się różnych mas powietrza często stanowi czynnik wzmacniający ruchy konwekcyjne i inicjujący powstawanie burz. Z tego powodu burze frontalne dominują wśród wszystkich przypadków tego zjawiska występującego nad rozpatrywanym obszarem, stanowiąc 63,9% wszystkich dni burzowych (ryc. 83). Zdecydowanie najczęściej jest burz, które powstają na bardzo dynamicznych frontach chłodnych, bo aż 31,2%. Mniej jest tych związanych z frontami ciepłymi, stacjonarnymi czy frontami okluzji (4,7–7,9%). Nieco więcej notuje się burz w dniach o dużej dynamice zmian mas powietrza, zwykle związanej z przemieszczaniem się nad Polską dość głębokich układów niskiego ciśnienia, którym towarzyszą różne fronty atmosferyczne (13,2%). Jak już wcześniej wspomniano, burze występują również w jednorodnych masach powietrza, bardzo często po przejściu frontu chłodnego. W analizowanym regionie takie przypadki stanowią 36,1% wszystkich burz. Z reguły są one mniej intensywne niż burze towarzyszące frontom atmosferycznym, ale zawsze stanowią potencjalne zagrożenie dla środowiska i działalności człowieka.

W rozpatrywanych w opracowaniu latach (2000–2018) w Krakowie i powiecie krakowskim nie odnotowano większych szkód powstałych w wyniku **opadu gradu**, który związany jest z pojawieniem się chmury burzowej. Nie oznacza to, że ani razu nie towarzyszył on silnym burzom, które stały się powodem interwencji straży pożarnej. Najprawdopodobniej jednak nie był on głównym czynnikiem powodującym szkody. Wielkość zniszczeń powstałych w rezultacie wystąpienia gradu zależy głównie od jego średnicy oraz prędkości, z jaką uderza w daną powierzchnię (Pilorz 2015). I chociaż czasami trudno oszacować szkody związane jedynie z uderzeniami gradu, bez uwzględnienia towarzyszących mu innych zjawisk meteorologicznych, potrafią być one znaczące. Przykładem może być gradobicie, jakie wystąpiło w Krakowie 31 maja 1924 r. (Twardosz i in. 2010), 10 czerwca 2013 r. w Tychach, 3 lipca 2012 r. w Czechowicach-Dziedzicach (średnica gradu osiągała 7 cm), silne opady wyjątkowo dużego gradu w 2012 r. w wielu regionach Polski, a także tzw. śmiertelne tornada, jakie wystąpiły m.in. w południowej Polsce w 1851 r. w Charsznicy i 1852 r. w Wieliczce, którym towarzyszył grad (Taszarek, Suwała 2015; Taszarek, Gromadzki 2017).

Brak interwencji straży pożarnej w przypadku wystąpienia opadu gradu wynika również z faktu, iż powstałe w ten sposób zniszczenia raczej nie wymagają takich działań, a ślad wystąpienia gradu odnaleźć można w zestawieniach firm ubezpieczeniowych. Z drugiej strony należy pamiętać, że w zdecydowanej większości przypadków średnica gradu jest mniejsza niż 2 cm, a średnia roczna liczba dni z gradem w Polsce waha się od około 0,5 do nieco ponad 2 (Bielec-Bąkowska 2010b). Potwierdzają to dane ze stacji w Balicach i Krakowie, gdzie średnio w roku notuje się odpowiednio 1,2 oraz 1,9 dnia z gradem, przy czym w centrum miasta zaznacza się stopniowy spadek częstości występowania tego zjawiska (ryc. 84). Największe prawdopodobieństwo pojawienia się gradu przypada na miesiące wiosenne i letnie, ale czasami może on wystąpić również w pozostałych sezonach (ryc. 85). Jednak do obserwacji opadów gradu przypisanych do chłodnej połowy roku należy podchodzić z właściwą ostrożnością, ponieważ czasami inne opady lodowe mogą zostać odnotowane jako grad.



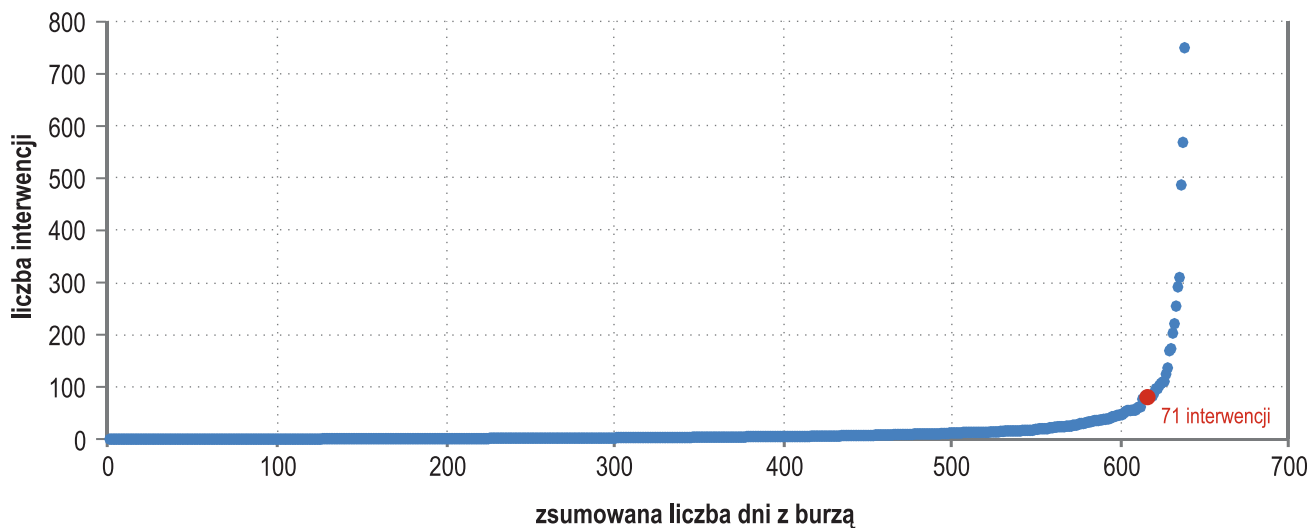
Ryc. 84. Roczna liczba dni z gradem na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018 (dane z Balic od 1966 r.)



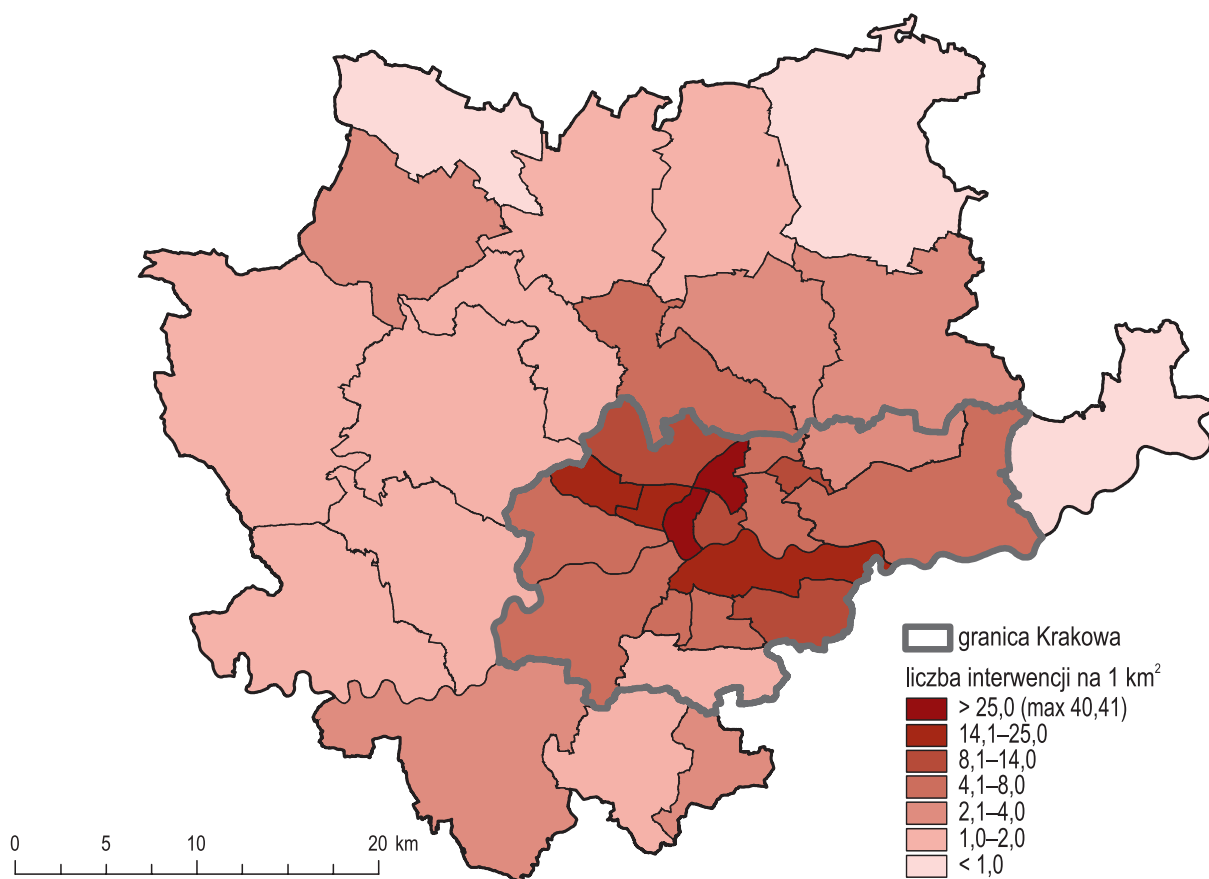
Ryc. 85. Średnia miesięczna liczba dni z gradem na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018 (dane z Balic od 1966 r.)

6.2. Wyjątkowo silne burze i ich skutki w latach 2000–2018

Wśród wszystkich dni z burzą, jakie wystąpiły w Krakowie i/lub powiecie krakowskim, analizie poddano te z interwencją strażaków z Państwowej Straży Pożarnej (ryc. 86). W latach 2000–2018 łącznie było 641 takich dni, przy czym w 76,8% z nich straż pożarna interweniowała mniej niż 10 razy, w 17,0% między 11 a 50, a maksymalnie 753 razy w ciągu doby. Za najbardziej skrajne przypadki, których było 5%, uznano te, w których po burzy straż pożarna musiała interweniować ponad 70 razy. Takich dni było 26 i zostały one wymienione i scharakteryzowane w tabeli 25, a kilka z nich również w poniższym podrozdziale.



Ryc. 86. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej w dniach z burzą w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018



Ryc. 87. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na 1 km² powierzchni w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego w dniach z silnymi burzami w latach 2000–2018

Tabela 25. Charakterystyka dni z silnymi burzami w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018

| Data | Czas występowania | Czas trwania [w godz.] | Typ cyrkulacji | Rodzaj frontu | Masa powietrza | Liczba interwencji straży pożarnej | | | Obszary wystąpienia największej liczby szkód |
|------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------|----------------|------------------------------------|-------------|---------|--|
| | | | | | | Opady | Silny wiatr | Łącznie | |
| 25.07.2001 | popołudnie, wieczór | 4,2 | Nc | z | PPms | 109 | 1 | 110 | gminy Czernichów, Liszki i Skala oraz centrum Krakowa |
| 26.07.2001 | popołudnie | 4,0 | Nc | rf | PPms | 169 | 1 | 170 | gmina Jerzmanowice-Przequina, wschodnia część dzielnicy Dębniki i zachodnia część Nowej Huty |
| 31.07.2002 | popołudnie | 1,4 | SEc | - | PZ | 0 | 79 | 79 | centralna i północno-zachodnia część Krakowa |
| 12.08.2007 | popołudnie | 0,2 | Bc | - | PPms | 87 | 2 | 89 | w pasie od północno-zachodnich do południowo-wschodnich dzielnic Krakowa oraz w zachodniej części Nowej Huty |
| 24.08.2007 | noc | 0,6 | NWa | z | PPm | 1 | 570 | 571 | gminy Skawina, Mogilany, Kocmyrzów-Luborzyca oraz północno-zachodnia, centralna i południowo-wschodnia część Krakowa oraz zachodnia część Nowej Huty |
| 23.06.2008 | popołudnie | 1,1 | Bc | z | PZ | 40 | 42 | 82 | północna i południowo-wschodnia część Krakowa oraz zachodnia część Nowej Huty |
| 22.05.2010 | popołudnie | 3,7 | NEa | - | PPms | 106 | 1 | 107 | gmina Skawina oraz dzielnice Podgórze i Dębniki |
| 04.06.2010 | noc | 2,4 | Nc | o | PPms | 348 | 11 | 359 | gmina Kocmyrzów-Luborzyca, centrum Krakowa |
| 06.08.2010 | popołudnie, wieczór | 2,1 | Ec | - | PPms | 10 | 73 | 83 | południowo-wschodnia część Krakowa |
| 03.06.2013 | popołudnie, wieczór | 3,0 | Nc | pofołowany | PPms | 194 | 10 | 204 | gminy Krzeszowice, Skala, Zielonki |
| 04.06.2013 | południe | 0,2 | NEc | c | PPms | 78 | 3 | 81 | gminy w północnej części powiatu |
| 10.06.2013 | wieczór–noc | 5,0 | Bc | o | PPmc | 115 | 22 | 137 | południowo-wschodnia część Krakowa |
| 11.06.2013 | południe | 3,1 | Bc | o | PPm | 298 | 13 | 311 | gminy Skawina, Mogilany, południowa część Krakowa |
| 25.06.2013 | noc, południe | 0,7 | Cc | c i z | PPm | 271 | 22 | 293 | gmina Zielonki, wschodnia część Krakowa |
| 05.07.2013 | popołudnie, noc | 4,7 | NEa | o | PPmc | 56 | 22 | 78 | gmina Skawina, centrum Krakowa |
| 09.07.2014 | południe | 2,2 | Bc | z | PZ | 171 | 51 | 222 | gminy Wielka Wieś, Zielonki oraz centralna i południowo-wschodnia część Krakowa |
| 31.07.2014 | Popołudnie–wieczór, noc | 5,3 | Bc | pofołowany | PPmc | 82 | 15 | 97 | gminy Krzeszowice, Iwanowice |
| 31.03.2015 | wieczór | 0,4 | Bc | c i z | PPm | 1 | 78 | 79 | cały obszar Krakowa |
| 08.07.2015 | rano | 0,5 | Bc | z | PZ | 5 | 748 | 753 | gminy Wielka Wieś, Zabierzów, Zielonki, cały obszar Krakowa |
| 09.07.2015 | popołudnie | 0,3 | Wc | z | PPm | 0 | 103 | 103 | północno-zachodnia część Krakowa |
| 19.07.2015 | popołudnie, noc | 5,7 | Bc | pofołowany | PZ | 4 | 485 | 489 | gminy w północnej części powiatu oraz centralna i północna część Krakowa |
| 16.08.2015 | popołudnie | 2,4 | SEc | pofołowany | PZ | 113 | 12 | 125 | centrum Krakowa |
| 17.06.2016 | południe | 0,1 | Bc | z | PZ | 0 | 111 | 111 | cały obszar Krakowa |
| 31.07.2016 | popołudnie, noc | 5,0 | Bc | pofołowany | PPmc | 10 | 87 | 97 | centrum Krakowa |
| 23.06.2017 | południe | 0,5 | Bc | c i z | PPmc | 8 | 166 | 174 | centrum i wschodnia część Krakowa |
| 21.06.2018 | noc | 1,3 | SWc | z | PPmc | 0 | 77 | 77 | centrum i wschodnia część Krakowa |

Przykłady omówione w tekście.

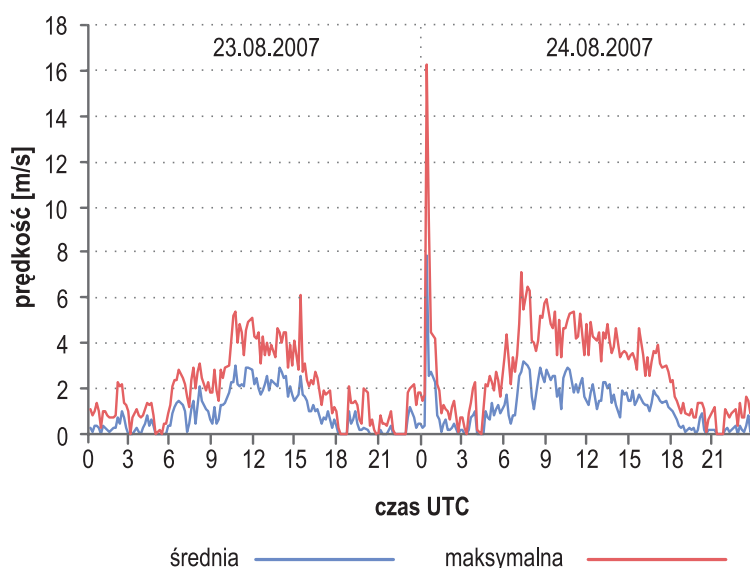
Typ cyrkulacji, rodzaj frontu atmosferycznego i rodzaj masy powietrza według klasyfikacji Niedźwiedzia (2019) – objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. Dane meteorologiczne.

Przestrzenny rozkład wszystkich interwencji strażaków związanych ze skutkami silnych burz wyszczególnionych w tabeli 25, uwzględniając podział na poszczególne jednostki administracyjne Krakowa i powiatu krakowskiego w przeliczeniu na ich powierzchnię, przedstawiono na rycinie 87. Wynika z niej, że skutki silnych burz były największe w Krakowie, zwłaszcza w dzielnicach: Stare Miasto (40,41 interwencji na km²) i Prądnik Czerwony (36,50), a dopiero w dalszej kolejności w Bronowicach (17,16) i Krowodrzy (17,08). Najmniej interwencji było w dzielnicach: Swoszowice (1,64 na km²) i Wzgórza Krzesławickie (3,23). W porównaniu z Krakowem zdecydowanie mniej interwencji związanych z silnymi burzami podejmowano w poszczególnych gminach powiatu krakowskiego. Nieco bardziej pod tym względem wyróżniała się gmina Zielonki (6,90 interwencji na km²), a w dalszej kolejności Skawina (3,85) i Świątniki Górne (2,90). Najmniej interwencji podejmowano w gminach: Igołomia-Wawrzeńczyce (0,30), Sułoszowa (0,49) i Słomniki (0,96).

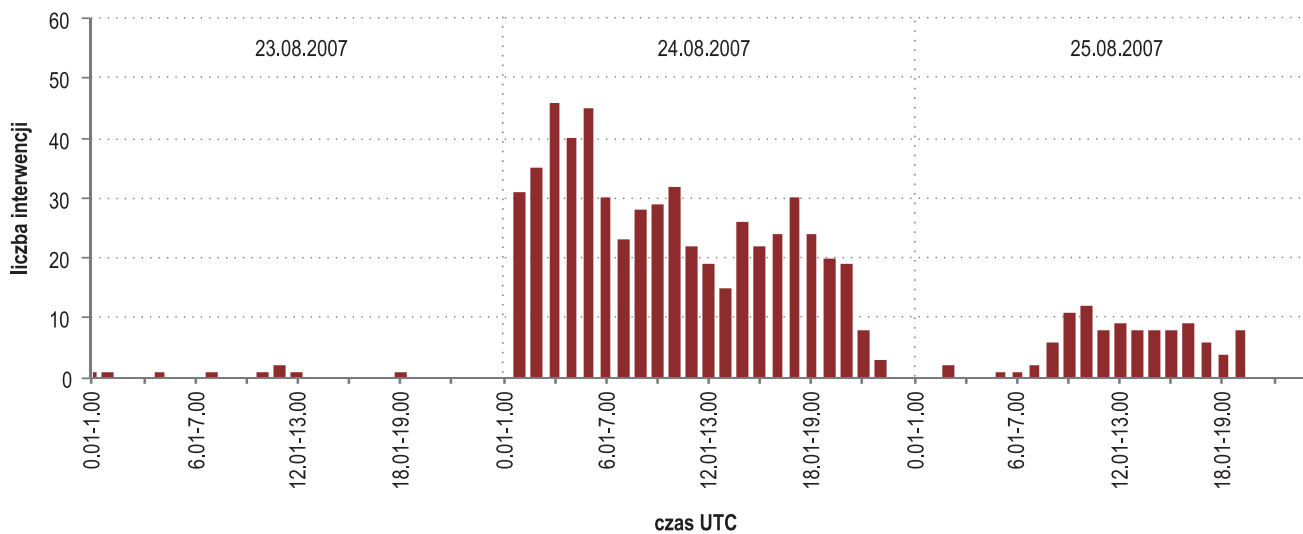
6.3. Wybrane przypadki wystąpienia silnych burz

24 sierpnia 2007 r.

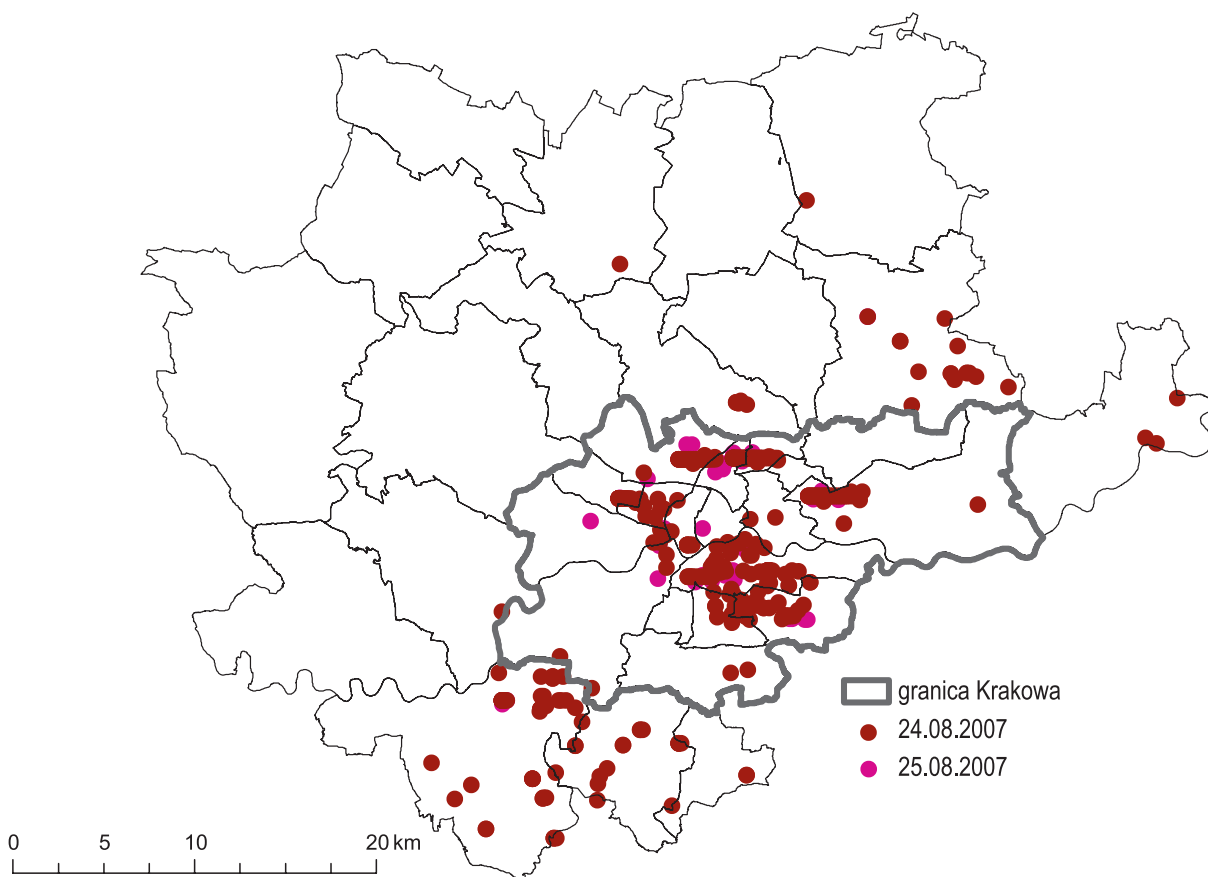
W nocy z 23 na 24 sierpnia burza przechodziła nad obszarem powiatu krakowskiego i Krakowa z południowego zachodu na północny wschód. Jej negatywne skutki były związane z bardzo silnym wiatrem (ryc. 88), którego prędkość w porywach osiągnęła 16,3 m/s na Stacji Naukowej UJ. Wiał on bardzo krótko, tylko około 10 minut, ale zniszczył liczne drzewa i powywracał słupy energetyczne, a te z kolei uszkodziły m.in. samochody i budynki. Straż pożarna od godziny 1.10 w ciągu całej doby interweniowała 571 razy. Największa liczba zgłoszeń (40–46) wpłynęła między 3.00 a 6.00 24 sierpnia (ryc. 89). Tylko jedna interwencja strażaków była związana z opadem deszczu, a pozostałe w związku z silnym wiatrem (tab. 25). Pierwsze zgłoszenia dotyczyły przewróconych drzew w Skawinie, w kolejnych skutki burzy były widoczne w gminie Mogilany oraz Kocmyrzów-Luborzycza oraz w centrum Krakowa i południowo-wschodnich dzielnicach miasta (ryc. 90). Była to rekordowa liczba zgłoszeń w ciągu jednego dnia w porównaniu do szkód wyrządzonych przez silny wiatr od 2000 r. (porównaj wartości z tabeli 17 w rozdziale 4.2 *Wyjątkowo silne porywy wiatru i ich skutki w latach 2000–2018*). Jeszcze następnego dnia strażacy interweniowali 103 razy (ryc. 89). Silnemu wiatrowi nie towarzyszyły intensywne opady, dlatego też strażacy tylko raz wyjeżdżali tej nocy w wyniku szkód jakie wyrządził deszcz.



Ryc. 88. Średnia 10-minutowa i maksymalna prędkość wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniach 23–24.08.2007 r.



Ryc. 89. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 23–25.08.2007 r.



Ryc. 90. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 24–25.08.2007 r.

3–4 czerwca 2010 r.

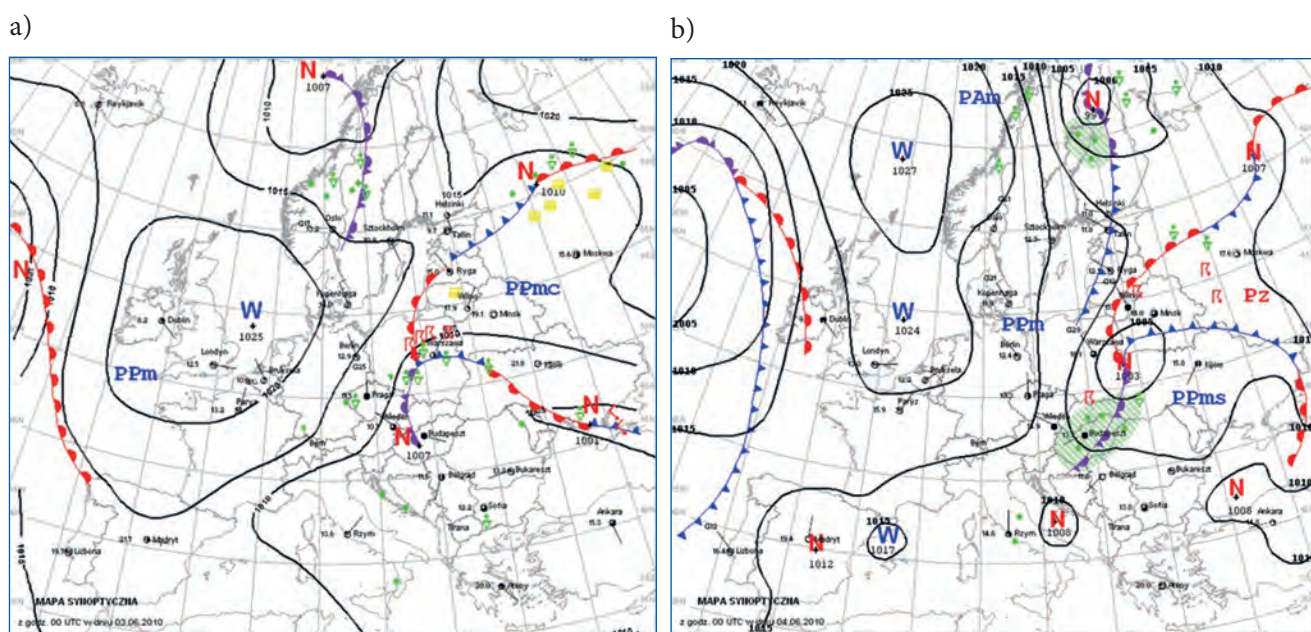
Jedne z silniejszych burz w Krakowie w latach 2000–2018 wystąpiły w nocy z 3 na 4 czerwca 2010 r. Były one obserwowane na stacji w Balicach i Krakowie niemal przez całą noc, od około godziny 21.00 do 5.00 (UTC), w niektórych godzinach jako burze odległe.

Warunki synoptyczne w tych dniach sprzyjały wystąpieniu burz w południowej Polsce. Trzeciego czerwca wschodnia i środkowa część Europy znajdowała się pod wpływem obszaru niskiego ciśnienia z systemem frontów atmosferycznych, które przemieszczały się nad Polską z towarzyszącymi im wyładowaniami atmosferycznymi (ryc. 91a). Do Polski nadciągało jeszcze ciepłe i wilgotne powietrze znanego z Morza Czarnego. Układ niskiego ciśnienia powoli odsuwał się na wschód, a na jego miejsce wkraczał wyż, którego centrum rozciągało się nad Wielką Brytanią. Według klasyfikacji Niedźwiedzia (2019) dominującym typem cyrkulacji tego dnia była bruzda cyklonalna (Bc), a więc typ, w którym najczęściej tworzą się burze. W ciągu kolejnej doby niż z systemem frontów przemieścił się dalej na wschód (ryc. 91b), jednak południowa część Polski nadal znajdowała się w zasięgu frontu okluzji. Do Polski zachodniej zaczęło napływać już chłodniejsze powietrze polarne morskie z północy (Nc).

Warunki meteorologiczne towarzyszące przemieszczającym się frontom atmosferycznym sprzyjały rozwojowi burz, co potwierdza wartości energii potencjalnej dostępnej dla konwekcji (CAPE) o godzinie 00 UTC, która w południowej Polsce wyniosła ponad 1000 J/kg (Celiński-Mysław, Palarz 2017a). W związku z tym wzdłuż linii frontu rozwinęły się liniowe struktury konwekcyjne (ryc. 92), które w godzinach nocnych dotarły nad Kraków.

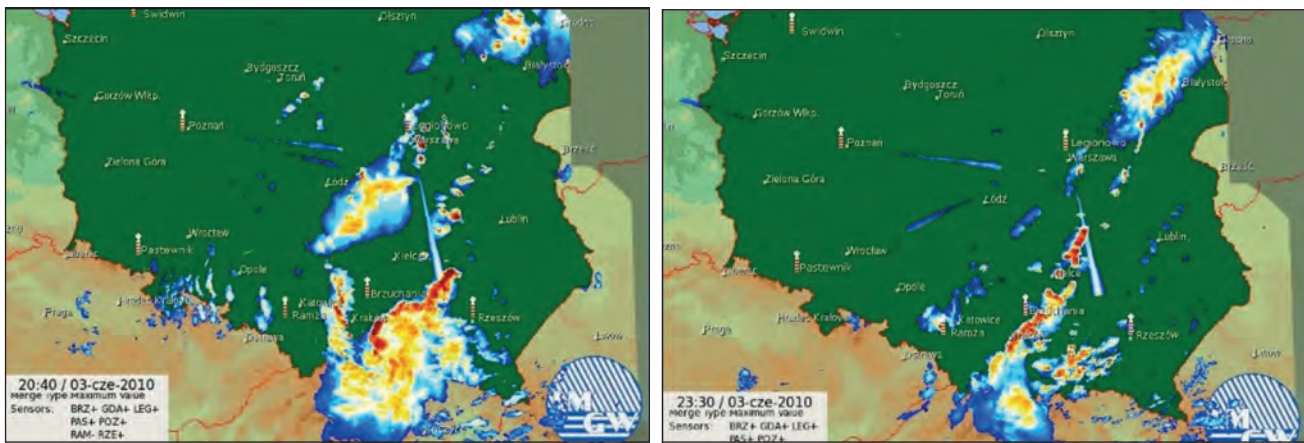
Pogoda towarzysząca nocnym burzom spowodowała liczne straty. Były one wynikiem wystąpienia intensywnych opadów deszczu (w centrum Krakowa odnotowano 43,3 mm, natomiast w Balicach 26,4 mm) oraz silnych porywów wiatru (ryc. 93). Jego prędkości zwykle utrzymywały się w przedziale około 3–5 m/s, a najsilniejsze porywy sięgały prawie 7 m/s w Krakowie i 11 m/s w Balicach. Z opisywanymi zmianami pogody związany był także znaczny spadek temperatury powietrza i wzrost wilgotności, zjawisko często spotykane podczas przejścia burzy.

Siłę przechodzącej burzy odzwierciedla znaczna liczba interwencji straży pożarnej (ryc. 94). Pierwsze pojedyncze interwencje związane z powoli nadciągającymi opadami miały miejsce około godziny 20.00. W kolejnych



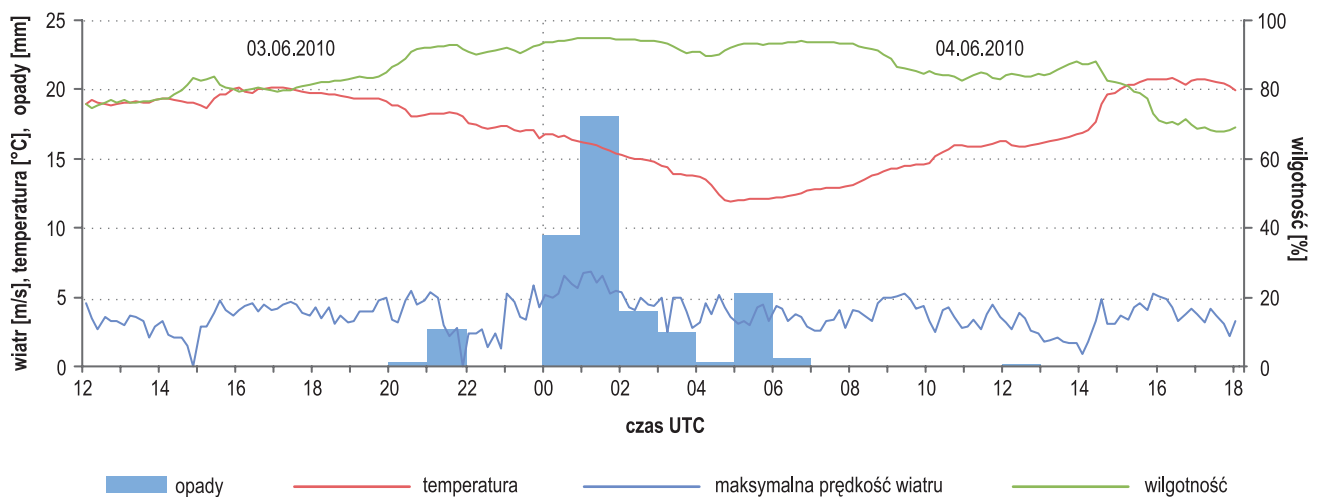
Ryc. 91. Mapa synoptyczna: a) z godz. 00 UTC w dniu 3.06.2010 r., b) z godz. 00 UTC w dniu 4.06.2010 r.

Źródło: www.pogodynka.pl.

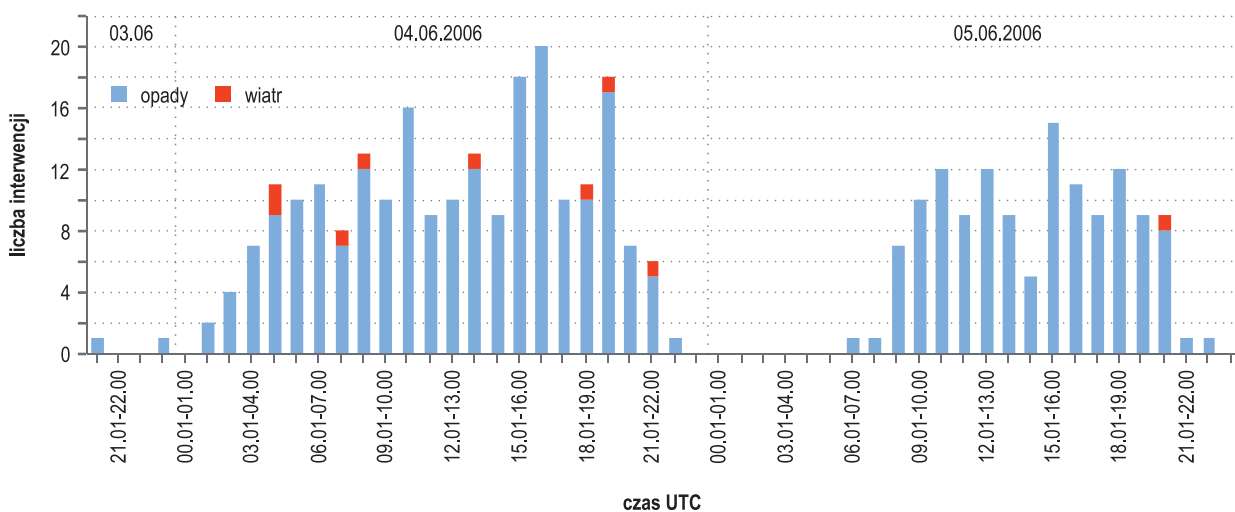


Ryc. 92. Obrazy radarowe z godz. 22.40 w dniu 3 czerwca i z godz. 01.30 w dniu 4 czerwca 2010 r. (kolory żółty i czerwony świadczą o istnieniu wypiętrzonych komórek burzowych)

Źródło: synoptyka.wordpress.com.

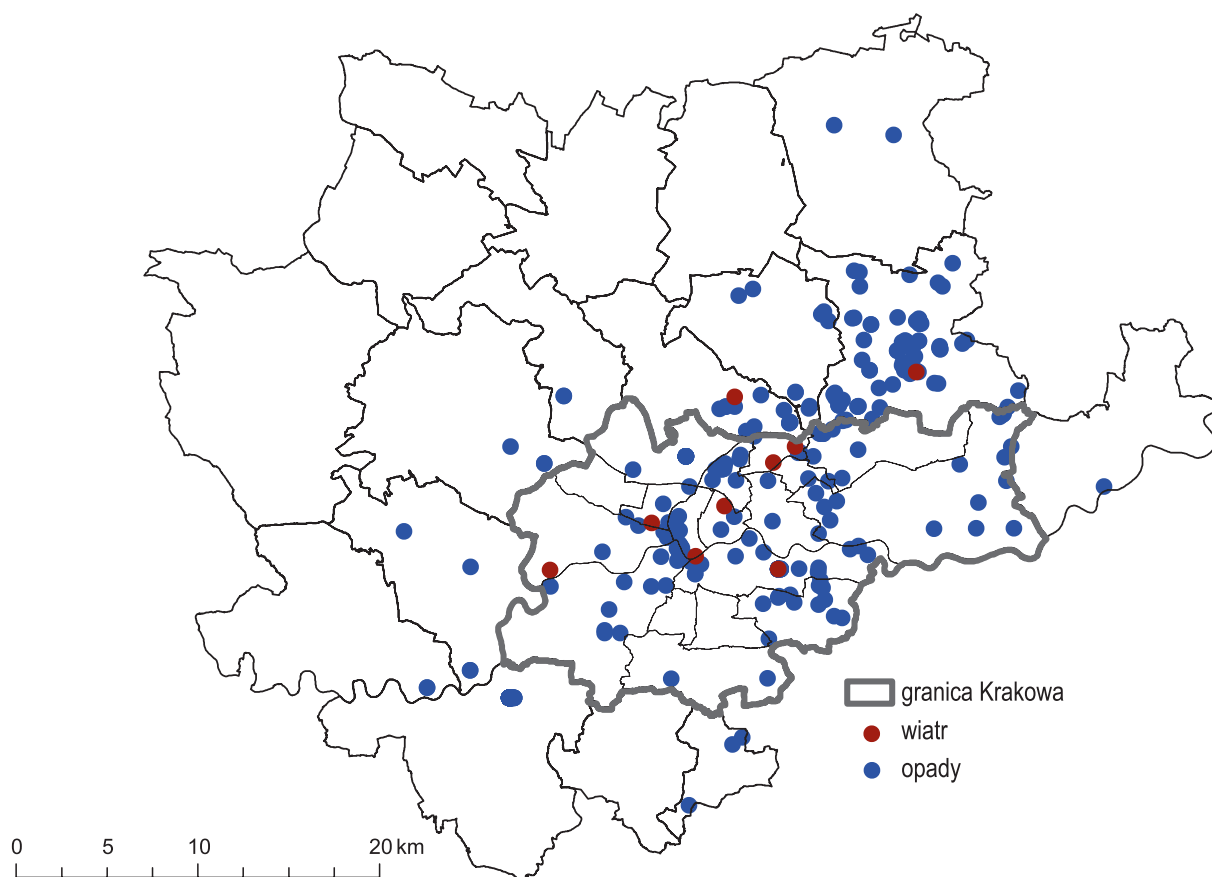


Ryc. 93. Przebieg temperatury [°C] i wilgotności względnej powietrza [%] oraz sum godzinowych opadów i maksymalnej prędkości wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniach 3–4.06.2010 r.



Ryc. 94. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 3–5.06.2010 r.

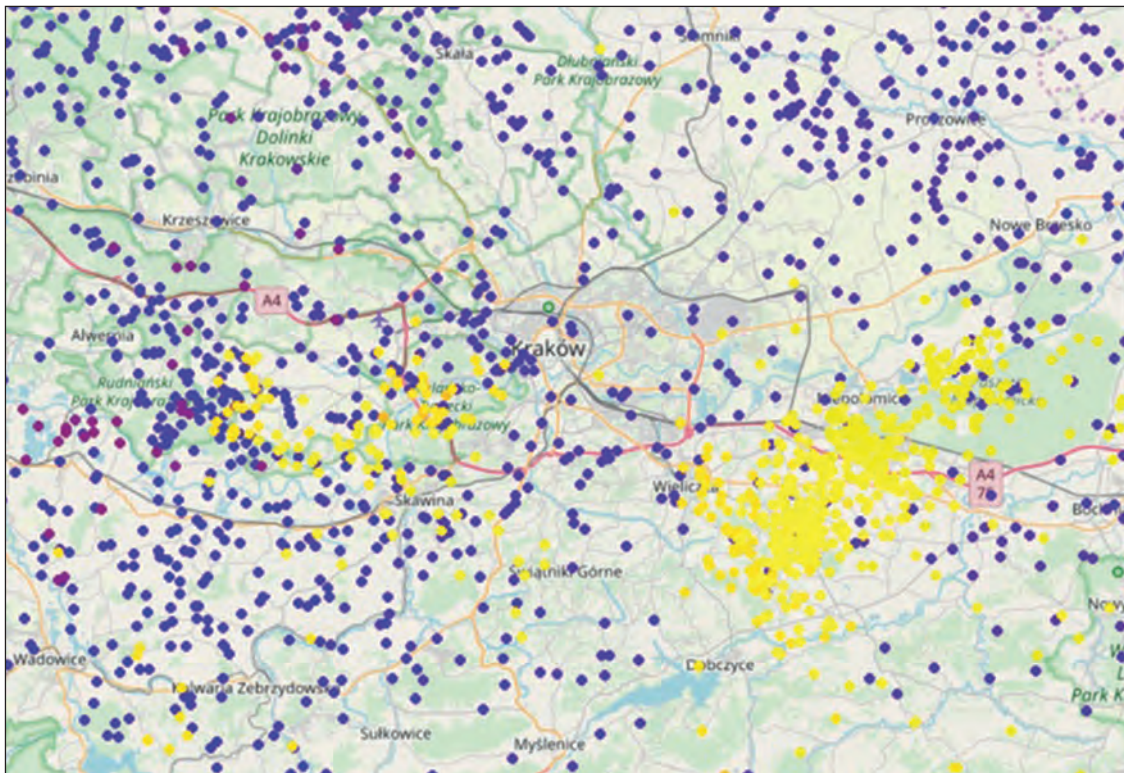
godzinach ich liczba gwałtownie rosła i utrzymywała się na wysokim poziomie około 10 interwencji na godzinę, w niektórych z nich dochodząc nawet do 15–20. Likwidacja skutków burzy, z niewielką przerwą nocną, trwała do wieczora 5 czerwca. W sumie straż pożarna interweniowała 359 razy na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego, w tym 140 razy na terenie samego Krakowa. Duża część tych interwencji (225) miała miejsce 4 czerwca. Zdecydowana większość wszystkich przypadków (97%) związana była z likwidacją szkód powstałych na skutek opadów deszczu, które wystąpiły w czasie burzy (tj. zalane piwnice czy rozlewiska na drogach). Niewielka ich część dotyczyła strat powstałych na skutek silnego wiatru, głównie powalonych drzew. Wszystkie te interwencje dotyczyły Krakowa i powiatu krakowskiego, jednak ich największa liczba została zarejestrowana w pasie od centrum miasta po miejscowości znajdujące się na północny wschód od Krakowa (Zastów, Luborzycza) (ryc. 95). Duża liczba interwencji związanych z opadami deszczu na skutek tej burzy mogła zostać spotęgowana przez wysoki stan wody w rzekach oraz nasycenie gruntu wodą po powodzi, która wystąpiła w maju tego samego roku (Ziernicka-Wojtaszek, Kaczor 2013; patrz rozdział 5. *Opady*).



Ryc. 95. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 4–5.06.2010 r.

10–11 czerwca 2013 r.

Kolejnym przypadkiem bardzo silnych burz, jakie przemieszczały się nad rozpatrywanym obszarem, były te, które odnotowano w dniach 10 i 11 czerwca 2013 r. Początek burz zaobserwowanych na obu stacjach przypadł na godziny popołudniowe i wieczorne (po 16.00 UTC, czyli 18.00 czasu letniego), a wyładowania atmosferyczne trwały aż do około północy. Pierwsza burza przemieszczała się w kierunku północno-wschodnim, a wyładowania atmosferyczne występowały w szerokiej strefie obejmującej obszar miasta i całego powiatu krakowskiego (ryc. 96).



Ryc. 96. Lokalizacja wyładowań atmosferycznych w Krakowie i okolicach w dniu 10.06 (kolor granatowy i bordowy) i 11.06 2013 r. (różne odcienie koloru żółtego)

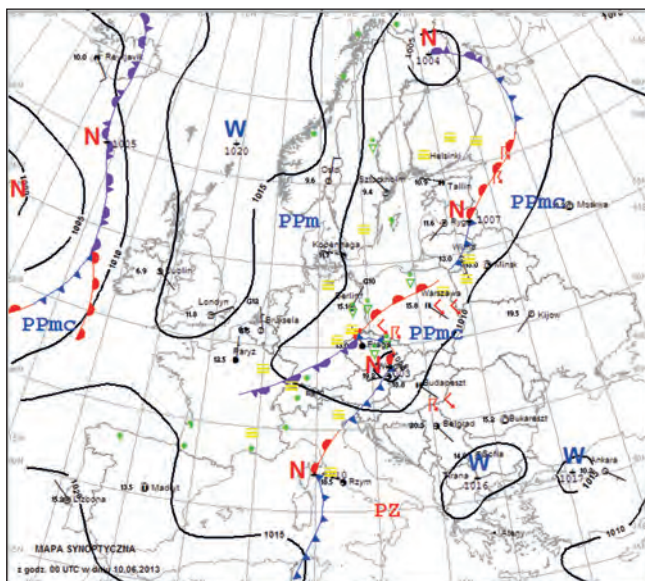
Źródło: www.lightningmaps.org.

Następnego dnia kolejna burza, o bardziej lokalnym charakterze, wystąpiła w godzinach od 9.30 do około 14.00 UTC. Przemierzając się na wschód, została odnotowana zarówno w Balicach, jak i na Stacji Naukowej UJ. Wyładowania atmosferyczne wystąpiły głównie w obrębie zachodnich obrzeży miasta (dzielnice Dębniki i Zwierzyńiec) oraz na południowy wschód od Krakowa – w pasie od Wieliczki po Niepołomice.

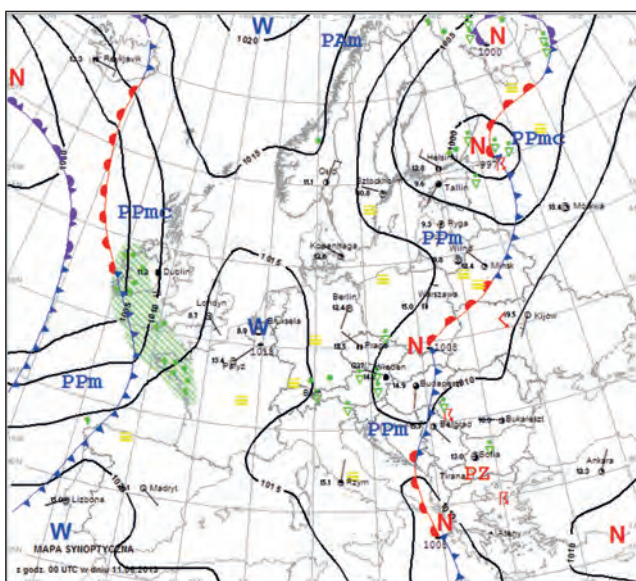
Powstanie i przebieg opisywanych burz związany był z układem niskiego ciśnienia z centrum nad Skandynawią i towarzyszącym mu pofalowanym frontem atmosferycznym, który rozciągał się aż po Europę Środkową (ryc. 97a). Z frontem tym związana była również, położona na południe od niego, strefa zbieżności. Front, który znajdował się nad Polską, oddzielał cieplejszą i wilgotniejszą masę powietrza polarnego morskiego ciepłego, zalegającego w południowo-wschodniej części kraju, od chłodniejszej i suchszej masy powietrza polarnego morskiego napływającego z Norwegii nad północno-zachodnią Polskę. Rozwojowi burz sprzyjał zarówno poziomy gradient temperatury powietrza nad Polską (wynoszący około 6°C), jak również mechanizmy wspomagające konwekcję w postaci frontów atmosferycznych. Kolejnego dnia (11 czerwca) zatoka niskiego ciśnienia ze strefą frontową przemieściła się dalej na północny wschód (ryc. 97b). Południowo-wschodnia część kraju pozostała pod wpływem aktywnej, szerokiej strefy frontowej w obrębie niestabilnej masy powietrza (w obu przypadkach wartości wskaźnika CAPE przekraczały 800–900 J/kg), co sprzyjało dalszemu rozwojowi konwekcji i związanych z nią burz.

Wystąpienie burzy w Krakowie spowodowało wyraźną zmianę warunków meteorologicznych (ryc. 98). Największe zmiany dotyczyły spadku temperatury powietrza, wzrostu wilgotności oraz prędkości wiatru. W przypadku rozpatrywanych dni opady były znacznie słabsze niż w trakcie opisanych wcześniej burz z 2010 r. W dniu 10 czerwca na Stacji Naukowej UJ zanotowano sumę opadów atmosferycznych wynoszącą 8,7 mm, natomiast w Balicach 14,4 mm, a ich natężenie dochodziło do 6–8 mm na godzinę. Dodatkowo w centrum Krakowa zarejestrowano wystąpienie opadów gradu. Dzień później suma opadów wynosiła odpowiednio: 12,8 mm oraz 19,1 mm, a jego natężenie wahało się w granicach 3,0–5,0 mm na godzinę i było bardziej rozciągnięte w czasie.

a)

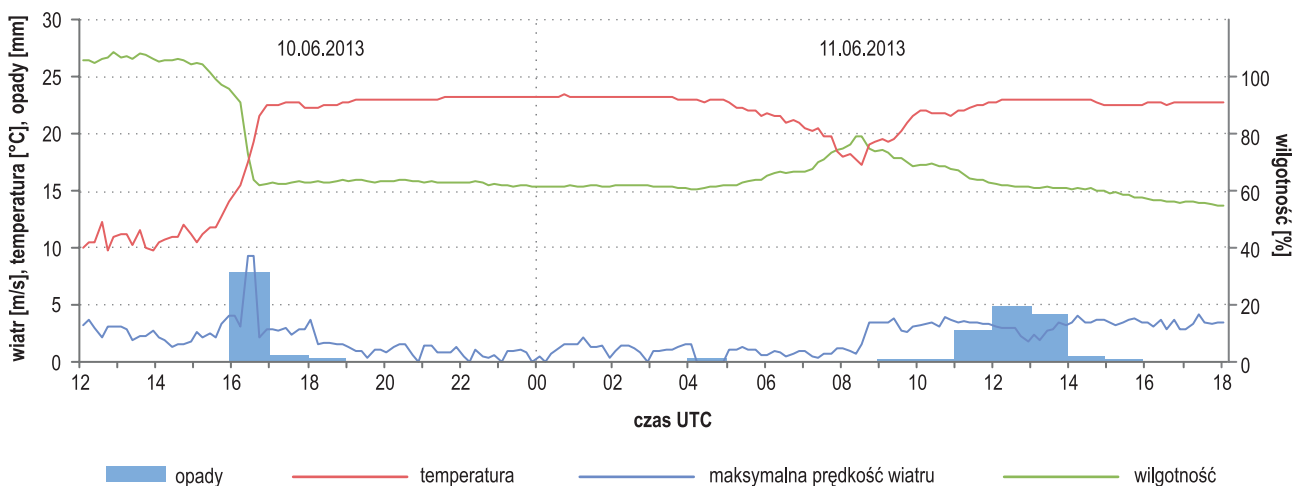


b)



Ryc. 97. Mapa synoptyczna: a) z godz. 00 UTC w dniu 10.06.2013 r., b) z godz. 00 UTC w dniu 11.06.2013 r.

Źródło: www.pogodynka.pl.



Ryc. 98. Przebieg temperatury [°C] i wilgotności względnej powietrza [%] oraz sum godzinowych opadów i maksymalnej prędkości wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniach 10–11.06.2013 r.

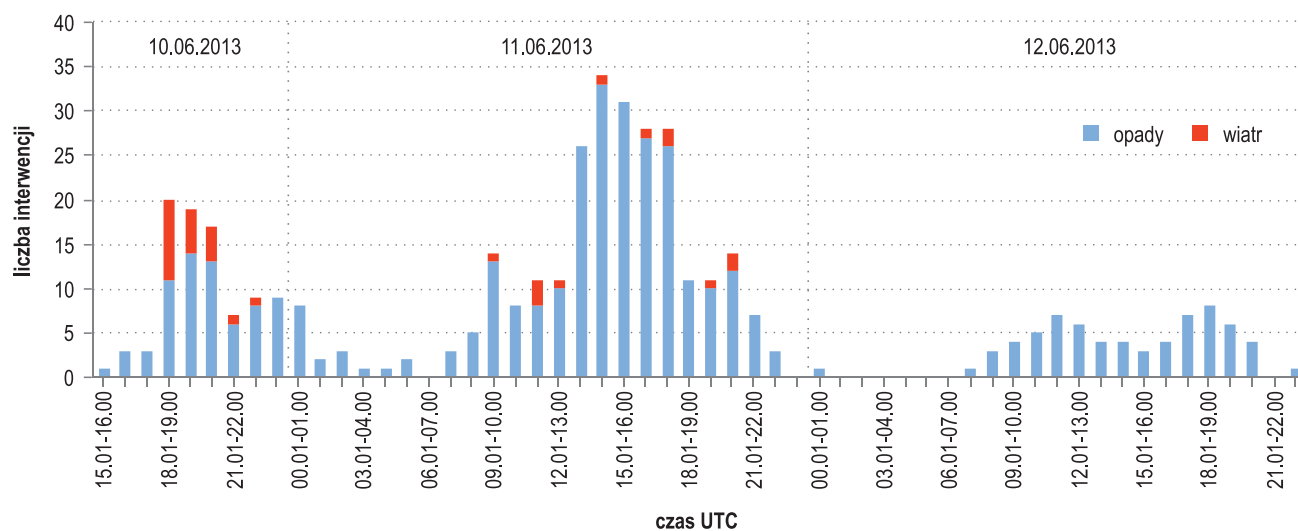
Burzom, jakie pojawiły się pierwszego z analizowanych dni, towarzyszył wiatr o prędkości osiągnącej 9 m/s, a po godzinie 16.00 porywy osiągały nawet 17 m/s na Stacji Naukowej UJ i 18 m/s w Balicach. Po około trzech godzinach wiatr znacząco osłabł, a jego prędkości oscylowały około 1 m/s. W kolejnym dniu zmiany prędkości wiatru miały nieco inny charakter. Wzrost prędkości, do około 4 m/s, nastąpił jeszcze przed pierwszymi wyładowaniami (około 9.30) i taka prędkość utrzymywała się już do końca dnia.

Podobnie jak w 2010 r. opisywanym zmianom warunków meteorologicznych towarzyszył spadek temperatury powietrza (w pierwszym dniu z około 27°C do około 16°C, w drugim natomiast z około 20°C do około 15°C) i wzrost wilgotności do nieco ponad 90% (ryc. 98). Należy podkreślić, że zmiany te trwały przez kilka, kilkanaście godzin po wystąpieniu zjawiska.

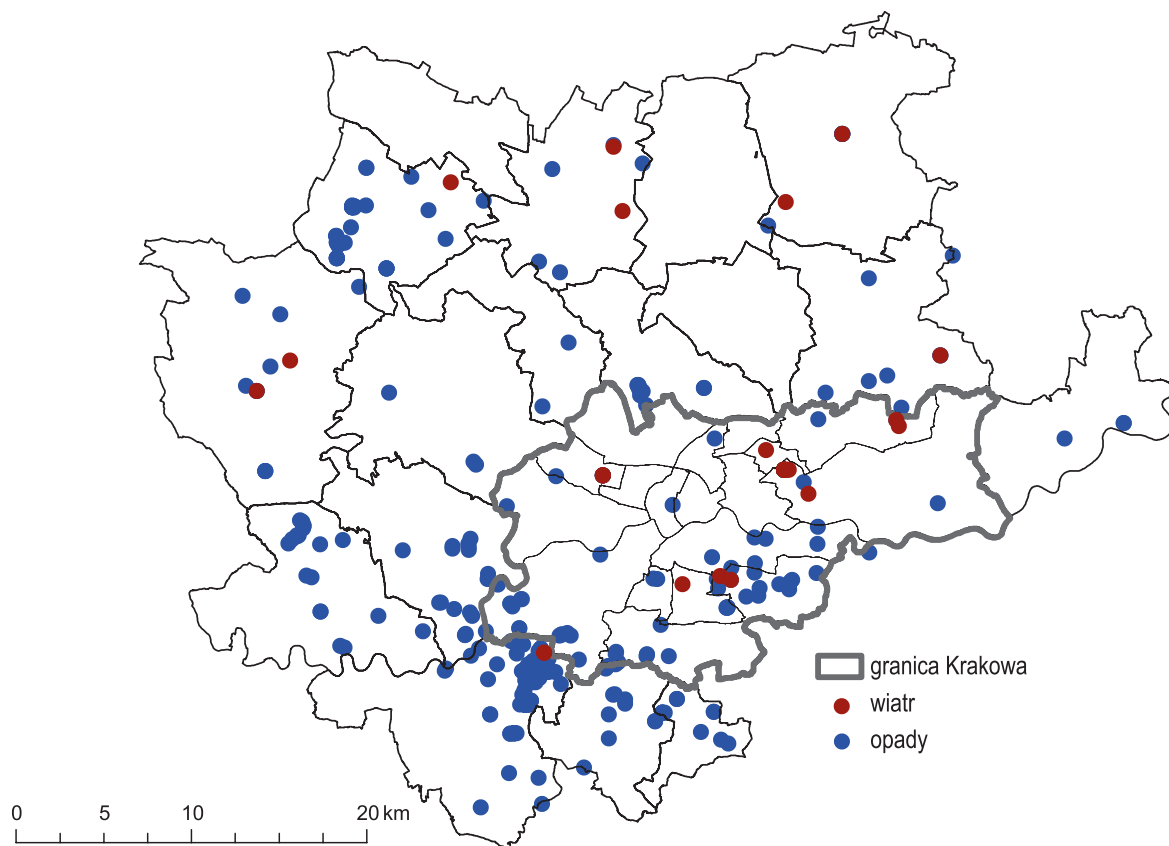
Opady atmosferyczne oraz wiatr towarzyszący omawianym burzom przyczynił się do powstania wielu szkód, których efektem były liczne interwencje straży pożarnej (ryc. 99). Wraz ze zmianą warunków atmosferycznych, ale jeszcze przed wystąpieniem pierwszej burzy, ich liczba na terenie miasta i powiatu krakowskiego była niewielka – około 3 interwencje na godzinę. Gwałtowny ich wzrost nastąpił w pierwszych godzinach trwania burzy, kiedy straż pożarna interweniowała nawet 20 razy w ciągu godziny i taka duża liczba interwencji utrzymywała się na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego do około godziny 21.00, aby potem stopniowo maleć. Ponowny stopniowy wzrost liczby interwencji nastąpił kolejnego dnia od godzin porannych, a ich liczbę ponownie zwiększyła druga burza (ryc. 99). W tym czasie strażacy wyjeżdżali nawet 34 razy w ciągu godziny w celu likwidowania skutków burz, głównie intensywnych opadów. Wielkość spowodowanych szkód była tak duża, że strażacy powrócili do pracy przy naprawie zniszczeń również następnego dnia.

W trakcie i po pierwszej z analizowanych burz (10.06.2013 r.) podtopionych było kilka ulic (m.in. Wielicka, Nowosądecka, Kamińskiego, Bieżanowska, Malborska), zwłaszcza we wschodniej części miasta. Z brzegów wystąpiła Drwinka i Serafa, natomiast w Nowej Hucie Baranówka. Z doniesień prasowych wynika, że w Rżące (dzielnica Bieżanów-Prokocim) spadł grad o wielkości piłki pingpongowej („Gazeta Krakowska” 2013).

Łącznie na skutek dwóch analizowanych burz w ciągu dwóch dni straż pożarna interweniowała na terenie miasta i powiatu krakowskiego 448 razy, w tym aż 311 razy 11 czerwca. Z kolei na obszarze samego Krakowa w ciągu trzech dni łącznie miało miejsce 80 interwencji. Zdecydowana większość działań strażaków (92%) związana była z likwidacją szkód powstałych na skutek opadów atmosferycznych – najczęściej dotyczyły podtopionych budynków i posesji oraz rozlewisk na drogach. Interwencje związane ze stratami spowodowanymi przez wiatr miały miejsce głównie w pierwszych godzinach trwania burzy z 10 czerwca, kiedy odnotowano silne porywy wiatru. Wszystkie interwencje wystąpiły na całym obszarze miasta, jak i powiatu krakowskiego, jednak najwięcej działań podejmowali strażacy w miejscowościach na południowy zachód od Krakowa – głównie na obszarze Skawiny oraz w południowo-wschodniej części miasta, w dzielnicach Prokocim i Bieżanów (ryc. 100).



Ryc. 99. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 10–12.06.2013 r.



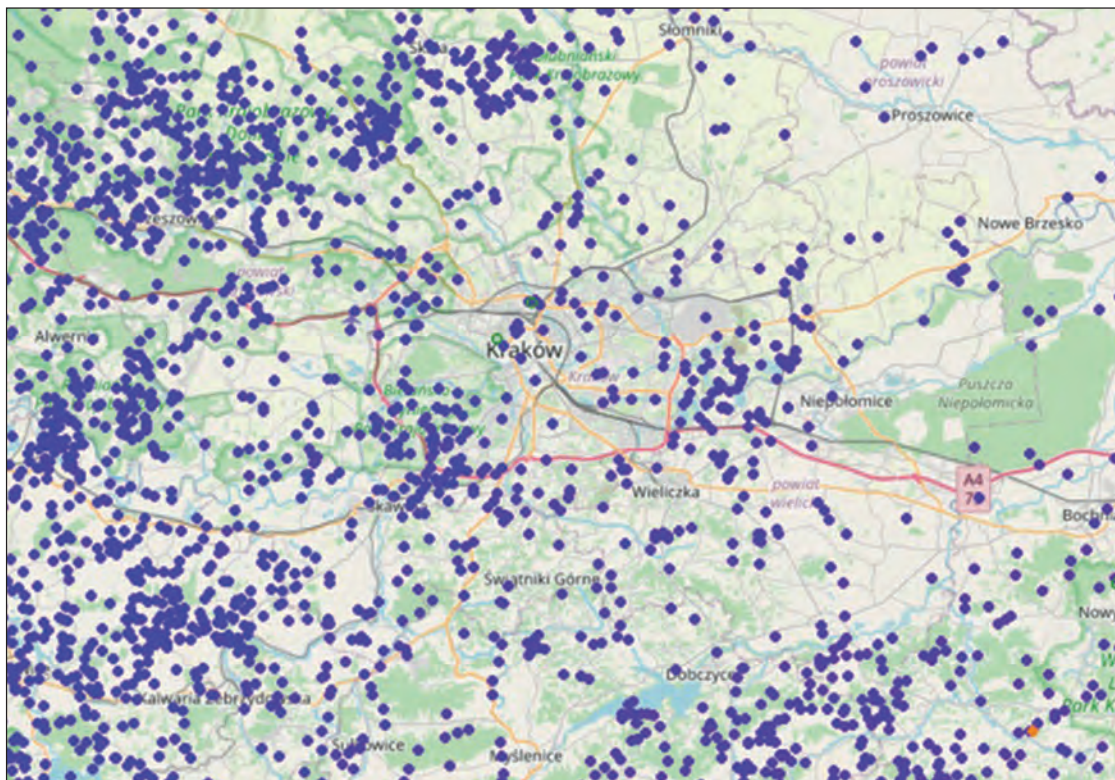
Ryc. 100. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 10–12.06.2013 r.

8–9 lipca 2015 r.

W dniu 8 lipca 2015 r. w Krakowie wystąpiła jedna z najsilniejszych burz, zarówno pod względem natężenia towarzyszących jej zjawisk, jak również powstałych szkód. Przemierzając się w kierunku północno-wschodnim, obejmowała swym zasięgiem szeroką strefę, w tym m.in. Kraków i cały powiat krakowski. Nad Krakowem przechodziła przez krótki czas, od około godziny 3.50 do 4.30 UTC. Ta trwająca 40 minut burza była bardzo aktywna i charakteryzowała się dużą liczbą wyładowań atmosferycznych (ryc. 101). Następnego dnia (9.07) około godziny 13.00 na stacji w Balicach ponownie zaobserwowano wystąpienie burzy, która przemierzała się z zachodu na wschód przez gminy położone na północ od Krakowa (m.in. Słomniki) i miała zdecydowanie bardziej lokalny charakter.

W ciągu badanych dni Polska, tak jak i prawie cała Europa, znajdowała się w zasięgu oddziaływania pogody związanej z układami niskiego ciśnienia i towarzyszącymi im systemami frontów atmosferycznych. W dniu 8 lipca nad Polską przemierzały się dwa fronty chłodne. Szczególnie aktywny był ten związany z niżem znad Morza Północnego i przemierzający się na północny wschód (ryc. 102a i b). Fronty te oddzielały upalne powietrze zwrotnikowe zalegające w południowo-wschodniej części Polski od zdecydowanie chłodniejszego powietrza polarnego morskiego, które napływało nad północno-zachodnią część kraju.

W ciągu kolejnej doby (9.07) niż kształtujący pogodę w Polsce bardzo powoli odsuwał się na wschód, a Polska znajdowała się już w obrębie napływającej znad Atlantyku i Morza Norweskiego chłodniejszej masy powietrza polarnego morskiego (ryc. 102c i d). W obrębie tej masy powietrza utworzył się drugorzędny front chłodny, który przemierzał się nad Polską w kierunku południowo-wschodnim (www.meteo.pl). Napływająca za nim chłodniejsza masa powietrza w zetknięciu z nieco bardziej już nagrzanym od podłoża powietrzem, które przemierzało się nad Polską w ciągu poprzedzającej doby, prowadziła do powstania wypiętrzonych chmur



Ryc. 101. Lokalizacja wyładowań atmosferycznych w Krakowie i okolicach w dniu 8.07.2015 r.

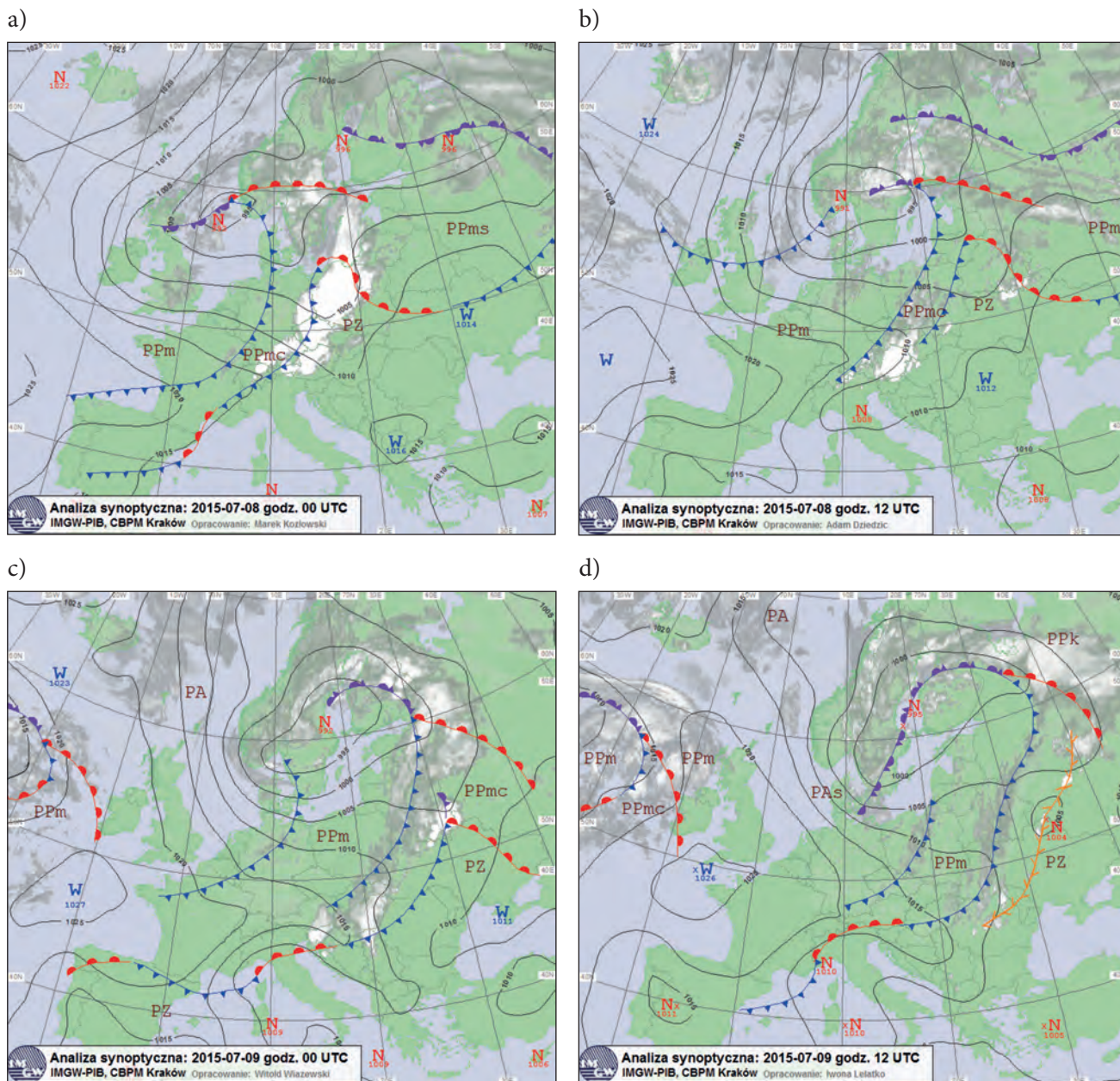
Źródło: www.lightningmaps.org.

burzowych (*Cumulonimbus*) i wyładowań atmosferycznych. Jednak ze względu na mniejsze kontrasty termiczne niż te występujące poprzedniego dnia, tworzące się burze były znacznie mniej intensywne.

Opisane warunki cyrkulacyjne, a szczególnie znaczny poziomy gradient termiczny pomiędzy masą powietrza zwrotnikowego a polarnego morskiego (sięgający około 14°C na obszarze całego kraju) wraz z istniejącymi wielkoskalowymi mechanizmami wspomagającymi konwekcję, w postaci dwóch chłodnych frontów atmosferycznych, stwarzały bardzo dobre warunki do rozwoju burz na obszarze południowej Polski. W godzinach nocnych (około 00.00 UTC) poprzedzających wystąpienie burzy w Krakowie w południowej części Polski energia potencjalna dostępna dla konwekcji wynosiła około 1000 J/kg . Tak wysokie wartości, zwłaszcza jak na godziny nocne, oznacza korzystne warunki do tworzenia się wyładowań atmosferycznych.

W ciągu opisywanych dni ogólny przebieg pogody miał charakter typowy dla pogody insolacyjno-radiacyjnej (ryc. 103). Pierwszego dnia wzrost temperatury powietrza był znaczący, a w godzinach okołopołudniowych temperatura powietrza sięgała około 30°C . Było to oczywiście związane z napływem zwrotnikowych mas powietrza z południa oraz dodatkowym ogrzewaniem się powietrza od nagrzanego podłoża. Dnia 9 lipca przebieg temperatury był zbliżony, jednak z powodu adwekcji chłodniejszego powietrza polarnego morskiego maksymalne wartości temperatury sięgały około 24°C . Zarówno pierwszego, jak i drugiego dnia wystąpienie burzy nie miało znaczącego wpływu na warunki termiczne badanego obszaru.

Większe zmiany zaobserwowano w przypadku prędkości wiatru oraz występowania opadów atmosferycznych (ryc. 103). Szczególnie wyraźnie zaznaczyły się one 8 lipca, kiedy podczas przechodzenia burzy (w godzinach ok. 4.00–5.00) na stacji w Balicach odnotowano porywy wiatru wynoszące aż 30 m/s (108 km/h), natomiast w centrum Krakowa dochodzące do $20\text{--}22\text{ m/s}$ ($72\text{--}79\text{ km/h}$). Po ustaniu wyładowań atmosferycznych prędkość wiatru znacznie się zmniejszyła, do około $3\text{--}4\text{ m/s}$, chociaż między 10.30 a 16.30 nastąpił ponowny wzrost prędkości wiatru do około 10 m/s , co najprawdopodobniej było związane z przemieszczaniem się drugiego frontu atmosferycznego. Podobne zmiany prędkości wiatru miały miejsce następnego dnia. Około godziny 13.00,



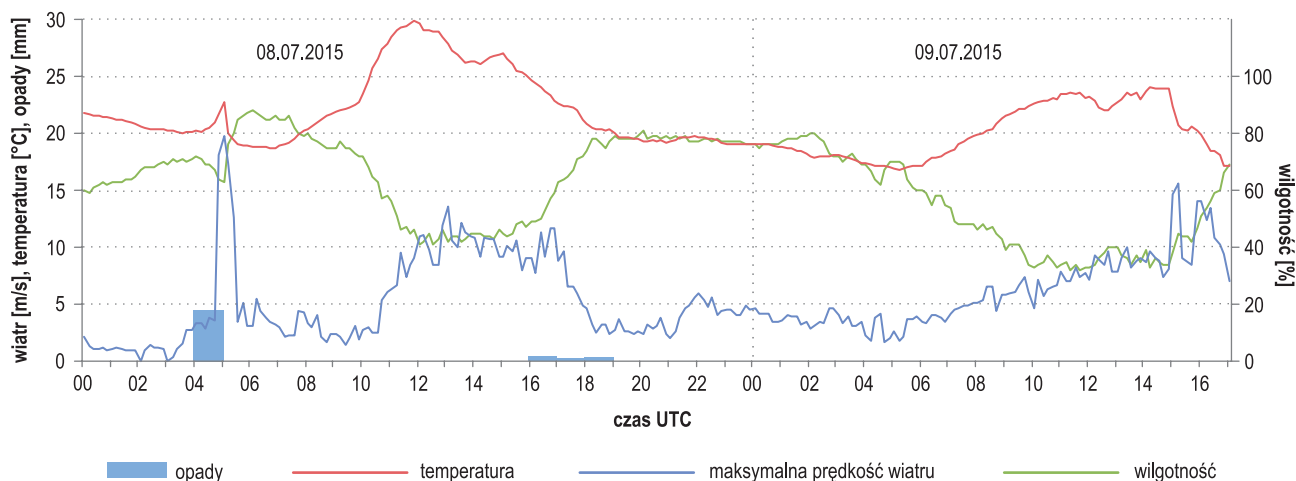
Ryc. 102. Mapa synoptyczna: a) z godz. 00 UTC w dniu 8.07.2015 r., b) z godz. 12 UTC w dniu 8.07.2015 r., c) z godz. 00 UTC w dniu 9.07.2015 r. i d) z godz. 12 UTC w dniu 9.07.2015 r.

Źródło: danepubliczne.imgw.pl.

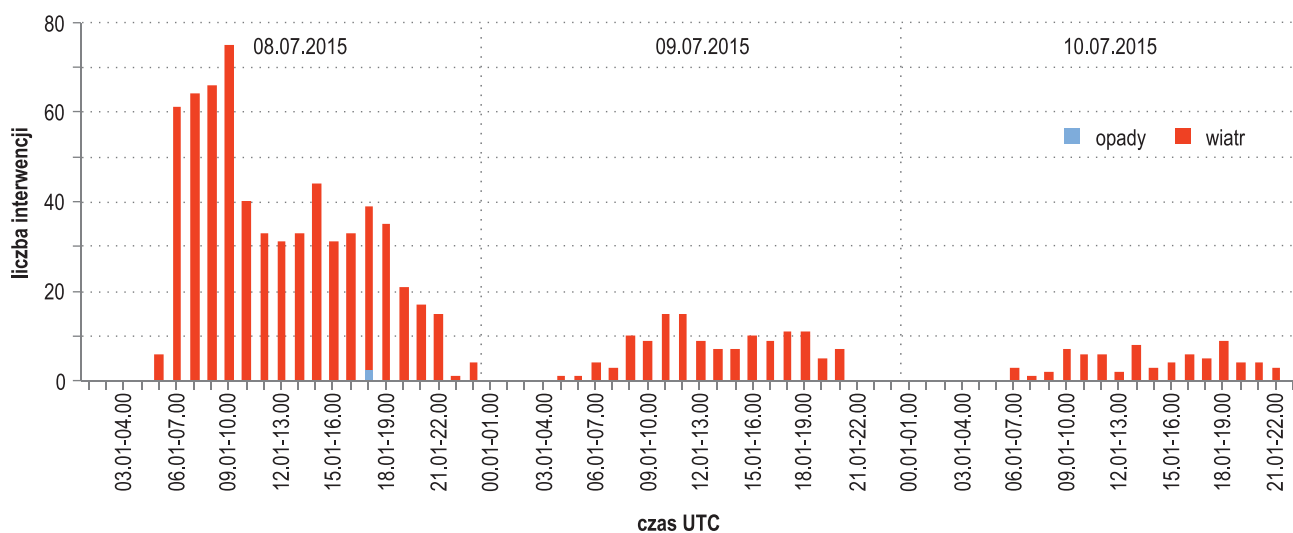
w czasie przechodzenia burzy w okolicy Krakowa, maksymalna prędkość wiatru wyniosła około 9,5 m/s. Jednak największe prędkości odnotowano między 13.00 a 16.00, kiedy na obu stacjach osiągały one nawet 15 m/s.

Tak gwałtowny, choć krótkotrwały, przebieg rozpatrywanych burz nie znalazł swojego odzwierciedlenia w znaczącej sumie opadów. Pierwszego dnia natężenie opadów w centrum Krakowa wyniosło do 4,5 mm/h (ryc. 103). Jeszcze słabszy opad, rzędu 0,5 mm w Balicach, wystąpił w trakcie burzy 9 lipca. Z tego powodu większość szkód była związana z silnym wiatrem.

W wyniku burz i towarzyszących im zjawisk w Krakowie, jak i w całym powiecie krakowskim, odnotowano liczne szkody, których potwierdzeniem jest liczba interwencji straży pożarnej w poszczególnych godzinach i całym dniu (ryc. 104). W pierwszych godzinach od wystąpienia burzy wynosiła ona nawet ponad 70 na terenie miasta i powiatu krakowskiego. Po godzinie 10.00 ich liczba nieco się zmniejszyła, jednak nadal utrzymywała się na bardzo wysokim poziomie wynoszącym 30–40 interwencji na godzinę. Szkody wyrządzone przez porywisty wiatr, który wystąpił w czasie pierwszej burzy (8 lipca), dodatkowo zwiększane w trakcie przejścia kolejnej burzy



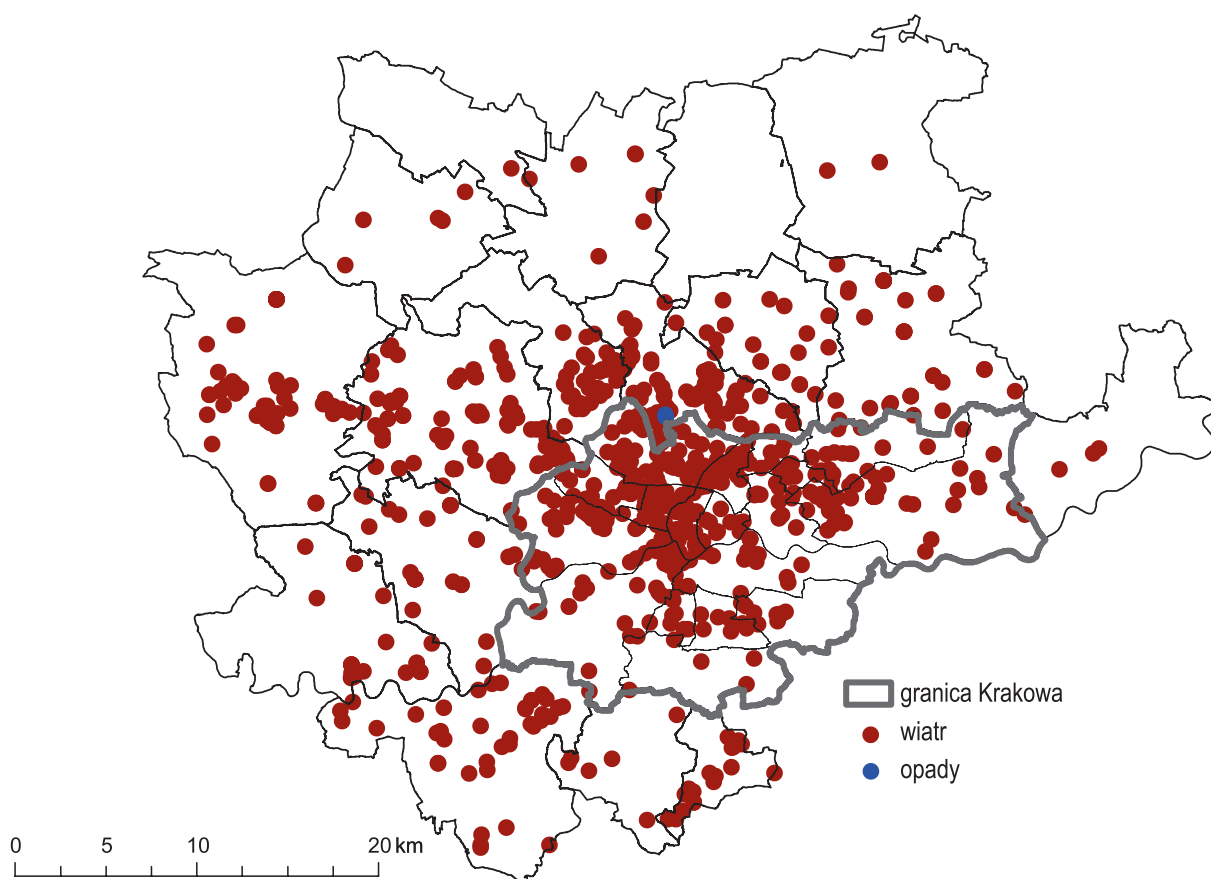
Ryc. 103. Przebieg temperatury [°C] i wilgotności względnej powietrza [%] oraz sum godzinowych opadów i maksymalnej prędkości wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniach 8–9.07.2015 r.



Ryc. 104. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 8–10.07.2015 r.

(9 lipca), były tak liczne, że pomoc straży pożarnej trwała przez kolejne dwa dni. I chociaż liczba interwencji była już znacznie mniejsza (średnio 5–10 w ciągu godziny), to najbardziej pilne działania służb zakończyły się dopiero późnym wieczorem 10 lipca.

W sumie w ciągu trzech dni na terenie Krakowa i powiatu krakowskiego straż pożarna interweniowała 856 razy, z tego najwięcej – 753 razy – 8 lipca (tab. 25). Była to więc rekordowa liczba zgłoszeń jednego dnia w analizowanych latach (2000–2018). W samym Krakowie w ciągu trzech wspomnianych dni miały miejsce 382 interwencje straży pożarnej. Niemalże wszystkie były związane z likwidacją skutków silnego wiatru, jedynie 2 wezwania dotyczyły podtopień po intensywnych opadach deszczu na terenie Zielonek (w pobliżu północnej granicy Krakowa). Niewielka część wspomnianych interwencji mogła być także związana ze skutkami silnego wiatru, który towarzyszył przechodzącemu w godzinach popołudniowych frontowi atmosferycznemu. Znaczny zasięg terytorialny oddziaływania obu burz i silnego wiatru sprawił, iż nie można wskazać dzielnic Krakowa, w których interwencje straży było najwięcej (ryc. 105). Strażacy interweniowali również na znacznym obszarze powiatu krakowskiego, zwłaszcza w miejscowościach na zachód i północny zachód od Krakowa (głównie w gminach: Zabierzów, Wielka Wieś, Zielonki).



Ryc. 105. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 8–10.07.2015 r.

W wyniku pierwszej burzy (8 lipca) zakłóceniu uległa komunikacja w Krakowie, m.in. nie kursowały linie tramwajowe na ul. Basztowej, Ujastek, Franciszkańskiej i Podchorążych. Powalone drzewa zablokowały również drogę do ogrodu zoologicznego (dzielnica Zwierzyniec). Poszkodowana została jedna osoba (lekko ranna), na której samochód przewróciło się drzewo.

6.4. Skutki silnych burz w latach 1961–2002 – kalendarium

Przykłady innych burz i ich skutków przedstawiono w tabeli 26, w której zawarto informacje pochodzące z Kalendarium Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie.

Tabela 26. Opis interwencji związanych z wystąpieniem silnych burz z kalendarium Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

| Data | Opis interwencji |
|------------|---|
| 13.07.1961 | Kilkakrotnie wzywano straż pożarną do usuwania powalonych przez wicherę drzew. |
| 12.02.1962 | Nad Krakowem przeszła silna wichura, która uszkodziła wiele dachów. Strażacy przez dwie doby likwidowali zniszczenia. |
| 14.05.1962 | Nad Krakowem przeszła gwałtowna burza. Wichura uszkodziła potężne drzewo w Mogile przy ul. Klasztornej, które groziło przewróceniem na duży budynek mieszkalny. Strażacy z III oddziału usunęli zagrożenie. Likwidowanie skutków burzy trwało 3 doby. |

| Data | Opis interwencji |
|---------------|--|
| 25/26.06.1963 | Nad Krakowem przeszła ogromna burza, powodując zniszczenia i szkody. Wiatr powalił setki drzew. Piorun uderzył w centralę telefoniczną MPK, uszkodzeniu uległo kilka tramwaj. Od pioruna zapaliły się wagony na torach wzdłuż ul. Dietla. Strażacy 3 doby likwidowali skutki burzy. |
| 09.07.1963 | Nad Krakowem przeszła kolejna burza z wichurą. Wiatr powrywał stare drzewa, m.in. w Rynku Głównym, zniszczył ogrodzenie z płyt betonowych wokół pomnika Adama Mickiewicza. Woda zalala setki piwnic i magazynów. Strażacy przez 4 doby usuwali skutki burzy. |
| 20/21.06.1964 | Nad Krakowem przeszła ogromna wichura, łamiąc drzewa i blokując ruch uliczny. Strażacy przez 3 dni usuwali jej skutki. |
| 8/9.06.1968 | Nad Krakowem przeszła ogromna ulewa [i burza]. Straż pożarna przez całą dobę pracowała przy wypompowywaniu wody z zalanych magazynów, suterren i piwnic. |
| 07.06.1971 | Nad Krakowem przeszła potężna ulewa. Woda zalala dziesiątki suterren, piwnic i magazynów. Strażacy przez kilka dni wypompowywali wodę z zalanych pomieszczeń. Tylko 7 czerwca wzywano ich w tym celu ponad 300 razy. W tym dniu pompy strażackie przepracowały w sumie 241 godzin. |
| 18/19.07.1974 | Krakowscy strażacy wzywani byli kilkadziesiąt razy do wypompowywania wody z piwnic i magazynów, które zostały zalane na skutek dużej ulewy. |
| 27.08.1974 | W Nowej Hucie na os. Chalupki na skutek uderzenia pioruna zapaliła się stodoła. Straty: 68.700 zł |
| 27/28.06.1975 | Nad Krakowem przeszła potężna ulewa, która spowodowała zalanie suterren, piwnic i magazynów. Strażacy przez kilka dni wypompowywali wodę z tych pomieszczeń. |
| 13.06.1986 | Nad Krakowem przeszła potężna 4-godzinna burza, powodując poważne szkody w mieście. W tym dniu straż pożarna odebrała ponad 500 doniesień o zalaniu wodą piwnic, magazynów, obiektów przemysłowych i studzienek telefonicznych. Tylko w ciągu 10 godz. krakowscy strażacy interweniowali 134 razy. |
| 06.07.1988 | Okolo godz. 14.30 nad Krakowem przeszła ogromna burza połączona z wyładowaniami atmosferycznymi. Zalane zostały setki piwnic, magazynów, niżej położonych obiektów. Połamanych zostało również wiele drzew. Strażacy przez kilka godzin likwidowali skutki oberwania chmury. Taka sytuacja miała miejsce w całym województwie krakowskim. |
| 02.06.1989 | Nad Krakowem przeszła gwałtowna burza połączona z gradobiciem. W mieście zamarł całkowicie ruch uliczny. Zalane zostały setki piwnic, magazynów i suterren. W trwającej kilkanaście godzin akcji usuwania skutków oberwania chmury brały udział wszystkie oddziały. |
| 24.06.1989 | Nad Krakowem przeszła potężna burza >50 mm deszczu, tj. średnia z jednego miesiąca/, która spowodowała zalanie wielu pomieszczeń i powstanie kilku pożarów. Strażacy w tym dniu udawali się do akcji ratowniczych 50 razy. |
| 09–11.03.1990 | Nad województwem krakowskim przeszła wichura, połączona z ulewnym deszczem i wyładowaniami atmosferycznymi, powodując znaczne zniszczenia. Sekcje straży pożarnej brały udział w tych dniach w ponad 30 akcjach ratunkowych i kilkunastu gaśniczych. |
| 17.08.1990 | Nad Krakowem przeszła ogromna burza, która spowodowała poważne szkody. Usunięcie ich powierzono strażakom. |
| 40.07.1995 | Nad Krakowem przechodziła burza połączona z huraganem. Strażacy interweniowali 86 razy, usuwając powalone przez wiatr drzewa z ulic i zaparkowanych na nich samochodów, linii energetycznych, ogrodzeń, dachów budynków. Przy ul. Golikówka od uderzenia pioruna zapalił się dom mieszkalny. Akcja ratowniczo-gaśnicza trwała 3 godz. W wyniku zdarzenia 1 osoba została ranna. Łącznie tego dnia strażacy interweniowali 101 razy. W zaistniałych zdarzeniach 5 osób odniosło obrażenia, w tym 4 podczas wypadków drogowych. |
| 08.06.1998 | Nad Krakowem przeszła ogromna burza. O wydarzeniu tym napisał „Dziennik Polski” z 09.06.1998 r. w artykule „Burze nad Małopolską”: <i>Jedna osoba ranna, około stu drzew wyrwanych z korzeniami, zalane piwnice, uszkodzone samochody, garaże, trakcja tramwajowa i sieć energetyczna – to skutki wczorajszej burzy. W Krakowie deszcze i wyładowania atmosferyczne najbardziej dały o sobie znać w Krowodrzy, Nowej Hucie i Podgórzu. (...) Po południu przy ul. Beliny Prażmowskiego w Krakowie wichura powaliła topolę, która przygniotła przejeżdżającego tamtędy małego fiata. Drzewo upadło na stronę pasażera, na szczęście nikt tam nie siedział. Samochód został dosłownie wgnieciony w ziemię. Kierowca ma zmiążdżone nogi i znajduje się w szpitalu – powiedzieli nam strażacy. Wyrwane przez wichurę drzewa uszkodziły samochody i garaże przede wszystkim w Krowodrzy, Podgórzu i Nowej Hucie.</i> |
| 28.05.2000 | Nad Krakowem i jego okolicami przechodziła ogromna burza. Konsekwencje tego wydarzenia opisał „Dziennik Polski” z 29.05.2000 r. w notatce „Trafiony Kraków”: <i>Wczorajsza gwałtowna ulewa przyczyniła się – zdaniem policjantów – do wypadku, do którego doszło wczoraj, ok. godz. 14, w Alwerni (...). Konar uderzonego piorunem drzewa spadł na 50-letnią kobietę, która wraz z synem była na festynie w Lesie Wolskim (w rejonie polany Lea). Dziecku nic się nie stało, natomiast kobieta doznała obrażeń nóg i biodra. Łamiące się konary i przewracające drzewa tarasowały ulice w Krakowie; uszkodzonych zostało przynajmniej kilka samochodów (...). Na pl. Centralnym konary wybiły trzy szyby wystawowe sklepu z pamiątkami. Drzewa padły też m.in.: na ul. Księcia Józefa, Królowej Jadwigi, na os. Zgody, Handlowym, w Zbydniowicach. Piorun uderzył w stodołę w Rząsce, która zapaliła się (...). Strażacy odbierali też telefony z prośbami o wypompowanie wody z zalanych piwnic – głównie z rejonu Nowej Huty, gdzie nawałnica miała najgwałtowniejszy charakter. W niektórych miejscach Krakowa spadł grad (głównie w Nowej Hucie), a biało od lodowych kulek było m.in. na ulicy Mogiłskiej, w pobliżu siedziby policji. Tego dnia strażacy interweniowali 64 razy.</i> |
| 31.07.2002 | Nad Krakowem przeszła gwałtowna burza, która poczyniła ogromne straty. Wydarzenia te opisał „Dziennik Polski” z 01.08.2002 r. w notatce „Burza nad Sukiennicami”: <i>Wczoraj około 16.30 nadszła nad Kraków krótka, ale bardzo intensywna burza. Wichura, która poprzedziła opady, wyrządziła w mieście nadspodziewanie duże szkody. Wieczór upłynął strażakom na usuwaniu drzew powalonych na trakcję tramwajową, sieć energetyczną, ulice, parkingi, dachy. Poważniejsze rany odniosło 6 osób, w tym matka z dwójką dzieci, jadąca samochodem ul. Reymonta – samochód został przygnieciony przez złamane drzewo. Wieczorem zmarła jedna z osób przygniecionych przez powalone drzewo. Do tragedii doszło w sercu miasta, gdzie wiatr powalił jedną z reklam, zawieszonych na metalowej konstrukcji, przymocowanej do ściany Sukiennic. Konstrukcja pociągnęła za sobą renesansową attykę, zwieńczoną maskaronami. W związku z wichurą i opadami deszczu strażacy interweniowali tego dnia 79 razy, w tym 20 razy uwalniali przygniecione przez drzewa samochody.</i> |

Źródło: www.psp.krakow.pl.

7. Odwilże / Roztopy

Odwilż atmosferyczna, zwana też roztopami, to kilkudniowy wzrost maksymalnej temperatury powietrza powyżej 0°C po okresie mroźnym (z temperaturą maksymalną powietrza poniżej 0°C), który powoduje topnienie pokrywy śnieżnej. Uwalniana jest wówczas woda zgromadzona w pokrywie śnieżnej i lodowej. Zwykle **odwilż wiosenna** kończy okres zimowy, ale może ona występować również w trakcie zimy i zwana jest wtedy **odwilżą zimową** lub **odwilżą śródzimową**. Powolna i umiarkowanie intensywna odwilż, ze stopniowym wzrostem temperatury powietrza w kolejnych dniach, jest pozytywnym zjawiskiem dla środowiska, powodując nawodnienie gruntu w okresie wczesnowiosennym i zasilenie wód podziemnych. Jednak, kiedy przebiega gwałtownie i przy wysokiej pokrywie śnieżnej, jest niebezpieczna, gdyż przyczynia się do występowania podtopień i powodzi. Zwykle topniejący śnieg wsiąka powoli w glebę, ale gdy jest ona jeszcze zamrożona lub proces ten następuje bardzo szybko, woda gromadzi się na powierzchni, w zagłębieniach terenu lub gwałtownie spływa po zamrożonym podłożu (*Vademecum...* 2013a). Proces odwilży może zostać spowolniony gdy: w nocy będzie następował spadek temperatury poniżej 0°C, nie wystąpią opady deszczu lub będą one niewielkie, będzie wiał umiarkowany lub silny wiatr powodujący zanik pokrywy śnieżnej przez sublimację, czyli przejście bezpośrednio z fazy stałej (lodu) do gazowej (pary wodnej), z pominięciem fazy ciekłej (wody).

Roztopy to zjawisko, które występuje na przedwiośniu, kiedy po okresie zimowym temperatura powietrza wzrasta powyżej 0°C i topnieje pokrywa śnieżna. Trwają do całkowitego zaniku śniegu i lodu. Mogą one być przyczyną powodzi i podtopień, wśród których wyróżnia się tzw. powodzie roztopowe.

Powodzie roztopowe są związane z gwałtownym topnieniem pokrywy śnieżnej, często potęgowane przez opady deszczu. Zwykle obejmują one większy obszar, nawet całego kraju. Przebieg powodzi jest uzależniony od grubości topniejącego śniegu, tempa wzrostu temperatury powietrza i przebiegu w ciągu doby innych elementów meteorologicznych (wilgotności powietrza, opadów atmosferycznych, usłonecznienia, zachmurzenia) oraz od tego jak długo wcześniej trwały mrozy i jak głęboko zamrożona jest ziemia. Najgroźniejsze powodzie roztopowe są na nizinnych odcinkach rzek, w Polsce zwłaszcza w dolnym biegu Wisły, Odry lub Warty.

Odwilże są charakterystyczną cechą zim w Polsce, a ich główną przyczyną jest adwekcja (napływ) ciepłych mas powietrza z Oceanu Atlantyckiego (powietrze polarne morskie; PPM) lub z południa Europy (masy powietrza zwrotnikowego; PZ) (Kuziemski 1971). Ich występowaniu sprzyja również przechodzenie nad danym regionem ciepłego frontu atmosferycznego, które następuje po okresie mroźnym. W regionach położonych w górach i na ich przedpolu przyczyną występowania odwilży jest również wystąpienie wiatru fenowego (w Tatrach zwanego wiatrem halnym).

Podczas **odwilży adwekcyjnych**, związanych z cyrkulacją zachodnią, temperatura powietrza cechuje się niewielkimi dobowymi amplitudami, przy czym dodatnie jej wartości utrzymują się często przez całą dobę. Ma to związek z napływem mas powietrza, które charakteryzują się dużym zachmurzeniem, znaczną wilgotnością powietrza i większą prędkością wiatru. W dniach z odwilżą często występują opady atmosferyczne. Początkowo mogą one być w postaci śniegu, które powodują wzrost pokrywy śnieżnej, a następnie przechodzą w opady deszczu, dodatkowo wzmagając topnienie pokrywy śnieżnej.

Odwilże w okresie wiosennym, najczęściej występujące z końcem lutego lub w marcu, mogą mieć bardzo gwałtowny przebieg. Szybki wzrost temperatury powietrza, dodatkowo wzmocniony większym dopływem promieniowania słonecznego (**odwilże radiacyjne**) może powodować liczne szkody i negatywne skutki w różnych sektorach gospodarki, m.in. rolnictwie (powodując uszkodzenia ozimin i innych roślin), transporcie (uszkodzenia nawierzchni dróg) lub budownictwie (powodując obniżenie wytrzymałości budynków) (Czarnecka, Nidzgorska-Lencewicz 2013; Mrugała 1987/88a). W górach odwilże mogą przyczyniać się do występowania lawin śnieżnych. Z drugiej strony słaba odwilż wpływa na stabilizację pokrywy śnieżnej i zapobiega zamieciom śnieżnym (Mrugała 1987/88a). Najbardziej jednak oczywistym skutkiem odwilży są wspomniane już powodzie roztopowe i podtopienia.

Z badań Mrugały (1987/88b, 1988) wynika, że w Polsce odwilże adwekcyjne stanowią ponad 89% wszystkich przypadków, adwekcyjno-radiacyjne – 9%, a radiacyjne zaledwie 2%. Najbardziej przyczyniają się do ich wystąpienia masy powietrza zwrotnikowego (PZ), polarnego morskiego ciepłego (PPmc) i polarnego morskiego (PPm) (Mrugała 1987/88b). W przypadku odwilży radiacyjnych dodatkowo duże znaczenie w ich występowaniu mają masy powietrza polarnego kontynentalnego (PPk).

W celu określenia intensywności odwilży w Polsce najczęściej przyjmuje się kryterium Mrugały (1987/88a), który wydzielił odwilże: mało intensywne (wartości temperatury maksymalnej utrzymujące się w zakresie 0,0–2,0°C), średnio intensywne (2,1–5,0°C), silnie intensywne (5,1–10,0°C) oraz bardzo silnie intensywne (powyżej 10,0°C). Natomiast ze względu na czas trwania dzieli się je na: krótkotrwałe (od 1 do 5 dni), średniotrwałe (6–15 dni), długotrwałe (16–30 dni) oraz bardzo długotrwałe (powyżej 30 dni) (Mrugała 1987/88a).

Z praktycznego punktu widzenia największe znaczenie mają badania dotyczące częstości występowania dni sprzyjających topnieniu pokrywy śnieżnej i ich uwarunkowań cyrkulacyjnych. Bednorz (2012), rozpatrując zmniejszenie się wysokości (grubości) pokrywy śnieżnej o 5 i 10 cm w ciągu doby na Niżu Polskim, stwierdziła, że niskie ciśnienie występujące nad Atlantyką i Półwyspem Skandynawskim, w połączeniu z jego wysokimi wartościami nad Morzem Śródziemnym, generuje napływ ciepłego powietrza z kierunku zachodniego i południowo-zachodniego, co powoduje warunki sprzyjające do wystąpienia odwilży w Europie Środkowej.

W polskiej służbie meteorologicznej (IMGW-PIB) kryteria związane z wydawaniem ostrzeżeń przed roztopami podzielone zostały na trzy stopnie (*Załącznik* na końcu książki). Są one związane z równoczesnym występowaniem pokrywy śnieżnej o wysokości ≥ 10 cm i temperatury powietrza powyżej 0°C oraz ewentualnie dodatkowo przy prognozowanych opadach deszczu.

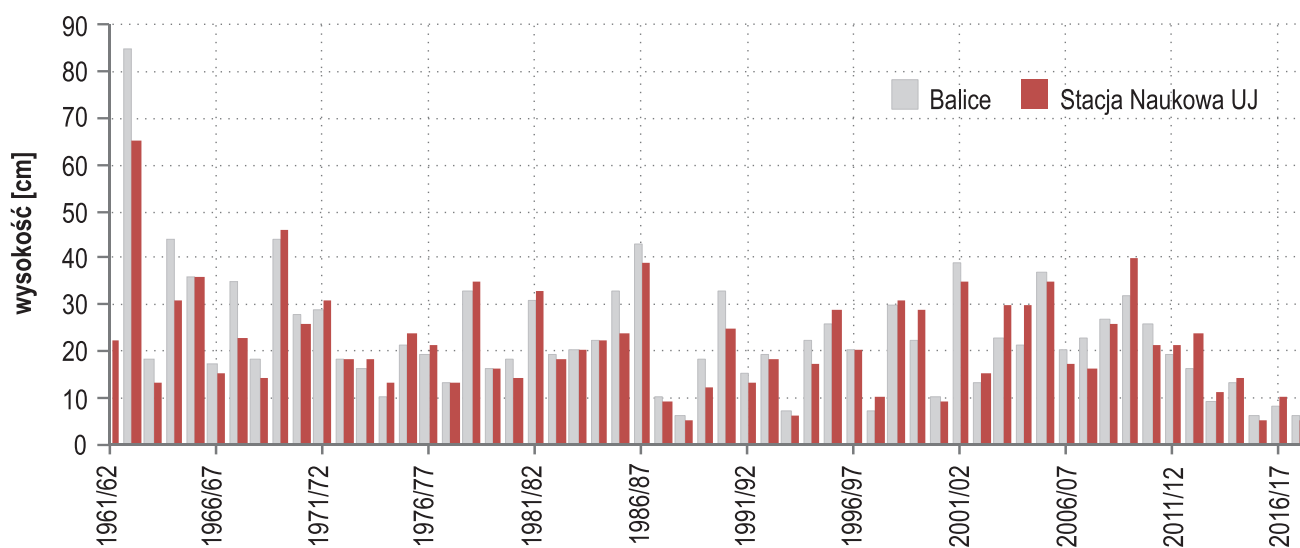
7.1. Odwilże w latach 1961–2018

Badając przyczyny i skutki groźnych zjawisk meteorologicznych w Krakowie i powiecie krakowskim, analizie poddano przypadki, w których podczas występowania pokrywy śnieżnej jej wysokość zmniejszyła się z dnia na dzień o co najmniej 5 cm. Uznano bowiem, że takie zjawiska mogą być szczególnie niebezpieczne i przyczynić się do występowania podtopień i lokalnych powodzi na analizowanym obszarze.

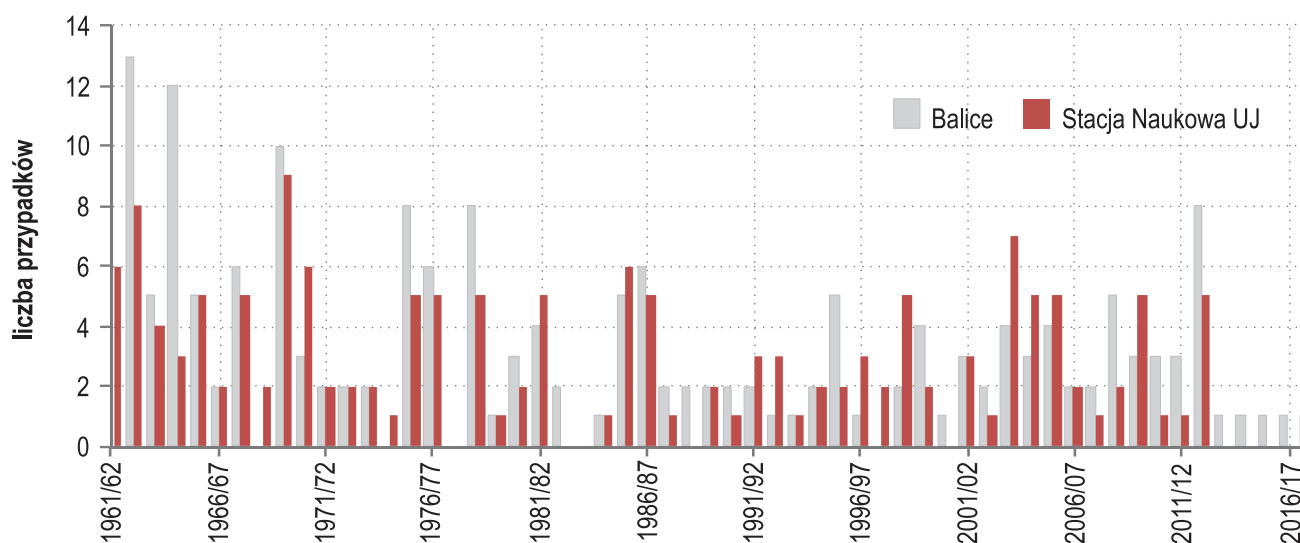
Na wstępie warto jednak wspomnieć, że od drugiej połowy lat 80. XX w. zaznacza się wyraźny spadek liczby dni z pokrywą śnieżną w całej Polsce, w tym i na rozpatrywanym obszarze (ryc. 67 w rozdziale 5.5 *Opady śniegu*). Nie oznacza to, że w ostatnich 30 latach występowały tylko zimy mało śnieżne. Przykładem jest zima z przełomu 1995 i 1996 r., która charakteryzowała się największą liczbą dni z pokrywą śnieżną (133 dni) od 1921 r.

oraz druga i trzecia w kolejności, czyli zimy z lat 1969/70 (111 dni) i 2005/06 (110 dni) (ryc. 67). Śnieżność zim może być również oceniana poprzez maksymalną wysokość pokrywy śnieżnej zanotowaną w sezonie zimowym (ryc. 106). Jednak również w przypadku tego kryterium zauważa się wyraźny spadek ilości śniegu pojawiającego się w kolejnych sezonach. Potwierdzają to pomiary z lat 1961/62–2017/18. W tych latach średnia maksymalna wysokość pokrywy śnieżnej wynosiła 22 cm (Stacja Naukowa UJ) i 23 cm (Balice), ale od 2013/14 (5 ostatnich zim uwzględnionych w analizie) nie przekroczyła 15 cm (ryc. 106).

Jak już wspomniano, zjawisko odwilży jest groźne, gdy po okresie mrozów gwałtowne topnienie pokrywy śnieżnej wiąże się ze wzrostem temperatury. W latach 1961/62–2017/18 w centrum Krakowa średnio na przełomie roku występowało 2,8, a w Balicach 3,3 przypadków, podczas których w ciągu doby wysokość pokrywy śnieżnej zmniejszyła się o co najmniej 5 cm (ryc. 107). Najwięcej takich zdarzeń miało miejsce w latach 60., ze szczególnie wyróżniającą się zimą 1962/63, podczas której w Balicach odnotowano aż 13 takich przypadków.

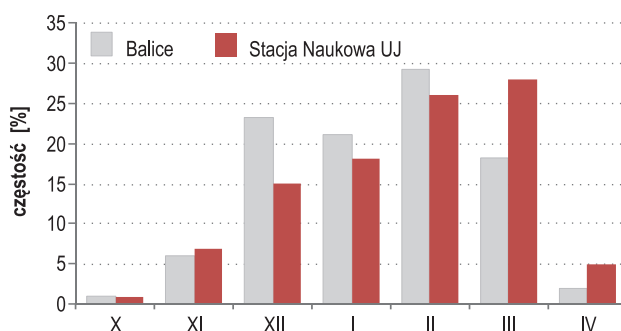


Ryc. 106. Maksymalna wysokość pokrywy śnieżnej na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961/62–2017/18



Ryc. 107. Liczba przypadków ze zmniejszeniem się wysokości pokrywy śnieżnej z dnia na dzień o co najmniej 5 cm na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018

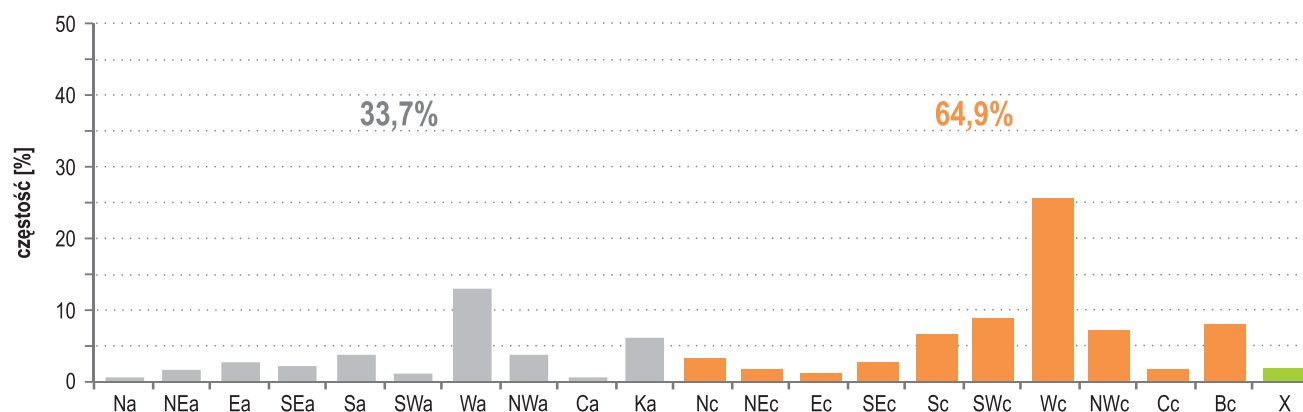
Należy również podkreślić, że występowanie odwilży na badanym obszarze ma bardzo nieregularny przebieg. Bywały zimy, w których zjawisko to nie było odnotowywane na żadnej ze stacji oraz w których liczba odwilży na jednej z nich wyraźnie dominowała nad częstością pojawiania się roztopów na drugiej stacji. Warto jednak zwrócić uwagę, że od sezonu 2012/2013 (5 zim) jedynie w Balicach wystąpiły spadki wysokości pokrywy śnieżnej o co najmniej 5 cm w ciągu doby (po jednym w każdym sezonie). Najczęściej występowały one w okresie od grudnia do marca (ponad 87%), z maksimum w lutym w Balicach (29%) i marcu na Stacji Naukowej UJ (28%) (ryc. 108).



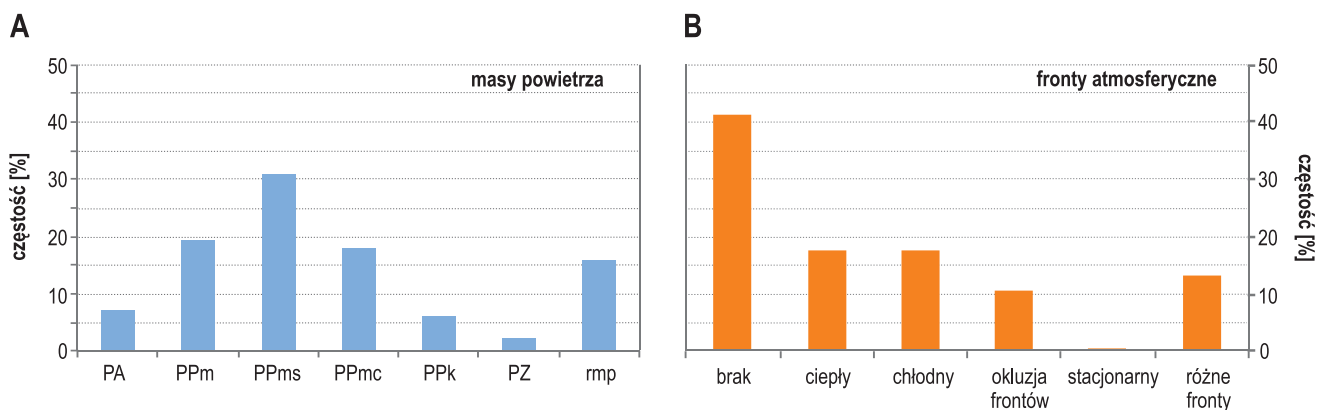
Ryc. 108. Częstość występowania [%] przypadków ze zmniejszeniem się wysokości pokrywy śnieżnej z dnia na dzień o co najmniej 5 cm w poszczególnych miesiącach na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018

Synoptyczne uwarunkowania występowania odwilży w Polsce przedstawiono we wstępnej części niniejszego rozdziału. Wyniki przedstawione przez innych autorów nie różnią się znacząco od tych dotyczących występowania rozpatrywanego zjawiska na Stacji Naukowej UJ i w Balicach. Jeśli na co najmniej jednej z analizowanych stacji wystąpiło zmniejszenie się wysokości pokrywy śnieżnej w ciągu doby o 5 cm lub więcej, to jego przyczyną była najczęściej adwekcja mas powietrza polarnego morskiego (PPm, PPms, PPmc; 68,4% rozpatrywanych dni) z sektora zachodniego (SW, W, NW) przy cyrkulacji cyklonalnej (41,1%) lub antycyklonalnej (17,4%) (ryc. 109, 110). Warto jednak zwrócić uwagę, że wśród analizowanych zdarzeń pojawiały się także i takie, głównie na początku (październik–listopad) i końcu sezonu zimowego (marzec–kwiecień), podczas których przy adwekcji arktycznych mas powietrza (PA) występowały dość intensywne opady śniegu, tworząc pokrywę nawet o grubości 5 cm, która w następnej dobie ulegała szybkiemu stopnieniu. Wspomniane nagle „pojawienie się” zimy lub jej „wiosenne powroty” często związane są z szybkim topnieniem dopiero co spadłego śniegu. Stwarza to dodatkowe trudności w komunikacji na drogach i chodnikach. W latach 1961–2018 w Krakowie i powiecie krakowskim odnotowano 20 podobnych przypadków, stąd częstość odwilży, które były związane z adwekcją mas powietrza arktycznego wynosiła 7,1% (ryc. 110).

Nieco ponad 40% przypadków szybkiego topnienia pokrywy śnieżnej miało miejsce, gdy nad Krakowem i powiatem krakowskim nie przechodziły żadne fronty atmosferyczne (ryc. 110), natomiast z taką samą częstością (po 17,4%) były one związane z frontem ciepłym lub chłodnym. Najprawdopodobniej związane jest to z czasem, jaki musi upłynąć po przejściu frontu przynoszącego za sobą cieplejsze masy powietrza niezbędnego



Ryc. 109. Częstość [%] występowania przypadków ze zmniejszeniem się wysokości pokrywy śnieżnej z dnia na dzień ≥ 5 cm w typach cyrkulacji atmosfery na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1961–2018 (objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*)



Ryc. 110. Częstość [%] występowania przypadków ze zmniejszaniem się wysokości pokrywy śnieżnej z dnia na dzień ≥ 5 cm w poszczególnych masach powietrza (A) oraz podczas przechodzenia frontów atmosferycznych (B) na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1961–2018 (objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*)

do stopnia znacznej grubości pokrywy śnieżnej. W przypadkach dni z frontami atmosferycznymi wytłumaczenia należy szukać w szczegółowej analizie warunków pogodowych panujących w poszczególnych dniach. Przejście frontu ciepłego w pierwszej połowie dnia mogło oznaczać bardzo gwałtowny wzrost temperatury i rozpoczęcie odwilży jeszcze tej samej doby, natomiast odnotowany front chłodny mógł niejako „kończyć” okres odwilży występujący przed jego nadejściem.

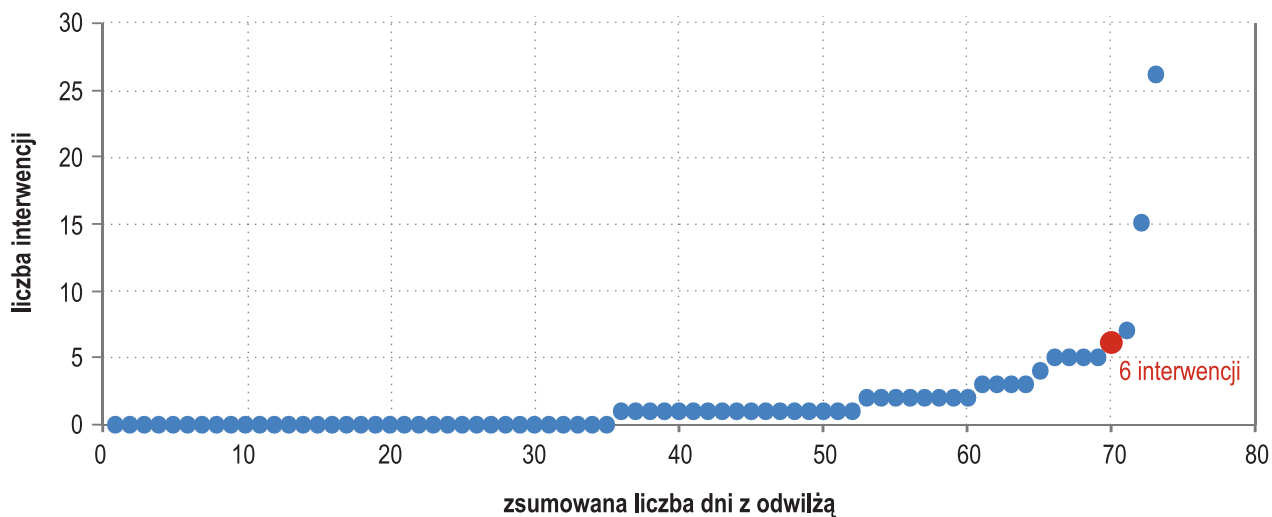
W porównaniu z wcześniej opisywanymi zjawiskami (silny wiatr, intensywne opady, silne burze) w analizowanych latach (2000–2018) odwilże nie były zjawiskami, w których do usuwania skutków konieczne były liczne działania Państwowej Straży Pożarnej.

Za ekstremalne przypadki odwilży można wskazać te, które wystąpiły w dniach: 11–12.12.1961 r. i 15–16.01.1968 r. Na przełomie tych dni w Krakowie i jego okolicach nastąpiło gwałtowne zmniejszenie się pokrywy śnieżnej. W pierwszym przypadku (11–12.12.1961) w Balicach w ciągu 24 godzin pokrywa śnieżna o wysokości 20 cm całkowicie uległa stopieniu (na Stacji Naukowej UJ zmiana wynosiła od 10 do 0 cm), natomiast w drugim (15–16.01.1968) zmiana wynosiła: w Balicach od 22 do 4 cm (różnica z dnia na dzień – 18 cm), a w centrum Krakowa od 21 do 5 cm (różnica z dnia na dzień – 16 cm). Duże zmiany wysokości pokrywy śnieżnej w ostatnich latach przedstawiono w kolejnym podrozdziale.

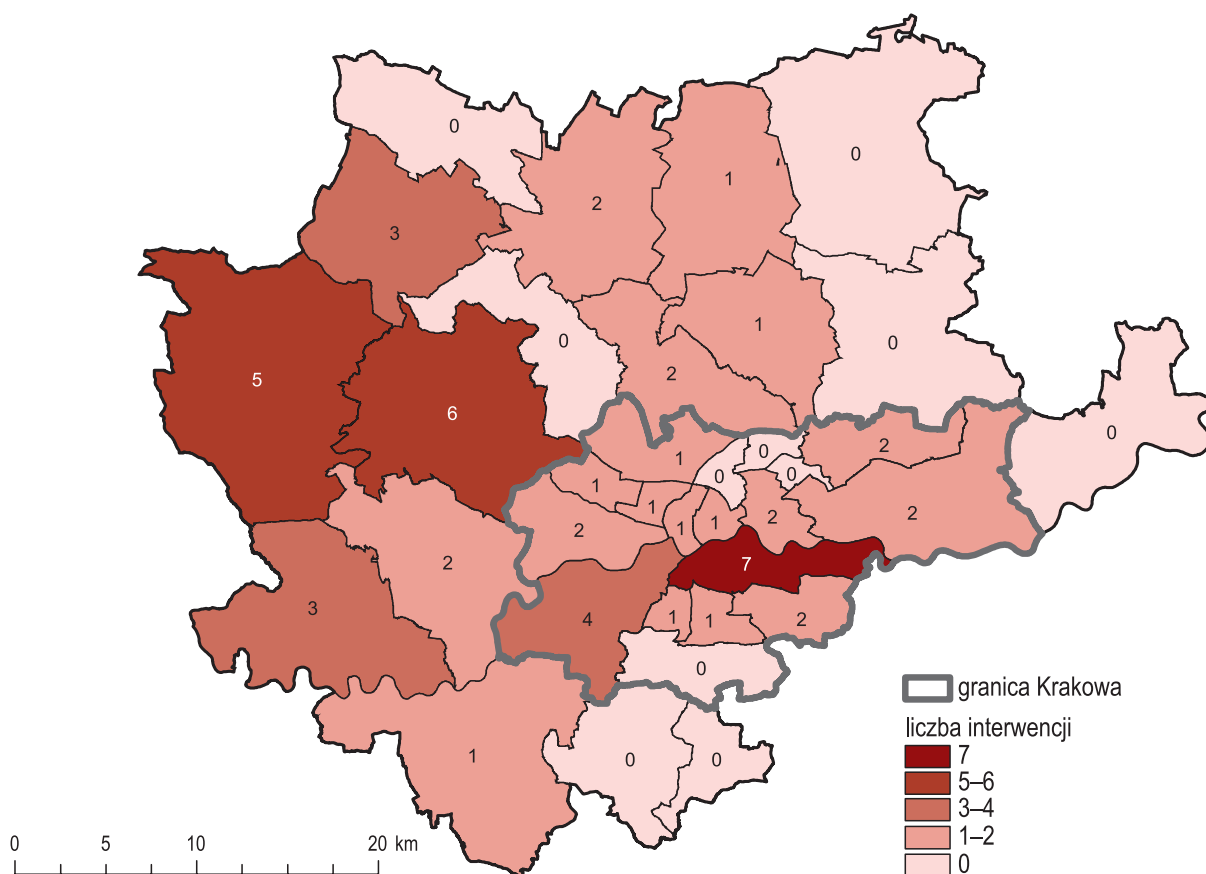
7.2. Wyjątkowo silne odwilże i ich skutki w latach 2000–2018

W latach 2000–2018 na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach wystąpiły 73 dni, w których doszło do szybkiego i znacznego zmniejszenia się wysokości pokrywy śnieżnej. Kryterium wyróżnienia tych przypadków było takie samo, jak omówione we wcześniejszym podrozdziale – zmiana wysokości pokrywy śnieżnej z dnia na dzień o co najmniej 5 cm.

Wśród wyróżnionych przypadków 48% stanowiły te, w których strażacy nie podejmowali interwencji w związku z wystąpieniem silnych roztopów. Zjawiska, w których podjęto jedną (23%) lub od 2 do 5 interwencji (23%) w sumie stanowiły kolejne 46% przypadków. Za wyjątkowe przypadki przyjęto te, w których w wyniku szybkiego topnienia pokrywy śnieżnej strażacy interweniowali od 6 do 26 razy w ciągu doby (4 przypadki, co stanowi około 6%) (ryc. 111, tab. 27). W tych dniach najwięcej interwencji (7) podjęto na terenie Krakowa w dzielnicy Podgórze, natomiast w powiecie krakowskim w gminach Zabierzów (6) i Krzeszowice (5) (ryc. 112).



Ryc. 111. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej w dniach ze zmniejszeniem się wysokości pokrywy śnieżnej w ciągu doby o ≥ 5 cm w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018



Ryc. 112. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego w dniach ze zmniejszeniem się wysokości pokrywy śnieżnej w ciągu doby o ≥ 5 cm w latach 2000–2018

Tabela 27. Charakterystyka dni z silną odwilżą w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018

| Data | Pokrywa śnieżna [cm] | | Suma opadów [mm] | | Temperatura maksymalna [°C] | | Typ cyrkulacji | Rodzaj frontu | Masa powietrza | Liczba interwencji straży pożarnej | Obszary wystąpienia największej liczby szkód |
|--------------------------|----------------------|---------|------------------|-------------|-----------------------------|--------------|----------------|---------------|----------------|------------------------------------|--|
| | Stacja UJ | Balice | Stacja UJ | Balice | Stacja UJ | Balice | | | | | |
| 2.01.2003 3.01.2003 | 4 0 | 5 0 | 9,5 4,2 | 12,0 5,2 | -9,9 5,6 | -10,3 5,3 | SWc Wc | Rmp PPms | c z | 0 26 | dzielnice: Podgórze, Dębniki, Zwierzyniec oraz gminy: Liszki i Zabierzów |
| 17.03.2005 18.03.2005 | 5 0 | 5 0 | 3,2 8,1 | 3,5 7,1 | 16,9 12,7 | 15,2 12,0 | Wa NWc | PPmc PPms | z - | 0 15 | gminy w zachodniej i północno-zachodniej części powiatu krakowskiego: Krzeszowice, Zabierzów, Zielonki i Skąła |
| 29.01.2013 30.01.2013 | 17 10 | 13 8 | 1,0 8,9 | 0,9 8,7 | 4,3 6,3 | 3,3 5,1 | Wc Wc | PPm PPms | rf o | 0 6 | dzielnice: Pogórze i Bronowice oraz gmina Zabierzów |
| 1.12.2016 2.12.2016 | 3 0 | 8 0 | 13,1 0,6 | 15,0 0,8 | 2,0 3,9 | 1,1 4,0 | NWc Nc | rmp rmp | rf rf | 0 7 | gminy: Krzeszowice, Iwanowice, Skawina oraz dzielnice: Nowa Huta, Prądnik Biały, Podgórze Duchackie |

Przykłady omówione w tekście.

Typ cyrkulacji, rodzaj frontu atmosferycznego i rodzaj mas powietrza według klasyfikacji Niedźwiedzia (2019) – objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne.*

7.3. Wybrany przypadek wystąpienia silnej odwilży

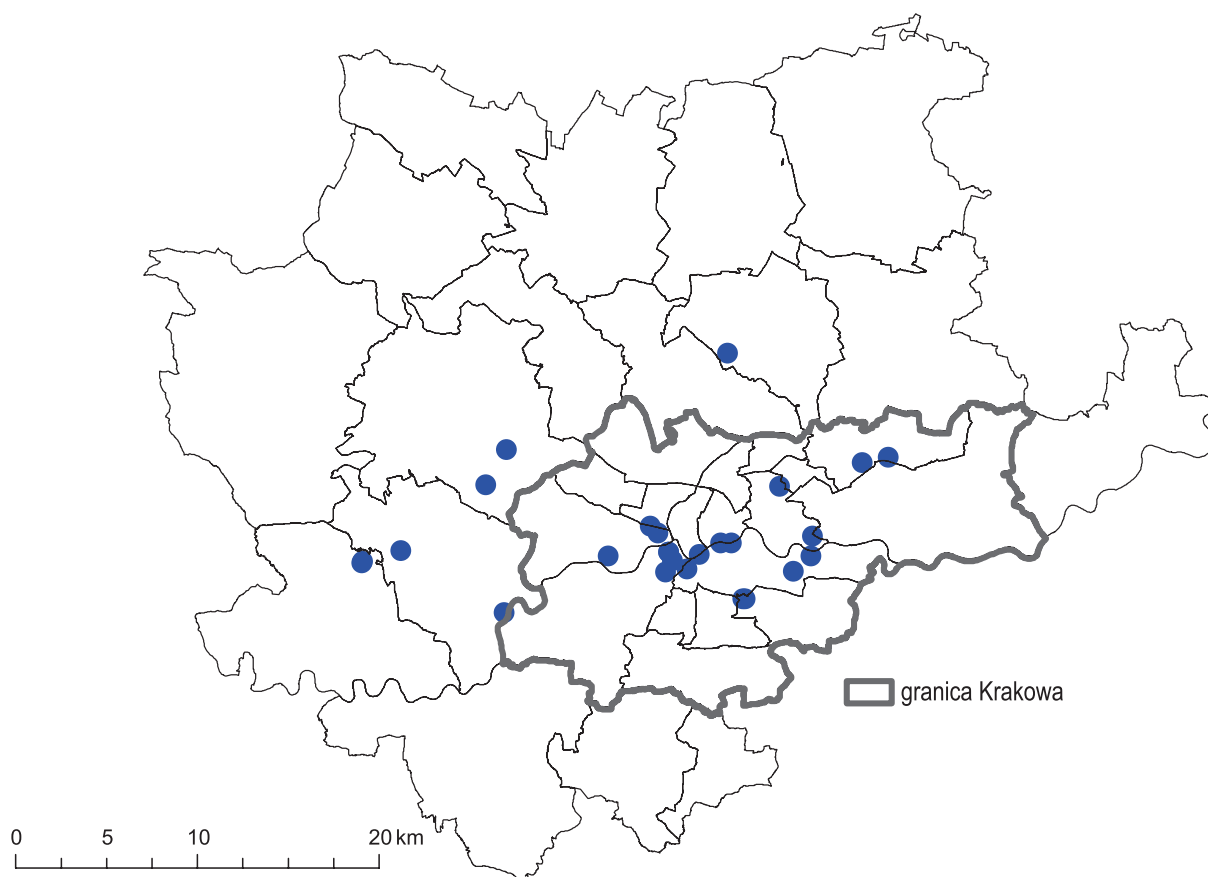
2–3 stycznia 2003 r.

W ostatnich dniach grudnia 2002 r. w Krakowie i okolicach zalegała pokrywa śnieżna, której wysokość w centrum Krakowa i Balicach wynosiła 4–5 cm. W dniu 31 grudnia 2002 r. adwekcja mas powietrza arktycznego spowodowała znaczny spadek temperatury. Z dnia na dzień (31.12./1.01) temperatura maksymalna powietrza spadała na Stacji Naukowej UJ z 2,1°C do -9,9°C (tab. 27). W kolejnym dniu nagła zmiana adwekcji mas powietrza z arktycznych na polarne kontynentalne przyczyniła się do szybkiego wzrostu temperatury powietrza – 2 stycznia osiągnęła ona nawet nieco ponad 5°C. Do tego dość intensywne opady deszczu i deszczu ze śniegiem w nocy z 2 na 3 stycznia (do 12 mm w Balicach) spowodowały całkowity zanik pokrywy śnieżnej (tab. 27).

Topniejący śnieg, zamrznięta gleba i występujące opady spowodowały liczne podtopienia. Do likwidacji niektórych z nich została wezwana straż pożarna. Łącznie w ciągu jednej doby (3.01.2003 r.) strażacy interweniowali 26 razy. Pierwsze zgłoszenie otrzymali 3 stycznia o godz. 4.10 do zalanego domu jednorodzinnego w Krakowie. Kolejne interwencje były związane m.in. z zalanymi piwnicami w szkołach, przedszkolu i klubie sportowym, oraz rozlewiskami na podwórkach, drogach oraz przy cmentarzu w krakowskim Grębałowie (lokalizację wszystkich interwencji przedstawiono na ryc. 113). Najwięcej ze wspomnianych interwencji miało miejsce w okolicach Starego Miasta, m.in. w dzielnicach: Podgórze, Dębniki i Zwierzyniec.

7.4. Skutki odwilży w latach 1961–2002 – kalendarium

Przykłady innych odwilży i ich skutków przedstawiono w tabeli 28, w której zawarto informacje pochodzące z Kalendarium Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie.



Ryc. 113. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniu 3.01.2003 r.

Tabela 28. Opis interwencji związanych z wystąpieniem odwilży z kalendarium Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

| Data | Opis interwencji |
|-----------------|--|
| 20–25.03.1964 | Na skutek wzrostu temperatury nastąpiły gwałtowne roztopy. Doszło do zalania piwnic, suterren i magazynów. Strażacy wypompowywali wodę z około 50 obiektów. |
| 25.03–4.04.1964 | Wobec przedłużających się roztopów straż pożarna codziennie po kilkanaście razy wzywana była do osuszania piwnic. |
| 18–19.03.1970 | Na skutek gwałtownych roztopów i obfitych opadów deszczu woda zalała dziesiątki krakowskich piwnic i magazynów. Straż pożarna przez 3 dni wypompowywała wodę z tych pomieszczeń. |

Źródło: www.psp.krakow.pl.

8. Gołoledź

Gołoledź należy do zjawisk rzadko pojawiających się w Polsce, jednak skutki jej wystąpienia bywają poważne. Do najważniejszych zalicza się zwiększoną liczbę wypadków samochodowych i znaczące utrudnienia w ruchu samochodowym. Jest to zjawisko również bardzo niebezpieczne dla pieszych, szczególnie osób starszych oraz tych poruszających się w obszarach o nieco bardziej urozmaiconej rzeźbie terenu. Następstwem wystąpienia gołoledzi bywa również nadmierne obciążenie powstałą pokrywą lodową drzew, linii energetycznych oraz szeroko pojętej infrastruktury technicznej (Sadowski 1965). Gołoledź jest także bardzo niebezpiecznym zjawiskiem w ruchu lotniczym. Powoduje bowiem pokrycie lodem wszystkich elementów statków powietrznych, przez co zmienia się profil skrzydeł i kadłuba, zwiększa się obciążenie samolotu oraz zakłóceniu podlega działanie urządzeń pokładowych. Z tego powodu pogarszają się właściwości aerodynamiczne samolotu, zmniejsza się siła nośna statku powietrznego, zasięg i bezpieczeństwo lotu oraz komfort podróży (zwykle odnotowuje się wzrost turbulencji). W przypadku lotnictwa do oblodzenia może dojść jeszcze na płycie lotniska, co zwykle opóźnia lub uniemożliwia lot, a także w trakcie lotu na różnych wysokościach.

Przykładem takich zdarzeń może być wystąpienie gołoledzi z 8 na 9 stycznia 2010 r. na południu Polski. Marznący deszcz w zetknięciu z wychłodzonym podłożem (temperatura powietrza utrzymywała się około -1°C) pokrył wszystko lodem o grubości około 3 cm. W rezultacie na Górnym Śląsku i w Małopolsce doszło do wielu awarii linii energetycznych i trakcji kolejowych (Dołęga, Lorenc 2012). Podobne przypadki miały miejsce w środkowej i wschodniej Europie w grudniu 2010 r., czego przykładem była gołoledź, jaka wystąpiła w Krakowie (Dołęga, Lorenc 2012; dziennikpolski24.pl/gololedz-dala-sie-wszystkim-we-znaki/ar/2906714). Łódź pokrył wszystkie nieosłonięte powierzchnie, co było przyczyną kilkudziesięciu stłuczek, znacznych utrudnień w komunikacji oraz zwiększonej liczby przyjęć do szpitala. Tak trudne sytuacje odnotowano również w styczniu 2014 r. w Poznaniu oraz w styczniu 2010 r. w wielu rejonach Polski (poznan.wyborcza.pl/poznan/1,36001,15298509,Szklanka_na_drogach_Takiej_gololedzi_nie_bylo_w_Poznaniu.html?disableRedirects=true; www.rmfm24.pl/raporty/raport-zima/zimawnatarciu2/news-uwaga-gololedz,nId,316807).

Powstanie gołoledzi związane jest z wystąpieniem tzw. opadów marznących, czyli przechłodzonych kropelek mżawki lub deszczu. W przypadku, gdy zetkną się one z powierzchnią o temperaturze niższej lub bardzo bliskiej 0°C , dochodzi do powstania jednolitej, zazwyczaj przezroczystej, warstwy lodu. Zdarzają się również sytuacje, że osad ten powstaje, gdy nieprzechłodzone krople dotkną powierzchni o temperaturze niższej od 0°C (*Słownik meteorologiczny* 2003). Tak powstała pokrywa lodowa zalegająca na drogach zwana jest także „black ice”. Warto pamiętać, że sposób powstawania gołoledzi jest podstawową charakterystyką odróżniającą ją od lodu powstałego w wyniku zamarzania wody lub metamorfozy pokrywy śnieżnej.

Do czynników wpływających na wielkość zagrożenia związanego z wystąpieniem gołoledzi zaliczamy nie tylko czas trwania opadów marznących (decydujący o grubości pokrywy lodowej), lecz także i warunki pogodowe, w tym wilgotność i temperaturę powietrza oraz kierunek i prędkość wiatru, które wpływają na to, jak długo

gołoledź utrzyma się w danym miejscu. Prawdopodobieństwo wystąpienia gołoledzi zależy również od bliskości zbiorników wodnych, formy terenu oraz jego ekspozycji i wysokości nad poziomem morza (Kozmiński, Drogosz 1980). Szacuje się również, że tereny zurbanizowane zmniejszają prawdopodobieństwo wystąpienia tego zjawiska nawet do około 30% (Changnon 2003).

Gołoledź należy do osadów powstających w chłodnej połowie roku, chociaż warunki sprzyjające jej powstaniu mogą wystąpić także późną wiosną. Jej powstanie nie jest związane z cyklem dobowym, a zależne od warunków pogodowych występujących w danym regionie (*Vademecum...* 2013b). Wyróżnia się dwa zasadnicze rodzaje procesów prowadzących do powstania gołoledzi:

- **gołoledź powstająca w strefie frontu ciepłego lub okluzji** – tworzy się, gdy cieplejsze powietrze nasuwa się nad masę powietrza chłodnego i jednocześnie nad silnie wychłodzoną powierzchnię terenu. Powstające na styku mas powietrza chmury przynoszą opady (w postaci ciekłej lub stałej), które po wypadnięciu z chmury początkowo przemieszczają się w warstwie cieplejszego powietrza (opady stałe topią się). Następnie docierają do przyziemnej warstwy chłodnego powietrza, w którym dochodzi do przechłodzenia kropel. Po zetknięciu się z wychłodzoną powierzchnią gruntu krople te zamarzają, tworząc jednolitą powłokę lodową (*Vademecum...* 2013b). Przechłodzeniu kropel najbardziej sprzyja sytuacja, kiedy przed frontem atmosferycznym temperatura przy powierzchni ziemi waha się od -1°C do -8°C , a po jego przejściu osiąga od 5°C do 10°C (Dołęga, Lorenc 2012). W przypadku zbyt cienkiej warstwy chłodnego powietrza kropelki opadu lub mgły nie zdążą ulec przechłodzeniu, jednak w zetknięciu z bardzo wychłodzonym gruntem zamarzają;
- **gołoledź powstająca w ciepłych wycinkach wyżu** (najczęściej na zachodnich i północnych obrzeżach układu) lub **w ciepłych wycinkach układów cyklonalnych** – w obszarach tych często występują niskie i „ciepłe” chmury podinwersyjne, a towarzyszący im opad zamarza w zetknięciu z wychłodzonym podłożem, nad którym się przemieszczają (Dołęga, Lorenc 2012; *Vademecum...* 2013b).

Warunki cyrkulacyjne występujące nad Europą powodują, że wśród procesów prowadzących do powstawania gołoledzi dominuje pierwszy z opisanych, osiągając w niektórych rejonach około 75% wszystkich przypadków (imgw.isok.gov.pl).

Ze względu na czas i sposób powstawania gołoledzi wyróżnia się:

- **gołoledź przezroczystą** – powstającą w przypadku temperatury powietrza zbliżonej do 0°C i występowania dużych przechłodzonych kropel deszczu;
- **gołoledź matową** – powstającą w przypadku opadu mżawki lub bardzo małych kropel deszczu oraz w temperaturze powietrza niższej od 0°C (Dołęga, Lorenc 2012, Wikson 2015) (fot. 8).

Jak już wspomniano, w Polsce (poza rejonami górskimi) gołoledź występuje głównie w sezonie chłodnym (październik–marzec). Roczne maksimum pojawiania się tego zjawiska przypada na grudzień i styczeń, a niekiedy i luty (średnio około 2–3 dni w miesiącu, a w Siedlcach 3–4; Dołęga, Lorenc 2012; Ustrnul i in. 2014). Najrzadziej gołoledzi możemy się spodziewać na wybrzeżu Bałtyku i Pomorza, co spowodowane jest ocieplającym wpływem akwenu morskiego (na Helu średnio jest to około 0,5 dnia z gołoledzią rocznie; Kalbarczyk 2005; Dołęga, Lorenc 2012). Niewiele częściej notuje się to zjawisko na pozostałym obszarze kraju, szczególnie w centrum i Kotlinie Sandomierskiej. Jednak przestrzenne zróżnicowanie liczby dni z gołoledzią wskazuje również na istnienie dwóch obszarów ze zwiększoną częstością pojawiania się tego zjawiska. Zaliczyć do nich należy wschodnią część Polski z wyróżniającymi się regionami z centrum: w Siedlcach (10,3 dni w sezonie), Kielcach (9,1), Mikołajkach (7,7), Olsztynie (7,4) i Białymstoku (7,0) oraz obszar zachodni z podwyższoną liczbą dni z gołoledzią w okolicach Zielonej Góry (8,2), Chojnic (8,1) i Piły (7,9; Dołęga, Lorenc 2012). Zwiększona częstość występowania gołoledzi w wymienionych regionach wynika najczęściej z warunków lokalnych sprzyjających powstawaniu omawianego zjawiska (imgw.isok.gov.pl). Ukształtowanie terenu oraz wysokość nad poziomem



Fot. 8. Gołoledź przezroczysta i matowa w Krakowie i powiecie krakowskim w styczniu 2010 i 2013 r. (fot. S. Wypych)

morza jest czynnikiem zwiększającym częstość występowania gołoledzi w górach. Z tego powodu na najwyższych szczytach notuje się ponad 10 dni z gołoledzią rocznie (na Kasprowym Wierchu 3,8, natomiast na Śnieżce 20 dni) (Ustrnul i in. 2014).

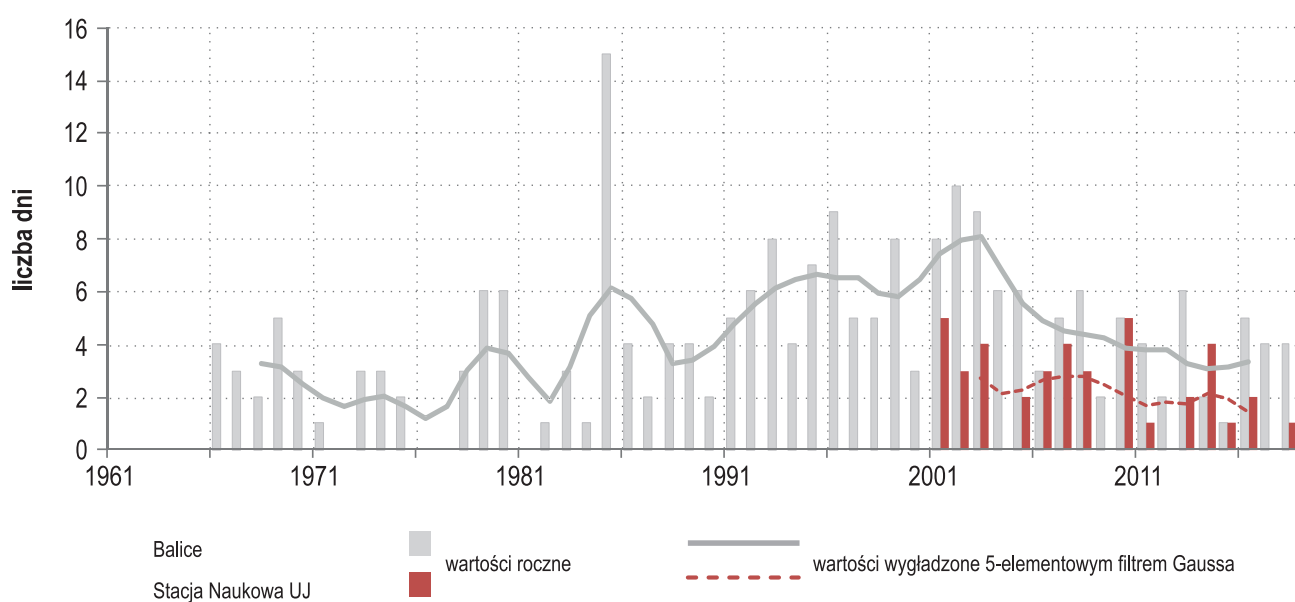
Wieloletnia zmienność występowania liczby dni z gołoledzią wskazuje na istnienie kilku okresów podwyższonej ich częstości. Szczególnie wyróżnia się okres po 1990 r. Potwierdza to ogólną tendencję zmian liczby dni z badanym zjawiskiem, która wskazuje, iż od początku XXI w. liczba dni z gołoledzią wyraźnie wzrosła. W okresie 2001–2005 aż na 21 z 45 stacji średnia liczba tych dni wyniosła 7 i więcej w ciągu sezonu, a w Siedlcach nawet 14,6 (Dołęga, Lorenc 2012). I chociaż nie w każdym regionie kraju zmiany przebiegają w ten sam sposób i różnią się w zależności od wielolecia, wzrost ten obserwowany jest również w rejonach, w których zjawisko to wcześniej było rzadko notowane (Łódź, Wrocław, Lublin, Kłodzko, Kraków) (Kafar 1999, Kalbarczyk 2005, Dołęga, Lorenc 2012). Jednocześnie zauważa się przesunięcie rocznego maksimum dni z gołoledzią ze stycznia na grudzień.

Występowanie gołoledzi nie wykazuje wyraźnych związków pomiędzy porą doby a początkiem powstawania zjawiska. Związane jest to zapewne z dominującym sposobem powstawania gołoledzi podczas przechodzenia frontu ciepłego, co zależne jest od warunków cyrkulacyjnych występujących nad danym obszarem. Często jest to adwekcja powietrza z sektora północnego i wschodniego towarzysząca sytuacjom antycyklonalnym oraz napływom powietrza z południa podczas przemieszczania się nad Polską układu niskiego ciśnienia (Dołęga, Lorenc 2012). Niektóre badania jednak wskazują, że gołoledź najczęściej rozpoczyna się w godzinach przed północą do 9 rano (około 60% przypadków), a kończy się w godzinach porannych i przedpołudniowych (około 50% przypadków; Kafar 1999).

Czas trwania gołoledzi jest również silnie uzależniony od warunków lokalnych i temperatury powietrza utrzymującej się po powstaniu pokrywy lodowej. W Poznaniu około 80% badanych zjawisk trwało od 1 do 10 godzin (po około 10–14% w każdym przedziale dwugodzinnym), chociaż dominowały przypadki trwające od 2 do 4 godzin (27,6%). W Łodzi natomiast, w zależności od miesiąca, gołoledź średnio trwała około 5–10 godzin. Zdarzają się jednak przypadki charakteryzujące się znaczną trwałością. W Poznaniu około 10% przypadków trwało 22–24 godziny, natomiast w Łodzi około 8% przypadków trwało 23–24 godziny. Szacuje się też, że około 20% przypadków gołoledzi może trwać co najmniej dwie doby. Przykładem wyjątkowo długo trwającego zjawiska jest gołoledź utrzymująca się 81,4 godziny w dniach 6–10 listopada 1980 r. w Łodzi (Kafar 1999; Olczak 2017).

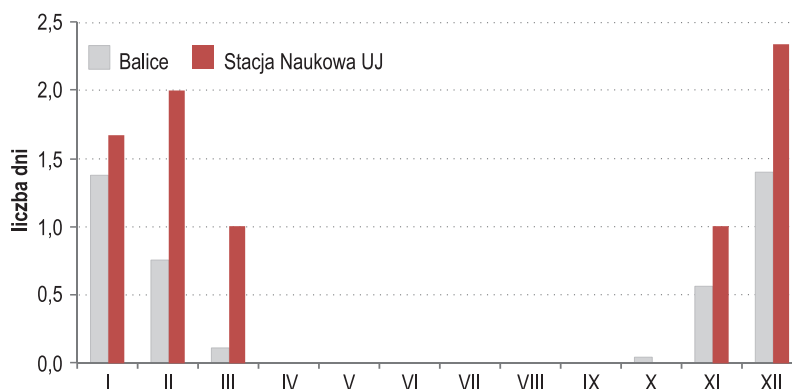
8.1. Gołoledź w latach 1966–2018

Podobnie jak na większości obszaru Polski, również w Krakowie i powiecie krakowskim gołoledź jest rzadko spotykanym zjawiskiem meteorologicznym (Dołęga, Lorenc 2012). Na stacji w Balicach w latach 1966–2018 średnio notowano ją zaledwie przez 4,2 dnia w roku, natomiast w centrum miasta jedynie przez 2,9 (dane z lat 2001–2018; średnia wartość dla Balic w tym okresie wynosiła 4,9 dnia). W Balicach największa liczba dni z omawianym zjawiskiem zwykle występowała w listopadzie (6 dni w 1986 r.) oraz w grudniu (trzy razy 5 dni) i w styczniu (dwa razy po 5 dni). Na Stacji Naukowej UJ najwięcej takich dni – 4 odnotowano w lutym 2003 r. i styczniu 2010 r. W Balicach w rozpatrywanym wieloleciu zwiększoną liczbą dni z gołoledzią wyróżniały się lata 90. XX i początek XXI w. (ryc. 114). W latach tych zwykle notowano ponad 5 analizowanych dni, w 2003 r. było ich aż 10, a w 1996 r. i 2004 r. – 9 dni. Wyjątkowy był 1985 r., w którym w sumie wystąpiło 15 dni z gołoledzią, w tym ciąg 3 dni w styczniu i aż 6 dni w listopadzie (od 20 do 25.11.1985; 24 listopada gołoledź trwała 22,3 godziny). W kolejnych latach częstość występowania gołoledzi była niższa i przypominała tę z pierwszej połowy badanego wielolecia (ryc. 114). Dane dotyczące występowania gołoledzi w Krakowie pochodzą ze znacznie krótszego okresu – lat 2001–2018. Na ich podstawie można zauważyć jedynie, iż w mieście gołoledzi możemy się spodziewać rzadziej niż w Balicach, a w ostatnich latach występowała ona sporadycznie.



Ryc. 114. Roczna liczba dni z gołoledzią na Stacji Naukowej UJ (2001–2018) i w Balicach (1966–2018)

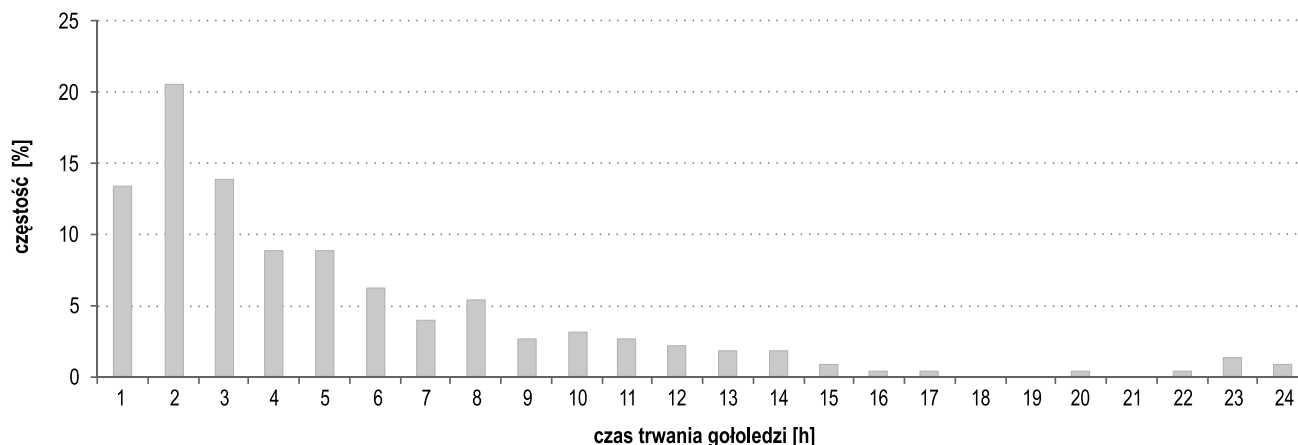
Tak jak w innych regionach kraju (Dołęga, Lorenc 2012; Ustrnul i in. 2014), na badanym obszarze gołoledź występuje w sezonie chłodnym. W rozpatrywanym wieloleciu notowano ją od października do marca (ryc. 115), chociaż za okres największej jej częstości należy uznać miesiące od listopada do lutego. Przy czym w Balicach z podobnym i największym prawdopodobieństwem gołoledzi można się spodziewać w grudniu i styczniu (średnio 1,4 dnia), natomiast dane z centrum Krakowa wskazują, że najbardziej sprzyjające warunki do jej powstania występują w grudniu (średnio notowano wtedy 2,3 dnia z gołoledzią).



Ryc. 115. Średnia miesięczna liczba dni z gołoledzią na Stacji Naukowej UJ (2001–2018) i w Balicach (1966–2018)

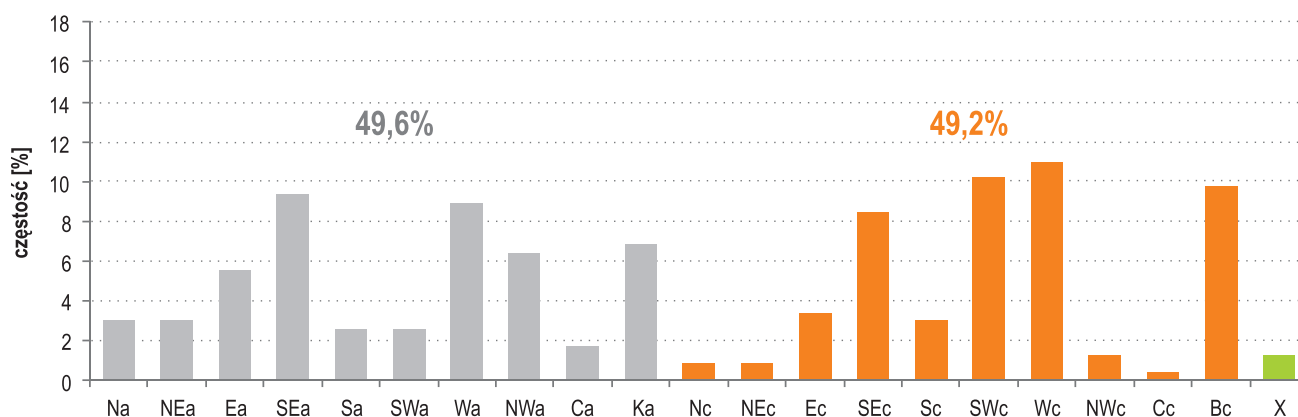
Na lotnisku w Balicach gołoledź średnio trwała 4,7 godziny. Jednak najczęściej notowano zjawiska trwające: jedną (13,3%), dwie (20,4%) lub trzy godziny (13,8%) (ryc. 116), które w sumie stanowiły 47,5% wszystkich przypadków. Częstość występowania gołoledzi w zależności od czasu trwania bardzo szybko maleje i większość z nich (86,7%) trwała do 12 godzin. Dłużej trwające przypadki odnotowano 19 razy, a tych występujących przez ponad 20 godzin było jedynie 7 (3,1%). Gołoledź utrzymująca się całą dobę zanotowano dwukrotnie: 3 grudnia 1988 r. i 21 stycznia 2013 r. Opisane zależności nie różnią się znacząco od spotykanych na pozostałym obszarze kraju (poza górami) (Kafar 1999; Olczak 2017), chociaż można się spodziewać, iż ze względu na występowanie miejskiej wyspy ciepła w centrum miasta mogą one być krótsze.

Powstała gołoledź zwykle trwa na tyle krótko, że zanika w ciągu danego dnia. Z tego powodu aż 70,4% wszystkich przypadków dni z gołoledzią stanowią pojedyncze dni. W dwóch kolejnych dniach gołoledź trwała 38 razy (22,5% wszystkich ciągów wliczając pojedyncze dni), w trzech kolejnych – 9 razy (5,3%), w czterech 2 razy (1,2%) i tylko raz zjawisko to notowano w ciągu 6 kolejnych dni (20–25.11.1985 r.).



Ryc. 116. Czas trwania gołoledzi w Balicach w latach 1966–2018

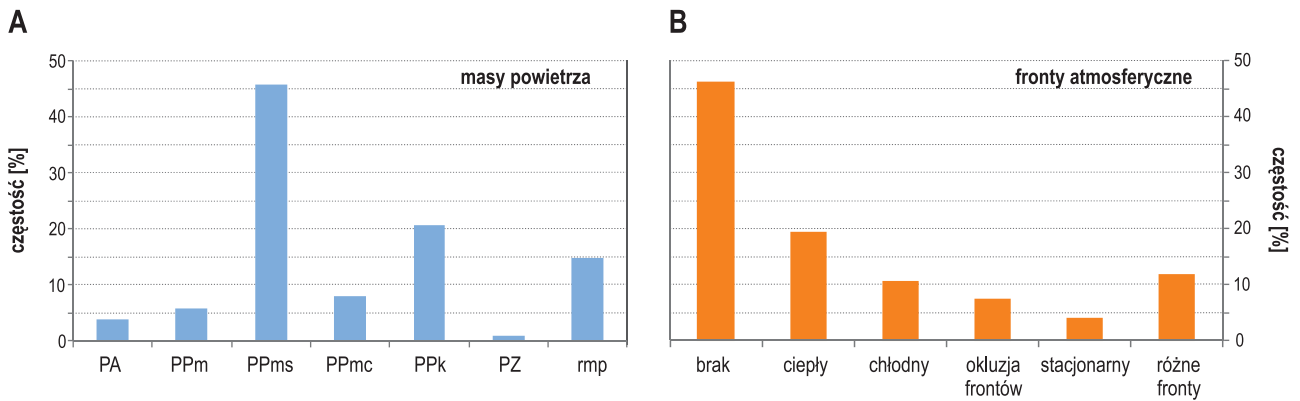
W rejonie Krakowa gołoledź może powstać w każdym typie sytuacji synoptycznej, jednak najczęściej związana była z adwekcją powietrza z sektora południowego i zachodniego (SEa – 9,3%, SEc – 8,5%, SWc – 10,2% oraz Wa – 8,9%, Wc – 11,0% rozpatrywanych dni) oraz podczas występowania bruzdy cyklonalnej (Bc – 9,8%) i klina wysokiego ciśnienia (Ka – 6,8%) (ryc. 117). W sumie 70,8% wszystkich badanych przypadków towarzyszyło wymienionym typom cyrkulacji. Należy również podkreślić, że nie zauważa się wyraźnej przewagi częstotliwości występowania gołoledzi podczas cyklonalnych lub antycyklonalnych typów cyrkulacji. Najprawdopodobniej wynika to ze sposobów powstawania analizowanego zjawiska, które najczęściej powstaje w wyniku zmiany warunków pogodowych nad danym obszarem.



Ryc. 117. Częstość występowania [%] gołoledzi w typach cyrkulacji atmosfery na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1966–2018 (objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*)

Bardziej szczegółowa charakterystyka synoptyczna występowania gołoledzi, jedynie na podstawie kalendarza sytuacji synoptycznych, nie jest łatwa. Związane jest to z faktem, iż zarówno masa powietrza, jak i rodzaj frontu atmosferycznego jest przypisany do całej doby, a gołoledź powstaje w bardzo specyficznych warunkach meteorologicznych i jest słabo związana z rytmem dobowym. Z tego powodu zaprezentowane niżej prawidłowości należy traktować z właściwą ostrożnością, a szczegółową analizę poszczególnych przypadków przeprowadzać z uwzględnieniem danych o większej rozdzielczości czasowej, map synoptycznych i informacji o warunkach panujących w pionowym profilu atmosfery.

Przeprowadzone badania wskazują, że w Balicach gołoledź najczęściej występowała podczas napływu masy powietrza polarnego morskiego (w sumie 59,7% wszystkich rozpatrywanych dni), z wyraźną dominacją mas przetransformowanych (PPms – 45,8%) oraz powietrza polarnego kontynentalnego (PPk – 20,8%; ryc. 118). Jednocześnie w 46,2% dni z gołoledzią nie występowały fronty atmosferyczne (ryc. 118). W takich przypadkach gołoledź mogła powstać w strefie przedfrontalnej, rozciągającej się danego dnia nad badanym obszarem, trwać już po przejściu frontu lub powstać na obrzeżach układów barycznych. W 19,5% przypadków w dniach z gołoledzią nad Krakowem przemieszczał się ciepły front atmosferyczny, a w 10,6% był to front chłodny. Znacznie rzadziej były to fronty stacjonarne, fronty okluzji lub więcej niż jeden rodzaj przemieszczającego się frontu. Warto jednak dodać, że w dniach z gołoledzią, w których nad rozpatrywany obszar napływało powietrze kontynentalne (PPk) prawie zawsze były to dni bez frontów atmosferycznych. Z drugiej strony w dniach z gołoledzią występujących w jednorodnej masie powietrza 41,3% stanowiły właśnie masy powietrza polarnego kontynentalnego (PPk), natomiast 45,0% polarnego morskiego przetransformowanego (PPms).



Ryc. 118. Częstość występowania [%] gołoledzi w poszczególnych masach powietrza (A) oraz podczas przechodzenia frontów atmosferycznych (B) na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1966–2018 (objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. Dane meteorologiczne)

8.2. Wyjątkowo długo trwająca gołoledź i jej skutki w latach 2000–2018

Jak wspomniano na początku rozdziału, gołoledź stanowi duże zagrożenie dla różnych form działalności człowieka. Szczególnie jest niebezpieczna, jeśli trwa długo, co utrudnia służbom utrzymanie dróg oraz naprawę sieci teleenergetycznej. W tabeli 29 podano przypadki, w których gołoledź w ciągu doby trwała wyjątkowo długo oraz występowała w ciągu kilku dni. Wprawdzie straż pożarna nie interweniowała zbyt często w dniach związanych z występowaniem gołoledzi, ale dzięki informacjom o liczbie wypadków i kolizji drogowych częściowo można się zorientować o liczbie i rodzaju zagrożeń przez nią spowodowanych. Znacznie trudniej jest oszacować straty, jakie powoduje wystąpienie gołoledzi w lasach, lub w związku z uszkodzeniem np. linii energetycznych.

Tabela 29. Charakterystyka dni z długo trwającą gołoledzią w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018

| Data | | | Stacja UJ x – wystąpienie gołoledzi | Stacja Balice czas trwania [w godz.] | Typ cyrkulacji | Rodzaj frontu | Masa powietrza | Liczba interwencji straży pożarnej | liczba wypadków i kolizji drogowych | | Dzień tygodnia |
|------|---------|-------|---|--|-------------------|------------------|-------------------|---|--|---------------------|-------------------|
| Rok | Miesiąc | Dzień | | | | | | | Kraków | powiat krakowski | |
| 2002 | 12 | 3 | x | - | SEc | st | PPms | 2 | brak danych | | |
| | | 4 | | 0,5 | SEa | - | PPk | 4 | | | |
| | | 5 | | 7,2 | Ea | - | PPk | 8 | | | |
| | | 6 | | 1,0 | Ea | - | PPk | 18 | | | |
| 2002 | 12 | 29 | x | 22,6 | Wc | z | PPms | 8 | | | |
| | | 30 | x | 12,6 | Wc | z | PPms | 3 | | | |
| 2003 | 2 | 18 | x | 6,4 | Na | c | PPk | 4 | | | |
| | | 19 | x | 19,4 | Na | c | PPms | 2 | | | |
| | | 20 | x | 8,7 | Na | - | PPms | 4 | | | |
| | | 21 | x | 1,5 | Ea | - | PPms | 4 | | | |
| 2007 | 12 | 15 | x | 7,2 | Ea | - | PPk | 8 | 19 | 13 | sobota |
| | | 16 | x | 16,9 | NEa | - | PPk | 3 | 16 | 2 | niedziela |
| 2010 | 01 | 8 | x | 5,5 | SEc | c | PPms | - | 32 | 8 | piątek |
| | | 9 | x | 14,5 | SEc | c | PPms | 19 | 22 | 3 | sobota |
| | | 10 | x | 7,6 | Ec | c | PPms | 63 | 37 | 5 | niedziela |

| Data | | | Stacja UJ x – wystąpienie gołoledzi | Stacja Balice czas trwania [w godz.] | Typ cyrkulacji | Rodzaj frontu | Masa powietrza | Liczba interwencji straży pożarnej | liczba wypadków i kolizji drogowych | | Dzień tygodnia |
|------|---------|-------|---|--|-------------------|------------------|-------------------|---|--|---------------------|-------------------|
| Rok | Miesiąc | Dzień | | | | | | | Kraków | powiat krakowski | |
| 2011 | 01 | 07 | x | 11,5 | SWc | c | PZ | - | 62 | 9 | piątek |
| 2013 | 01 | 20 | | 1,8 | Bc | - | PPk | - | 17 | 7 | niedziela |
| | | 21 | x | 24,0 | Ec | c | PPms | 2 | 31 | 12 | poniedziałek |
| | | 22 | | 2,0 | Ec | st | PPms | 6 | 17 | 3 | wtorek |
| 2014 | 1 | 20 | | 4,7 | SEc | c | PPmc | 2 | 37 | 11 | poniedziałek |
| | | 21 | x | 23,0 | SEc | st | PA | 1 | 21 | 13 | wtorek |
| 2015 | 01 | 01 | x | 11,1 | Wa | c | PPmc | 1 | 9 | 5 | Nowy Rok |

Przykłady omówione w tekście.

Typ cyrkulacji, rodzaj frontu atmosferycznego i rodzaj mas powietrza według klasyfikacji Niedźwiedzia (2019) – objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*.

8.3. Wybrane przypadki wystąpienia długotrwałej gołoledzi

8–10 stycznia 2010 r.

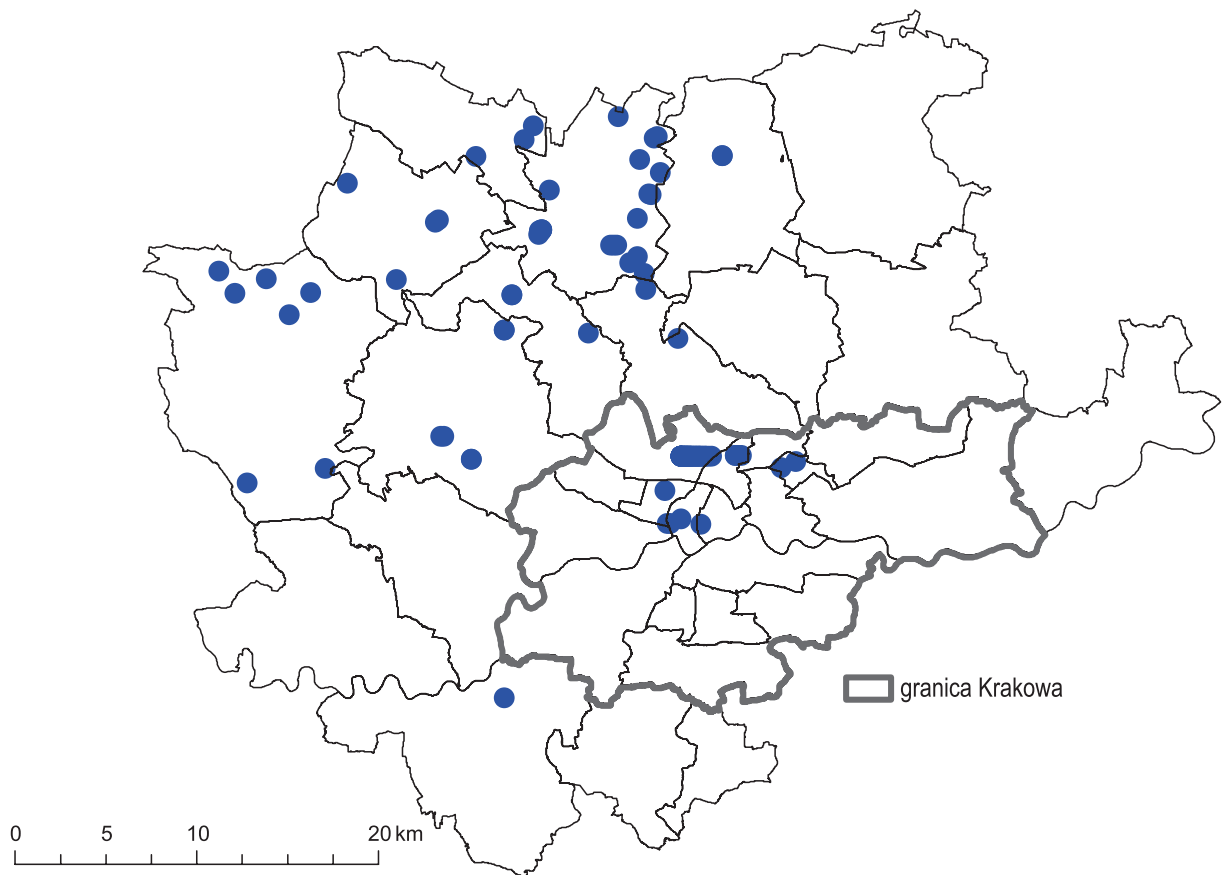
Między 8 a 10 stycznia 2010 r. na obszarze niemal całej Polski wystąpiły opady marznącego deszczu, mżawki i śniegu. Z tego powodu doszło do utrudnień w funkcjonowaniu infrastruktury energetycznej, kolejowej i komunikacji drogowej. Na skutek awarii stacji transformatorowych, a także linii średniego i wysokiego napięcia w województwie małopolskim, w tym również powiecie krakowskim, bez prądu pozostawało łącznie około 6 tys. mieszkańców (rcb.gov.pl). Z powodu oblodzenia trakcji, m.in. na trasie Kraków–Warszawa, pociągi kursowały trasami zastępczymi (do Warszawy przez Kielce, a do Krakowa przez Katowice i Zawiercie). Pociągi miały też duże opóźnienia, gdyż na niektórych odcinkach były holowane przez lokomotywy spalinowe, m.in. na odcinku Kraków–Tunel (przez gminy Michałowice, Kocmyrzów-Luborzyca i Słomniki; ryc. 20 w rozdziale 3.8. *Szlaki komunikacyjne (drogi, linie kolejowe, lotniska)*). Według komunikatów Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad drogi krajowe w Krakowie i powiecie krakowskim były na bieżąco oczyszczane (patrz ryc. 19 w rozdziale 3.8. *Szlaki komunikacyjne (drogi, linie kolejowe, lotniska)*), natomiast na pozostałych pojawiały się utrudnienia w postaci błota poślizgowego, zajeżdżonego śniegu i oblodzenia (rcb.gov.pl).

Wśród wszystkich wyróżnionych w tabeli 29 dni z gołoledzią, podczas dwóch dni stycznia 2010 r. (9 i 10.01) straż pożarna interweniowała łącznie 82 razy, a wliczając w to jeszcze interwencje kolejnego dnia (11.01.2010 r.; 24 interwencje), kiedy kontynuowano usuwanie drzew i zabezpieczenie dróg, było ich aż 106. Lokalizację wspomnianych interwencji przedstawiono na ryc. 119. Jak można zauważyć, najwięcej szkód gołoledzi wyrządziła w północno-zachodnich gminach powiatu krakowskiego: Skała, Sułoszowa, Jerzmanowice-Przeginia, Krzeszowice, Wielka Wieś i Zabierzów. Na obszarze Krakowa interwencje podejmowano w dzielnicach: Prądnik Biały, Bieńczyce, Stare Miasto, Krowodrza i Prądnik Czerwony.

20–22 stycznia 2013 r.

Trzy lata po katastrofalnej gołoledzi, która miała miejsce na większości obszaru Polski, ponownie doszło do wystąpienia tego zjawiska, które objęło swym zasięgiem również województwo małopolskie. W dniach między 20 a 22 stycznia 2013 r. w całej Małopolsce doszło do wielu kolizji drogowych. W wyniku oblodzeń chodników i dróg setki osób ze złamaniami i zwichnięciami trafiło na szpitalne oddziały ratunkowe, a blisko 40 tys. domostw

pozbawionych było prądu („Gazeta Krakowska” 23.01.2013). W tych dniach opady marznącego deszczu obciążały przewody i linie energetyczne, które pod ich ciężarem ulegały przerwaniu lub uszkodzeniu. Najwięcej tego typu awarii było w północnej części Krakowa oraz w gminach położonych na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej, czyli m.in.: Zielonki, Skała, Wielka Wieś, Sułoszowa, Jerzmanowice-Przebinia, Zabierzów i Krzeszowice. Duże zakłócenia występowały również w kursowaniu pociągów oraz w komunikacji miejskiej. Wiele tramwajów i autobusów nie wyjechało na czas na swoje linie, część z nich nie kursowała w godzinach rannych i popołudniowych, a niektóre linie aglomeracyjne jeździły objazdami. Jak podano w „Gazecie Krakowskiej” (23.01.2013) same koszty akcji odładzania dróg w nocy z 21 na 22 stycznia 2013 r. wyniosły milion złotych. Opisane utrudnienia i straty powstałe w wyniku wystąpienia gołoledzi potwierdzają dane z rejestru wypadków i kolizji drogowych, jakie odnotowano w tych trzech dniach. Na ich podstawie można stwierdzić, że w około 75% z nich główną przyczyną były właśnie złe warunki atmosferyczne.



Ryc. 119. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 9–11.01.2010 r.

9. Mgła

Jednym z zagrożeń meteorologicznych, które w znacznym stopniu może utrudnić działalność człowieka, a w niektórych przypadkach stanowić zagrożenie dla jego zdrowia i życia, jest występowanie mgieł. Jak podaje *Słownik meteorologiczny* (2003) zjawisko to należy do grupy hydrometeorów i jest zawiesiną bardzo małych kropeł wody lub kryształków lodu w przyziemnej warstwie powietrza, zmniejszającą widzialność w kierunku poziomym poniżej 1 km (fot. 9). Jeżeli widzialność jest większa (od 1 do 10 km), podobne zjawisko nazywany zamgleniem. Z tego powodu to właśnie ograniczenie widzialności jest największym zagrożeniem związanym z omawianym zjawiskiem. Dotyczy ono przede wszystkim transportu, a w szczególności transportu lotniczego (Jafernik i in. 2000, 2016).



Fot. 9. Mgła na Rynku Głównym w Krakowie (fot. S. Wypych) i na autostradzie A4 w pobliżu Balic (fot. D. Piotrowicz)

Mgły zwykle są zjawiskiem o niewielkim zasięgu, często uwarunkowanym zróżnicowaniem rzeźby terenu i zazwyczaj charakteryzującym się niedługim czasem trwania. Zdarzają się jednak sytuacje, w których cyrkulacja atmosfery sprzyja powstawaniu mgieł na bardzo dużych obszarach. Przykładem są mgły obejmujące całą Polskę i przeważającą część Europy, jakie wystąpiły 16 i 17 listopada 2012 r. Ich powstanie było związane z napływem ciepłych i wilgotnych mas powietrza z południa kontynentu nad wychłodzone podłoże w ciepłym wycinku niżu znad Islandii. Znaczna część kraju została spowita przez mgły również 29 września w 2013 r. Tym razem przyczyną było wystąpienie przyziemnej inwersji temperatury w klinie wysokiego ciśnienia z centrum nad Skandynawią (imgw.isok.gov.pl).

Najczęściej w Polsce występują mgły trwające od 1 do 3 godzin, chociaż średni czas ich trwania waha się od 7,2 do 8,5 godziny (klimat.imgw.pl). Jedynie około 30–35% mgieł trwa ponad 6 godzin, a te trwające powyżej 12 godzin najczęściej obserwowano w rejonach Chojnic i Zielonej Góry (około 11% w stosunku do wszystkich dni z mgłą w tamtych rejonach). Do najdłużej trwających zjawisk należy zaliczyć mgły występujące na Nizinie Wielkopolskiej – od około 67 godzin w Poznaniu do około 89 w Bydgoszczy (dane z lat 1956–1970; Woś 2010). Jednak i w innych regionach kraju mgły mogą trwać kilka dni. Przykładem jest mgła, która wystąpiła w Suwałkach w dniach 14–17 listopada 2002 r. i utrzymywała się przez 55 godzin i 50 minut oraz mgła odnotowana w Lublinie w dniach 13–15 listopada 2003 r., trwająca 51 godzin i 40 minut (Lorenc, Myszura 2012).

W Polsce, w zależności od regionu, liczba dni z mgłą dość znacznie się zmienia. Poniżej 30 dni z mgłą w ciągu roku notuje się na Wyżynie Lubelskiej i Roztoczu, na Pogórzu Karpackim, u podnóża Beskidów oraz w rejonie Zatoki Gdańskiej. Na obszarach nizinnych liczba dni z omawianym zjawiskiem zwykle waha się w granicach 40–60 rocznie, na Wyżynie Małopolskiej, Warmii i Mazurach oraz w Bieszczadach przekracza 60–70 dni, a na Pojezierzu Pomorskim i Lubuskim nawet 80–90 dni. Ponieważ w wysokich partiach gór chmury sięgające do danej wysokości często traktowane są jako mgły, w tych rejonach ich liczba jest największa w całym kraju. Na Śnieżce wynosi średnio około 310, a na Kasprowym Wierchu 290 dni. Występowaniu mgieł sprzyjają też słabo przewietrzane doliny i kotliny oraz duża liczba jąder kondensacji. Z tego powodu na stacjach położonych we wklęsłych formach terenu oraz w miastach ich liczba może być nieco większa niż na otaczającym je obszarze (w Katowicach jest około 65 dni, w Krakowie – 56, we Wrocławiu – 51 dni rocznie). Warto jednak odnotować fakt, iż zachodzące zmiany klimatu oraz poprawa jakości powietrza spowodowały, iż wieloletnie zmiany liczby dni z mgłą wskazują na ich spadek, zauważalny głównie na zachodzie i w centralnej części kraju, natomiast wzrost na wschodzie i południu Polski (Piwkowski 1976; Woś 2010; IMGW-PIB 2012; Lorenc, Myszura 2012).

Roczny przebieg mgieł również jest zróżnicowany, jednak najwięcej przypadków mgieł należy spodziewać się w chłodnej połowie roku. Maksimum ich częstości zwykle przypada na październik, listopad lub grudzień (średnio około 6–12 dni w miesiącu), natomiast minimum roczne zwykle występuje w czerwcu lub lipcu (średnio około 1–2 dni). Jedynie w obszarze przybrzeżnym najwięcej mgieł przypada na kwiecień i maj, a następnie w październiku (Woś 2010; Lorenc, Myszura 2012; Łupikasza, Niedźwiedź 2016; Skrzyńska 2019).

Biorąc pod uwagę występowanie omawianego zjawiska w ciągu doby, zauważa się dominację mgieł pojawiających się nocą, z maksimum występowania od 23.00 do 7.00 rano. Najrzadziej należy spodziewać się mgieł w godzinach od 11.00 do 16.00, chociaż trzeba pamiętać, że w zależności od sezonu i uwarunkowań lokalnych, dobowy przebieg ich występowania może się różnić od przedstawionego powyżej. Również przestrzenna i czasowa zmienność intensywności rozpatrywanego zjawiska i długość utrzymywania się mgieł zależy od warunków lokalnych i pogodowych (Lorenc, Myszura 2012).

Duże znaczenie podczas powstawania mgieł mają ogólne warunki synoptyczne panujące w danym regionie. Za najbardziej sprzyjające powstawaniu mgieł, szczególnie tych długotrwałych i obejmujących znaczne obszary kraju, należy uznać występowanie sytuacji antycyklonalnych, w tym centrum wyżu (Ca) i klina wyżowego (Ka). Tworzenie się mgieł często związane jest również z adwekcją powietrza z sektora południowego i wschodniego. Zdecydowanie rzadziej dotyczy to adwekcji mas powietrza z zachodu (Ustrnul, Czekerda 2009; Skomorowski, Piotrowski 2018). Wiosną i latem prawdopodobieństwo wystąpienia mgły wzrasta również podczas sytuacji cyklonalnych, w szczególności podczas zalegania nad danym obszarem bruzdy cyklonalnej (Bc) i centrum niżu (Cc), a także przy napływie powietrza z sektora północnego (Na, NEa) i wschodniego (Ea i SEa) (Łupikasza,

Niedźwiedź 2016; Skrzyńska 2019). Warto jednak podkreślić, że w zależności od położenia rozpatrywanego obszaru i uwarunkowań lokalnych typy cyrkulacji uznawanych za najbardziej sprzyjające występowaniu mgieł mogą różnić się od wymienionych powyżej (Łupikasa, Niedźwiedź 2016; Skomorowski, Piotrowski 2018).

Rozpatrując występowanie mgieł, warto pamiętać, że ich geneza jest zazwyczaj złożona i uwarunkowana zarówno cyrkulacją atmosfery, jak i wielokrotnie już przywoływanym oddziaływaniem warunków lokalnych. W rezultacie powstałe mgły różnią się zasięgiem, czasem trwania, intensywnością i rozciągłością pionową, co w konsekwencji wpływa na ich oddziaływanie na działalność człowieka i środowisko.

Powstanie mgieł, podobnie jak chmur, związane jest kondensacją pary wodnej na unoszących się w powietrzu jądrach kondensacji. Warunkiem rozpoczęcia procesu kondensacji jest stan nasycenia powietrza parą wodną. Dochodzi do tego w przypadku dopływu dodatkowej ilości pary wodnej do danej objętości powietrza lub podczas obniżenia się temperatury powietrza. Z tego powodu tworzeniu się mgieł sprzyjają różnego rodzaju obniżenia i zagłębienia terenu, w których utrzymują się zastoiska chłodnego powietrza, a także inwersje temperatury oraz obszary podmokłe. Zasoby wilgoci, która mogłaby dodatkowo zasilić powietrze, są z reguły ograniczone, bardzo zróżnicowane w przestrzeni i silnie uwarunkowane cechami środowiska przyrodniczego (m.in. formą terenu, wysokością n.p.m., odległością od zbiorników wodnych czy szatą roślinną i zagospodarowaniem powierzchni). Natomiast spadek temperatury powietrza najczęściej wynika z:

- wypromieniowania zgromadzonej przez daną powierzchnię energii, najczęściej w godzinach nocnych, podczas pogody bezchmurnej lub o niewielkim zachmurzeniu oraz bezwietrznej lub z bardzo słabym wiatrem – w takich warunkach powstają **mgły radiacyjne**,
- ochładzania się cieplejszego powietrza, które napłynęło nad wychłodzoną powierzchnię – tworzą się **mgły adwekcyjne**,
- spadku temperatury wznoszącego się powietrza – powstają **mgły orograficzne** (zboczowe i dolinne).

Kolejnym rodzajem mgieł są **mgły z parowania**. Towarzyszą one ciepłym frontom atmosferycznym z opadami deszczu i zwykle potrafią obejmować znaczny obszar (czasami zwane są także mgłami frontowymi). Tego rodzaju mgły mogą również powstawać, gdy nad cieplejszy akwen wodny napłynie powietrze o wyraźnie niższej temperaturze. Jednak w tym przypadku mają one zazwyczaj charakter lokalny. Mgły powstają także nad obszarami o dużych kontrastach termicznych – tzw. **mgły z mieszania**. Szczególnie często takie przypadki występują na granicy mas wodnych o dużej różnicy temperatury (tzw. dymienie morza) lub na granicy bardzo ciepłego lądu i zimnych prądów morskich (Woś 1996; Kożuchowski 2012).

Mgły radiacyjne i adwekcyjne są równocześnie mgłami wewnątrzmasowymi. Latem mgły radiacyjne powstają głównie w nocy i nad ranem, mają charakter lokalny i zanikają po wschodzie słońca. Zimą najczęściej towarzyszą rozległym i stacjonarnym układom wysokiego ciśnienia. Z tego powodu często obejmują znaczne obszary i mogą trwać, z krótkimi przerwami lub bez, nawet kilka dni. Mgły adwekcyjne powstają głównie w chłodnej porze roku. W przeciwieństwie do mgieł radiacyjnych ich rytm dobowy nie jest wyraźnie zaznaczony, za to ich zasięg pionowy może dochodzić do 2000 m, a czas trwania przekraczać kilka dni (Woś 1996; Kożuchowski 2012).

Należy wspomnieć, iż mgły mogą powstawać również przy temperaturze powietrza niższej od 0°C – **mgły lodowe**. W takich przypadkach tworzą ją przechłodzone kropelki wody i kryształki lodu, a gdy temperatura powietrza spadnie poniżej -20°C zwykle są to już jedynie kryształki lodu. Na terenach zurbanizowanych i uprzemysłowionych czasami pojawia się także wyjątkowy rodzaj mgieł zwany **smogiem**. Jest to mgła będąca mieszaniną kropelek wody i produktów spalania paliw stałych, która powoduje duże zagrożenie dla zdrowia człowieka, wpływa na pozostałe organizmy żywe, a nawet wchodzi w reakcje chemiczne z niektórymi materiałami budowlanymi (Woś 1996).

Ze względu na położenie w Europie, uwarunkowania cyrkulacyjne i rzeźbę terenu znaczna liczba mgieł powstających w Polsce ma złożoną genezę. Z tego powodu w naszym kraju często spotykamy mgły

adwekcyjno-radiacyjne lub inne przypadki mgieł o mieszanym sposobie powstawania, szczególnie często występujące w obszarach o urozmaiconej rzeźbie terenu.

Mgły można również podzielić ze względu na ich intensywność, którą określa stopień ograniczenia widzialności poziomej. Pod tym względem mgły zostały podzielone na:

- mgłę bardzo gęstą – ograniczającą widzialność do poniżej 50 m,
- mgłę gęstą – widzialność ograniczona do 50–200 m,
- mgłę umiarkowaną – widzialność ograniczona do 200–500 m,
- mgłę słabą – widzialność ograniczona do 500–1000 m (Lorenc, Myszura 2012).

Podczas występowania mgły w temperaturze poniżej 0°C może dojść do powstania szadzi. Zjawisko to zostało omówione w rozdziale 10.

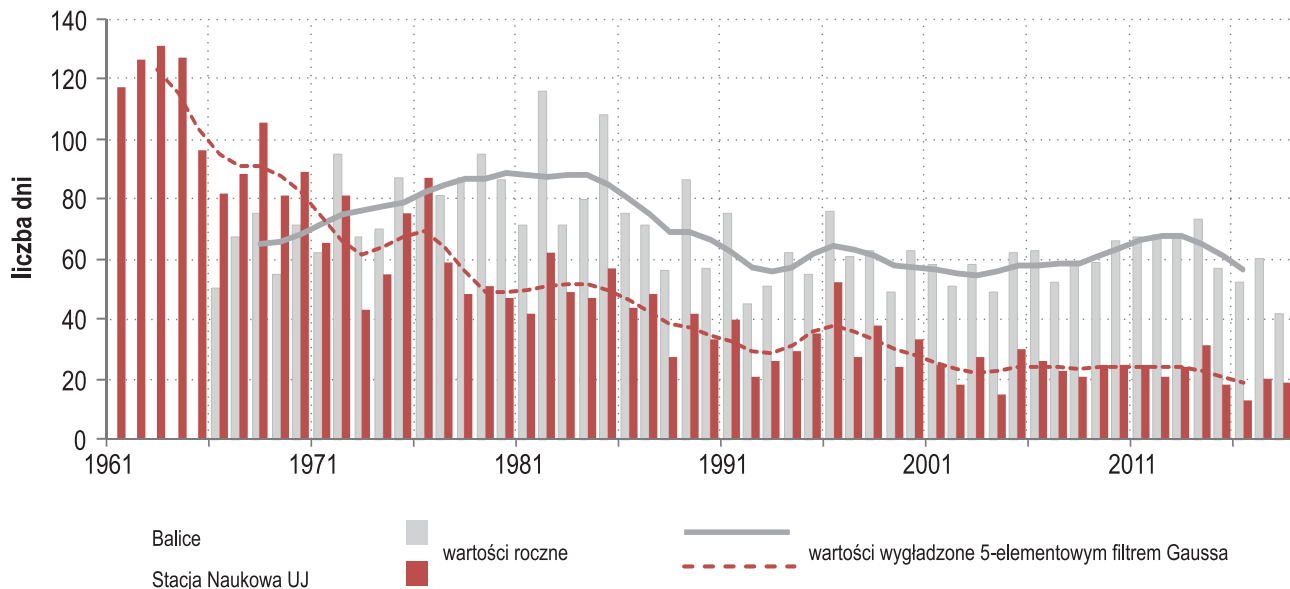
9.1. Mgły w latach 1961–2018

W porównaniu z całym obszarem Polski częstość występowania mgieł w Krakowie i powiecie krakowskim jest dość duża. Według różnych badań liczba dni z mgłą wahała się od 8 w 1921 r. do nawet 214 w 1869 r., przy średniej z okresu 1861–1960 równej 60 dni (Morawska 1966). W późniejszych latach średnia liczba badanych dni nie zmieniła się znacznie i wynosiła ponad 67 w wieloleciu 1966–2015 czy około 66 dni w wieloleciu 1981–2010 (Łupikasza, Niedźwiedź 2016, Skrzyńska 2019). Warto jednak odnotować, że w latach tych zakres zmian rocznej liczby dni z mgłą sięgał aż 73 dni i był największy jesienią i zimą, wyraźnie przekraczając 30 dni. Podobnie jak w innych regionach Polski, w Krakowie roczne maksimum dni z mgłą przypadało jesienią (średnio około 10 dni w październiku), a minimum w lipcu (około 2 dni). Należy jednak podkreślić, że od przełomu lat 80. i 90. XX w. w Krakowie liczba mgieł dość wyraźnie się zmniejszyła, co widoczne jest zarówno w rocznej, jak i sezonowej częstości pojawiania się tego zjawiska (Łupikasza, Niedźwiedź 2016; Bokwa i in. 2018). Prawdopodobnie zwiększona częstość mgieł w Krakowie w okresie po II wojnie światowej była spowodowana gwałtowną industrializacją regionu (średnia roczna z lat 1966–1985 wynosiła około 79 dni z mgłą). Zmiany, jakie zaszły w latach 90. XX w., spowodowały poprawę jakości powietrza, a tym samym spadek liczby jąder kondensacji, co zmniejszyło liczbę dni z mgłą odnotowywanych w badanym regionie (roczne wartości liczby dni z mgłą ponownie są zbliżone do tych z I połowy XX w.) (Morawska 1966; Łupikasza, Niedźwiedź 2016; Bokwa i in. 2018).

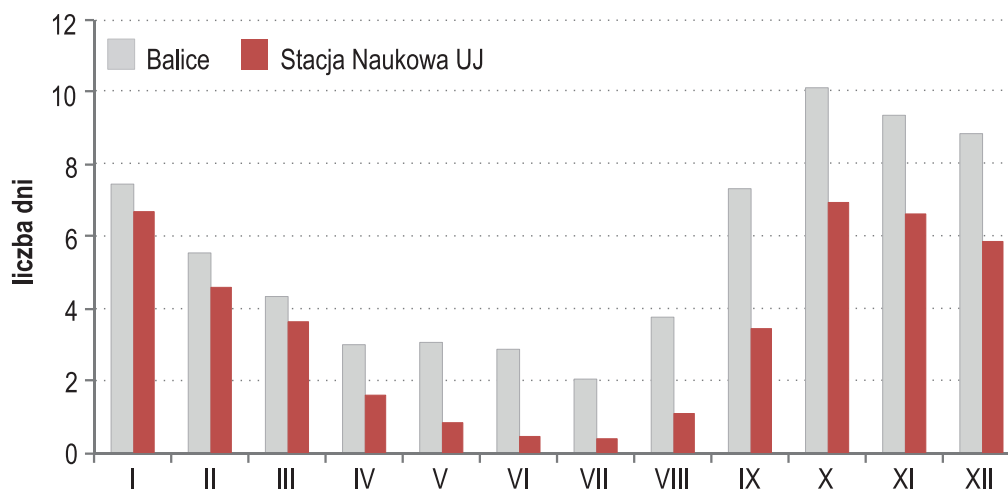
Pomimo wspomnianych zmian liczba mgieł w Krakowie i okolicach jest wyraźnie większa niż w obszarach przyległych (Lorenc, Myszura 2012; Łupikasza, Niedźwiedź 2016; Skrzyńska 2019), co związane jest głównie z położeniem stacji reprezentujących analizowany region. Zarówno stacja w Balicach, jak i w Krakowie zlokalizowane są bowiem w szerokich dolinach rzecznych (patrz rozdział 3. *Środowisko geograficzne Krakowa i powiatu krakowskiego*).

W latach 1961–2018 opisane wyżej prawidłowości występowania mgieł były zbliżone. Średnia roczna liczba dni z mgłą w Balicach była większa niż w centrum Krakowa (odpowiednio: około 68 i 42 dni). Jednak jej wieloletnie zmiany były mniejsze niż na Stacji Naukowej UJ, na której na początku badanego wielolecia notowano nawet ponad 100 rozpatrywanych dni (131 w 1963 r.), podczas gdy w ostatnich dekadach około 20 (ryc. 120). W Balicach zwiększona częstość mgieł przypadała na lata 70. i 80., a w 1982 r. zanotowano nawet 116 takich dni.

Zwiększona liczba mgieł w Balicach jest także zauważalna w przebiegu rocznym. Najbardziej widoczna jest w sezonie ciepłym, a szczególnie jesienią (ryc. 121). Na obu analizowanych stacjach mgły najczęściej występują w październiku (średnio około 10 dni w Balicach i 7 w Krakowie). Najrzadziej natomiast, średnio raz na dwa lata, pojawiają się one w czerwcu i lipcu. Oczywiście występowanie opisywanego zjawiska silnie zależy od warunków pogodowych w danym roku, można jednak zauważyć, że od lat 90. XX w. nieco mniej mgieł powstaje w pierwszych miesiącach roku, a głównym sezonem ich występowania są miesiące od września do stycznia.



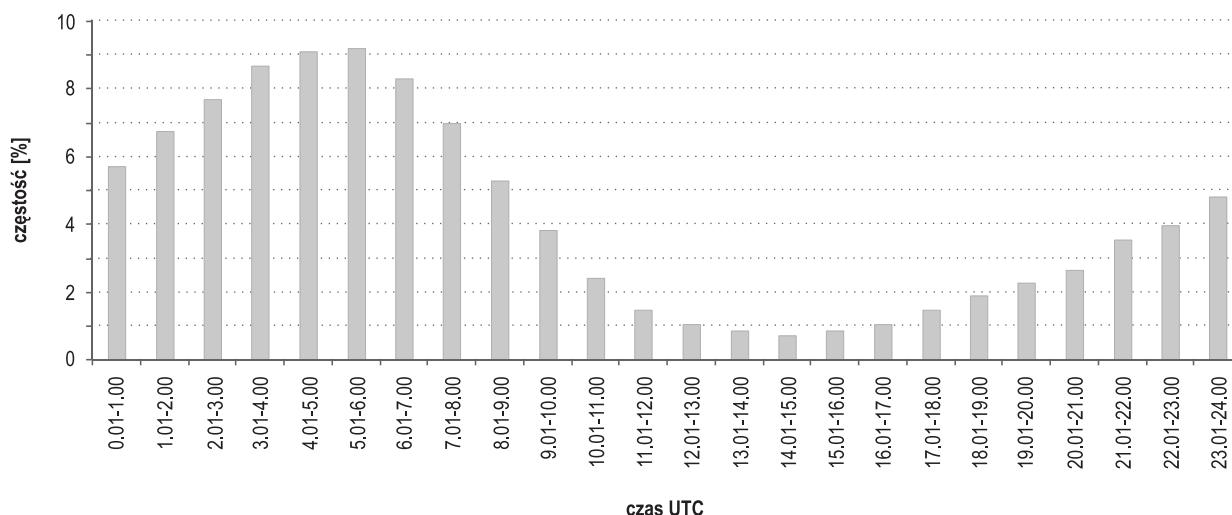
Ryc. 120. Roczna liczba dni z mgłą na Stacji Naukowej UJ (1961–2018) oraz w Balicach (1966–2018)



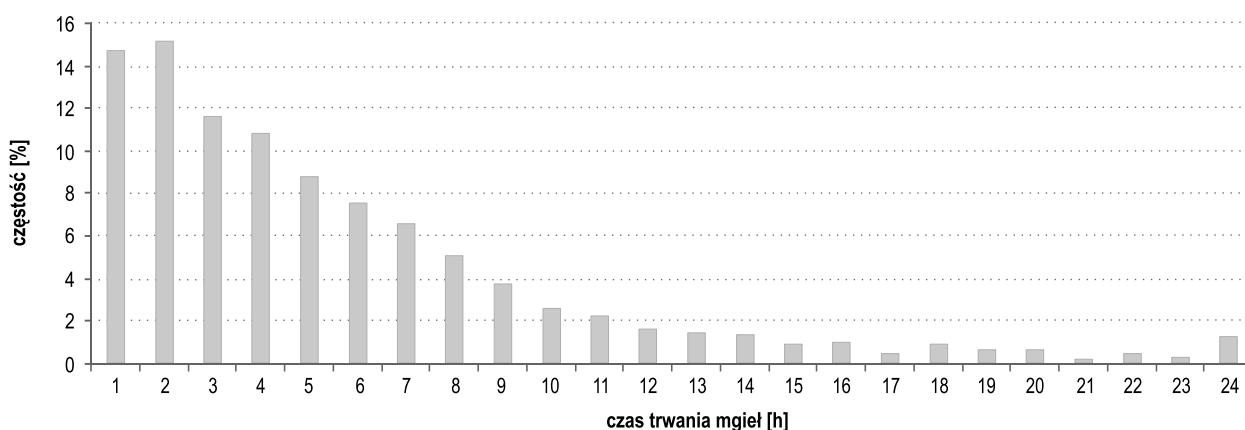
Ryc. 121. Średnia miesięczna liczba dni z mgłą na Stacji Naukowej UJ (1961–2018) oraz w Balicach (1966–2018)

Na podstawie obserwacji występowania mgieł w Balicach w latach 1993–2018 wyraźnie widać, że warunki meteorologiczne najbardziej sprzyjające tworzeniu się mgieł występują od północy do godziny 8.00. W tym czasie na badanym obszarze występowało około 67,5% wszystkich mgieł. W kolejnych godzinach, wraz ze wzrostem dopływu promieniowania słonecznego i temperatury powietrza, częstość występowania mgieł znacząco malała, aby ponownie wzrosnąć w późnych godzinach wieczornych (ryc. 122).

Wśród mgieł występujących w Balicach najczęściej pojawiały się te trwające w ciągu danego dnia do 4 godzin (w sumie 52,3% wszystkich przypadków) (ryc. 123). Liczba dni z dłuższymi mgłami szybko malała i w sumie mgły trwające do 10 godzin stanowiły 86,7%. Dłuższe mgły należały już do rzadkości, a najdłuższe (trwające ponad 20 godzin) stanowiły tylko 2,2% wszystkich przypadków z lat 1993–2018, co odpowiada 79 dniom. Należy również podkreślić, że najdłuższe trwające mgły występowały od października do marca.



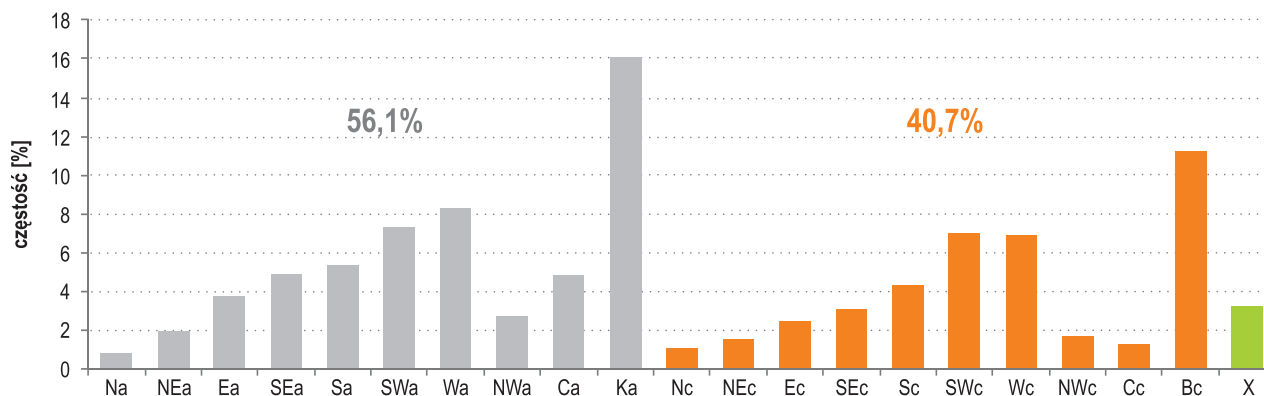
Ryc. 122. Częstość występowania mgieł w ciągu doby w Balicach w latach 1993–2018



Ryc. 123. Czas trwania mgieł w Balicach w latach 1993–2018

Jak już wcześniej wspomniano, mgły najczęściej towarzyszą bezadwekcyjnym i antycyklonalnym typom cyrkulacji, a przede wszystkim zaleganiu nad danym obszarem centrum wyżu lub klina wyżowego. Podobne zależności występują także w rozpatrywanym regionie. W latach 1961–2018 mgły w Balicach i Krakowie częściej powstawały w dniach, w których występowały typy antycyklonalne – 56,1%, natomiast typom cyklonalnym towarzyszyło 40,7% odnotowanych mgieł. Najczęściej były one związane z klinem wysokiego ciśnienia (Ka – 16,1%) oraz bruzdą cyklonalną (Bc – 11,2%; ryc. 124) i zwykle były to mgły radiacyjne. Takie zjawiska odnotowywano głównie jesienią i zimą. Mgłom często towarzyszyła również adwekcja powietrza z sektora południowego oraz z zachodu, niezależnie od rodzaju układu barycznego (mgły adwekcyjne lub radiacyjno-adwekcyjne). Najrzadziej mgieł można spodziewać się podczas napływu powietrza z północy i w dniach, w których nad danym regionem przemieszcza się centrum niżu (Wypych 2003; Wiąźewski, Bąkowski 2007; Szot 2013).

Należy jednak pamiętać, że powstawanie i częstość występowania rozpatrywanego zjawiska znacznie się różni w zależności od sezonu. Z tego powodu prawdopodobieństwo wystąpienia mgieł podczas określonego typu cyrkulacji atmosfery zmienia się w ciągu roku. Podczas typów bezadwekcyjnych lub z adwekcją powietrza z sektora południowego i z zachodu jest największe jesienią i zimą (Łupikasza, Niedźwiedź 2016; Bokwa i in. 2018; Skomorowski, Piotrowski 2018; Skrzyńska 2019), natomiast mgieł towarzyszących napływowi powietrza z sektora północnego najczęściej można się spodziewać późną wiosną i latem (Łupikasza, Niedźwiedź 2016; Skomorowski,

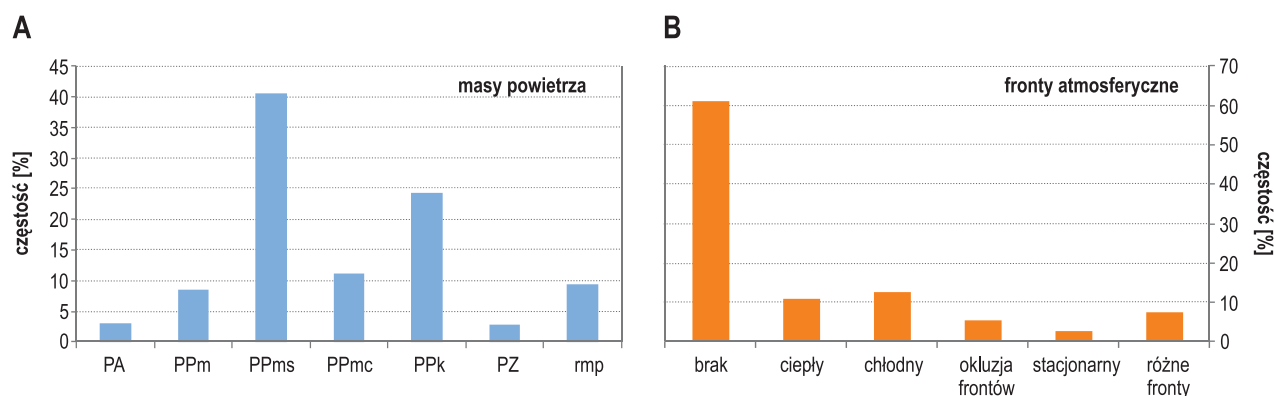


Ryc. 124. Częstość występowania mgieł w typach cyrkulacji atmosfery na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1961–2018 (objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*)

Piotrowski 2018). Ostatnie z wymienionych typów cyrkulacji zwykle sprzyjają powstawaniu mgieł radiacyjnych, które tworzą się podczas bezchmurnych nocy i silnego wychładzania się powietrza w warstwie przygrunтовой.

Powszechnie wiadomo, że mgły rzadko związane są z przemieszczaniem się frontów atmosferycznych i raczej powstają w jednorodnych masach powietrza związanych z bezadwekcyjnymi typami cyrkulacji. Z tego powodu w analizowanym regionie najczęściej towarzyszyły one masom powietrza polarnego morskiego przetransformatowanego (PPms – 40,6%), które zwykle napływało z Atlantyku i południowo-zachodniej Europy, i od dłuższego czasu przemieszczało się nad kontynentem (ryc. 125). Prawie dwukrotnie rzadziej (24,2%) mgły związane były z powietrzem polarnym kontynentalnym (PPk) napływającym z Azji i zwykle związanym z układami wysokiego ciśnienia. Warto jednak pamiętać, że masy te są również najczęściej występującymi nad danym obszarem. Oznacza to, że niekoniecznie w największym stopniu sprzyjają występowaniu badanego zjawiska. Dominacja mgieł towarzyszących układom bezadwekcyjnym lub bardzo wolno przemieszczającym się układom barycznym spowodowała, że w dniach z mgłą zazwyczaj nie notowano frontów atmosferycznych (60,9%), a jedynie w 10,7% były to fronty ciepłe i w 12,6% – fronty chłodne (ryc. 125). Znacznie rzadziej mgły powstawały, gdy nad Krakowem i okolicami przemieszczały się inne rodzaje frontów.

Opisane w rozdziale 4.2. zmiany cyrkulacji zachodzące nad badanym obszarem wskazują na niewielki spadek częstości występowania sytuacji antycyklonalnych oraz adwekcji powietrza z kierunków wschodniego, południowo-wschodniego i zachodniego. Wzrasta natomiast udział typów cyrkulacji związanych z układami niskiego ciśnienia i z napływem powietrza z południa. Jednocześnie maleje częstość dni z masami powietrza polarnego



Ryc. 125. Częstość występowania [%] mgieł w masach powietrza (A) oraz podczas przechodzenia frontów atmosferycznych (B) na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1961–2018 (objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*)

morskiego przetransformatowanego (PPms) i polarnego kontynentalnego (PPk), czyli mas, którym najczęściej towarzyszą mgły. I chociaż zmiany te zachodzą w różnym stopniu w poszczególnych sezonach to, poza wyraźnym wpływem poprawy jakości powietrza, mogą być kolejnym czynnikiem warunkującym spadek liczby dni z mgłą na analizowanym obszarze.

9.2. Wyjątkowo długo trwająca mgła i jej skutki w latach 2000–2018

Bardzo gęste i utrzymujące się długo mgły utrudniają lub uniemożliwiają komunikację, zwłaszcza lotniczą i drogową. Międzynarodowe Porty Lotnicze, w tym również ten w Balicach, mają radiowy system nawigacyjny wspomagający lądowanie w warunkach ograniczonej widzialności, tzw. ILS (*Instrument Landing System*). Jednak mniejsze samoloty, w tym Lotniczego Pogotowia Ratunkowego, swoje starty i lądowania muszą wykonywać w warunkach dobrej widzialności. Z tego powodu działalność mniejszych lotnisk i lądowisk, np. aeroklubu w Pobiedniku, podczas występowania mgieł jest zawieszana. Niestety, lotnisko w Balicach nie posiada ILS3 najnowszej generacji, który umożliwia lądowanie przy widzialności do 125 m, lub nawet ILS2 – pozwalającego lądować z widzialnością do 300 m. Port lotniczy jest wyposażony tylko w ILS1, czyli system pierwszej kategorii, który umożliwia lądowanie, gdy widzialność nie jest mniejsza niż 800 m lub gdy widzialność wzdłuż pasa startowego nie jest mniejsza niż 550 m. Dlatego też, zwłaszcza w chłodnej połowie roku, podczas zalegania gęstej mgły pojawiają się trudności w funkcjonowaniu tego lotniska.

W przypadku komunikacji samochodowej gęsta mgła może prowadzić do częstych kolizji i wypadków, szczególnie na drogach szybkiego ruchu. Według badań Płatkiewicza (2020) najniebezpieczniejsze są mgły umiarkowane, ograniczające widzialność do 200–500 m, oraz silne (poniżej 200 m), bo podczas ich trwania dochodzi częściej do wypadków.

Tabela 30. Charakterystyka dni z długo utrzymującymi się mgłami w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018

| Rok | Data | | Stacja UJ x – wystąpienie mgły | Stacja Balice czas trwania [w godz.] | Typ cyrkulacji | Rodzaj frontu | Masa powietrza | Liczba wypadków i kolizji drogowych | | Dzień tygodnia |
|------|---------|-------|--------------------------------------|--|-------------------|------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------|
| | Miesiąc | Dzień | | | | | | Kraków | Powiat krakowski | |
| 2007 | 11 | 17 | | 1,3 | Wa | - | PPms | 23 | 4 | sobota |
| | | 18 | | 5,3 | SEa | - | PPk | 18 | 4 | niedziela |
| | | 19 | x | 6,6 | SEa | - | PPk | 45 | 5 | poniedziałek |
| | | 20 | x | 21,6 | SWa | - | PPk | 27 | 7 | wtorek |
| | | 21 | x | 8,9 | SWa | - | PPk | 44 | 9 | środa |
| | | 22 | x | 9,8 | SWa | - | PPk | 43 | 9 | czwartek |
| 2011 | 1 | 8 | x | 9,6 | SWc | - | PZ | 19 | 2 | sobota |
| | | 9 | x | 14,7 | SWa | - | PZ | 30 | 4 | niedziela |
| | | 10 | x | 6,9 | x | st | PPmc | 39 | 8 | poniedziałek |
| | | 11 | x | 18,2 | Sc | c | PPmc | 49 | 12 | wtorek |
| | | 12 | | 0,3 | Wc | o | rmp | 42 | 6 | środa |
| | | 13 | | 3,9 | Wc | - | PPms | 43 | 7 | czwartek |
| | | 14 | | 4,8 | Wc | c | PPmc | 58 | 9 | piątek |
| | | 15 | | - | Bc | z | rmp | 47 | 8 | sobota |
| | | 16 | x | 10,9 | Wa | c | rmp | 27 | 8 | niedziela |
| | | 17 | x | 12,3 | Wa | - | PPmc | 61 | 15 | poniedziałek |
| | | 18 | x | 13,3 | Wa | c | PPmc | 57 | 11 | wtorek |
| | | 19 | | 5,7 | Bc | rf | rmp | 53 | 7 | środa |
| 2012 | 10 | 18 | | 0,6 | SWa | - | PPmc | 36 | 3 | czwartek |
| | | 19 | | 3,6 | SWa | - | PPmc | 26 | 8 | piątek |
| | | 20 | x | 12,3 | Sa | - | PZ | 23 | 12 | sobota |
| | | 21 | x | 11,2 | SWa | - | PZ | 21 | 9 | niedziela |
| | | 22 | x | 11,3 | SEa | - | PPk | 27 | 10 | poniedziałek |
| | | 23 | | 1,4 | Ea | rf | PPms | 30 | 4 | wtorek |

| Data | | | Stacja UJ x – wystąpienie mgły | Stacja Balice czas trwania [w godz.] | Typ cyrkulacji | Rodzaj frontu | Masa powietrza | Liczba wypadków i kolizji drogowych | | Dzień tygodnia |
|------|---------|-------|--------------------------------------|--|-------------------|------------------|-------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------|
| Rok | Miesiąc | Dzień | | | | | | Kraków | Powiat krakowski | |
| 2012 | 11 | 12 | | 8,1 | Wa | z | PPm | 38 | 6 | poniedziałek |
| | | 13 | | 1,3 | Ca | - | PPms | 26 | 7 | wtorek |
| | | 14 | | 1,2 | Ca | - | PPms | 33 | 4 | środa |
| | | 15 | x | 14,8 | Ka | - | PPms | 38 | 6 | czwartek |
| | | 16 | x | 21,5 | Sa | - | PPms | 23 | 5 | piątek |
| | | 17 | x | 24,0 | Sa | - | PPms | 16 | 5 | sobota |
| | | 18 | x | 6,1 | SWa | - | PPms | 18 | 5 | niedziela |
| | | 19 | | 8,8 | Ka | - | PPms | 25 | 7 | poniedziałek |
| | | 20 | x | 9,5 | SEa | - | PPms | 22 | 2 | wtorek |
| | | 21 | x | 15,0 | Sa | - | PPms | 33 | 4 | środa |
| | | 22 | | 1,7 | SWa | - | PPms | 33 | 4 | czwartek |
| | | 23 | | 8,7 | SEa | st | PPms | 32 | 8 | piątek |
| | | 24 | x | 17,8 | SWa | - | PPms | 15 | 10 | sobota |
| | | 25 | | 8,1 | SWa | c | PPmc | 19 | 5 | niedziela |
| 26 | | 7,0 | SWa | rf | rmp | 26 | 8 | poniedziałek | | |
| 2014 | 10 | 11 | x | 7,0 | SWa | - | PPmc | 20 | 6 | sobota |
| | | 12 | | 4,4 | Ka | z | PPmc | 19 | 7 | niedziela |
| | | 13 | x | 10,2 | SWc | c | PPmc | 26 | 6 | poniedziałek |
| | | 14 | x | 10,1 | Bc | z | rmp | 30 | 8 | wtorek |
| | | 15 | x | 1,3 | Wc | - | PPms | 35 | 3 | środa |
| | | 16 | x | 5,7 | Wc | - | PPms | 34 | 6 | czwartek |
| 2014 | 10 | 26 | x | 19,6 | SWa | - | PPk | 15 | 6 | niedziela |
| | | 27 | x | 18,9 | SWa | - | PPk | 24 | 4 | poniedziałek |
| | | 28 | x | 19,2 | SWa | - | PPk | 31 | 5 | wtorek |
| | | 29 | x | 19,0 | SWa | - | PPk | 28 | 7 | środa |
| | | 30 | x | 5,8 | Ka | - | PPk | 41 | 9 | czwartek |
| 2014 | 12 | 4 | x | 8,7 | SEa | - | PPk | 22 | 5 | czwartek |
| | | 5 | x | 24,0 | Sa | - | PPk | 42 | 12 | piątek |
| | | 6 | x | 5,6 | Ea | - | PPk | 25 | 5 | sobota |
| 2015 | 12 | 19 | | 2,3 | Wa | z | PPms | 25 | 8 | sobota |
| | | 20 | x | 23,5 | Wa | - | PPmc | 22 | 5 | niedziela |
| | | 21 | | 2,9 | Wa | - | PPmc | 47 | 13 | poniedziałek |
| 2017 | 10 | 15 | | 1,1 | NWa | - | PPmc | 16 | 10 | niedziela |
| | | 16 | | 7,8 | Wa | - | PPmc | 38 | 12 | poniedziałek |
| | | 17 | | 6,8 | Wa | - | PPmc | 37 | 6 | wtorek |
| | | 18 | | 4,4 | SWa | - | PPmc | 37 | 8 | środa |
| | | 19 | | 2,8 | Ka | - | PPmc | 35 | 6 | czwartek |
| | | 20 | x | 10,6 | Ka | - | PPmc | 28 | 17 | piątek |
| | | 21 | x | 12,6 | Wa | o | rmp | 20 | 5 | sobota |
| 22 | x | 7,3 | Bc | rf | PPms | 35 | 9 | niedziela | | |
| 2018 | 11 | 3 | | 1,4 | x | st | PPms | 11 | 3 | sobota |
| | | 4 | x | 2,2 | SEa | c | PPmc | 13 | 7 | niedziela |
| | | 5 | x | 6,3 | Sa | - | PPmc | 24 | 6 | poniedziałek |
| | | 6 | x | 6,8 | Sa | - | PPmc | 38 | 5 | wtorek |
| | | 7 | x | 0,3 | Sa | - | PPmc | 47 | 12 | środa |
| | | 8 | | 3,5 | Ka | - | PPmc | 36 | 2 | czwartek |
| | | 9 | x | 12,7 | Sa | - | PPmc | 37 | 8 | piątek |
| | | 10 | x | 12,6 | Sa | - | PPmc | 19 | 8 | sobota |
| | | 11 | x | 9,6 | SWa | - | PPmc | 7 | 2 | niedziela |
| | | 12 | x | 8,4 | SWa | rf | PPmc | 14 | 2 | poniedziałek |

Przykłady omówione w tekście.

Typ cyrkulacji, rodzaj frontu atmosferycznego i rodzaj mas powietrza według klasyfikacji Niedźwiedzia (2019) – objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne.*

W badanym obszarze trudne warunki atmosferyczne związane z mgłami i jednocześnie utrudniające ruch pieszych, samochodowy i lotniczy zdarzają się dość często, chociaż nie każdy dzień z mgłą oznacza utrudnienia komunikacyjne. Na potrzeby niniejszego opracowania w analizowanym wieloleciu wyróżniono przypadki, w których mgła utrzymywała się co najmniej przez trzy dni, i w choć w jednym trwała dłużej niż 6 godzin (tab. 30).

9.3. Wybrane przypadki wystąpienia długotrwałej mgły

26–30 października 2014 r.

Jednym z przypadków długo trwającej mgły była ta, która wystąpiła w październiku 2014 r. W Balicach utrzymywała się ona w sumie przez 13 dni. Z końcem miesiąca, zjawisko to notowano przez ponad 18 godzin na dobę przez 4 kolejne dni (26–29.10.2014; tab. 30). Spowodowało to paraliż pracy lotniska, zwłaszcza 28 i 29 października, kiedy widzialność spadała do 150–200 m. Odwołano ponad 20 lotów, a 30 przekierowano na inne lotniska.

Trudne warunki pogodowe utrudniały również komunikację samochodową, chociaż skutki występowania gęstych mgieł były łagodniejsze, niż można się było spodziewać. Wynikało to m.in. z faktu, iż pierwszy z ciągu omawianych dni przypadał na niedzielę, a więc dzień tygodnia, w którym zwykle jest najmniej wypadków i kolizji drogowych. W kolejnych dniach (27–29 października), przypadających na początek tygodnia (poniedziałek–środa), wypadków i kolizji drogowych, zwłaszcza w Krakowie, było zdecydowanie mniej niż w analogicznych okresach. W tych dniach mgła utrzymująca się przez większą część doby niewątpliwie wpłynęła na ostrożną jazdę kierowców i dostosowanie prędkości do warunków atmosferycznych. Łącznie w 5 dniach trwania mgły doszło w Krakowie do 139 wypadków i kolizji drogowych, a w powiecie krakowskim do 31 (tab. 30). Odpowiednio 88,5% i 64,5% wszystkich przypadków miało miejsce w godzinach 7.00–18.00, z maksimum między 15.00–18.00 (36,2% w Krakowie i 25,8% w powiecie krakowskim). Według raportów policyjnych utrzymująca się mgła była przyczyną zaledwie 2,3% wszystkich zdarzeń drogowych w Krakowie i 4,5% w powiecie krakowskim.

15–22 października 2017 r.

Podobnie gęste mgły wystąpiły trzy lata później – w październiku 2017 r. Trwały one 8 kolejnych dni, od 15 do 22 października. Szczególnie gęstą mgłą, miejscami ograniczającą widzialność do poniżej 100 m odnotowano w Krakowie 20 października. Dodatkowo, panujące warunki meteorologiczne (warstwa inwersyjna i brak wiatru) spowodowały znaczne przekroczenie dopuszczalnych norm zanieczyszczenia. Nad miastem zalegała więc nie tylko mgła, ale też gęsty smog. Największe stężenie PM_{10} wystąpiło tego dnia o godz. 6.00 przy Alei Krasieńskiego ($148 \mu\text{g}/\text{m}^3$, podczas gdy norma zanieczyszczeń PM_{10} wynosi do $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ale również we wszystkich miejskich stacjach monitoringu wartość graniczna była przekroczona. Skutkiem ograniczenia widzialności było czasowe zamknięcie lotniska w Balicach, część lotów odwołano, a pozostałe były kierowane na inne lotniska.

W opisywanych dniach łącznie doszło do 246 (w Krakowie) i 73 (w powiecie krakowskim) wypadków i kolizji drogowych. Z raportów policyjnych wynika, że złe warunki meteorologiczne były przyczyną 27–28% wszystkich zdarzeń drogowych w obu analizowanych obszarach. Wśród nich mgła stanowiła największy procent, w dalszej kolejności były opady deszczu lub oślepiające słońce. Nie zawsze jednak złe warunki atmosferyczne mobilizują kierowców do ostrożnej jazdy, co bezpośrednio przekłada się na zmniejszenie liczby wypadków i kolizji drogowych. Przykładem jest jeden z omawianych dni – 20 października 2017 r., kiedy w powiecie krakowskim zanotowano najwięcej zdarzeń drogowych we wszystkich wyróżnionych dniach z mgłą – 17 (tab. 30). Ponad połowa z nich (52,9%) była związana z występowaniem mgły oraz niedostosowaniem prędkości lub niezachowaniem odpowiedniej odległości między pojazdami w związku ze złymi warunkami atmosferycznymi. Do tych wypadków doszło w różnych gminach powiatu krakowskiego, dlatego też nie sposób wskazać jednego dominującego obszaru.

10. Szadź

Szadź (zwana też sadzią) jest rodzajem osadu atmosferycznego należącego do grupy hydrometeorów (podobnie jak m.in. deszcz, śnieg, rosa, szron, gołoledź, mgła) i występuje w postaci kryształków (cieniutkich igielek) lodu. Powstaje na przedmiotach pionowych (słupach, drzewach, siatkach ogrodzeniowych, liniach elektroenergetycznych i telekomunikacyjnych itp.) w czasie występowania mgły, przez zamrożenie przechłodzonych kropelek wody (Lityńska i in. 1969; *Słownik meteorologiczny* 2003). Szadź narasta na przedmiotach w kierunku, z którego napływa powietrze, czyli po ich stronie dowietrznej (fot. 10).

Aby doszło do powstania szadzi, musi być spełnionych równocześnie kilka warunków: 1) temperatura powietrza utrzymująca się poniżej 0°C, 2) wystąpienie mgły, zamglenia lub niskich chmur (najczęściej *Stratus*), 3) występowanie dużej (90–100%) wilgotności względnej powietrza, choć proces resublimacji (przejście bezpośrednio z fazy gazowej, w tym przypadku pary wodnej, do fazy stałej – lodu) może następować również przy mniejszej wilgotności w powietrzu o bardzo niskiej temperaturze, 4) występowanie słabego lub umiarkowanego wiatru, który wzmacnia proces narastania szadzi (cisza i silny wiatr działają hamująco).



Fot. 10. Szadź w okolicach Krakowa (fot. S. Wypych)

Szadź częściej tworzy się na terenach odsłoniętych wzniesień, ale też we wklęsłych formach terenowych (dolinach i kotlinach śródgórskich) oraz w pobliżu zbiorników wodnych. W Polsce najczęściej dni z szadzią notowanych jest w obszarach górskich, zwłaszcza na Śnieżce (średnio 170–180 dni w roku; Ustrnul i in. 2014), natomiast najrzadziej – w centrum dużych miast. Intensywność szadzi zależy od czynników środowiskowych, m.in.: wysokości bezwzględnej (n.p.m.), wysokości względnej, ekspozycji terenu, form terenu (wklęsłe, wypukłe) czy użytkowania terenu.

Szadź, zwłaszcza gdy jest bardzo intensywna i trwa kilka dni, stanowi zagrożenie przede wszystkim dla energetyki, transportu i drzewostanu. Ciężki osad lodowy może doprowadzić do połamania gałęzi lub nawet całych drzew oraz uszkodzenia lub zerwania linii energetycznych i telekomunikacyjnych. Podobnie jak w przypadku gołoledzi, również szadź jest niebezpieczna dla różnych form transportu, zwłaszcza lotniczego i kolejowego (dodatkowe obciążenie samolotu czy trakcji kolejowej). Prowadzi również do wydłużenia drogi hamowania pojazdów. Szadź trwająca krótko i mało intensywna nie stanowi większego zagrożenia, a wręcz uatrakcyjnia zimowy krajobraz (fot. 10).

Szadź dzieli się na miękką i twardą. **Szadź miękka** powstaje najczęściej w temperaturze poniżej -8°C , podczas ciszy atmosferycznej lub bardzo słabego wiatru, i przybiera postać puszystej, kruchej warstwy drobnych kryształków lodu (igiełek, łusek). **Szadź twarda** powstaje w temperaturze w przedziale od 0°C do -8°C i przy umiarkowanym lub słabym wietrze. Charakteryzuje się strukturą ziarnistą, złożoną z ziaren lodu o barwie białej, rozdzielonych pęcherzykami powietrza. Zwykle narasta od strony dowietrznej, tym szybciej im większa jest prędkość wiatru. Tworzy rodzaj chorągwi skierowanej pod wiatr. Grubość szadzi twardej może osiągać nawet 100 cm (Tamulewicz 1997). Z tego powodu szczególnie niebezpieczna jest szadź twarda, pod której ciężarem łamią się gałęzie i małe drzewa, linie elektryczne oraz sieć trakcyjna.

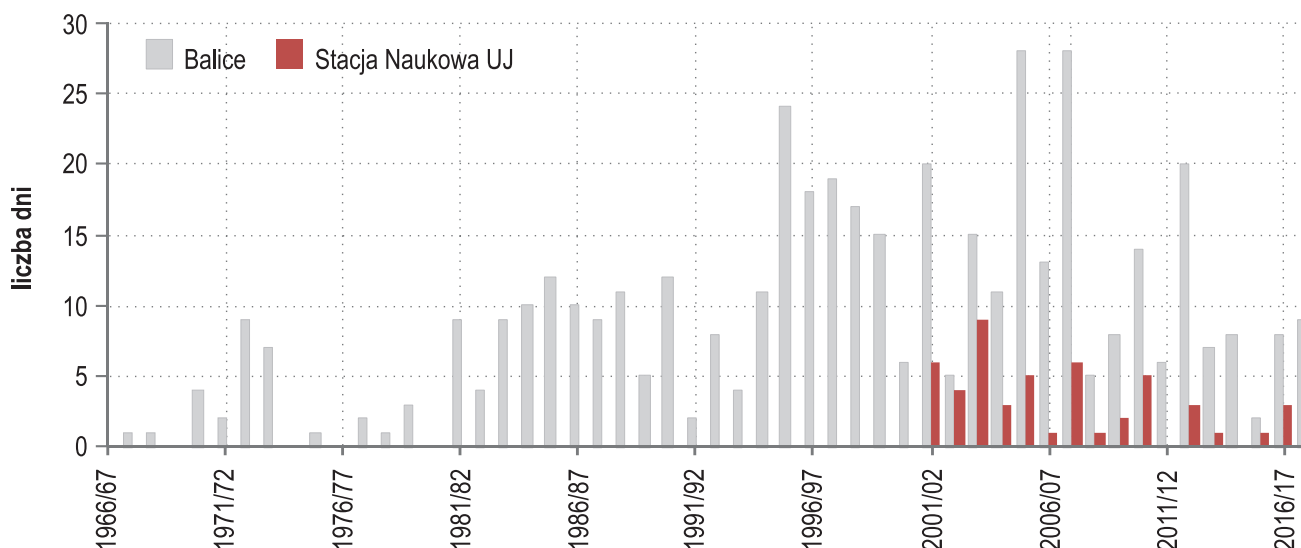
Klasyfikacja zagrożenia związanego z wystąpieniem szadzi w Polsce obejmuje dwa stopnie (*Załącznik* na końcu książki). Głównym kryterium wydania ostrzeżenia jest prognoza wystąpienia intensywnej mgły, ograniczającej widzialność od 50 do 200 m (1 stopień) lub do 50 m (2 stopień), podczas której może dojść do osadzania się szadzi.

10.1. Szadź w latach 1966–2018

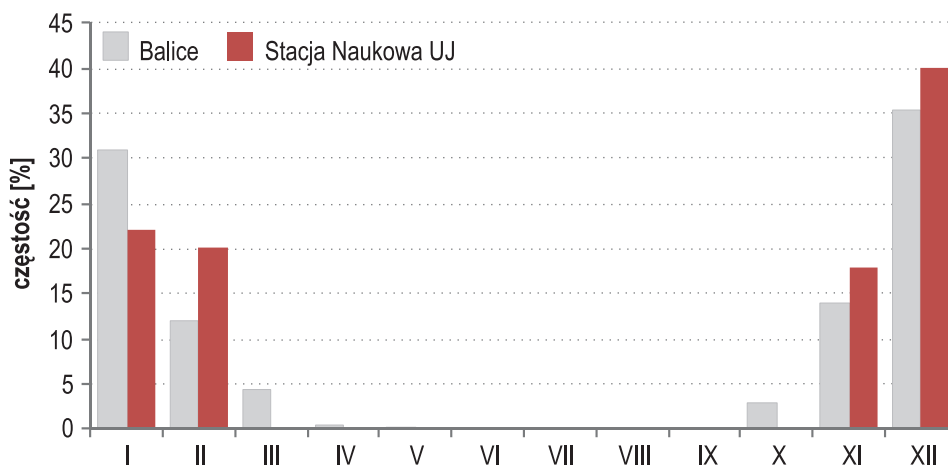
Szadź jest zjawiskiem meteorologicznym, które występuje w chłodnej części roku. Na podstawie wieloletniej serii obserwacji w Balicach (1966–2018) można stwierdzić, że w rozpatrywanym regionie w roku występowało średnio 8,8 dni z szadzią, przy czym najczęściej było ich zimą 2005/06 i 2007/08 – po 28 dni (ryc. 126). Zdecydowanie rzadziej szadź występowała w centrum Krakowa. W latach 2001–2018 średnia liczba dni z szadzią na Stacji Naukowej UJ wynosiła 2,9, gdy w tym samym czasie w Balicach było to 12,2 dni.

W przebiegu wieloletnim można zauważyć wyraźny wzrost liczby analizowanych dni od drugiej połowy lat 90. XX w., choć od zimy 2013/14 ich liczba była zdecydowanie niższa, wynosiła średnio 8 dni w Balicach i tylko 2 w centrum Krakowa (ryc. 126). Warto jednak wspomnieć, że szadź nie zawsze występowała każdej zimy. W Balicach nie notowano szadzi w niektórych zimach z drugiej połowy lat 60. i 70., natomiast na Stacji Naukowej UJ w zimach: 2011/12, 2014/15 i 2017/18.

W przebiegu rocznym najczęściej szadź występowała w grudniu, a w dalszej kolejności w styczniu, lutym i listopadzie (ryc. 127). Na podstawie danych z Balic, czyli z dłuższego ciągu obserwacji (1966–2018), można stwierdzić, że potencjalny okres występowania szadzi to miesiące październik–maj, choć w dwóch ostatnich miesiącach tego okresu – kwietniu i maju – szadź występowała sporadycznie, z częstością 0,2–0,4% wszystkich przypadków (ryc. 127).



Ryc. 126. Liczba dni z szadzią na Stacji Naukowej UJ (2001/02–2017/18) i w Balicach (1966/67–2017/18)

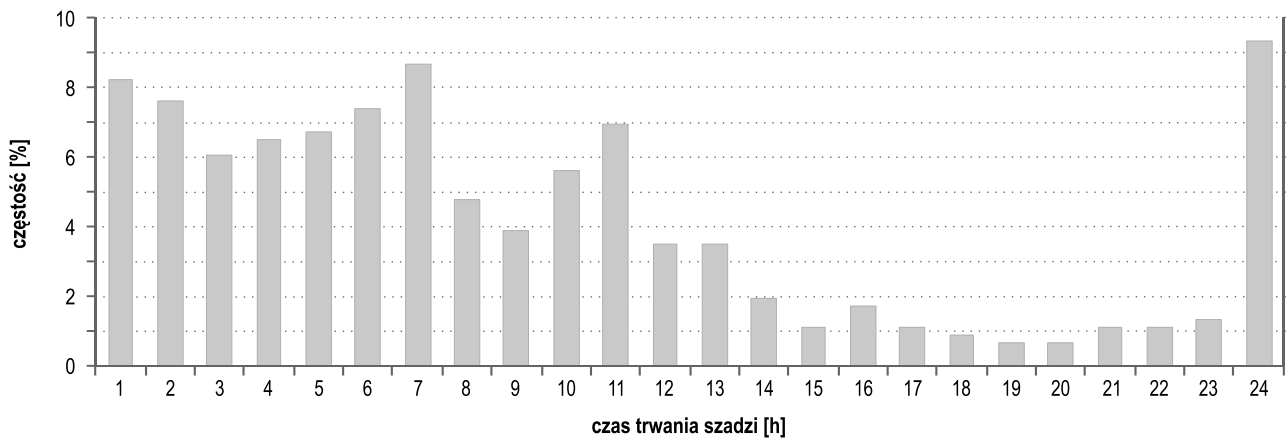


Ryc. 127. Częstość występowania [%] dni z szadzią w poszczególnych miesiącach na Stacji Naukowej UJ (2001/02–2017/18) i w Balicach (1966/67–2017/18)

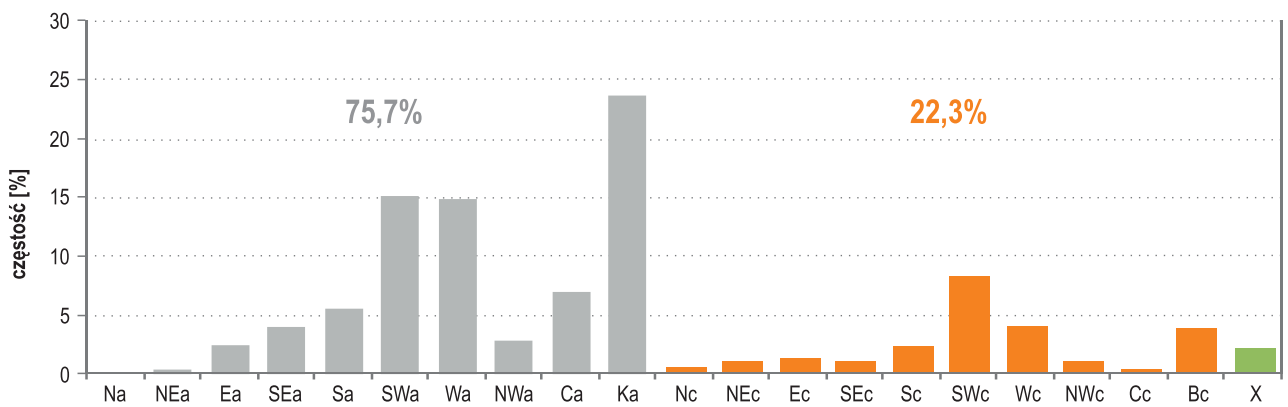
Na podstawie mapy z prawdopodobieństwem warunków sprzyjających tworzeniu się szadzi w półroczu chłodnym (październik–kwiecień) można stwierdzić, że w Krakowie wynosi ono 6–8% i wzrasta na obszarze powiatu krakowskiego w pobliżu północnej granicy gmin Sułoszowa i Skała do 16% (Ustrnul i in. 2014).

Pomiary i obserwacje meteorologiczne prowadzone na stacji synoptycznej w Balicach dają również możliwość analizy długości trwania szadzi (ryc. 128). Na podstawie danych z lat 1966–2018 stwierdzono, że w ponad 50% dni z szadzią trwała ona do 7 godzin, choć największą częstością (9,3%) charakteryzowały się dni, w których szadź utrzymywała się przez całą dobę (24 godziny; ryc. 128) lub tworzyła nawet kilkudniowe ciągi. Te skrajne przypadki omówiono w kolejnym podrozdziale.

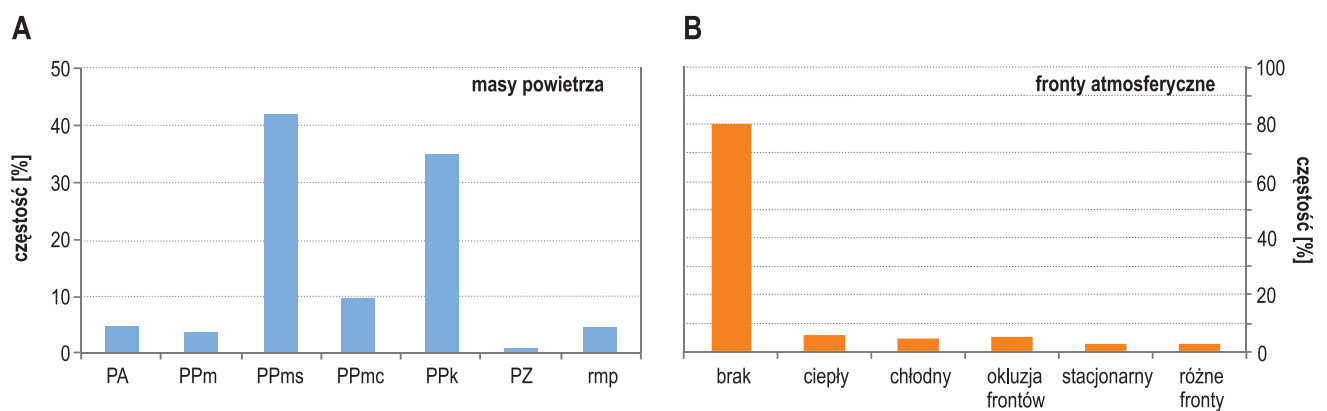
Szadź w Krakowie i powiecie krakowskim występowała najczęściej, gdy nad południową Polską zalegały układy antycyklonalne (75,7% rozpatrywanych dni), a zwłaszcza klin wyżowy (Ka; 23,6%) (ryc. 129) oraz masy powietrza polarne morskie starego (PPms; 42%) lub polarne morskie kontynentalne (PPk; 34,6%) (ryc. 130). W 80% były to też dni bez frontów atmosferycznych (ryc. 130).



Ryc. 128. Częstość występowania [%] szadzi o różnej długości czasu trwania w Balicach (1966/67–2017/18)



Ryc. 129. Częstość [%] występowania szadzi w typach cyrkulacji atmosfery w Balicach w latach 1966–2018 (objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*)



Ryc. 130. Częstość [%] występowania szadzi w poszczególnych masach powietrza (A) oraz podczas przechodzenia frontów atmosferycznych (B) w Balicach w latach 1966–2018 (objaśnienia symboli w tab. 1 w rozdziale 2.1. *Dane meteorologiczne*)

10.2. Wyjątkowo długo trwająca szadź i jej skutki w latach 2000–2018

Jak wspomniano w poprzednim podrozdziale, szadź w Balicach może utrzymywać się przez całą dobę, a nawet kilka kolejnych dni. W centrum Krakowa takie przypadki występują bardzo rzadko. W latach 2000–2018 wyróżniono 5 ciągów dni, w których analizowane zjawisko w Balicach trwało dłużej niż 24 godziny (tab. 31). Najdłuższy ciąg wystąpił w 2006 r. Od 11 do 18 stycznia (8 dni) szadź trwała łącznie 162,8 godziny.

Na stronie internetowej ISOK (Internetowy System Osłony Kraju) i IMGW-PIB opisano przypadek wystąpienia szadzi na Wyżynie Krakowsko-Częstochowskiej w pierwszych dniach stycznia 2010 r. (imgw.isok.gov.pl/mapy-zagrozen-i-ryzyka/zagrozenia-meteorologiczne/szadz/studium-przypadku.html). Jej skutkiem były uszkodzenia drzewostanu wyżyny, trakcji kolejowych oraz linii energetycznych. Z tego powodu przez wiele dni brak prądu odczuwało około 111 tys. odbiorców w powiatach: krakowskim, olkuskim i miechowski. Podobne zdarzenie miało miejsce w styczniu 2013 r. Wówczas około 12 tys. gospodarstw w całym województwie małopolskim nie miało prądu z uwagi na uszkodzenia sieci przez szadź. W tych dwóch zdarzeniach (7–10.01.2010 r. i 20–22.01.2013 r.) zarówno na Stacji Naukowej UJ, jak i w Balicach szadź nie wystąpiła, natomiast w zjawiskach zanotowano gołoledź (patrz rozdział 9.3 *Wybrane przypadki wystąpienia długotrwałej mgły*). Nie znaczy to, że w północnej części powiatu krakowskiego, położonego w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, szadź nie występowała, niemniej jednak większe szkody w tych dniach spowodowała gołoledź, co opisano we wspomnianym rozdziale 9.3.

W wymienionych w tabeli 31 dniach Państwowa Straż Pożarna sporadycznie interweniowała w związku z panującymi warunkami atmosferycznymi. Były to pojedyncze przypadki związane z usuwaniem złamanych konarów lub zwisających gałęzi tarasujących przejście i przejazd. Brak też informacji o wypadkach i kolizjach drogowych w większości tych dni, gdyż baza danych sewik.pl jest dostępna od 2007 r. Niemniej jednak wydaje się, że szadź może mieć większy wpływ na transport kolejowy i lotniczy niż transport drogowy. Oblodzenie sieci trakcyjnej i samolotów powstałe w wyniku wystąpienia szadzi jest równie niebezpieczne jak podczas gołoledzi, o czym wspomniano w rozdziale 8. *Gołoledź*. Wymaga od odpowiednich służb dodatkowej pracy pozwalającej zapewnić bezpieczeństwo pasażerów.

Tabela 31. Charakterystyka dni z długo trwającą szadzią w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018

| Rok | Data | | Stacja UJ x – wystąpienie szadzi | Stacja Balice czas trwania [w godz.] | Typ cyrkulacji | Rodzaj frontu | Masa powietrza |
|------|---------|-------|-------------------------------------|---|-------------------|------------------|-------------------|
| | Miesiąc | Dzień | | | | | |
| 2000 | 01 | 1 | | 24,0 | Ka | - | PPms |
| | | 2 | x | 21,8 | Ka | - | PPms |
| 2002 | 01 | 15 | | 0,3 | SWa | - | PPms |
| | | 16 | x | 24,0 | Wa | - | PPms |
| | | 17 | | 10,1 | Ka | - | PPms |
| 2006 | 01 | 11 | x | 17,3 | Ka | - | PPk |
| | | 12 | x | 24,0 | Ka | - | PPk |
| | | 13 | | 24,0 | Ca | - | PPk |
| | | 14 | | 24,0 | Ca | - | PPk |
| | | 15 | | 24,0 | Ka | - | PPk |
| | | 16 | x | 24,0 | Ka | - | PPk |
| | | 17 | | 24,0 | SWa | - | PPk |
| | | 18 | | 1,5 | Cc | o | PPms |
| 2007 | 12 | 21 | x | 5,5 | Ka | - | PPms |
| | | 22 | x | 24,0 | Ka | - | PPk |
| | | 23 | | 11,0 | Wa | - | PPk |
| 2014 | 12 | 5 | | 10,2 | Sa | - | PPk |
| | | 6 | | 24,0 | Ea | - | PPk |
| | | 7 | | 12,3 | Ea | - | PPk |

11. Podsumowanie i wnioski

Mieszkańcy Krakowa i powiatu krakowskiego, a także m.in. studenci oraz odwiedzający region turyści, są narażeni na występowanie różnego rodzaju wyjątkowych, a czasami nawet groźnych zjawisk meteorologicznych. Urozmaicona rzeźba miasta i poszczególnych gmin powiatu krakowskiego powoduje, że warunki pogodowe i klimatyczne tego regionu są dość zróżnicowane. Analiza ich występowania na podstawie danych tylko z dwóch stacji meteorologicznych (Stacji Naukowej UJ położonej w centrum miasta i z Balic reprezentujących region podmiejski i Międzynarodowy Port Lotniczy), nie oddaje w pełni częstości, a zwłaszcza natężenia, występujących zjawisk pogodowych w całym powiecie i w poszczególnych dzielnicach Krakowa, szczególnie tych o charakterze bardzo lokalnym, jak burze czy intensywne opady. Dlatego też w niniejszej pracy na podstawie zarejestrowanych skutków, jakie były wywołane rozpatrywanymi zjawiskami meteorologicznymi, scharakteryzowano częstość ich występowania i zróżnicowanie przestrzenne.

Zasadniczą część opracowania poprzedzono dość szczegółową charakterystyką środowiska geograficznego badanego obszaru, z czego część została przedstawiona w postaci map. Wynikało to z faktu, że o ile informacje o środowisku geograficznym Krakowa można znaleźć w licznych publikacjach, o tyle podobna charakterystyka obszaru powiatu krakowskiego była zdecydowanie rzadziej przedmiotem analiz naukowych. Wydaje się zatem, że niniejsza monografia częściowo uzupełnia tę lukę. Jednocześnie Autorzy pracy mają nadzieję, że zamieszczony opis środowiska, wraz z dołączonym materiałem graficznym, będzie przydatny dla szerokiego kręgu zainteresowanych. Pozwoli również czytelnikom bardziej zrozumieć złożoność przyczyn oraz skutki, jakie mogą powodować omawiane zjawiska meteorologiczne, z których część jest w dużej mierze determinowana warunkami lokalnymi.

W opracowaniu wykorzystano różnorodne dane, w tym: meteorologiczne, z bazy Państwowej Straży Pożarnej oraz z systemu ewidencji wypadków i kolizji drogowych Komendy Głównej Policji. Zgromadzony materiał, choć z różnej długości lat, pozwolił na określenie pewnych prawidłowości w czasowym przebiegu i przestrzennym zróżnicowaniu badanych zjawisk meteorologicznych.

Specyfika danych dotyczących interwencji straży pożarnej oraz wypadków i kolizji drogowych wymagała zdaniem Autorów nieco szerszego wprowadzenia do dalszej ich analizy. Dlatego też w pierwszej kolejności charakterystyce poddano liczbę i rodzaje interwencji, jakie prowadzili strażacy z Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie oraz opisano, jak zróżnicowana jest ogólna liczba zdarzeń drogowych na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego. Te dwie bazy danych pozwalają na przeprowadzenie badań w bardzo szerokim zakresie i z pewnością niniejsze opracowanie nie wyczerpuje możliwości analizy, interpretacji wyników i wyciągania wniosków. Może natomiast stać się inspiracją do ich wykorzystania w dalszych badaniach.

W drugiej części opracowania dotyczącej groźnych zjawisk meteorologicznych omówiono przyczyny i skutki ich występowania. Wśród rozpatrywanych zjawisk zaprezentowano występowanie silnego wiatru, intensywnych opadów (w tym opadów śniegu), silnych burz, odwilży, gołoledzi, mgły i szadzi. Każde zjawisko zostało scharakteryzowane pod względem terminologicznym, głównych przyczyn występowania, wieloletniej i rocznej

zmienności pojawiania się oraz skutków, jakie spowodowały. Jednym z ważniejszych rezultatów przeprowadzonych badań było opracowanie map z liczbą interwencji strażaków dotyczących każdego z wymienionych wyżej zjawisk oraz ich lokalizacją w podziale na dzielnice Krakowa i gminy powiatu krakowskiego.

W postaci graficznej lub tabelarycznej zaprezentowano także występowanie zjawisk, które mogły przyczynić się do wzrostu liczby wypadków i kolizji drogowych. Należy jednak pamiętać, że pogoda jest tylko jedną z kilku możliwych przyczyn opisanych zdarzeń drogowych. Przeprowadzone badania wskazują, że do wzrostu liczby wypadków i kolizji drogowych najczęściej dochodzi podczas intensywnych opadów deszczu lub śniegu, rzadziej zaś przy burzy. Mgła natomiast powoduje, że kierowcy są bardziej uważni na drodze i częściej dostosowują się do panujących trudnych warunków atmosferycznych. Jednak w skrajnych przypadkach długo utrzymująca się i gęsta mgła może być dodatkowym czynnikiem zwiększającym prawdopodobieństwo wypadku i kolizji. Przykładem jest mgła z października 2017 r., która sprawiła, że miesiąc ten wyróżnił się największą liczbą zdarzeń drogowych w powiecie krakowskim. W Krakowie natomiast do największej liczby wypadków doszło w maju 2010 r., co związane było z bardzo wysoką sumą opadów, która spowodowała powódź obejmującą swoim zasięgiem kilka rejonów miasta i okolicznych gmin.

Przyczyną licznych szkód powstających zarówno w chłodnej, jak i ciepłej połowie roku jest silny wiatr. W lecie często towarzyszy burzom, które wraz z intensywnymi opadami i wyładowaniami atmosferycznymi dodatkowo przyczyniają się do zwiększonej liczby interwencji straży pożarnej. Przyczyny i skutki związane z silnym wiatrem podzielono więc na dwie części. Te związane z burzami poddano oddzielnej analizie.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że w chłodnej połowie roku (listopad–marzec) główną przyczyną występowania silnego wiatru w południowej Polsce są układy niskiego ciśnienia przemieszczające się znad Oceanu Atlantyckiego. Najczęściej są to głębokie niże, szybko poruszające się z zachodu na wschód lub z północnego zachodu na południowy wschód. Ponadto, w okolicach Krakowa dość często notuje się występowanie wyjątkowego rodzaju wiatru – fenowego – występującego w Tatrach i zwanego w tym regionie halnym. Stwierdzono jednak, że wiatr ten stosunkowo rzadko powoduje liczne szkody wymagające interwencji straży pożarnej, co wynika z faktu, iż w okolicach Krakowa jego siła jest już zwykle dużo mniejsza niż u podnóża Tatr.

Silny wiatr występujący w chłodnej połowie roku, zwłaszcza jego porywy, których prędkość przekracza co najmniej 10 m/s, jest przyczyną m.in.: uszkodzeń w infrastrukturze miasta i innych obszarów zabudowanych (dachów budynków, linii energetycznych, billboardów, anten, słupów elektrycznych i trakcyjnych) oraz w drzewostanie (połamane gałęzie, pojedyncze drzewa, wiatrołomy w lasach, sadach, terenach zadrzewionych). Poprzez ograniczanie przejezdności dróg może również utrudniać podróżowanie, co przyczynia się do wypadków i kolizji spowodowanych koniecznością szybkiego zatrzymania pojazdu (w wyniku spadających przedmiotów lub gałęzi i drzew przed lub na samochód), czy też związanym z trudnością w utrzymaniu pojazdu na drodze (zepchnięcie z jezdni przy silnym bocznym wietrze, zwłaszcza w przypadku samochodów ciężarowych). Dodatkowo podczas silnego wiatru występują zamiecie i zawieje śnieżne, co prowadzi do powstania zasp śnieżnych dodatkowo utrudniających ruch kołowy. Towarzyszące niekiedy silnym wiatrom opady atmosferyczne, najczęściej deszczu lub śniegu, powodują dodatkowe utrudnienia lub szkody.

Scenariusze klimatyczne wskazują zarówno na wzrost prędkości, jak i częstości występowania silnych wiatrów. W takim przypadku konieczne stanie się uwzględnienie tych zmian w planach zagospodarowania przestrzennego, przy projektowaniu budynków i innej infrastruktury oraz wprowadzenie programów edukacyjnych, szczególnie dla mieszkańców dużych miast, takich jak Kraków. Wydaje się też, że niezbędne jest wyznaczenie obszarów szczególnie narażonych na silny wiatr. Na podstawie analizy występowania silnego wiatru na rozpatrywanym obszarze stwierdzono, że należą do nich m.in.: ścisłe centrum miasta obejmujące tereny położone w dolinie Wisły (o różnym charakterze zabudowy) oraz obszary niższych partii skłónów wysoczyzn w północnej i południowej części Krakowa, które cechuje wyższa intensywność zagospodarowania miejskiego. Uszkodzeniu ulegały tam głównie: budynki (pokrycia dachów, anteny telewizyjne i sieci komórkowych, kominy, gzymsy), linie elektryczne i telefoniczne (w tym słupy latarni ulicznych), reklamy i billboardy oraz drzewa. Umiarkowany stopień szkód odnotowano na osiedlach mieszkaniowych o niskiej intensywności zabudowy, leżących w wyższych partiach obszaru miasta, zarówno w południowej, jak i północnej części Krakowa. Do rejonów miasta

o najniższym stopniu podwyższonego ryzyka zniszczeń należą wschodnie (jeszcze w obrębie dna doliny Wisły) i południowo-zachodnie (w obrębie obszarów o większych wysokościach bezwzględnych, z większym udziałem lasów) dzielnice peryferyjne miasta, cechujące się najniższą gęstością zaludnienia i relatywnie niskim udziałem użytkowników technicznych. W gminach powiatu krakowskiego interwencji związanych z występowaniem silnego wiatru było zdecydowanie mniej. Tylko nieznacznie więcej odnotowano ich w gminach: Świątniki Górne, Skawina, Mogilany i Zielonki, czyli tych położonych nieco wyżej nad poziomem morza, w północnej i południowej części powiatu.

Opady atmosferyczne przyczyniają się do wystąpienia podtopień i powodzi. Niebezpieczne są zarówno krótko trwające, intensywne opady, ale również te występujące przez kilka kolejnych dni. Przyczyny, jak i skutki ich występowania są nieco odmienne, choć najczęściej intensywne opady pojawiają się w ciepłej połowie roku. Na podstawie liczby interwencji straży pożarnej stwierdzono, że podczas intensywnych opadów najbardziej narażone są dzielnice: Prądnik Czerwony, Podgórze i Prądnik Biały, natomiast w powiecie krakowskim – gminy: Skawina, Świątniki Górne oraz Liszki, czyli te położone w dolinie Wisły. Najmniej interwencji po tego typu zjawiskach było w północnej części powiatu krakowskiego. Do intensywnych opadów, które spowodowały jedne z największych szkód, należy zaliczyć te, które wystąpiły w maju 2010 r. Spowodowały one nie tylko liczne szkody w dolinach rzek, ale również były jedną z przyczyn wzrostu liczby wypadków i kolizji drogowych w Krakowie.

Silne burze, wśród wszystkich analizowanych zjawisk, były przyczyną największej liczby interwencji strażaków. W skrajnym przypadku interweniowali oni 753 razy w ciągu jednej doby, choć często skutki po jednej burzy usuwane były przez kilka kolejnych dni. Niszczycielska siła burz jest związana z silnymi opadami deszczu, rzadziej śniegu czy gradu, i/lub porywistym wiatrem oraz wyładowaniami atmosferycznymi. Wśród analizowanych przypadków występowania silnych burz więcej interwencji straży pożarnej było związanych z silnym wiatrem niż z intensywnymi opadami.

Skutki silnych burz ponownie były największe w Krakowie, zwłaszcza w dzielnicach: Stare Miasto i Prądnik Czerwony, a w dalszej kolejności w Bronowicach i Krowodrzy. Najbardziej odporne na tego typu zjawiska meteorologiczne są obszary Swoszowic i Wzgórz Krzesławickich. Zdecydowanie mniej interwencji związanych z silnymi burzami podejmowano w poszczególnych gminach powiatu krakowskiego. Tylko nieco więcej było ich w gminie Zielonki, a w dalszej kolejności w Skawinie i Świątnikach Górnych.

Charakterystyczną cechą polskich zim jest występowanie śródzimowych **odwilży i roztopów**. Ich główną przyczyną jest adwekcja ciepłych mas powietrza lub występowanie w Tatrach wiatru halnego, który powoduje znaczny wzrost temperatury i szybkie topnienie pokrywy śnieżnej. W XXI w., w związku z występowaniem łagodnych i w zasadzie bezśnieżnych zim, skutki gwałtownych odwilży nie były liczne. Wśród wyróżnionych przypadków dominowały takie, w których strażacy nie podejmowali interwencji (48%) lub było ich w ciągu doby maksymalnie 5 (46%). W badanym okresie najwięcej strat i utrudnień powstałych z powodu odwilży wystąpiło w Krakowie, głównie w dzielnicy Podgórze, natomiast w powiecie krakowskim w gminach Zabierzów i Krzeszowice.

Gołoledź i szadź należą do zjawisk rzadko pojawiających się na analizowanym obszarze, jednak skutki ich wystąpienia bywają groźne. Na rozpatrywanym obszarze od 1996 r. średnio w roku występowało około 3–5 dni z gołoledzią i 3–12 dni z szadzią, przy czym zjawiska te częściej występują w Balicach niż w centrum miasta. Gołoledź i szadź zwykle trwa krótko i zanika w ciągu kilku godzin. Zdarzały się jednak przypadki, że utrzymywały się one nawet przez kilka dni. Skutki występowania tych zjawisk, zwłaszcza gołoledzi, dotyczą wiele sektorów działalności człowieka. Straż pożarna bardzo rzadko interweniowała w dniach związanych z występowaniem gołoledzi i szadzi, ale dzięki informacjom pozyskanym z instytucji zajmujących się transportem i bezpieczeństwem można zorientować się w skali utrudnień, jakie powodują w Krakowie i najbliższej okolicy. Znacznie trudniej jest oszacować straty, jakie powoduje wystąpienie gołoledzi i szadzi w obszarach niezamieszkałych oraz związane z uszkodzeniami linii energetycznych. Niemniej jednak na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że w powiecie krakowskim, zwłaszcza w gminach położonych w północnej części obszaru (Skąła, Sułoszowa, Jerzmanowice-Przeginia, Krzeszowice, Wielka Wieś i Zabierzów), zdarzają się przypadki kilkudniowego utrzymywania się szadzi czy gołoledzi. Ich skutkiem są liczne awarie sieci energetycznych, trakcji

kolejowych oraz utrudnienia w ruchu kołowym. Zasięg i liczba wspomnianych utrudnień często są tak duże, że służby powołane do ich usuwania potrzebują kilku dni na dokonanie niezbędnych napraw.

W chłodnej połowie roku Kraków i powiat krakowski są również narażone na częste występowanie **mgieł**. W przypadku tego zjawiska, największe niebezpieczeństwo związane jest z ograniczeniem widzialności, co stwarza znaczne utrudnienia w transporcie. Przeprowadzone badania wskazują, że mgły najczęściej występują od godzin wieczornych do około 8.00 i zwykle (ponad połowa przypadków) trwają do 4 godzin. W latach 1993–2018 było aż 79 dni, w których mgła trwała ponad 20 godzin oraz kilkanaście przypadków, kiedy mgła występowała w ciągu kilku kolejnych dni. Szczególnie niebezpieczne są bardzo gęste mgły pojawiające się we wklęsłych formach terenu, na obszarze słabiej zaludnionym, gdzie poruszanie się po lokalnych i słabiej oświetlonych drogach wymaga od kierowców szczególnej ostrożności. Drugim niebezpiecznym rejonem podczas występowania mgieł są drogi szybkiego ruchu, w tym wylotowe z miasta, gdzie niedostosowanie prędkości do warunków atmosferycznych prowadzi do zwiększonej liczby wypadków i kolizji drogowych.

Reasumując, należy stwierdzić, że Kraków i powiat krakowski w ciągu całego roku jest narażony na różnego rodzaju zjawiska pogodowe, z których najniebezpieczniejsze i najczęściej występujące okazały się burze, a w dalszej kolejności intensywne opady i silny wiatr. To te trzy zjawiska meteorologiczne (z omawianych dziewięciu) były przyczyną największej liczby interwencji Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie, zwłaszcza w latach: 2007, 2010, 2015 i 2017. Niewątpliwie wpłynęły też na ogólną liczbę wszystkich zagrożeń miejscowych, do których byli wzywani strażacy.

Szczególnie „wrażliwe” na groźne zjawiska meteorologiczne okazały się centrum Krakowa oraz dzielnice: Prądnik Czerwony, Prądnik Biały, Podgórze. W przypadku gmin powiatu krakowskiego trudniej wskazać takie obszary.

12. Literatura

- Antoniów M., 2015, *Wichura z huraganowymi porywami wiatru w dniach 18 i 19 stycznia 2007 jako przykład niszczącej działalności cyklonalnej w półroczu chłodnym w Europie i w Polsce*, Stowarzyszenie Skywarn Polska (Polscy Łowcy Burz), lowcyburz.pl/download/cyryl_analiza.pdf.
- Arażny A., Przybylak R., Vízi Z., Kejna M., Maszewski R., Uscka-Kowalkowska J., 2007, *Mean and extreme wind velocities in Central Europe 1951–2005 (on the basis of data from NCEP/NCAR reanalysis project)*, *Geographia Polonica*, 80, 2, 69–78.
- Atlas Osuwisk Miasta Krakowa*, 2020, Urząd Miasta Krakowa, Kraków, www.bip.krakow.pl/?sub_dok_id=117835. [dostęp: 10.10.2020].
- Ban N., Schmidli J., Schär C., 2015, *Heavy precipitation in a changing climate: Does short-term summer precipitation increase faster?*, *Geophysical Research Letters*, 42, 4, 1165–1172. DOI:10.1002/2014GL062588.
- Baścik M., 2015, *Wody powierzchniowe*, [w:] M. Baścik, B. Degórska (red.), *Środowisko przyrodnicze Krakowa: zasoby, ochrona, kształtowanie*, IGiGP UJ, Kraków, 47–66.
- Baścik M., Degórska B. (red.), 2015, *Środowisko przyrodnicze Krakowa: zasoby, ochrona, kształtowanie*, IGiGP UJ, Kraków.
- Baza danych obiektów topograficznych (BDOT10k)*, 2020, www.gugik.gov.pl/pzgik/zamow-dane/baza-danych-objektow-topograficznych-bdot-10k. [dostęp: 21.09.2020].
- Bąkowski R., Piotrowicz K., 2007, *Głębokie niż w XX wieku kształtujące pogodę w południowej Polsce*, [w:] J. Szkutnicki, U. Kossowska-Cezak, E. Bogdanowicz, M. Ceran (red.), *Cywilizacja i żywiły*, PTGof, IMGW, Warszawa, 40–47.
- Bednorz E., 2012, *Atmospheric conditions of intense thaws in the Polish lowlands*, *Meteorologische Zeitschrift*, 21, 1, 89–98.
- Beniston M., Stephenson D.B., Christensen O.B., Ferro Ch.A.T., Frei Ch., Goyette S., Halsnaes K., Holt T., Jylhä K., Koffi B., Palutikof J., Schöll R., Semmler T., Woth K., 2007, *Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections*, *Climatic Change*, 81, 71–95. DOI:org/10.1007/s10584-006-9226-z.
- Bernas M., Kolendowicz L., 2013, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na występowanie ekstremalnych opadów atmosferycznych w Poznaniu w latach 1920–2010*, *Badania Fizjograficzne*, 4, Seria A – Geografia Fizyczna, 7–27. DOI:10.2478/bfpz-2013-0001.
- Berz G., 2005, *Windstorm and storm surges in Europe: loss trends and possible counter-actions from the viewpoint of an international reinsurer*, *Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 363, 1831, 1431–1440.
- Będkowski K., Norman H., 2005, *Metodyczne aspekty wykorzystania systemów informacji przestrzennej w analizie wpływu huraganowych wiatrów na lasy*, [w:] E. Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki (red.), *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, PTGeof., IMGW, Warszawa, 344–352.
- Bielec Z., Kolendowicz L., 2001, *Problems connected with the observation and climatological elaborations of thunderstorms*, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*, B 55/56(7), 59–65.

- Bielec-Bąkowska Z., 2010a, *A classification of deep cyclones over Poland (1971–2000)*, Physics and Chemistry of the Earth, 35, 491–497. DOI:10.1016/j.pce.2009.12.006.
- Bielec-Bąkowska Z., 2010b, *Występowanie gradów w Polsce w świetle cyrkulacji atmosfery (1966–2006)*, [w:] T. Ciupa, R. Suligowski (red.), *Woda w badaniach geograficznych*, Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii, COMPUS, Kielce 359–374.
- Bielec-Bąkowska Z., 2013, *Burze i grady w Polsce*, Prace Geograficzne IGiGP UJ, 132, 99–132. DOI:10.4467/20833113PG.13.005.1095.
- Bielec-Bąkowska Z., Łupikasza E., 2009, *Long-term precipitation variability on thunderstorm days in Poland (1951–2000)*, Atmospheric Research, 93, 506–515. DOI:10.1016/j.atmosres.2008.09.018.
- Bokwa A., 2010, *Wieloletnie zmiany struktury mezosklimatu miasta na przykładzie Krakowa*, IGiGP UJ, Kraków.
- Bokwa A., 2019, *Rozwój badań nad klimatem lokalnym Krakowa*, Acta Geographica Lodziensia, 108, 7–20, DOI:org/10.26485/AGL/2019/108/1.
- Bokwa A., Caputa Z., Durło G., Maciejowski W., Wojkowski J., 2006, *Zróźnicowanie warunków aktywności termicznych w południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej*, Annales UMCS, sec. B, 61, 10, 92–99.
- Bokwa A., Limanówka D., 2008, *Mezokalowe zróźnicowanie temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w dolinie Wisły w Krakowie i okolicy (1991–2005)*, Wiadomości Meteorologii, Hydrologii, Gospodarki Wodnej, 3–4, 3–20.
- Bokwa A., Maciejowski W., 2014, *Klimat*, [w:] W. Maciejowski (red.), *Monografia gminy Sułoszowa*, Centrum Kultury w Sułoszowej, IGiGP UJ, Kraków, 51–63.
- Bokwa A., Skowera B., 2008, *Wpływ rzeźby i użytkowania terenu na strukturę opadów atmosferycznych w okolicach Krakowa (1971–2005)*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 5, 51–61.
- Bokwa A., Skowera B., 2009, *Występowanie ekstremalnych warunków pluwialnych w Krakowie i okolicy w latach 1971–2005*, Acta Agrophysica, 13 (2), 299–310.
- Bokwa A., Wypych A., Hajto M., 2018, *Impact of natural and anthropogenic factors on fog frequency and variability in Kraków, Poland in the years 1966–2015*, Aerosol and Air Quality Research, 18, 165–177. DOI:10.4209/aaqr.2016.12.0580.
- Bruchwald A., Dmyterko E., 2010, *Metoda określania ryzyka uszkodzenia drzewostanu przez wiatr*, Leśne Prace Badawcze (Forest Research Papers), 71, 2, 165–173. DOI:10.2478/v10111-010-0012-3.
- Brzeźniak E., Partyka J., 2008, *Warunki klimatyczne Ojcowskiego Parku Narodowego*, [w:] A. Klasa, J. Partyka (red.), *Monografia Ojcowskiego Parku Narodowego. Przyroda*, Ojcowski Park Narodowy, Ojców, 121–136.
- Casanueva A., Rodríguez-Puebla C., Frías M.D., González-Reviriego N., 2014, *Variability of extreme precipitation over Europe and its relationships with teleconnection patterns*, Hydrology and Earth System Sciences 18, 2, 709–725. DOI:10.5194/hess-18-709-2014.
- Cebulak E., Niedźwiedz T., 1998, *Ekstremalne zjawiska opadowe w dorzeczu górnej Wisły w latach 1995–1996*, Dokumentacja Geograficzna, 11, 11–30.
- Cebulska M., Szczepanek R., Twardosz R., 2013, *Rozkład przestrzenny opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej Wisły. Opady średnie roczne (1952–1981)*, WIŚ PK, IGiGP UJ, Kraków.
- Cebulska M., Twardosz R., Cichoński J., 2007, *Zmiany rocznych sum opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej Wisły w latach 1881–2030*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, IGiGP UJ, Kraków, 383–390.
- Celiński-Mysław D., 2014, *Derecho jako przykład silnych zjawisk anemologicznych – dotychczasowy stan badań*, Prace Geograficzne IGiGP UJ, 39, 21–32.
- Celiński-Mysław D., Palarz A., 2017a, *Ekstremalne wartości wskaźników chwiejności atmosfery w Polsce i ich związek z mechanizmami ograniczającymi rozwój konwekcji*, Prace Geograficzne IGiGP UJ, 148, 11–32.
- Celiński-Mysław D., Palarz A., 2017b, *The occurrence of convective systems with bow echo in warm season in Poland*, Atmospheric Research, 193, 26–35. DOI:org/10.1016/j.atmosres.2017.04.015.
- Changnon S.A., 2003, *Urban modification of freezing-rain events*, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 42, 863–870.

- Chojnacka-Ożga L., Ożga W., 2018, *Silne wiatry jako przyczyna zjawisk kłęskowych w lasach*, Studia i Materiał CEPL w Rogowie, 20, 54/4, 13–23.
- Chomicz K., 1951, *Ulewy i deszcze nawalne w Polsce*, Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej, 2, 3.
- Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report*, 2017, European Environment Agency. DOI:10.2800/534806.
- Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J., 2013, *The occurrence of atmospheric thaw in Poland over the last 50 years*, Geographia Polonica, 86, 4, 327–340.
- Degirmendžić J., Walisch M., Szmidt A., 2014, *Pola opadów w Polsce związane z niżami Vb Van Bebbera*, Acta Universitatis Lodzianis, Folia Geographica Physica, 13, 3–15.
- DePaul F.T., Sheih C.M., 1986, *Measurements of wind velocities in a street canyon*, Atmospheric Environment, 20, 455–459.
- Diemientiew G., 2018, *Ekstremalne zjawiska pogodowe w Polsce w dobie zmian klimatycznych na przykładzie powodzi i silnych wiatrów*, Kultura Bezpieczeństwa, Nauka. Praktyka. Refleksje, 32, 79–100. DOI:10.5604/01.3001.0012.8094.
- Dołęga E., Lorenc H., 2012, *Ryzyko występowania gołoledzi w Polsce*, [w:] H. Lorenc (red.), *Kłęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*, IMGW-PIB, Warszawa, 98–119.
- Donat M.G., Alexander L.V., Yang H., Durre I., Vose R., Caesar J., 2013, *Global land-based datasets for monitoring climatic extremes*, Bulletin of the American Meteorological Society 94, 7, 997–1006. DOI:10.1175/BAMS-D-12-00109.1.
- Dubiel E., 2015, *Szata roślinna*, [w:] M. Baścik, B. Degórska (red.), *Środowisko przyrodnicze Krakowa: zasoby, ochrona, kształtowanie*, IGI GP UJ, Kraków, 121–144.
- Dupont S., Brunet Y., 2006, *Simulation of turbulent flow in an urban forested park damaged by a windstorm*, Boundary-Layer Meteorology, 120, 1, 133–161.
- Economic losses, poverty & disasters 1998-2017*, 2018, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters CRED; United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). DOI:10.13140/RG.2.2.35610.08643.
- Extreme Wind Storms (XWS) Catalogue*, 2020, Met Office, University of Reading and University of Exeter, www.european-windstorms.org. [dostęp: 10.10.2020].
- Falarz M., 1998, *Wieloletnia zmienność pokrywy śnieżnej w Krakowie na tle zmian w obszarach podmiejskich*, Acta Universitatis Lodzianis, Folia Geographica Physica, 3, 473–481.
- Fischer E.M., Sedláček J., Hawkins E., Knutti R., 2014, *Models agree on forced response pattern of precipitation and temperature extremes*, Geophysical Research Letters, 41, 23, 8554–8562. DOI:10.1002/2014GL062018.
- Fortuniak K., 2003, *Miejska Wyspa ciepła. Podstawy energetyczne, studia eksperymentalne, modele numeryczne i statystyczne*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- Fortuniak K., Kłysik K., Wibig J., 2006, *Urban-rural contrasts of meteorological parameters in Łódź*, Theoretical and Applied Climatology, 84, 91–101.
- Gallant A.J.E., Karoly D.J., Gleason K.L., 2013, *Consistent trends in a modified climate extremes index in the United States, Europe, and Australia*, Journal of Climate, 27, 4, 1379–1394. DOI:10.1175/JCLI-D-12-00783.1.
- Geng Q., Sugi M., 2001, *Variability of the North Atlantic cyclone activity in winter analysed from NCEPNCAR reanalysis data*, Journal of Climate, 14, 3863–3873.
- Główny Urząd Statystyczny. *Bank Danych Lokalnych*, 2020, <https://bdl.stat.gov.pl/BDL/start>. [dostęp: 21.09.2020].
- Graham N.E., Diaz H.F., 2001, *Evidence for intensification of North Pacific winter cyclone since 1948*, Bulletin of the American Meteorological Society, 82, 1869–1893.
- Hess M., 1967, *Klimat terytorium miasta Krakowa*, Folia Geographica, ser. Geographica-Physica, 1, 35–97.
- Hess M., 1969, *Klimat podregionu miasta Krakowa*, Folia Geographica, ser. Geographica-Physica, 3, 5–63.
- Hess M., 1974, *Klimat Krakowa*, Folia Geographica, ser. Geographica-Physica, 3, 45–102.
- Hess M., Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1989, *Bioklimat Krakowa*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne 73, 7–57.

- Holub K., Rušajová J., Sandev M., 2008, *The January 2007 windstorm and its impact on microseisms observed in the Czech Republic*, Meteorologische Zeitschrift, 17, 1, 47–53.
- Hov Ø., Cubasch U., Fischer E., Höppe P., Iversen T., Kvamstø N.G., Kundzewicz, Z.W., Rezacova D., Rios D., Duarte Santos F., Schädler B., Veisz O., Zerefos C., Benestad R., Murlis J., Donat M., Leckebusch G.C., Ulbrich U., 2013, *Extreme weather events in Europe: preparing for climate change adaptation*, Norwegian Meteorological Institute, Oslo.
- IMGW-PIB, 2012, *Wpływ zmian klimatu na środowisko, gospodarkę i społeczeństwo*, IMGW-PIB, Warszawa.
- Instrukcja dla stacji meteorologicznych*, 1962, Seria A: Instrukcje i podręczniki, 65, PIHM, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- IPCC, 2007, *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, S. Solomon, D. Quin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (red.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, N Y, U S A, 996.
- Izmailow B., 2015, *Rzeźba terenu*, [w:] M. Baścik, B. Degórska (red.), *Środowisko przyrodnicze Krakowa: zasoby, ochrona, kształtowanie*, IGiGP UJ, Kraków, 33–46.
- Jaferink H., Fellner A., Fellner R., 2016, *Meteorologia w transporcie*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- Jafernik H., Wilczek Z., Ziarko J., 2000, *Meteorologiczna osłona działań lotnictwa*, Wydawnictwo Bellona, Warszawa.
- Jania J.A., Zwoliński Z., 2011, *Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne, hydrologiczne i geomorfologiczne w Polsce*, Landform Analysis, 15, 51–64.
- Kafar M., 1999, *Charakterystyka wybranych zjawisk atmosferycznych w Łodzi w latach 1951–1992*, Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Physica, 3, 279–293.
- Kalbarczyk E., 2005, *Wieloletnia zmienność występowania osadów atmosferycznych na Pomorzu*, Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 1 (31), 224–233.
- Kaseja M., 2007, *Huragan Cyryl (Kyrill) nad Polską (styczeń 2007)*, Wiadomości Meteorologii, Hydrologii i Gospodarki Wodnej, 1, 55–62.
- Kaszewski B.M., Flis E., 2014, *Meteorologiczne i klimatologiczne zdarzenia ekstremalne w polskiej literaturze*, Prace Geograficzne, IGiGP UJ, 139, 7–20. DOI:0.4467/20833113PG.14.021.3011.
- Kendon E.J., Roberts N.M., Fowler H.J., Roberts M.J., Chan S.C., Senior C.A., 2014, *Heavier summer downpours with climate change revealed by weather forecast resolution model*, Nature Climate Change 4, 7, 570–576. DOI:10.1038/nclimate2258.
- Klein J., 1974, *Mezo- i mikroklimat Ojcowskiego Parku Narodowego*, Studia Naturae, Seria A, 8, 105.
- Knippertz P., Ulbrich U., Speth P., 2000, *Changing cyclones and surface wind speeds over the North Atlantic and Europe in a transient GHG experiment*, Climate Research, 15, 109–122.
- Kondracki J., 1988, *Geografia fizyczna Polski*, PWN, Warszawa.
- Kossowska-Cezak U., Bajkiewicz-Grabowska E., 2008, *Podstawy hydrometeorologii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kowanetz L., 2007, *Stosunki anemologiczne*, [w:] D. Matuszko (red.), *Klimat Krakowa w XX wieku*, IGiGP UJ, Kraków, 149–167.
- Koźmiński Cz., Drogosz J., 1980, *Czasowy i przestrzenny rozkład gołoledzi w Polsce*, Przegląd Geograficzny, 52, 2, 375–387.
- Koźuchowski K. (red.), 2012, *Meteorologia i klimatologia*, PWN, Warszawa.
- Kraków w liczbach 2018, 2019*, Biuletyn Informacji Publicznej, Kraków, www.bip.krakow.pl/?mmi=6353. [dostęp: 21.09.2020].
- Kundzewicz Z.W., Matczak P., 2010, *Zagrożenia naturalnymi zdarzeniami ekstremalnymi*, Nauka, 4, 77–86.
- Kuziemski J., 1971, *Przyczyny meteorologiczne odwilży w Polsce*, Prace PIHM, 101, 3–23.
- Lambert S.J., 1996, *Intense extratropical Northern Hemisphere winter cyclone events: 1899–1991*, Journal of Geophysical Research, 101, 21319–21325.
- Lambor J., 1971, *Hydrologia inżynierska*, Arkady, Warszawa.

- Leckebusch G.C., Ulbrich U., 2004, *On the relationship between cyclones and extreme windstorm events over Europe under climate change*, *Global Planet Change*, 44, 1–4, 181–193.
- Leckebusch G.C., Weimer A., Pinto J.G., Reyers M., Speth P., 2008, *Extreme wind storms over Europe in present and future climate: a cluster analysis approach*, *Meteorologische Zeitschrift*, 17, 1, 67–82.
- Lehmann J., Coumou D., Frieler K., 2015, *Increased record-breaking precipitation events under global warming*, *Climatic Change*, 132, 4, 501–515. DOI:10.1007/s10584-015-1434-y.
- Lewińska J., 1964, *Wyjątkowy przypadek opadu burzowego na obszarze Krakowa*, *Gazeta Obserwatora PIHM*, 3, 10–12.
- Lewińska J., 1967, *Opady atmosferyczne w wielkim Krakowie*, *Prace PIHM*, 91, 19–27.
- Lewińska J., Zgud K., Baścik J., Bartosik J., Czerwienic M., 1982, *Wpływ miasta na klimat lokalny (na przykładzie aglomeracji krakowskiej)*, IKŚ, Warszawa.
- Lewińska J., Zgud K., Baścik J., Wiatrak W., 1990, *Klimat obszarów zurbanizowanych*, IGPiK, Warszawa.
- Lityńska Z., Wirkus F., Wirth Z., 1969, *Warunki występowania gołoledzi i szadzi w Polsce oraz możliwości prognozy gołoledzi*, *Wiadomości Służby Hydrologicznej i Meteorologicznej*, 1–2.
- Lorenc H. (red.), 2012, *Kłęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*, Seria publikacji naukowo-badawczych IMGW-PIB, Warszawa.
- Lorenc H., Myszczyńska A., 2012, *Ryzyko występowania mgieł w Polsce*, [w:] H. Lorenc (red.), *Kłęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*, IMGW-PIB, Warszawa.
- Łupikasza E., Niedźwiedz T., 2016, *Synoptic climatology of fog in selected locations of southern Poland (1966–2015)*, *Bulletin of Geography, Physical Geography Series*, 11, 5–15. DOI:10.1515/bgeo-2016-0010.
- Łupikasza E.B., 2017, *Seasonal patterns and consistency of extreme precipitation trends in Europe, December 1950 to February 2008*, *Climate Research*, 72, 217–237. DOI:org/10.3354/cr01467.
- Macdonald R.W., 2000, *Modelling the mean velocity profile in the urban canopy layer*, *Boundary-Layer Meteorology*, 97, 25–45.
- Maciejowski W., 2020, *Zmiany krajobrazu południowej części Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej w XX i na początku XXI w. a aktualne założenia polityki rozwoju gmin*, IGiGP UJ, Kraków, Kraków.
- Magono C., 1980, *Thunderstorms*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York.
- Makkonen L., Ruokolainen L., Räisänen J., Tikanmäki M., 2007, *Regional climate model estimates for changes in Nordic extreme events*, *Geophysica* 43, 1–2, 25–48.
- Matuszko D. (red.), 2007, *Klimat Krakowa w XX wieku*, IGiGP UJ, Kraków.
- Matuszko D., 2009, *Wpływ zachmurzenia na usłonecznienie i całkowite promieniowanie słoneczne (na przykładzie krakowskiej serii pomiarów)*, Wydawnictwo UJ, Kraków.
- Matuszko D., Piotrowicz K., 2015, *Cechy klimatu miasta a klimat Krakowa*, [w:] P. Trzepacz, J. Więclaw-Michniewska, A. Brzosko-Sermak, A. Kołoś (red.), *Miasto w badaniach geografów*, T. 1, IGiGP UJ, Kraków, 221–241.
- Matuszko D., Piotrowicz K., 2018, *Związek usłonecznienia i temperatury powietrza na podstawie wieloletniej serii klimatologicznej w Krakowie (1884–2016)*, *Przegląd Geofizyczny*, 63, 1–2, 15–29.
- Matuszko D., Piotrowicz K., Kowanetz L., 2015, *Klimat*, [w:] M. Baścik, B. Degórska (red.), *Środowisko przyrodnicze Krakowa: zasoby, ochrona, kształtowanie*, IGiGP UJ, Kraków, 81–108.
- McCabe G.J., Clark M.P., Serreze M.C., 2001, *Trends in Northern Hemisphere surface cyclone frequency and intensity*, *Journal of Climate*, 14, 2763–2768.
- Morawska M., 1966, *Mgły w Krakowie (1861–1960)*, *Przegląd Geofizyczny*, 19(3), 171–181.
- Mrugała S., 1987/88a, *Przestrzenny rozkład odwilży atmosferycznych na obszarze Polski*, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*, 42/43, 9, Sectio B, 156–171.
- Mrugała S., 1987/88b, *Typy cyrkulacji i masy powietrzne a występowanie odwilży atmosferycznych w Polsce*, *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*, 42/43, 10, Sectio B, 173–187.

- Mrugała S., 1988, *Częstość występowania typów cyrkulacji w poszczególnych rodzajach odwilży atmosferycznych na obszarze Polski*, Biuletyn Lubelskiego Towarzystwa Naukowego, Folia Societatis Scientiarum Lublinensis, Geografia, 30, 2, 61–65.
- Nakamura Y., Oke T.R., 1988, *Wind, temperature and stability conditions in east-west oriented urban canyon*, Atmospheric Environment, 22, 2691–2700.
- Niedźwiedz T., 1981, *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, Uniwersytet Jagielloński, Rozprawy habilitacyjne, 58, Kraków.
- Niedźwiedz T., 2019, *Kalendarz typów cyrkulacji atmosfery dla Polski południowej – zbiór komputerowy*, Uniwersytet Śląski, Katedra Klimatologii, Sosnowiec, <http://www.kk.wnoz.us.edu.pl/nauka/kalendarz-typow-cyrkulacji/>. [dostęp: 21.09.2020].
- Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., 1987, *Stan i wyniki badań z zakresu klimatologii w ośrodku krakowskim*, Folia Geographica, series Geographica-Physica, 19, 33–63.
- Niedźwiedz T., Obrębska-Starkłowa B., Olecki Z., 1984, *Stosunki bioklimatyczne Krakowa*, Problemy Uzdrawiskowe, 1/2, 143–151.
- Obrębska-Starkłowa B., Olecki Z., Trepińska J., 1997, *Uwarunkowania klimatyczne w aspekcie rozwoju terytorialnego i przemysłowego Krakowa*, [w:] *Geografia, Człowiek, Gospodarka*, Instytut Geografii UJ, Kraków, 233–243.
- Oke T.R., 1995, *Boundary layer climates*, Methuen, London.
- Olczak E., 2017, *Klimat lotniska Ławicy w Poznaniu*, [w:] M. Stopa-Boryczka, J. Boryczka (red.), *Postęp badań zmian klimatu Polski i ich znaczenie dla życia i działalności człowieka. Atlas współzależności parametrów meteorologicznych i geograficznych w Polsce*, 37, 291–303.
- Olechnowicz-Bobrowska B., 1970, *Częstość dni z opadem w Polsce*, Prace Geograficzne IGI PZ PAN, 86, 1–75.
- Olechnowicz-Bobrowska B., Skowera B., Wojkowski J., Ziernicka-Wojtaszek A., 2005, *Warunki opadowe na stacji agrometeorologicznej w Garlicy Murowanej*, Acta Agrophys., 6 (2), 455–463.
- Owczarek M., 2005, *Wpływ silnego wiatru na awarie sieci energetycznych na Pomorzu*, [w:] E. Bogdanowicz, U. Kossowska-Cezak, J. Szkutnicki (red.), *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, PTGeof., IMGW, Warszawa, 371–377.
- Owczarek M., Miętusa M., 2018, *Ekstremalne zjawiska meteorologiczne w Gdyni do 1950 roku*, Przegląd Geofizyczny, 63, 1–2, 31–50.
- Paciorek J.C., Risbey J.S., Ventura V., Rosen R.D., 2002, *Multiple indices of Northern Hemisphere cyclonic activity, winters 1949–99*, Journal of Climate, 15, 1573–1590.
- Parczewski W., 1961, *Nowa klasyfikacja przedziałów prędkości wiatru dla opracowań klimatycznych i bioklimatycznych*, Wiadomości Uzdrawiskowe, 1–2, 111–115.
- Pilorz W., 2015, *Very large hail occurrence in Poland from 2007 to 2015*, Contemp. Trends Geosci., 4 (1), 45–55. DOI:10.1515/ctg-2015-0005.
- Piotrowicz K., 2010, *Sezonowa i wieloletnia zmienność typów pogody w Krakowie*, IGI PZ UJ, Kraków.
- Piotrowicz K., Bąkowski R., Kozłowski M., 2004–2005, *Energia wiatru w wybranych sytuacjach synoptycznych w południowo-wschodniej Polsce*, Folia Geographica, series Geographica-Physica, 35–36, 133–151.
- Piwkowski H., 1976, *Rozkład mgieł w Polsce i ich długotrwałość*, Przegląd Geofizyczny, 21, 41–49.
- Plan Adaptacji Miasta Krakowa do zmian klimatu do roku 2030*, 2019, Arcadis Sp. z o.o., Wydział Gospodarki Komunalnej, Kraków, www.bip.krakow.pl/?dok_id=114317. [dostęp 10.10.2020].
- Płatkiewicz K., 2020, *Zróżnicowanie przestrzenne wypadków i kolizji drogowych w Krakowie oraz jego uwarunkowania*, IGI PZ UJ, Kraków.
- Pociask-Karteczka J., Żychowski J., 2014, *Powodzie błyskawiczne (flash floods) – przyczyny i przebieg*, [w:] T. Ciupa, R. Suligowski, *Woda w mieście*, Monografie Komisji Hydrologicznej PTG, 2, Instytut Geografii, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Kielce, 213–226.

- Powódź w województwie małopolskim w 2010 roku, 2011, Urząd Statystyczny w Krakowie, Małopolski Ośrodek Badań Regionalnych, Kraków.
- Pożarska K., Grabowski J., Grabowska K., 2016, *Występowanie burz atmosferycznych i opadów gradu w wybranych miejscowościach Polski północno-wschodniej*, Annales UMCS, 71 (4), Sectio E Agricultura, 1–9.
- Prokop P., 2006, *Maksymalne opady oraz czas ich trwania na świecie i w Polsce*, Przegląd Geofizyczny, 2, 147–160.
- Pruchnicki J., 1999, *W sprawie pojęć dotyczących globalnych zmian klimatu*, Wiadomości IMGW, 22, 4, 35–42.
- Pryor S.C., Barthelmie R.J., Schoof J.T., 2005, *The Impact of non-stationarities in the climate system on the definition of 'a normal wind year': a case study from Baltic*, International Journal of Climatology, 25, 735–752.
- Ptaszycka-Jackowska D., Maciejowski W., 2011, *Przyrodnicze uwarunkowania rozwoju turystyki i rekreacji*, [w:] M. Mika (red.), *Kraków jako ośrodek turystyczny*, IGiGP UJ, Kraków, 57–86.
- Raport o stanie Miasta 2018*, 2019, Urząd Miasta Krakowa, Kraków, www.bip.krakow.pl/?id=509. [dostęp: 21.09.2020].
- Raport o stanie powiatu krakowskiego za 2018*, 2019, Starostwo Powiatowe w Krakowie, Kraków, <https://powiat.krakow.pl/2019/05/raport-o-stanie-powiatu/>. [dostęp: 21.09.2020].
- Raport po powodzi z maja i czerwca 2010 r.*, 2010, Urząd Miasta Krakowa, Kraków.
- Rockel B., Worth K., 2007, *Extremes of near-surface wind speed over Europe and their future changes as estimated from an ensemble of RCM simulations*, Climatic Change, 81, 267–280.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 28 czerwca 2019 r. w sprawie ostrzeżeń, prognoz, komunikatów, biuletynów i roczników państwowej służby hydrologiczno-meteorologicznej i państwowej służby hydrogeologicznej*, Dz.U.2019 poz. 1215. [dostęp: 21.09.2020].
- Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 17 listopada 2011 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych obiektów ogólnogeograficznych, a także standardowych opracowań kartograficznych*, Dz.U. 2011 nr 279 poz. 1642. [dostęp: 21.09.2020].
- Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 22 sierpnia 2007 r.*, Dz.U.2007.158.1114. [dostęp: 21.09.2020].
- Ryguła A., Konior A., 2014, *Zintegrowany system ostrzegania kierujących przed zagrożeniami meteorologicznymi*, Logistyka, 5, 1326–1333.
- Rymsza B., 2013, *Wpływ zmian klimatu na bezpieczeństwo infrastruktury kolejowej*, Problemy Kolejnictwa, 158, 5–18.
- Sadowski M., 1965, *Oblodzenie przewodów w Polsce*, Prace PIHM, 87, 65–79.
- Siwek J., Baścik M., Chełmicki W., Kasina M., Pociask-Karteczka J., Rzonca B., Żelazny M., 2007, *Hydrografia i gospodarka wodna*, [w:] I. Jędrzychowski (red.), *Atlas otoczenia Kampusu 600-lecia Odnowienia Uniwersytetu Jagiellońskiego*, Kraków, 42–43.
- Skomorowski A., Piotrowski P., 2018, *The occurrence of fog at meteorological stations located on the airport in Poland in the years 2005–2015*, Przegląd Geofizyczny, 4, 315–327.
- Skrzyńska M., 2019, *Występowanie mgły na wybranych lotniskach w Południowej Polsce i jego uwarunkowania cyrkulacyjne*, Prace Geograficzne UJ, 158, 27–44. DOI: 10.4467/20833113PG.19.014.10918.
- Słownik meteorologiczny*, 2003, T. Niedźwiedz (red.), PTGeofiz., IMGW, Warszawa.
- Solon J., Borzyszkowski J., Bidłasik M., Richling A., Badora K., Balon J., Brzezińska-Wójcik T., Chabudziński Ł., Dobrowolski R., Grzegorzczak I., Jodłowski M., Kistowski M., Kot R., Krąż P., Lechnio J., Macias A., Majchrowska A., Malinowska E., Migoń P., Myga-Piątek U., Nita J., Papińska E., Rodzik J., Strzyż M., Terpiłowski S., Ziaja W., 2018, *Physico-geographical mesoregions of Poland: Verification and adjustment of boundaries on the basis of contemporary spatial data*, Geographia Polonica, 91, 2, 143–170. DOI: org/10.7163/GPol.0115.
- Soomere T., Behrens A., Tuomi L., Nielsen J.W., 2008, *Wave conditions in the Baltic proper and in the Gulf of Finland during windstorm Gudrun*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 8, 1, 37–46.
- System Ewidencji Wypadków i Kolizji Komendy Głównej Policji (SEWIK)*, 2020, <http://sewik.pl>. [dostęp: 21.09.2020].
- Szot S., 2013, *Synoptyczne uwarunkowania zjawisk niebezpiecznych dla lotnictwa*, Zeszyty Naukowe Towarzystwa Doktorantów UJ, Nauki Ścisłe, 7, 2, 25–38.

- Szyga-Pluta K., 2018, *Zmienność czasowa i przestrzenna opadów atmosferycznych w Wielkopolsce w latach 1981–2014*, *Przegląd Geograficzny*, 90, 3, 495–516.
- Świąchłowicz J., 2012, *Wartości progowe parametrów opadów deszczu inicjujących procesy erozyjne w zlewniach użytkowanych rolniczo*, IGiGP UJ, Kraków.
- Tamulewicz J., 1997, *Pogoda i klimat Ziemi*, [w:] *Wielka encyklopedia geografii świata*, Wydawnictwo Kurpisz, Poznań.
- Taszarek M., Brooks H.E., 2015, *Tornado climatology of Poland*, *Monthly Weather Review*, 143, 702–717. DOI: 10.1175/MWR-D-14-00185.1.
- Taszarek M., Gromadzki K., 2017, *Deadly tornadoes in Poland from 1820 to 2015*, *Monthly Weather Review*, 145 (4), 1221–1243.
- Taszarek M., Suwała K., 2015, *Large hail in Poland in 2012*, *Quaestiones Geographicae*, 34 (1), 75–84.
- Trepińska J. (red.), 1997, *Wahania klimatu w Krakowie 1792–1995*, IG UJ, Kraków.
- Twardosz R., 2000, *Wieloletnia zmienność sum dobowych opadów w Krakowie w powiązaniu z sytuacjami synoptycznymi*, *Prace Geograficzne IGiGP UJ*, 105, 19–71.
- Twardosz R., 2005, *Przebieg dobowy opadów atmosferycznych w ujęciu synoptycznym i probabilistycznym na przykładzie Krakowa (1886–2002)*, IGiGP UJ, Kraków.
- Twardosz R., 2007, *Opady atmosferyczne*, [w:] D. Matuszko (red.), *Klimat Krakowa w XX wieku*, IGiGP UJ, 127–138.
- Twardosz R., Łupikasza E., Niedźwiedz T., 2011, *Zmienność i uwarunkowania cyrkulacyjne występowania postaci i typów opadów atmosferycznych na przykładzie Krakowa*, Wydawnictwo UJ, Kraków.
- Twardosz R., Niedźwiedz T., Łupikasza E., 2010, *Burze gradowe w Krakowie i ich uwarunkowania cyrkulacyjne (1863–2008)*, [w:] T. Ciupa, R. Suligowski (red.), *Woda w badaniach geograficznych*, Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii, COMPUS. Kielce, 303–331.
- Ulbrich U., Fink A.H., Klawe M., Pinto J.G., 2001, *Three extreme storms over Europe in December 1999*, *Weather*, 56, 70–80.
- Unton-Pyziółek A., 2005, *Silny wiatr w Polsce w listopadzie 2004 r.*, *Gazeta Obserwatora IMGW*, 1, 39–41.
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2009, *Atlas ekstremalnych zjawisk meteorologicznych oraz sytuacji synoptycznych w Polsce*, IMGW, Warszawa.
- Ustrnul Z., Wypych A., Henek E., Czekierda D., Walawender J., Kubacka D., Pyrc R., Czernecki B., 2014, *Atlas zagrożeń meteorologicznych Polski*, IMGW-PIB, Attyka, Warszawa.
- Vademecum. Niebezpieczne zjawiska meteorologiczne, geneza, skutki, częstość występowania*, 2013a, Część pierwsza – wiosna, lato, IMGW-PIB, Warszawa.
- Vademecum. Niebezpieczne zjawiska meteorologiczne, geneza, skutki, częstość występowania*, 2013b, Część druga – jesień, zima, IMGW-PIB, Warszawa.
- van den Besselaar E.J.M., Klein Tank A.M.G., Buishand T.A., 2013, *Trends in European precipitation extremes over 1951–2010*, *International Journal of Climatology*, 33, 12, 2682–2689. DOI: 10.1002/joc.3619.
- Walczakiewicz Sz., Ostrowski K., 2010, *Nawałnica z 4.VII.2002 r. jako przykład bow echo w Europie Środkowo-Wschodniej ze szczególnym uwzględnieniem burzy w Puszczy Piskiej*, *Geo-Symposium Młodych Badaczy Silesia*, Bytom, 213–230.
- Westra S., Fowler H.J., Evans J.P., Alexander L.V., Berg P., Johnson F., Kendon E.J., Lenderink G., Roberts N.M., 2014, *Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall*, *Reviews of Geophysics*, 52(3), 522–555. DOI: 10.1002/2014RG000464.
- Wiązewski W., Bąkowski R., 2007, *Sytuacje synoptyczne sprzyjające wystąpieniu mgieł na lotnisku Kraków-Balice*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, IGiGP UJ, Kraków, 337–345.
- Wickson M., 2015, *Meteorologia – szkolenie samolotowe EASA*, Pileus, Żółwin.
- Widawski A., Łakomiak M., 2008, *Huraganowy wiatr w słowackiej części Tatr Wysokich (Veľka vetrova kalamita) 19 listopada 2004 roku*, *Wiadomości Meteorologii, Hydrologii i Gospodarki Wodnej*, 2, 1–2, 33–48.
- Więclaw-Michniewska J., Piotrowicz K., 2011, *Seasonal and annual variability of days with strong winds and wind damage in Krakow (Poland) during the period 2000–2007*, *Natural Hazards*, 59, 949–965. DOI: 10.1007/s11069-011-9809-5.

- Wilson J., Wakimoto R., 2001, *The Discovery of the Downburst: T. T. Fujita's Contribution*, Bulletin of the American Meteorological Society, 82, 1, 49–62.
- Wisner B., Blaikie P., Cannon T., Davis I., 2004, *At Risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*, Routledge, New York.
- Woś A., 1995, *Zarys klimatu Polski*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań.
- Woś A., 1996, *Meteorologia dla geografów*, PWN, Warszawa.
- Woś A., 2010, *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Wypych A., 2003, *Air humidity and fogs in Cracow in the period 1961–2000 in relation to synoptic situations*, Prace Geograficzne, 112, 105–114.
- Zagrożenia okresowe występujące w Polsce*, 2010, Rządowe Centrum Bezpieczeństwa, Wydział Analiz i Prognoz, Biura Monitorowania i Analizy Zagrożeń RCB, Warszawa.
- Zasady ewidencjonowania zdarzeń w Systemie Wspomagania Decyzji Państwowej Straży Pożarnej*, 2019, Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej, Warszawa, www.straz.gov.pl. [dostęp: 21.09.2020].
- Ziernicka-Wojtaszek A., Kaczor G., 2013, *Wysokość i natężenie opadów atmosferycznych w Krakowie i okolicach podczas powodzi w okresie maj–czerwiec 2010*, Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus, 12 (2), 143–151.
- Zolina O., Simmer C., Gulev S., Kollet S., 2010, *Changing structure of European precipitation: Longer wet periods leading to more abundant rainfalls*, Geophysical Research Letters, 37, 1–5. DOI: 10.1029/2010GL042468.

Strony internetowe [data dostępu 21.09.2020]

danepubliczne.imgw.pl

dziennikpolski24.pl/gololedz-dala-sie-wszystkim-we-znaki/ar/2906714

edziennik.policja.gov.pl

imgw.isok.gov.pl

imgw.isok.gov.pl/mapy-zagrozen-i-ryzyka/zagrozenia-meteorologiczne/szadz/studium-przypadku.html

klimat.imgw.pl

lowcyburz.pl

mapy.isok.gov.pl/imap/

meteo.imgw.pl

powiat.krakow.pl/zk

poznan.wyborcza.pl/poznan/1,36001,15298509,Szklanka_na_drogach_Takiej_gololedzi_nie_bylo_w_Poznaniu.html?disableRedirects=true;

rcb.gov.pl

sewik.pl

synoptyka.wordpress.com

tv.s.pl

www.bip.krakow.pl/?dok_id=114317

www.bip.krakow.pl/?dok_id=43809

www.bip.krakow.pl/?dok_id=93367

www.bip.krakow.pl/?sub_dok_id=117835

www.britannica.com

www.europeanwindstorms.org

www.europeanwindstorms.org/cgi-bin/storms/storms.cgi?sort=date&opt=en.wikipedia.org/wiki/List_of_European_windstorms

www.gddkia.gov.pl

www.kgpsp.gov.pl

www.lightningmaps.org

www.malopolska.uw.gov.pl

www.met.fu-berlin.de/wetterpate/

www.meteo.pl

www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101

www.pogodynka.pl [data dostępu 30.06.2020]

www.psp.krakow.pl

www.psp.krakow.pl/statystyka

www.rmfm24.pl/raporty/raport-zima/zimawnatarciu2/news-uwaga-golledz,nId,316807

www.straz.gov.pl

www.wetter-extrem.de/orkane.htm

www1.wetter3.de

zdpk.krakow.pl/

zikit.krakow.pl

| | |
|---|----|
| Ryc. 1. Przykłady wydzielonych typów cyrkulacji antycyklonalnej (a) i cyklonalnej (b) na mapach synoptycznych Europy (Niedźwiedź 1981; za Twardoszem 2005) | 15 |
| Ryc. 2. Szlaki głębokich niżów nad Polską (1971–2000) (Bielec-Bakowska 2010a) | 17 |
| Ryc. 3. Jednostki Ratowniczo-Gaśnicze (JRG) wchodzące w skład Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie. | 19 |
| Ryc. 4. Liczba interwencji na obszarze działania Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie w latach 1993–2018 | 20 |
| Ryc. 5. Liczba i udział procentowy interwencji strażaków z Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie na obszarze miasta i powiatu krakowskiego w latach 2006–2018 | 21 |
| Ryc. 6. Liczba wypadków i kolizji drogowych w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2007–2018 | 24 |
| Ryc. 7. Częstość [%] wypadków i kolizji drogowych występujących w różnych warunkach meteorologicznych w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2007–2018 | 24 |
| Ryc. 8. Liczba wypadków i kolizji drogowych w poszczególnych godzinach w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2007–2018 | 26 |
| Ryc. 9. Położenie Krakowa i powiatu krakowskiego w województwie małopolskim i w Polsce..... | 30 |
| Ryc. 10. Podział administracyjny i gęstość zaludnienia Krakowa i powiatu krakowskiego (stan na 31.12.2018)..... | 30 |
| Ryc. 11. Ukształtowanie terenu i podział Krakowa oraz powiatu krakowskiego na jednostki fizycznogeograficzne według klasyfikacji Solona i in. (2018) | 33 |
| Ryc. 12. Średnia miesięczna częstość [%] występowania poszczególnych mas powietrza w południowej Polsce w latach 1961–2018 (objaśnienia w tekście i tab. 1 w rozdziale 2.1. <i>Dane meteorologiczne</i>) | 36 |
| Ryc. 13. Suma roczna opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018 | 38 |
| Ryc. 14. Średnie miesięczne sumy opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018 | 39 |
| Ryc. 15. Rzeki Krakowa i powiatu krakowskiego | 40 |
| Ryc. 16. Wybrane formy ochrony przyrody w Krakowie i powiecie krakowskim..... | 43 |
| Ryc. 17. Tereny zabudowane w Krakowie i powiecie krakowskim | 44 |
| Ryc. 18. Obszary leśne i zadrzewione w Krakowie i powiecie krakowskim | 46 |
| Ryc. 19. Drogi krajowe i wojewódzkie oraz średni dobowy ruch roczny pojazdów (SDRR) w Krakowie i powiecie krakowskim w 2015 r. | 47 |
| Ryc. 20. Linie kolejowe i lotniska w Krakowie i powiecie krakowskim..... | 49 |
| Ryc. 21. Liczba katastrof według rodzaju w latach 1998–2017 | 53 |
| Ryc. 22. Częstość [%] kierunków wiatru i cisz (A) oraz średnia prędkość wiatru [m/s] z poszczególnych kierunków (B) na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1991–2018..... | 58 |
| Ryc. 23. Średnia i maksymalna prędkość wiatru [m/s] w poszczególnych miesiącach na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1991–2018 | 59 |
| Ryc. 24. Średnia i maksymalna prędkość wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1991–2018 | 59 |
| Ryc. 25. Średnia i maksymalna prędkość wiatru [m/s] w ciągu doby w Balicach w latach 1993–2018 | 60 |
| Ryc. 26. Liczba dni z porywami wiatru ≥ 10 m/s na Stacji Naukowej UJ (2001–2018) i w Balicach (1991–2018) | 61 |
| Ryc. 27. Średnia liczba dni z porywami wiatru ≥ 10 m/s na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 2001–2018. | 61 |

| | |
|--|----|
| Ryc. 28. Częstość [%] występowania typów cyrkulacji w dniach z porywami wiatru ≥ 10 m/s na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 2001–2018 | 61 |
| Ryc. 29. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej w dniach z porywami wiatru ≥ 10 m/s w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018. | 62 |
| Ryc. 30. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na 1 km ² powierzchni w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego w dniach z silnym wiatrem w latach 2000–2018 | 63 |
| Ryc. 31. Średnia 10-minutowa i maksymalna prędkość wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniach 17–20.11.2004 r. . | 67 |
| Ryc. 32. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 18–20.11.2004 r. | 67 |
| Ryc. 33. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 18–20.11.2004 r. | 68 |
| Ryc. 34. Średnia 10-minutowa i maksymalna prędkość [m/s] wiatru na Stacji Naukowej UJ w dniach 17–20.01.2007 r. . | 68 |
| Ryc. 35. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 17–20.01.2007 r. | 69 |
| Ryc. 36. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 18–20.01.2007 r. | 69 |
| Ryc. 37. Średnia 10-minutowa i maksymalna prędkość wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniu 24.02.2017 r. | 70 |
| Ryc. 38. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniu 24.02.2017 r. | 70 |
| Ryc. 39. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniu 24.02.2017 r. | 70 |
| Ryc. 40. Średnia 10-minutowa i maksymalna prędkość wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniach 5–6.10.2017 r. ... | 71 |
| Ryc. 41. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 5–06.10.2017 r. | 71 |
| Ryc. 42. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 5–06.10.2017 r. | 72 |
| Ryc. 43. Krzywe wydajności opadów w skali Chomicza (1951) | 74 |
| Ryc. 44. Maksymalne sumy dobowe opadów atmosferycznych [mm] na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018 | 79 |
| Ryc. 45. Maksymalne sumy dobowe opadów atmosferycznych [mm] na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w poszczególnych miesiącach w latach 1961–2018. | 79 |
| Ryc. 46. Liczba dni z sumą dobową opadów ≥ 20 i ≥ 30 mm na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018 ... | 80 |
| Ryc. 47. Liczba dni z sumą dobową opadów ≥ 20 i ≥ 30 mm na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w poszczególnych miesiącach w latach 1961–2018 | 80 |
| Ryc. 48. Częstość [%] występowania typów cyrkulacji w dniach z sumą dobową opadów ≥ 20 mm i ≥ 30 mm na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 2001–2018 | 81 |
| Ryc. 49. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej w dniach z sumą dobową opadów ≥ 20 mm w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018. | 82 |
| Ryc. 50. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na 1 km ² powierzchni w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego w dniach z intensywnymi opadami w latach 2000–2010 | 82 |
| Ryc. 51. Sumy godzinowe opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ w dniach 5–8.09.2007 r. | 84 |
| Ryc. 52. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 6–10.09.2007 r. | 85 |
| Ryc. 53. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 7–8.09.2007 r. | 85 |
| Ryc. 54. Liczba wypadków i kolizji drogowych w Krakowie i powiecie krakowskim w dniach 1–8.09.2007 r. (sobota–sobota); intensywne opady 5–7.09.2007 r. | 86 |
| Ryc. 55. Sumy godzinowe opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ w dniach 14–15.10.2009 r. | 86 |

| | |
|--|-----|
| Ryc. 56. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 14–15.10.2009 r. | 87 |
| Ryc. 57. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 14–15.10.2009 r. | 87 |
| Ryc. 58. Liczba wypadków i kolizji drogowych w Krakowie i powiecie krakowskim w dniach 13–17.10.2009 r. (wtorek–sobota); intensywne opady 14–15.10.2009 r. | 88 |
| Ryc. 59. Suma opadów atmosferycznych [mm] w maju 2010 r. w Polsce oraz wartości anomalii sum opadów tego miesiąca w porównaniu z okresem normalnym (1971–2000) | 88 |
| Ryc. 60. Sumy dobowe opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w maju 2010 r. | 89 |
| Ryc. 61. Sumy godzinowe opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ w dniach 15–18.05.2010 r. | 89 |
| Ryc. 62. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 16–18.05.2010 r. | 90 |
| Ryc. 63. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 16–18.05.2010 r. | 90 |
| Ryc. 64. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 16–31.10.2010 r. | 91 |
| Ryc. 65. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na 1 km ² powierzchni w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego w dniach 16–31 maja 2010 r. | 91 |
| Ryc. 66. Liczba wypadków i kolizji drogowych na tle sum dobowych opadów w Krakowie i powiecie krakowskim w maju 2010 r. | 93 |
| Ryc. 67. Liczba dni z pokrywą śnieżną na Stacji Naukowej UJ w latach 1921/22–2017/18. | 95 |
| Ryc. 68. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej w dniach z opadami śniegu w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018. | 96 |
| Ryc. 69. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na 1 km ² powierzchni w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego w dniach z intensywnymi opadami śniegu w latach 2000–2018. | 98 |
| Ryc. 70. Liczba interwencji w ciągu doby Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie i powiecie krakowskim (A) oraz suma opadów [mm] i wysokość pokrywy śnieżnej [cm] na Stacji Naukowej UJ (B) w dniach 9–20.01.2010 r. | 99 |
| Ryc. 71. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 9–20.01.2010 r. | 100 |
| Ryc. 72. Liczba wypadków i kolizji drogowych w Krakowie i powiecie krakowskim w dniach 9–20.01.2010 r. (sobota–środa; opady 9–12.01.2010 r.) | 100 |
| Ryc. 73. Sumy godzinowe opadów [mm] na Stacji Naukowej UJ w dniach 12–13.10.2015 r. | 101 |
| Ryc. 74. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 12–13.10.2015 r. | 101 |
| Ryc. 75. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 12–13.10.2015 r. | 102 |
| Ryc. 76. Liczba wypadków i kolizji drogowych w Krakowie i powiecie krakowskim w dniach 11–14.10.2015 r. (niedziela–środa; opady 12.10.2015 r.) | 102 |
| Ryc. 77. Przykładowy, automatyczny zapis wartości wybranych elementów meteorologicznych podczas przejścia burzy (za Magono 1980) | 105 |
| Ryc. 78. Roczna liczba dni z burzą na Stacji Naukowej UJ (1961–2018) i w Balicach (1966–2018) | 110 |
| Ryc. 79. Średnia miesięczna liczba dni z burzą na Stacji Naukowej UJ (1961–2018) i w Balicach (1966–2018) | 110 |
| Ryc. 80. Liczba dni z burzą na Stacji Naukowej UJ (1961–2018) i w Balicach (1966–2018) w okresie od października do marca | 112 |
| Ryc. 81. Częstość [%] występowania burz w przebiegu dobowym na Stacji Naukowej UJ (1896–1995) i w Balicach (1993–2018) | 113 |

| | |
|--|-----|
| Ryc. 82. Częstość [%] występowania burz w typach cyrkulacji atmosfery na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1961–2018 | 113 |
| Ryc. 83. Częstość [%] występowania burz w poszczególnych masach powietrza (A) oraz podczas przechodzenia frontów atmosferycznych (B) na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1961–2018 | 114 |
| Ryc. 84. Roczna liczba dni z gradem na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018 (dane z Balic od 1966 r.) | 115 |
| Ryc. 85. Średnia miesięczna liczba dni z gradem na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018 (dane z Balic od 1966 r.) | 115 |
| Ryc. 86. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej w dniach z burzą w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018 | 116 |
| Ryc. 87. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na 1 km ² powierzchni w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego w dniach z silnymi burzami w latach 2000–2018. | 116 |
| Ryc. 88. Średnia 10-minutowa i maksymalna prędkość wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniach 23–24.08.2007 r. | 118 |
| Ryc. 89. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 23–25.08.2007 r. | 119 |
| Ryc. 90. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 24–25.08.2007 r. | 119 |
| Ryc. 91. Mapa synoptyczna: a) z godz. 00 UTC w dniu 3.06.2010 r., b) z godz. 00 UTC w dniu 4.06.2010 r. | 120 |
| Ryc. 92. Obrazy radarowe z godz. 22.40 w dniu 3 czerwca i z godz. 01.30 w dniu 4 czerwca 2010 r. | 121 |
| Ryc. 93. Przebieg temperatury [°C] i wilgotności względnej powietrza [%] oraz sum godzinowych opadów i maksymalnej prędkości wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniach 3–4.06.2010 r. | 121 |
| Ryc. 94. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 3–5.06.2010 r. | 121 |
| Ryc. 95. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 4–5.06.2010 r. | 122 |
| Ryc. 96. Lokalizacja wyładowań atmosferycznych w Krakowie i okolicach w dniu 10.06 (kolor granatowy i bordowy) i 11.06 2013 r. (różne odcienie koloru żółtego) | 123 |
| Ryc. 97. Mapa synoptyczna: a) z godz. 00 UTC w dniu 10.06.2013 r., b) z godz. 00 UTC w dniu 11.06.2013 r. | 124 |
| Ryc. 98. Przebieg temperatury [°C] i wilgotności względnej powietrza [%] oraz sum godzinowych opadów i maksymalnej prędkości wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniach 10–11.06.2013 r. | 124 |
| Ryc. 99. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 10–12.06.2013 r. | 125 |
| Ryc. 100. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 10–12.06.2013 r. | 126 |
| Ryc. 101. Lokalizacja wyładowań atmosferycznych w Krakowie i okolicach w dniu 8.07.2015 r. | 127 |
| Ryc. 102. Mapa synoptyczna: a) z godz. 00 UTC w dniu 8.07.2015 r., b) z godz. 12 UTC w dniu 8.07.2015 r., c) z godz. 00 UTC w dniu 9.07.2015 r. i d) z godz. 12 UTC w dniu 9.07.2015 r. | 128 |
| Ryc. 103. Przebieg temperatury [°C] i wilgotności względnej powietrza [%] oraz sum godzinowych opadów i maksymalnej prędkości wiatru [m/s] na Stacji Naukowej UJ w dniach 8–9.07.2015 r. | 129 |
| Ryc. 104. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 8–10.07.2015 r. | 129 |
| Ryc. 105. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 8–10.07.2015 r. | 130 |
| Ryc. 106. Maksymalna wysokość pokrywy śnieżnej na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961/62–2017/18. | 134 |
| Ryc. 107. Liczba przypadków ze zmniejszeniem się wysokości pokrywy śnieżnej z dnia na dzień o co najmniej 5 cm na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018 | 134 |
| Ryc. 108. Częstość występowania [%] przypadków ze zmniejszeniem się wysokości pokrywy śnieżnej z dnia na dzień o co najmniej 5 cm w poszczególnych miesiącach na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1961–2018 .. | 135 |

| | |
|---|-----|
| Ryc. 109. Częstość [%] występowania przypadków ze zmniejszeniem się wysokości pokrywy śnieżnej z dnia na dzień ≥ 5 cm w typach cyrkulacji atmosfery na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1961–2018 | 135 |
| Ryc. 110. Częstość [%] występowania przypadków ze zmniejszaniem się wysokości pokrywy śnieżnej z dnia na dzień ≥ 5 cm w poszczególnych masach powietrza (A) oraz podczas przechodzenia frontów atmosferycznych (B) na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1961–2018 | 136 |
| Ryc. 111. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej w dniach ze zmniejszeniem się wysokości pokrywy śnieżnej w ciągu doby o ≥ 5 cm w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018..... | 137 |
| Ryc. 112. Liczba interwencji Państwowej Straży Pożarnej w poszczególnych dzielnicach Krakowa i gminach powiatu krakowskiego w dniach ze zmniejszeniem się wysokości pokrywy śnieżnej w ciągu doby o ≥ 5 cm w latach 2000–2018 | 137 |
| Ryc. 113. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniu 3.01.2003 r..... | 139 |
| Ryc. 114. Roczna liczba dni z gołoledzią na Stacji Naukowej UJ (2001–2018) i w Balicach (1966–2018)..... | 143 |
| Ryc. 115. Średnia miesięczna liczba dni z gołoledzią na Stacji Naukowej UJ (2001–2018) i w Balicach (1966–2018) ... | 144 |
| Ryc. 116. Czas trwania gołoledzi w Balicach w latach 1966–2018..... | 144 |
| Ryc. 117. Częstość występowania [%] gołoledzi w typach cyrkulacji atmosfery na Stacji Naukowej UJ i w Balicach w latach 1966–2018 | 145 |
| Ryc. 118. Częstość występowania [%] gołoledzi w poszczególnych masach powietrza (A) oraz podczas przechodzenia frontów atmosferycznych (B) na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1966–2018 ... | 146 |
| Ryc. 119. Lokalizacja interwencji Państwowej Straży Pożarnej na obszarze Krakowa i powiatu krakowskiego w dniach 9–11.01.2010 r..... | 148 |
| Ryc. 120. Roczna liczba dni z mgłą na Stacji Naukowej UJ (1961–2018) oraz w Balicach (1966–2018)..... | 153 |
| Ryc. 121. Średnia miesięczna liczba dni z mgłą na Stacji Naukowej UJ (1961–2018) oraz w Balicach (1966–2018) | 153 |
| Ryc. 122. Częstość występowania mgieł w ciągu doby w Balicach w latach 1993–2018..... | 154 |
| Ryc. 123. Czas trwania mgieł w Balicach w latach 1993–2018 | 154 |
| Ryc. 124. Częstość występowania mgieł w typach cyrkulacji atmosfery na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1961–2018 | 155 |
| Ryc. 125. Częstość występowania [%] mgieł w masach powietrza (A) oraz podczas przechodzenia frontów atmosferycznych (B) na Stacji Naukowej UJ i/lub w Balicach w latach 1961–2018 | 155 |
| Ryc. 126. Liczba dni z szadzią na Stacji Naukowej UJ (2001/02–2017/18) i w Balicach (1966/67–2017/18) | 161 |
| Ryc. 127. Częstość występowania [%] dni z szadzią w poszczególnych miesiącach na Stacji Naukowej UJ (2001/02–2017/18) i w Balicach (1966/67–2017/18) | 161 |
| Ryc. 128. Częstość występowania [%] szadzi o różnej długości czasu trwania w Balicach (1966/67–2017/18) | 162 |
| Ryc. 129. Częstość [%] występowania szadzi w typach cyrkulacji atmosfery w Balicach w latach 1966–2018 | 162 |
| Ryc. 130. Częstość [%] występowania szadzi w poszczególnych masach powietrza (A) oraz podczas przechodzenia frontów atmosferycznych (B) w Balicach w latach 1966–2018 | 162 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 1. Typy cyrkulacji atmosfery, rodzajów mas powietrza i frontów atmosferycznych według klasyfikacji Niedźwiedzia (2019) | 14 |
| Tabela 2. Przykładowe kody zdarzeń stosowane w Systemie Wspomagania Decyzji Państwowej Straży Pożarnej (SWD PSP) | 18 |
| Tabela 3. Liczba interwencji strażaków z Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie związanych z zagrożeniem miejscowym, których przyczyną były zjawiska atmosferyczne występujące na obszarze miasta i poszczególnych gmin powiatu krakowskiego w latach 2015–2018. | 22 |
| Tabela 4. Liczba i częstość [%] wypadków i kolizji drogowych w poszczególnych miesiącach w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2007–2018. | 25 |
| Tabela 5. Liczba i częstość [%] wypadków i kolizji drogowych w poszczególnych godzinach w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2007–2018. | 26 |
| Tabela 6. Miejsca z największą liczbą wypadków i kolizji drogowych w latach 2007–2018 w Krakowie oraz gminach i miejscowościach powiatu krakowskiego | 28 |
| Tabela 7. Powierzchnia i ludność Krakowa i powiatu krakowskiego (stan na 31.12.2018) | 31 |
| Tabela 8. Częstość [%] kierunków adwekcji mas powietrza oraz występowania typów sytuacji antycyklonalnych i cyklonalnych w południowej Polsce w latach 1961–2018. | 36 |
| Tabela 9. Średnia sezonowa częstość [%] występowania rodzajów frontów atmosferycznych w południowej Polsce w latach 1961–2018 (objaśnienia w tekście i tab. 1 w rozdziale 2.1. <i>Dane meteorologiczne</i>) | 37 |
| Tabela 10. Powierzchnia lasów w Krakowie i powiecie krakowskim (stan na 31.12.2018) | 42 |
| Tabela 11. Udział różnych form pokrycia terenu w Krakowie i powiecie krakowskim | 45 |
| Tabela 12. Długość dróg [w km] w Krakowie i powiecie krakowskim | 47 |
| Tabela 13. Średni dobowy ruch roczny (SDRR) pojazdów na wybranych drogach Krakowa i powiatu krakowskiego w 2005 i 2015 r. | 48 |
| Tabela 14. Skala wrażliwości oraz zakres oddziaływania warunków meteorologicznych na transport drogowy i kolejowy. | 50 |
| Tabela 15. Skala Beauforta | 55 |
| Tabela 16. Klasyfikacja stopni zagrożenia lasu w zależności od prędkości wiatru w Polsce | 56 |
| Tabela 17. Charakterystyka dni z silnym wiatrem w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018 | 64 |
| Tabela 18. Opis interwencji związanych z wystąpieniem silnego wiatru z kalendarium Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie. | 72 |
| Tabela 19. Skala klasyfikacji deszczów według Chomicza (1951) | 74 |
| Tabela 20. Charakterystyka dni z intensywnymi opadami w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018. | 83 |
| Tabela 21. Opis interwencji związanych z wystąpieniem intensywnych opadów atmosferycznych z kalendarium Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie | 94 |
| Tabela 22. Charakterystyka dni z intensywnymi opadami śniegu lub deszczu ze śniegiem w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018. | 97 |
| Tabela 23. Opis interwencji związanych z wystąpieniem intensywnych opadów śniegu z kalendarium Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie | 102 |
| Tabela 24. Miesięczna liczba dni z burzą na Stacji Naukowej UJ (1961–2018) i w Balicach (1966–2018) | 111 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 25. Charakterystyka dni z silnymi burzami w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018 | 117 |
| Tabela 26. Opis interwencji związanych z wystąpieniem silnych burz z kalendarium Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie | 130 |
| Tabela 27. Charakterystyka dni z silną odwilżą w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018 | 138 |
| Tabela 28. Opis interwencji związanych z wystąpieniem odwilży z kalendarium Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie | 139 |
| Tabela 29. Charakterystyka dni z długo trwającą gołoledzią w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018 | 146 |
| Tabela 30. Charakterystyka dni z długo utrzymującymi się mgłami w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018 | 156 |
| Tabela 31. Charakterystyka dni z długo trwającą szadzią w Krakowie i powiecie krakowskim w latach 2000–2018 | 163 |

Spis fotografii

| | |
|---|-----|
| Fot. 1. Interwencja strażaków z Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie usuwających skutki silnego wiatru (fot. P. Paweł) | 55 |
| Fot. 2. Zalane drogi po intensywnych opadach w Krakowie (fot. S. Wypych) | 77 |
| Fot. 3. Utrudnienia na drogach podczas intensywnych opadów deszczu (fot. S. Wypych) | 78 |
| Fot. 4. Intensywne opady śniegu w ciągu jednej doby (fot. S. Wypych) | 96 |
| Fot. 5. Burze nad gminami: Zielonki (a) (fot. Z. Bielec-Bąkowska) i Michałowice (b) (fot. K. Krzyworzeka) | 104 |
| Fot. 6. Opad gradu w Krakowie (fot. K. Piotrowicz) | 107 |
| Fot. 7. Wyładowanie atmosferyczne (piorun) nad Krakowem (fot. S. Wypych) | 109 |
| Fot. 8. Gołoledź przezroczysta i matowa w Krakowie i powiecie krakowskim w styczniu 2010 i 2013 r. (fot. S. Wypych) | 142 |
| Fot. 9. Mgła na Rynku Głównym w Krakowie (fot. S. Wypych) i na autostradzie A4 w pobliżu Balic (fot. D. Piotrowicz) | 149 |
| Fot. 10. Szadź w okolicach Krakowa (fot. S. Wypych) | 159 |

Załącznik

Klasyfikacja stopni zagrożenia dla zjawisk meteorologicznych stosowana w ostrzeżeniach meteorologicznych IMGW-PIB

Depesza tekstowa opracowana przez Biuro Prognoz Meteorologicznych i przekazywana do centralnych wojewódzkich struktur zarządzania kryzysowego w przypadku przewidywania lub występowania niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych zgodnie z kryteriami określonymi w ustawie *Prawo wodne* i rozporządzeniach do niej.

| | |
|-------------------------|---|
| Stopień Zagrozenia 1 | Najniższy, w celu wizualizacji ostrzeżeń oznacza się kolorem żółtym. Gdy przewiduje się wystąpienie niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych, które mogą powodować szkody materialne, możliwe zagrożenie życia. Prowadzenie działalności w warunkach narażenia na działanie niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych jest utrudnione i niebezpieczne. Zalecana ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| Stopień zagrożenia 2 | Wyższy, w celu wizualizacji ostrzeżeń oznacza się kolorem pomarańczowym. Gdy przewiduje się wystąpienie niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych powodujących duże straty materialne i zagrożenie życia. Niebezpieczne zjawiska w silnym stopniu ograniczają prowadzenie działalności. Zalecana ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| Stopień zagrożenia 3 | Najwyższy, w celu wizualizacji ostrzeżeń oznacza się kolorem czerwonym. Gdy przewiduje się wystąpienie niebezpiecznych zjawisk meteorologicznych powodujących bardzo duże szkody lub szkody o rozmiarach katastrofy oraz zagrożenie życia. Niebezpieczne zjawiska uniemożliwiają prowadzenie działalności. Zalecana najwyższa ostrożność, potrzeba częstego śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |

| Stopnie zagrożenia | Kryteria | Skutki |
|--------------------|--|---|
| Silny wiatr | | |
| 1 | 54 km/h < Vśr ≤ 72 km/h, tj. 15 m/s < Vśr ≤ 20 m/s lub w porywach 72 km/h < V ≤ 90 km/h, tj. 20 m/s < V ≤ 25 m/s | Uszkodzenia budynków, dachów; szkody w drzewostanie, łamanie gałęzi i drzew; utrudnienia komunikacyjne. Zalecana ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| 2 | 72 km/h < Vśr ≤ 90 km/h, tj. 20 m/s < Vśr ≤ 25 m/s lub w porywach 90 km/h < V ≤ 115 km/h, tj. 25 m/s < V ≤ 32 m/s | Uszkodzenia budynków, dachów; łamanie i wyrwanie drzew z korzeniami; utrudnienia w komunikacji; uszkodzenia linii napowietrznych. Zalecana ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| 3 | Vśr > 90 km/h, tj. Vśr > 25 m/s lub w porywach V > 115 km/h, tj. V > 32 m/s | Niszczenie zabudowań, zrywanie dachów; niszczenie linii napowietrznych; duże szkody w drzewostanie; znaczne utrudnienia w komunikacji; zagrożenie życia. |
| Oblodzenie | | |
| 1 | Spadek temperatury powietrza < 0°C powodujący na przeważającym obszarze zamarzanie mokrej nawierzchni po opadach deszczu, deszczu ze śniegiem lub mokrego śniegu. lub Na przeważającym obszarze roztopianie i zamarzanie wierzchniej warstwy zmrożonego podłoża z pokrywą śnieżną po długotrwałych mrozach | Śliskość na drogach i chodnikach oraz utrudnienia komunikacyjne. Zalecana najwyższa ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| 2-3 | Nie stosuje się | Nie stosuje się |
| Przymrozki | | |
| 1 | Zmiana temperatury powietrza na wysokości 2 m n.p.g. z dodatniej na ujemną w okresie wegetacji na wiosnę, gdy zaistnieją łącznie następujące warunki: a) temperatura minimalna na wysokości 2 m n.p.g. < 0°C b) średnia temperatura dobowa > 0°C | Szkody w uprawach rolnych, sadach i ogrodach. Śliskość na drogach, chodnikach oraz utrudnienia komunikacyjne. Zaleca się śledzenie komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| 2-3 | Nie stosuje się | Nie stosuje się |

| Stopnie zagrożenia | Kryteria | Skutki |
|---------------------------------|--|---|
| Roztopy | | |
| 1 | <p>Na obszarach zalegania pokrywy śnieżnej o grubości nie mniejszej niż 10 cm, wzrost temperatury powietrza z ujemnej na dodatnią powodujący topnienie śniegu, gdy zaistnieją łącznie następujące warunki:</p> <p>a) przez całą dobę dodatnia temperatura powietrza na wysokości 2 m n.p.g. $T > 0^{\circ}\text{C}$</p> <p>b) temperatura średnia dobowa $\geq 5^{\circ}\text{C}$</p> <p>c) bez opadów</p> <p>d) na południu kraju brak wiatru fenowego</p> <p>lub</p> <p>a) przez całą dobę dodatnia temperatura powietrza na wysokości 2 m n.p.g. $T > 0^{\circ}\text{C}$</p> <p>b) temperatura średnia dobowa $\geq 1,5^{\circ}\text{C}$</p> <p>c) opady deszczu $R \leq 10 \text{ mm} / 24 \text{ godz.}$</p> | Podtopienia, uszkodzenia dróg i budynków; trudności komunikacyjne. Zalecana ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| 2 | <p>Na obszarach zalegania pokrywy śnieżnej o grubości nie mniejszej niż 10 cm, wzrost temperatury powietrza z ujemnej na dodatnią powodujący topnienie śniegu, gdy zaistnieją łącznie następujące warunki:</p> <p>a) przez całą dobę dodatnia temperatura powietrza na wysokości 2 m n.p.g. $T > 0^{\circ}\text{C}$</p> <p>b) temperatura średnia dobowa $> 1,5^{\circ}\text{C}$</p> <p>c) opady deszczu $10 \text{ mm} < R \leq 20 \text{ mm} / 24 \text{ godz.}$</p> | Możliwość wystąpienia wezbrania roztopowego. Możliwe wystąpienie rozlewisk na obszarach rolnych. Zalecana ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| 3 | <p>Na obszarach zalegania pokrywy śnieżnej o grubości nie mniejszej niż 10 cm, wzrost temperatury powietrza z ujemnej na dodatnią powodujący topnienie śniegu, gdy zaistnieją łącznie następujące warunki:</p> <p>a) przez całą dobę dodatnia temperatura powietrza na wysokości 2 m n.p.g. $T > 0^{\circ}\text{C}$</p> <p>b) temperatura średnia dobowa $> 1,5^{\circ}\text{C}$</p> <p>c) opady deszczu $R > 20 \text{ mm} / 24 \text{ godz.}$</p> | Duże zagrożenie wystąpienia wezbrania roztopowego. Zniszczenia zabudowań, dróg, mostów; duże trudności komunikacyjne; zagrożenie życia. Zalecana najwyższa ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| Upał | | |
| 1 | <p>Jeśli zaistnieją łącznie następujące warunki:</p> <p>a) $30^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} \leq 34^{\circ}\text{C}$,</p> <p>b) $T_{\text{min}} < 18^{\circ}\text{C}$,</p> <p>c) czas trwania zjawiska ≥ 2 dni,</p> <p>lub</p> <p>a) $T_{\text{max}} \geq 35^{\circ}\text{C}$</p> <p>b) czas trwania zjawiska = 1 dzień</p> | Ryzyko udaru słonecznego; uszkodzenia asfaltowych nawierzchni dróg; wzrost zagrożenia pożarowego. Zalecana ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| 2 | <p>Jeśli zaistnieją łącznie następujące warunki:</p> <p>a) $30^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} \leq 34^{\circ}\text{C}$,</p> <p>b) $T_{\text{min}} \geq 18^{\circ}\text{C}$,</p> <p>c) czas trwania zjawiska ≥ 2 dni.</p> | Duże ryzyko udaru słonecznego; zagrożenie życia; uszkodzenia asfaltowych nawierzchni dróg; duże zagrożenie pożarowe. Zalecana ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| 3 | <p>Jeśli zaistnieją łącznie następujące warunki:</p> <p>a) $T_{\text{max}} > 34^{\circ}\text{C}$,</p> <p>b) czas trwania zjawiska ≥ 2 dni.</p> | Bardzo duże ryzyko udaru słonecznego; zagrożenie życia; uszkodzenia asfaltowych nawierzchni dróg; duże zagrożenie pożarowe. Zalecana najwyższa ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| Intensywne opady deszczu | | |
| 1 | Wystąpienie opadów: $30 \text{ mm} \leq R < 50 \text{ mm}$ w czasie do 24 godzin | Utrudnienia na terenach zurbanizowanych; utrudnienia komunikacyjne. Zalecana ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| 2 | Wystąpienie opadów: $50 \text{ mm} \leq R < 90 \text{ mm}$ w czasie do 24 godzin | Podtopienia, uszkodzenia dróg i budynków; trudności komunikacyjne. Zalecana ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| 3 | Wystąpienie opadów: $R \geq 90 \text{ mm}$ w czasie do 24 godzin | Powódzie, podtopienia; zniszczenia zabudowań, dróg, mostów; duże trudności komunikacyjne; zagrożenie życia. Zalecana najwyższa ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| Silny mróz | | |
| 1 | $-25^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} \leq -15^{\circ}\text{C}$ | Ryzyko wychłodzenia organizmów, odmrożenia, zamarznięcia. |
| 2 | $-25^{\circ}\text{C} < T_{\text{min}} \leq -30^{\circ}\text{C}$ | Duże ryzyko wychłodzenia organizmów, odmrożenia, zamarznięcia, zamarzanie instalacji i urządzeń hydrotechnicznych. |
| 3 | $T_{\text{min}} \leq -30^{\circ}\text{C}$ | Na znacznym obszarze bardzo duże ryzyko wychłodzenia organizmów, odmrożenia, zamarznięcia, zamarzanie instalacji i urządzeń hydrotechnicznych, zagrożenie życia. |

| Stopnie zagrożenia | Kryteria | Skutki |
|-----------------------------------|---|--|
| Opady śniegu | | |
| 1 | Przyrost pokrywy śnieżnej poza sezonem zimowym od 5 cm do 10 cm w czasie do 12 godzin lub przyrost pokrywy śnieżnej poza sezonem zimowym od 10 cm do 15 cm w czasie do 24 godzin | Utrudnienia komunikacyjne, śliskość na drogach. |
| 2-3 | Nie stosuje się | Nie stosuje się |
| Intensywne opady śniegu | | |
| 1 | Przyrost pokrywy śnieżnej od 10 cm do 15 cm w czasie do 12 godzin lub Przyrost pokrywy śnieżnej od 15 cm do 20 cm w czasie do 24 godzin | Utrudnienia komunikacyjne, śliskość na drogach. |
| 2 | Przyrost pokrywy śnieżnej od 20 cm do 30 cm w czasie do 24 godzin na obszarach położonych poniżej 600 m n.p.m. lub Przyrost pokrywy śnieżnej od 20 cm do 50 cm w czasie do 24 godzin na obszarach położonych powyżej 600 m n.p.m. | Utrudnienia komunikacyjne, nieprzejezdność dróg lokalnych. |
| 3 | Przyrost pokrywy śnieżnej powyżej 30 cm w czasie do 24 godzin na obszarach położonych poniżej 600 m n.p.m. lub Przyrost pokrywy śnieżnej powyżej 50 cm w czasie do 24 godzin na obszarach położonych powyżej 600 m n.p.m. | Duże trudności komunikacyjne, nieprzejezdność dróg, uszkodzenia drzewostanu, uszkodzenia dachów, zagrożenie życia. |
| Opady marznące | | |
| 1 | Słabe opady mżawki lub deszczu, które zamarzają w zetknięciu z gruntem lub przedmiotami, trwające w jednym miejscu do 12 godzin | Gołoledź; śliskość dróg, jezdni i chodników; utrudnienia komunikacyjne. |
| 2 | Umiarkowane lub silne opady marznącej mżawki lub deszczu, trwające w jednym miejscu do 12 godzin lub Słabe opady marznącej mżawki lub deszczu, trwające w jednym miejscu ponad 12 godzin | Gołoledź; trudności komunikacyjne; oblodzenie dróg, utrudnienia w ruchu pieszym; uszkodzenia drzewostanu i linii napowietrznych. |
| 3 | Umiarkowane lub silne opady marznącej mżawki lub deszczu, trwające w jednym miejscu powyżej 12 godzin | Gołoledź; szybkie oblodzenie dróg; duże trudności komunikacyjne i w ruchu pieszym; uszkodzenia drzewostanu i linii napowietrznych. |
| Zawieje / zamiecie śnieżne | | |
| 1 | Zamiecie / zawieje śnieżne – na przeważającym obszarze, gdy zaistnieją łącznie następujące warunki: a) niestabilna pokrywa suchego śniegu b) wiatr o prędkości: 29 km/h \leq Vśr \leq 40 km/h, tj. 8 m/s \leq Vśr \leq 11 m/s lub w porywach 54 km/h $<$ V \leq 72 km/h, tj. 15 m/s $<$ V \leq 20 m/s c) opady śniegu przy zawiejach śnieżnych | Szybkie tworzenie się zasp, utrudnienia komunikacyjne. |
| 2 | Zamiecie / zawieje śnieżne – na przeważającym obszarze, gdy zaistnieją łącznie następujące warunki: a) niestabilna pokrywa z suchego śniegu b) wiatr o prędkości: Vśr $>$ 40 km/h, tj. Vśr $>$ 11 m/s lub w porywach V $>$ 72 km/h, tj. V $>$ 20 m/s c) opady śniegu przy zawiejach śnieżnych | Liczne, szybko narastające zasy na dużych obszarach, trudności w komunikacji, nieprzejezdność dróg. |
| 3 | Nie stosuje się | Nie stosuje się |
| Gęsta mgła | | |
| 1 | Mgła na przeważającym obszarze ograniczająca widzialność od 50 do 200 m, utrzymująca się powyżej 8 godzin. | Słaba widoczność, możliwe utrudnienia komunikacyjne. |
| 2 | Mgła na przeważającym obszarze ograniczająca widzialność \leq 50 m, utrzymująca się powyżej 8 godzin. | Bardzo zła widoczność, wysokie zagrożenie komunikacyjne. |
| 3 | Nie stosuje się | Nie stosuje się |

| Stopnie zagrożenia | Kryteria | Skutki |
|--|---|--|
| Mgła intensywnie osadzająca szadź | | |
| 1 | Mgła intensywnie osadzająca szadź, ograniczająca widzialność od 50 do 200 m utrzymująca się powyżej 8 godzin | Słaba widoczność, możliwe utrudnienia komunikacyjne. |
| 2 | Mgła intensywnie osadzająca szadź, ograniczająca widzialność ≤ 50 m utrzymująca się powyżej 8 godzin | Bardzo zła widoczność, wysokie zagrożenie komunikacyjne. |
| 3 | Nie stosuje się | Nie stosuje się |
| Burze / Burze z gradem | | |
| 1 | Burze z opadami deszczu 20–30 mm, możliwe opady deszczu do 40 mm w okresie trwania zjawisk burzowych lub burze z porywami wiatru $72 \text{ km/h} < V \leq 90 \text{ km/h}$, tj. $20 \text{ m/s} < V \leq 25 \text{ m/s}$ lub grad, jeśli jest prognozowany | Zakłócenia w pracy urządzeń elektrycznych, zagrożenie pożarowe, zagrożenie życia od uderzenia piorunów. Zalecana ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| 2 | Burze z opadami deszczu 30–50 mm, możliwe opady deszczu do 60 mm w okresie trwania zjawisk burzowych lub burze z porywami wiatru $90 \text{ km/h} < V \leq 115 \text{ km/h}$, tj. $25 \text{ m/s} < V \leq 32 \text{ m/s}$ lub grad, jeśli jest prognozowany | Szkody w drzewostanie; utrudnienia w komunikacji; uszkodzenia budynków; straty w uprawach rolnych; zakłócenia pracy urządzeń elektrycznych; zagrożenie życia powodowane uderzeniami piorunów i zagrożenie pożarowe. Zalecana ostrożność, potrzeba śledzenia komunikatów i rozwoju sytuacji pogodowej. |
| 3 | Burze z opadami deszczu > 50 mm w okresie trwania zjawisk burzowych lub burze z porywami wiatru $> 115 \text{ km/h}$, tj. 32 m/s lub grad, jeśli jest prognozowany | Duże zniszczenia drzewostanu, drzewa połamane lub powyrywane z korzeniami; duże trudności komunikacyjne; uszkodzenia budynków, zrywanie dachów; zniszczenia upraw rolnych; zagrożenie życia powodowane wiatrem, uderzeniami piorunów; zagrożenie pożarowe; uszkodzenia urządzeń elektrycznych i obiektów energetycznych. Zalecana najwyższa ostrożność, potrzeba częstego śledzenia komunikatów. |

Wyjaśnienia skrótów użytych w klasyfikacji: V– prędkość wiatru, R– suma opadów, T– temperatura powietrza.

Źródło: IMGW-PIB.



ISBN 978-83-64089-64-0