

Załącznik 2: Autoreferat

w postępowaniu habilitacyjnym w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych
w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka

Tytuł osiągnięcia naukowego:

„Zmiany w ekstremach hydro-klimatycznych w Polsce”



dr inż. Iwona Pińskwar

Katedra Melioracji, Kształtowania Środowiska i Gospodarki Przestrzennej
Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Poznań, wrzesień 2023

Opis dorobku i osiągnięć naukowych

Spis treści

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Dane osobowe | 4 |
| 2. | Posiadane dyplomy, stopnie naukowe | 4 |
| 3. | Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu..... | 4 |
| 4. | Omówienie osiągnięcia, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2a Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 ze zm.) | 5 |
| 4.1. | Osiągnięcie naukowe..... | 5 |
| 4.2. | Szczegółowe omówienie osiągnięcia naukowego, które zostało przedstawione w powyższych publikacjach | 6 |
| 4.2.1. | Wstęp..... | 6 |
| 4.2.2. | Zmiany w warunkach wilgotnościowych | 8 |
| 4.2.3. | Zmiany w opadach ekstremalnych..... | 10 |
| 4.2.4. | Zmiany wrażliwości opadów ekstremalnych na ocieplenie | 12 |
| 4.2.5. | Zmiany ryzyka gwałtownych powodzi wywołanych opadami intensywnymi | 14 |
| 4.2.6. | Projekcje zmian w ekstremach opadowych w przyszłości | 16 |
| 4.2.7. | Podsumowanie | 17 |
| 4.2.8. | Literatura..... | 19 |
| 5. | Informacje o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową lub artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej | 21 |
| 5.1. | Współpraca w ramach realizowanych projektów naukowych..... | 21 |
| 5.2. | Współpraca z naukowcami z kraju i zagranicy | 23 |
| 6. | Informacje o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzacyjnych naukę lub sztukę | 24 |
| 6.1. | Osiągnięcia związane z działalnością dydaktyczną | 24 |
| 6.2. | Osiągnięcia związane z działalnością organizacyjną | 24 |
| 6.3. | Osiągnięcia związane z działalnością popularyzatorską..... | 24 |
| 7. | Informacje dotyczące kariery zawodowej | 26 |
| 7.1. | Informacje o udziale w projektach zagranicznych..... | 26 |
| 7.2. | Informacje o udziale w projektach krajowych..... | 26 |
| 7.3. | Informacje o członkostwie w organizacjach i towarzystwach naukowych | 27 |
| 7.5. | Informacje o udziale w panelach eksperckich..... | 28 |
| 7.6. | Działalność recenzencka | 28 |
| 7.7. | Zestawienie dorobku naukowego | 28 |

1. Dane osobowe

| | |
|------------------|--|
| Imię i nazwisko: | Iwona Pińskwar (Przymusińska) |
| Miejsce pracy: | Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu ul. Wojska Polskiego 28 60-637 Poznań |
| Dane kontaktowe: | Katedra Melioracji, Kształtowania Środowiska i Gospodarki Przestrzennej Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej ul. Piątkowska 94 60-649 Poznań tel. 504225836 e-mail: iwona.pinskwar@up.poznan.pl ORCID: 0000-0001-6759-1595 |

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

| | |
|------|---|
| 1999 | tytuł zawodowy magister inżynier Kierunek: Ochrona środowiska Specjalność: Ochrona wód |
| 2009 | stopień doktora w dziedzinie nauk rolniczych w zakresie kształtowania środowiska przyrodniczego Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu Wydział Melioracji i Kształtowania Środowiska Tytuł pracy: "Projekcje zmian w ekstremach opadowych w Polsce" Promotor: prof. dr hab. Zbigniew W. Kundzewicz |

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

| | |
|-------------------------|---|
| 01.09.1999 – 28.02.2022 | Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego (do 2009 Zakład Badań Środowiska Rolniczego i Leśnego) Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu (zlikwidowany) ul. Bukowska 19, 60-809 Poznań Pracownia / Zakład Klimatu i Zasobów Wodnych Od września 1999 roku: programista Od maja 2003 roku: asystent Od grudnia 2009 roku: adiunkt Od 01.04.2019 do 28.02.2022: kierownik Zakładu Klimatu i Zasobów Wodnych |
| 01.03.2022 – 29.02.2024 | Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej Katedra Melioracji, Kształtowania Środowiska i Gospodarki Przestrzennej, adiunkt |

4. Omówienie osiągnięcia, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2a Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 ze zm.)

4.1. Osiągnięcie naukowe

Osiągnięcie naukowe opatrzone tytułem „Zmiany w ekstremach hydro-klimatycznych w Polsce”, będące podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego na podstawie art. 219 ust. 1 pkt. 2a Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 ze zm.), tworzy cykl spójnych tematycznie pięciu artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie i jednego rozdziału w monografii, zgodnie z art. 2019 ust. 1 pkt 2b ustawy.

- A1. **Pińskwar I.**, Choryński A., Graczyk, D., Kundzewicz Z.W. 2019. Observed changes in extreme precipitation in Poland: 1991–2015 versus 1961–1990. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 773–787.
pkt MEN₂₀₁₉ = 70 pkt, IF₂₀₁₉ = 2,882, procentowy udział w publikacji: 80%
- A2. **Pińskwar I.**, Choryński A., Graczyk D., Kundzewicz Z.W. 2019. Observed changes in precipitation totals in Poland. *Geografie*, 124(3), 237–264.
pkt MEN₂₀₁₉ = 40 pkt, IF₂₀₁₉ = 0,957, procentowy udział w publikacji: 80%
- A3. **Pińskwar, I.**, Choryński, A., Kundzewicz, Z.W. 2020. Severe Drought in the Spring of 2020 in Poland - More of the Same? *Agronomy*, 10, 1646.
pkt MEN₂₀₂₀ = 100 pkt, IF₂₀₂₀ = 3,417, procentowy udział w publikacji: 85%
- A4. **Pińskwar, I.** 2022. Complex changes of extreme precipitation in the warming climate of Poland. *International Journal of Climatology*, 42(2), 817–833.
pkt MEN₂₀₂₂ = 140 pkt, IF₂₀₂₂ = 4,069, procentowy udział w publikacji: 100%
- A5. **Pińskwar, I.**, Choryński, A., Graczyk, D. 2023. Risk of Flash Floods in Urban and Rural Municipalities Triggered by Intense Precipitation in Wielkopolska of Poland. *International Journal of Disaster Risk Science*, 14(3), 440–457.
pkt MEN₂₀₂₃ = 100 pkt, IF₂₀₂₃ = 4,0, procentowy udział w publikacji: 80%
- A6. **Pińskwar, I.**, Choryński, A. 2021. Projections of Precipitation Changes in Poland. W: Falarz, M. (red.) *Climate Change in Poland*. Springer Climate. Springer, Cham. 529–544.
pkt MEN₂₀₂₁ = 20 pkt, procentowy udział w publikacji: 90%

Łączna suma punktów dla powyższych publikacji przyznanych przez Ministerstwo Edukacji i Nauki zgodnie z rokiem wydania wynosi **470**, a sumaryczny *impact factor* (IF) wg bazy *Journal Citation Reports* (JCR) wynosi **15,325**.

Jedna publikacja jest w całości mojego autorstwa (A4), w pozostałych jestem pierwszym autorem oraz autorem korespondencyjnym. Mój udział w przygotowaniu poszczególnych publikacji dotyczył opracowania koncepcji i metodyki badań, pozyskania ogólnodostępnych danych, analizy statystycznej i przygotowania manuskryptów na wszystkich etapach, począwszy

od przygotowania konspektu poprzez korekty po recenzjach do przygotowania ostatecznej wersji do druku.

Żadna z wyżej wymienionych prac nie była częścią monotematycznego cyklu prac w innym postępowaniu habilitacyjnym. Kopie publikacji, wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, zamieszczono w Załączniku 3. Oświadczenia współautorów, dotyczące udziału w poszczególnych pracach zaliczonych do osiągnięcia naukowego, zawiera Załącznik 4.

Publikacjom nadano oznaczenia porządkowe, które w dalszej części autoreferatu posłużą jako odnośniki do nich.

4.2. Szczegółowe omówienie osiągnięcia naukowego, które zostało przedstawione w powyższych publikacjach

4.2.1. Wstęp

Obserwowany globalny wzrost temperatury powietrza (Seneviratne i in., 2021) jest wyraźnie widoczny także w Polsce. W zrekonstruowanych szeregach czasowych temperatury powietrza wzrost średniej temperatury rocznej na przestrzeni 200 lat przekroczył 2°C (Ustrnul i in., 2021). Jeszcze większe zmiany zachodzą w wartościach ekstremalnych temperatury powietrza (Sulikowska i Wypych, 2021). W miesiącach letnich liczba dni gorących (o temperaturze maksymalnej równej lub większej niż 30°C) na dużym obszarze Polski w ostatnich latach podwoiła się (Graczyk i in., 2019).

W raporcie Copernicus Climate Change Service (2023) stwierdzono, że rok 2022 był ekstremalny. Lato 2022 w Europie było najcieplejsze w historii: o 1,4°C powyżej średniej wieloletniej i 0,3–0,4°C powyżej wartości osiągniętej poprzedniego najcieplejszego lata, w 2021. Tempo ocieplania się Europy w ostatnich dziesięcioleciach jest szybsze niż jakiegokolwiek innego kontynentu, dwukrotnie przekraczając średnią światową.

Na podstawie danych NOAA (2023) rok 2022 globalnie był szóstym najcieplejszym rokiem w historii pomiarów temperatury i był o 1,06°C cieplejszy niż okres przedindustrialny (1880–1900). Najnowszy raport przygotowany przez Światową Organizację Meteorologiczną (WMO, 2023) przewiduje się, że średnia roczna globalna temperatura w każdym roku z kolejnych lat 2023–2027 będzie o 1,1°C do 1,8°C wyższa niż średnia z okresu 1850–1900. Prawdopodobieństwo, że co najmniej jeden rok pomiędzy 2023 a 2027 rokiem przekroczy najcieplejszy w historii rok 2016, jest bardzo wysokie i szacowane na poziomie 98%. Jest duża szansa na to, że rekordowy okaże się już rok 2023. W Polsce najwyższa średnia obszarowa temperatura roczna wystąpiła w 2019 roku i wyniosła 10,2°C (<https://klimat.imgw.pl/pl/biuletyn-monitoring/#2019/rok>). Tak wysoka wartość jest wyjątkowa nawet dla pomiarów punktowych w całym okresie pomiarów instrumentalnych w Polsce, które dla Warszawy na przykład rozpoczęły się w 1779, a dla Krakowa w 1792 (Ustrnul i in., 2021). Pięć najwyższych wartości temperatury rocznej dla trzech badanych przez Ustrnula i in. (2021) stacji (Gdańsk, Warszawa i Kraków) w okresie 1851–2018 wystąpiło głównie po roku 2000, przy czym wartość 10°C została przekroczona tylko w 21 wieku w przypadku Warszawy i Krakowa, a dla Gdańska nawet nie była odnotowana. Jedynie wyjątkowo ciepły (jako 5 najwyższy) był rok 1934, kiedy to średnia temperatura roczna dla Gdańska wyniosła 9,4°C.

Przyspieszające i postępujące ocieplenie klimatu przyczynia się do powstawania coraz większej liczby ekstremalnych zjawisk meteorologicznych i hydrologicznych. Od 2000 roku Europę, w tym Polskę, nawiedziły liczne poważne susze, którym towarzyszyły fale upałów, np. w latach 2003, 2006, 2010, 2015, 2018, 2019 i 2020, a także rozległe pożary lasów, jak wiosną 2020

w Biebrzańskim Parku Narodowym (Ministerstwo Środowiska, 2020). Brak pokrywy śnieżnej podczas ostatnich zim miał wraz ze znacznymi niedoborami opadów wpływ na pogłębiające się złe warunki hydrologiczne w Europie także w kolejnych latach, skutkiem czego wilgotność gleby, odnotowywana w 2022, wskazywała na drugą najniższą wartość od 50 lat (Copernicus Climate Change Service, 2023). Ponadto średnia temperatura powierzchni wód w morzach Europy była najwyższa w historii. Odnotowano także rekordową utratę lodu z lodowców w Alpach, odpowiadającą 5 km³ lodu. Przepływy w rzekach były również bardzo niskie w całej Europie: drugie najniższe w historii i już szósty rok z rzędu z przepływami poniżej średniej: 63% rzek miało przepływy poniżej średniej. Wiosną 2023 roku panowały przeważnie warunki hydrologiczne poniżej średniej, przy czym największe anomalie wilgotnościowe występowały w północnych Niemczech i w Polsce, a także w krajach na zachód od Morza Czarnego (Copernicus Climate Change Service, 2023).

Ekstremalne susze z przeszłości, np. te z lat 2003, 2010, 2015 i 2018–2019, mogą już nie być w Europie klasyfikowane jako ekstremalne. W pracy Hari i in. z 2020 roku wykazali, że wystąpienie (kolejnej) suszy letniej w latach 2018–2019 było bezprecedensowe w ciągu ostatnich 250 lat, a jej wpływ na roślinność był bardziej dotkliwy niż np. nadzwyczajnej suszy w Europie w 2003 roku. Jednocześnie autorzy, analizując modele klimatyczne według najwyższego scenariusza przewidywanej koncentracji gazów szklarniowych (RCP 8.5) stwierdzili, że w przyszłości może dojść do siedmiokrotnego wzrostu częstości występowania takich susz.

Ekstremalne opady nasilają się wraz z ociepleniem klimatu w skali globalnej i w większości regionów świata (Sun et al., 2021). Zgodnie z równaniem Clausiusa-Clapeyrona (C-C) wzrost prężności pary nasyconej wynosi około 6-7% przy ociepleniu atmosfery o 1°C. Zdaniem niektórych autorów (Lenderink i van Meijgaard, 2008), ta wrażliwość na wzrost temperatury może być znacznie wyższa w przypadku opadów w skali mniejszej niż dobową, np. godzinową i może wynieść nawet 14%. Również według Berg i in. (2013) intensywność godzinowych ekstremów opadowych w odpowiedzi na wyższą temperaturę przekraczała wskaźnik Clausiusa-Clapeyrona. Z drugiej strony, Ban i in. (2015) stwierdzili, iż w przyszłości opady atmosferyczne mogą stać się częstsze i bardziej intensywne, zarówno w skali dobowej, jak i godzinowej, ale oczekuje się, że ich wzrost będzie zgodny ze skalowaniem C-C.

Myhre i in. (2019) udokumentowali silny wzrost częstotliwości zdarzeń ekstremalnych (od 95-tego do 99,97 percentyla opadów) w dekadowych skalach czasowych. Całkowite opady powstałe w wyniku tych intensywnych wydarzeń niemal podwajają się wraz ze stopniem ocieplenia, głównie ze względu na zmiany częstotliwości, podczas gdy intensywność jest prawie taka sama. To przesunięcie w kierunku zdarzeń ekstremalnych było widoczne zarówno w danych obserwacyjnych, jak i projekcjach modeli klimatycznych i zwiększało się wraz z rzadkością występowania zdarzeń, a zmiany w ekstremach były dużo większe niż zmiany w średnich globalnych opadach. Dodatkowo, jak wykazali Huo i in. (2021), krótkotrwałe ekstremalne opady mogą przeważać nad długotrwałymi ekstremalnymi opadami, a wielkość większości ekstremalnych zdarzeń (100- i 200-letnich) może wzrosnąć bardziej niż opady z 5- i 10-letnimi okresami powtarzalności. Również Tabari i in. (2020) w swoim badaniu dla Europy, opartym na medianie projekcji modeli klimatycznych CMIP6 dla okresu 1995–2014, stwierdzili, że ocieplenie ma wpływ na większy wzrost bardzo ekstremalnych anomalii opadów (99,5 percentyl) we wszystkich porach roku.

W Polsce zmiany opadów ekstremalnych są bardziej złożone, jednak postępujący wzrost temperatury ujawnia coraz poważniejsze zmiany. W efekcie, w ostatnich latach w wielu miejscach Polski odnotowano obfite opady krótkotrwałe, o czasie trwania do 24 godzin: np. w Gdańsku w 2001 i 2016 r. (odpowiednio 120 mm i 160 mm); Elblągu w 2017 r. (81 mm), Jodłowniku

(woj. małopolskie): 152 mm w 2020 r. (<https://www.imgw.pl/sites/default/files/2021-04/imgw-pib-klimat-polski-2020-opracowanie-final-rozkladowki-min.pdf>) lub w 2021 r.: w Poznaniu: 79,4 mm i Gruszczyń (część aglomeracji poznańskiej): 136,9 mm (Majewski, 2016; Konieczny i in., 2018, Skonieczna i in., 2021). We wrześniu 2022 roku także Gorzów Wielkopolski doświadczył ekstremalnych opadów, które wyniosły 130,4 mm (<https://klimat.imgw.pl/pl/biuletyn-monitoring/#2022/09>), niemal dwukrotnie przekraczając historyczne (od 1965 roku) maksimum dobowe na tej stacji (77,4 mm z 1977 roku). Ocieplenie ma też istotny wpływ na fazy opadów. Jak podają Łupikasza i Małarzewski (2023) fazy opadów w istotny sposób reagowały na obecne ocieplenie: tendencje wzrostowe w opadach były najsilniejsze i najbardziej powszechne, podczas gdy w opadach śniegu zaobserwowano tendencje malejące. W dalszej części niniejszego Autoreferatu zostaną przedstawione zmiany zaobserwowane w warunkach wilgotnościowych, w ekstremach opadowych, omówiona zostanie zmiana wrażliwości opadów ekstremalnych na wzrost temperatury powietrza, zmiany ryzyka powodzi wywołanych opadami intensywnymi oraz projekcje przyszłych opadów, uzyskane za pomocą modeli klimatycznych..

4.2.2. Zmiany w warunkach wilgotnościowych

W Polsce opady sezonowe występujące jesienią i zimą powinny poprawiać warunki uwilgotnienia gleby po ciepłych lub ciepłych i suchych okresach wiosennych i letnich. Jeśli jednak w porze zimnej suma opadów będzie niższa lub prawie normalna, na początku kolejnego ciepłego sezonu wilgotność może być niewystarczająca i można obawiać się wystąpienia suszy. Od 2015 do 2022 jedynie w roku 2017 suma opadów znacznie przekraczała średnią wieloletnią. Dodatkowo, lata 2015, 2018, 2019, 2021 i 2022 charakteryzowały się wyższymi niż zwykle temperaturami powietrza oraz falami upałów, które pogłębiły niedobory wody. Sytuacja ta zbiega się również z występowaniem w okresie zimowym niewielkiej pokrywy śnieżnej (lub wręcz jej braku), co powoduje postępujące pogarszanie się warunków wilgotnościowych gleb.

Pozycja A3, wchodząca w skład osiągnięcia, omawia wiosenną suszę 2020, jako jedną z najbardziej ekstremalnych od lat 70-tych XX wieku. Wystąpienie dwóch kolejnych suchych i bardzo ciepłych lat 2018 i 2019, ciepłej zimy 2019/2020 oraz bardzo suchej wiosny w 2020 roku w Polsce doprowadziło do rozwoju dotkliwej suszy. Analiza zmian wartości wskaźnika *SPEI* (*Standardized Precipitation Evaporation Index*), będącego standaryzowaną różnicą opadu atmosferycznego i parowania potencjalnego (ET_o, wyznaczonego metodą Penman–Monteith FAO-56; Allen i in., 1998), w okresie od 1971 do końca maja 2020 roku dla 14 stacji położonych w pasie centralnym Polski, wykazała, iż dotkliwość suszy wiosennej 2020 roku wzrastała wraz ze skalą *SPEI*. Badanie 12-miesięcznego *SPEI*₁₂ wykazało ekstremalną suszę trwającą od stycznia do maja 2020 r. (wartości poniżej -2,0) tylko na kilku stacjach. Dodatkowo, wartości dla poszczególnych miesięcy nie były najbardziej ekstremalne w całym analizowanym okresie od stycznia 1971 r. do maja 2020 r. Analiza 24-miesięcznego *SPEI*₂₄, ujawniła, iż w styczniu, lutym i marcu 2020 roku na ośmiu stacjach panowały rekordowe warunki suszowe, a wskaźnik osiągnął wartość poniżej -2,0; w kwietniu tak niska wartość odnotowana była na dziewięciu stacjach, a w maju na pięciu. Na ośmiu stacjach odnotowano rekordowo niskie wartości we wszystkich miesiącach od stycznia do maja, natomiast kwiecień 2020 roku był najbardziej suchym miesiącem na 12 z 14 analizowanych stacji. Wartości *SPEI*₃₀ poniżej -2,0 występowały głównie w kwietniu (10 razy) i maju (11 razy). Na 7 z 14 analizowanych stacji miesiące od stycznia do maja były najbardziej ekstremalne z całego badanego szeregu, natomiast na 11 stacjach rekordy odnotowano dla kwietnia i maja 2020 roku. Na większości analizowanych stacji test Manna–Kendalla wykrył tendencje spadkowe dla wszystkich badanych skal czasowych *SPEI*. Dla najkrótszego badanego okresu, *SPEI*₁₂, istotną statystycznie (na poziomie 0,05) tendencję

spadkową stwierdzono na 10 z 14 stacji, a dla kolejnych dwóch tendencja spadkowa była słabsza, ale nadal istotna statystycznie na poziomie 0,1. W przypadku *SPEI*₂₄, aż 12 stacji wykazywało istotną statystycznie (na poziomie 0,05) tendencję spadkową, a jedna - na poziomie 0,1. Podobne wyniki uzyskano dla *SPEI*₃₀: 11 istotnych statystycznie (na poziomie 0,05) trendów spadkowych oraz dwa słabsze (na poziomie 0,1).

Tendencje spadkowe w wartościach *SPEI* wynikają głównie ze wzrostu ewapotranspiracji: na trzech analizowanych stacjach (Poznań, Warszawa, Kalisz) odnotowano istotny statystycznie (na poziomie poniżej 0,05) wzrost parowania. Natomiast zmiany w sumach opadów dla Poznania i Warszawy były rosnące, a dla Kalisza malejące, jednakże wszystkie nieistotne statystycznie. Maksymalne wartości rocznej ewapotranspiracji odnotowano podczas ostatnich dotkliwych susz: 2015, 2018 i 2019 roku i jednocześnie prawie minimalnych wartościach opadów: dla Kalisza maksymalne ETo wystąpiło w 2015 roku (861 mm) przy minimalnej sumie opadów wynoszącej 259 mm (najniższa suma roczna zaobserwowana na polskich stacjach od 1951); w Poznaniu w 2018 roku (931 mm, opad 379 mm) oraz w Warszawie w rekordowo ciepłym 2019 roku (947 mm, opad 390 mm).

Tak ekstremalne warunki miały też swoje odzwierciedlenie w niskich wartościach uwilgotnienia gleby: na podstawie danych z NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (*GES DISC*) przeanalizowano zmiany wilgotności gleby od stycznia 2000 do maja 2020 roku i wykazano, iż wiosenna susza 2020 roku należała do najpoważniejszych w analizowanym okresie, a zmiany wilgotności gleby na wszystkich analizowanych głębokościach (0-10cm, 10-40cm, 40-100cm i 100-200cm) wykazywały tendencję malejącą. Najpłytsza warstwa gleby, na głębokości od 0 do 10 cm, jest najbardziej podatna na transpirację i utratę wody, z drugiej strony uwilgotnienie gleby w tej warstwie również szybko się odbudowuje. Najniższe wartości odnotowano w lecie 2015 roku, a tylko nieco wyższe podczas suszy w 2006 roku. Wartości maksymalne pojawiają się podczas odbudowania zasobów zimą, jednakże jedne z najniższych maksimum zaobserwowano zimą 2019/2020. Podobnie sytuacja wyglądała w przypadku głębszej warstwy gleby, od 10 do 40 cm. Tutaj również podczas ostatnich zim nie nastąpiła odbudowa zasobów wodnych, a najniższe wartości letnie obserwowano w 2015 roku, a następnie w latach 2018 i 2019. Im głębsza warstwa gleby, tym bardziej widoczne niedobory wody: dla głębokości od 40 do 100 cm najniższe wartości obserwowano podczas okresów letnich w 2015 i 2018. Dla kwietnia 2019 i 2020 wilgotność gleby była najniższa w całym szeregu. Najgłębsza warstwa gleby, od 100 do 200 cm, najmniej wrażliwa na szybkie zmiany na powierzchni, wykazywała największe niedobory w latach suchych: 2015, 2018 i 2019, bardzo niskie maksimum dla zimy 2019 roku oraz jedne z najmniejszych w szeregu czasowym wartości dla maja 2018, 2019 i 2020 roku.

Coraz częstsze susze są wynikiem występowania suchych i ciepłych okresów letnich, ale przyczyniają się do tego także wyższe temperatury we wszystkich porach roku. Obserwowane ocieplenie ma wpływ na rozkład opadów w ciągu roku. Rozpoznanie zmian w sumach opadów w różnych skalach czasowych od miesięcznych, poprzez sezonowe, półroczne do rocznych przez porównanie dwóch okresów: 1961-1990 i 1991-2017 dla 45 stacji w Polsce przedstawiono w pozycji **A2**, wchodzącej w skład osiągnięcia. Badanie to wykazało przesunięcie w średnich wartościach indeksów opadów (dla 40 stacji ze średnim opadem rocznym poniżej 800 mm). Statystycznie istotne (na poziomie poniżej 0,1) zmiany w średniej obserwuje się dla sumy opadów rocznych, wskaźnika *Simple Daily Intensity Index (SDII)*; średnia intensywność opadów czyli stosunek sumy opadów powyżej 1 mm do liczby dni z takim opadem), sumy opadów wiosennych i sumy opadów miesięcznych w lutym, marcu, lipcu, wrześniu, październiku (we wszystkich przypadkach odnotowano wzrosty) oraz czerwcu, sierpniu, listopadzie i grudniu, kiedy to wartości były

niższe. Analiza ta ujawniła, iż przy badaniu sum sezonowych trzeba brać także pod uwagę możliwość, że miesięczne sumy opadów z tego samego sezonu mogą wykazywać różne kierunki zmian.

Badania przestrzenne dla stacji wskazują, iż największą liczbę zmian istotnych statystycznie odnotowano dla sumy opadów zimowych (8 wzrostów i 4 spadki), liczby dni z opadem ≥ 1 mm (2 wzrosty i 7 spadków) oraz dla sumy opadów letnich (7 wzrostów i 1 spadek). Dla sum miesięcznych opadów statystycznie istotne zmiany występowały najczęściej w listopadzie i grudniu (w obu przypadkach tylko spadki: odpowiednio 16 i 10) oraz w styczniu i lipcu (tylko wzrosty: 8 w obu przypadkach).

Wykryto wiele zmian, lecz wiele z nich nie jest istotne statystycznie. W przeciwieństwie do zmian wykrywanych w temperaturze, zmiany w opadach są dużo trudniejsze do wychwycenia z uwagi na dużą zmienność naturalną. Ogólnie można powiedzieć, iż liczba dni wilgotnych z opadem ≥ 1 mm w porównywanych okresach 1961–1990 i 1991–2017 nieznacznie zmniejszyła się (średnia zmiana o $-0,3\%$), głównie w Polsce południowej i środkowej, natomiast wartość *SDII* wzrosła o $2,5\%$, prawdopodobnie na skutek wzrostu ilości opadów w dni wilgotne. Stosunek opadów ogółem w porze ciepłej (kwiecień–wrzesień) do opadów ogółem w porze zimnej (październik–marzec) zmniejszył się (o $-1,9\%$; zmiana nieistotna statystycznie). W obu porach odnotowano wzrost, jednakże wzrost opadów dla półrocza ciepłego ($1,3\%$) był mniejszy niż dla półrocza zimnego ($1,5\%$). Sezonowo więcej opadów w okresie późniejszym (1991–2017) występowało zimą ($2,1\%$), wiosną ($5,4\%$) i jesienią ($2,2\%$), a mniej latem ($-0,2\%$). Zima w Polsce stała się bardziej wilgotna w środkowej i północnej części kraju, a bardziej sucha w południowej. Wiosną suma opadów wzrosła na prawie całym obszarze kraju, z wyjątkiem obszaru dorzecza górnej i środkowej Odry. W okresie letnim dominują spadki, a wzrosty obserwujemy jedynie w zachodniej Polsce. We wschodniej i południowej Polsce wzrosła suma opadów jesiennych. Wyższe miesięczne sumy opadów zaobserwowano w styczniu ($9,2\%$), lutym ($12,1\%$), marcu ($21,9\%$), maju ($4,1\%$), lipcu ($13,2\%$), wrześniu ($10,9\%$) i październiku ($7,1\%$), natomiast niższe sumy opadów zostały odnotowane w kwietniu ($-4,4\%$), czerwcu ($-6,8\%$), sierpniu ($-5,7\%$), listopadzie ($-11,9\%$) i grudniu ($-8,2\%$).

Analizy sumy opadów sezonowych i miesięcznych wykazały niepokojącą tendencję. Wzrastają opady w półroczu chłodnym, ale obserwowane ocieplenie ma wpływ na zmniejszenie ilości opadów w postaci śniegu i utrzymywania się pokrywy śnieżnej, która mogłaby zatrzymać wodę i uwolnić zasoby na wiosnę. Tymczasem zwiększające się opady deszczowe w chłodnej porze z uwagi na brak roślinności, nie są zatrzymywane w krajobrazie, a dodatkowo parowanie może być wyższe ze względu na wyższe temperatury. Nawet jeśli w miesiącach ciepłego półrocza da się zaobserwować wzrost sumy opadów, może on być niewystarczający przy dużej ewapotranspiracji, przez co niedobory wody w okresie wegetacyjnym mogą się pogłębić. Ponadto, może dochodzić do wydłużania się okresów suchych w półroczu letnim. Taki wskaźnik został zbadany w pozycji **A1**, wchodzącej w skład osiągnięcia. Porównano maksymalny okres suchy z dobowymi opadami poniżej 1 mm w półroczu letnim, od kwietnia do września dla dwóch okresów 1961–1990 i 1991–2015 i stwierdzono wydłużenie się takiego okresu w przypadku 36 stacji z 46 badanych (w 3 przypadkach wzrosty były istotne statystycznie na poziomie poniżej $0,1$).

4.2.3. Zmiany w opadach ekstremalnych

Pozycja **A1**, wchodząca w skład osiągnięcia, omawia zmiany w opadach intensywnych zaobserwowane na podstawie porównania dwóch okresów: 1961–1990 i 1991–2015 dla 46 stacji w Polsce. Zbadano, w którym okresie częściej występowały rekordowe wartości: wartości maksymalnego opadu dobowego wystąpiły dwadzieścia razy w chłodniejszym okresie przed 1991

rokiem na 19 stacjach (w Zakopanem ten sam rekord w 1970 i 1973 roku) i 27 razy po roku 1990. Podobnie było w przypadku maksymalnej sumy 5-dobowej opadów: 19 w pierwszym okresie i 27 w drugim. Maksymalna suma miesięczna również wystąpiła rzadziej przed 1991 rokiem: 18 razy i częściej w ostatnim okresie: 28 razy.

Analiza przestrzenna opadów ekstremalnych dla stacji wykazała zauważalne zmiany, jednak w dużej mierze nieistotne statystycznie na poziomie 0,1. Na wielu stacjach wzrosły maksymalne opady dobowe w półroczu ciepłym (kwiecień - wrzesień), a wartości, o które wzrosły były wyższe niż dla półrocza chłodnego (październik - marzec), natomiast spadki maksymalnych opadów dobowych dla okresu ciepłego były mniejsze niż dla okresu zimnego. Maksymalne dobowe opady w półroczu zimowym zmniejszyły się na zachodzie Polski, natomiast zwiększyły na południu (z wyjątkiem Kasprowego Wierchu i Zakopanego; ze zmianami ujemnymi) oraz na północy kraju. Maksymalne opady dobowe dla okresu ciepłego wzrastają w południowo-wschodniej części Polski i na wybrzeżu, a także częściowo na zachodzie. Analiza zmian sum opadów dla dłuższych okresów czasu, jak maksymalne opady 5-dobowe wykazała wzrosty dla 35 z 46 stacji, co jest widoczne zwłaszcza w południowej i wschodniej części Polski oraz na wybrzeżu. Maksymalna miesięczna suma opadów wykazuje podobne przestrzenne wzorce zmian jak maksymalna suma opadów 5-dobowych, przy czym wartość tego indeksu była malejąca dla 10 stacji i zmiany były niewielkie, natomiast wzrosty można było zaobserwować na znacznym obszarze Polski i były one znacznie wyższe (Uwaga: poprawny rys. 3b znajduje się w korekcie wydanej do pozycji **A1**).

Analizie poddano także liczbę dni z intensywnymi opadami, tj. sumą dobową równą lub wyższą niż 10 mm oraz 20 mm. Wzrost liczby dni z opadem dobowym równym lub wyższym niż 10 mm zauważono zwłaszcza w północno-zachodniej części Polski, następnie w środkowej i południowo-wschodniej części kraju, natomiast mniejszą liczbę takich dni odnotowano głównie w południowo-zachodniej części kraju. Zmiany liczby dni z opadem przekraczającym 20 mm mają podobny rozkład przestrzenny, przy czym procentowy wzrost liczby dni jest wyższy niż przy progu 10 mm, ale także było więcej stacji, gdzie ilość dni z opadem powyżej 20 mm zmniejszyła się.

Ponadto, porównano średnią procentową zmianę dla wszystkich stacji w stosunku do średniej z lat 1961–1990. Trendy dla wszystkich tych wskaźników były nieistotne statystycznie, przy czym dla jednego (maksymalna suma opadów dobowych dla półrocza zimowego) tendencja była malejąca. Liczba dni z opadami równymi lub większymi niż 10 mm/dobę nie wykazywała zmiany. W przypadku pozostałych czterech indeksów (maksymalny opad dobowy dla półrocza ciepłego, maksymalna suma 5-dobowa, maksymalna suma miesięczna oraz liczba dni z opadami atmosferycznymi równymi lub wyższymi niż 20 mm) tendencja była rosnąca. W ciągu ostatnich 25 lat (1991–2015) większość wskaźników statystycznych, takich jak 25-ty i 75-ty percentyl, mediana oraz maksimum opadów ekstremalnych było wyższe niż w chłodniejszym okresie 1961–1990.

W kolejnej pozycji, **A4**, wchodzącej w skład niniejszego osiągnięcia naukowego, dokonano analizy zmian dalszych wskaźników opadów ekstremalnych w Polsce dla 36 stacji w okresie 1959–2018. Ponownie zbadano zmianę liczby dni z intensywnymi opadami dla trzech progów: 10, 20 i 30 mm, ale oprócz skali rocznej, przeanalizowano także skalę sezonową i miesięczną. Dla większej skali (rocznej i sezonowej) nie stwierdzono statystycznie istotnych zmian. W przypadku danych miesięcznych istotnie wzrosła (na poziomie poniżej 0,05) liczba dni z opadem dobowym wyższym lub równym 10 mm (1,7 dnia na dekadę) i 20 mm w marcu, natomiast w przypadku progów 30 mm wzrosła liczba dni we wrześniu (wzrost o 0,56 dnia na dekadę), a zmalała w listopadzie. Analizie poddano okres powtarzalności maksymalnych

opadów dobowych występujących raz na 2-, 5-, 10- i 15 lat. Okres badań podzielono na dwa zakresy czasowe: 1959–1988 i 1989–2018, aby sprawdzić, czy wartości maksymalnych opadów dobowych dla roku i sezonów pojawiają się częściej czy rzadziej. W przypadku wartości dla roku częściej pojawiały się opady, które kiedyś występowały raz na 5 lat (dla 19 z 36 stacji), natomiast dla poziomu powtarzalności 10 lat było tyle samo stacji na których się skrócił ten okres, co wydłużył. Dla poziomów zwrotu 2- i 15-letnich wartości ekstremalne w ostatnich 30 latach występowały rzadziej (mniej stacji, gdzie opady wystąpiły częściej: odpowiednio dla 16 i 17 z 36 stacji). Jednakże mediana dla wszystkich stacji wskazuje, że w przypadku wszystkich progów okres uległ skróceniu. Ekstremalne opady jesienne w przypadku wszystkich progów występują obecnie częściej (odpowiednio dla 19, 23, 26 i 25 z 36 stacji). Również wiosną opady występujące dawniej średnio raz na 2-, 5- i 10-lat występują częściej (odpowiednio dla 21, 19 i 20 na 36 stacji), natomiast w przypadku 15-letniego okresu powtarzalności liczba stacji ze skróconym i wydłużonym okresem była taka sama. Zimą natomiast częściej odnotowujemy opady, które kiedyś występowały raz na 10- i 15 lat (odpowiednio dla 21 i 22 na 36 stacji), natomiast rzadziej te o krótszym okresie powtarzalności 2- i 5 lat (w obu przypadkach częściej na 17 z 36 stacji). W przypadku lata dla wszystkich progów stacji, na których nastąpiło skrócenie czasu było mniej lub tyle samo (odpowiednio 14, 15, 18 i 17 na 36 stacji). Wyniki dla sezonów potwierdzają także mediany dla wszystkich stacji. Zbadano także liczbę stacji dla których nastąpiło skrócenie czasu powtarzalności dla każdego proggu w okresie 1989–2018 w stosunku do liczby stacji, dla których ten czas był krótszy w poprzednim okresie, 1959–1988. Najwięcej takich stacji było dla jesieni: 16 z cieplejszego okresu i 8 z poprzedniego okresu; dla wiosny i zimy wyniki były podobne: 14 obecnie i odpowiednio, 10 i 11 w poprzednim okresie. Najbardziej widoczne przestrzenne zmiany można było zaobserwować dla jesieni: opady ekstremalne ze skróconym okresem powtarzalności występują na północy kraju, w części centralnej i na południowym wschodzie; dla wiosny – na wschodzie, w centrum i na północnym zachodzie, a dla zimy w części centralnej kraju. Dla całego roku stacji ze skróconymi okresami powtarzalności było mniej: 10 obecnie i 13 w poprzednim okresie, a dla lata 7 i 12.

Istotnym zagadnieniem jest sezon pojawiania się maksymalnych opadów rocznych. Najczęściej występują one latem, następnie jesienią, wiosną i zimą, jednakże udział maksimów letnich w maksimach rocznych zmienił się pomiędzy badanymi okresami 1959–1988 i 1989–2018, co przedstawiono w pozycji A4. Zaobserwowano zmniejszenie liczby takich wystąpień w lecie o prawie 7% (z 778 do 725 zdarzeń ogółem) z przesunięciem do pozostałych pór roku. Najbardziej wzrósł udział w porze jesiennej: ze 155 do 194 (25%), następnie wiosennej: ze 138 do 147 (6%). Udział maksimów zimowych w maksimach rocznych, choć niewielki, wzrósł prawie dwukrotnie z 10 przypadków w latach 1959–1988 do 19 w latach 1989–2018.

4.2.4. Zmiany wrażliwości opadów ekstremalnych na ocieplenie klimatu

Ocieplenie klimatu ma znaczny wpływ na zmiany w ekstremach opadowych (Sun et al., 2021). W pozycji A4, wchodzącej w skład osiągnięcia naukowego, dokonano także analizy przekroczeń powyżej wartości 95-tego i 99-tego percentyla opadów powyżej 1 mm, wyznaczonych dla okresu referencyjnego 1971–2000 łącznie z analizą średnich temperatur dobowych (powyżej 5°C) dla 31 stacji z dostępnymi danymi temperatury dobowej. Badania zostały przeprowadzone dwutorowo, to jest przy użyciu jednego stałego proggu dla wszystkich zakresów temperatur oraz zmiennych, wyznaczanych dla każdego przedziału temperatur osobno.

Analizy przy pierwszym podejściu, ze stałym proggiem, w przypadku 95-tego percentyla opadów wykazały, iż w pierwszym okresie (1959–1988) zdarzeń powyżej tej wartości było nieco więcej (4935 przypadków) niż w drugim okresie 1989–2018 (4886, spadek o 1%). Rozkład tych

obserwacji dla poszczególnych zakresów temperatur wyraźnie wskazuje na przesunięcie zjawisk z zakresu temperatur zimniejszych do cieplejszych: mniej wystąpień odnotowano dla temperatur od 5,0 do 19,0°C w ciągu ostatnich 30 lat (1989–2018) i więcej dla temperatur powyżej 19,0°C w porównaniu z wcześniejszym okresem 1959–1988. Z kolei liczba wystąpień powyżej wartości 99-tego percentyla wzrosła o ponad 5% (945 przypadków w latach 1959–1988 i 992 w cieplejszym okresie 1989–2018). Rozkład obserwacji dla zakresów temperatur jest podobny jak w przypadku 95-tego percentyla opadów: następuje przesunięcie od temperatur niższych do wyższych.

W drugim podejściu obliczono wartości progowe 95-tego i 99-tego percentyla opadów dla okresu referencyjnego 1971–2000 dla każdego zakresu temperatur ze zbioru: 5–7; 7–9; 9–11; 11–13; 13–15; 15–17; 17–19 i ponad 19°C. Ogółem liczba dni powyżej tych progów była niższa odpowiednio o 6,8 i 4,3% w porównaniu z latami 1959–1988. Rozpatrując poszczególne zakresy temperatur liczba dni zmniejszyła się lub pozostała niezmienną w porównaniu do pierwszego okresu 1959–1988, natomiast była znacznie wyższa dla zakresu powyżej 19°C: najwyższa ze wszystkich zakresów temperatur dla 95-tego percentyla i trzecia, co do wielkości, dla 99-tego percentyla. Dla okresu 1959–1988 najwyższe liczby dni powyżej obu percentyli zaobserwowano dla temperatur 13–15°C. Poszczególne wartości progowe percentyli obliczone dla przedziałów temperatur z lat 1971–2000 wykazały tendencję rosnącą wraz ze wzrostem temperatury, a dla większości stacji wartości 95-tego i 99-tego percentyla opadów dla temperatur powyżej 19°C były najwyższe (odpowiednio dla 20 i 16 z 31 stacji). Porównanie całkowitej sumy opadów powyżej badanych progów percentylowych pomiędzy tymi dwoma okresami ujawniło mniejszą ilość opadów o 3,6% dla niższego percentyla i większą o 4,3% dla wyższego, natomiast średnia intensywność wzrosła, odpowiednio o 0,4% i 1,4%. W obu przypadkach, wartości były najwyższe w zakresie 15–17°C dla okresu 1989–2018. W przypadku wcześniejszego okresu, 1959–1988, średnia intensywność była najwyższa w zakresie 17–19 i ponad 19°C dla niższego percentyla i ponad 19°C dla wyższego percentyla.

Na podstawie par 99-tego percentyla opadów i średniej dobowej temperatury powyżej 5°C oceniono wrażliwość opadów atmosferycznych na wzrost temperatury. Współczynnik skalujący okazał się najwyższy w zakresie temperatur od 5 do 18°C i wyniósł 5,26%/°C dla okresu 1959–1988 i 6,06%/°C dla okresu cieplejszego 1989–2018, przy czym dla wszystkich badanych zakresów współczynnik skalujący był wyższy dla ostatniego okresu. Analiza dla poszczególnych stacji i badanych okresów wykazała, że w 12 przypadkach współczynnik skalujący zmalał, a dla 19 stacji wzrósł. Wartości powyżej współczynnika skalowania Clausiusa-Clapeyrona (~7%/°C) w pierwszym okresie odnotowano na 6 stacjach, a w drugim na 10, w tym na pięciu stacjach powyżej 9%/°C. Dla całego okresu 1959–2018 współczynniki skalowania kształtowały się poniżej 7%/°C na 24 stacjach, natomiast powyżej tej wartości na 7 stacjach z najwyższą wartością (8,89) dla Wrocławia. Przestrzenie obserwujemy wzrost współczynnika skalowania w centralnej i zachodniej części Polski.

Dokonano także analizy zależności czterech wskaźników opadów dla roku od średniej rocznej temperatury dla 28 stacji w latach 1971–2018. W przypadku rocznych sum opadów związek był najsilniejszy i ujawnił 23 korelacje ujemne i 5 korelacji dodatnich. Dla rocznych maksymalnych opadów dobowych i rocznej liczby dni z opadem dobowym równym lub wyższym od 10 mm odnotowano 21 korelacji ujemnych i 7 korelacji dodatnich. W zależności *SDII* od temperatury rocznej stwierdzono więcej korelacji dodatnich niż w przypadku pozostałych wskaźników: 12 i 16 korelacji ujemnych. Przestrzenny obraz dla tych korelacji jest dość spójny: w Polsce zachodniej i centralnej dominują korelacje ujemne, a większość korelacji dodatnich

ogranicza się do Polski wschodniej. Jedynie dla korelacji z SDII dodatnie korelacje wystąpiły także w zachodniej części Polski.

Z kolei analizy zależności powyższych czterech wskaźników opadów dla roku ze średnią roczną temperaturą punktu rosy wykazały związki w większości pozytywne: 20, 14, 22 i 22 dodatnie korelacje odpowiednio dla rocznych sum opadów, maksymalnej sumy dobowej, SDII i rocznej liczby dni z opadami dobowymi równymi lub wyższymi od 10 mm i odpowiednio 8, 14, 6 i 6 korelacji ujemnych. Przestrzennie tu także obraz jest dość spójny: południowa część Polski z korelacjami dodatnimi i północna – z korelacjami ujemnymi; jedynie dla maksymalnych opadów dobowych obserwuje się ujemne korelacje w południowo-zachodniej części kraju.

4.2.5. Zmiany ryzyka gwałtownych powodzi wywołanych opadami intensywnymi

Ryzyko gwałtownych powodzi, mających miejsce zarówno na obszarach miejskich, jak i wiejskich, wywołanych intensywnymi opadami atmosferycznymi, było przedmiotem badań w pozycji A5, wchodzącej w skład niniejszego osiągnięcia naukowego. Dane o interwencjach jednostek Państwowej Straży Pożarnej (PSP) w latach 2010-2021 w Wielkopolsce, ograniczone do okresu od kwietnia do września, posłużyły do identyfikacji zagrożeń hydrometeorologicznych wywołanych ekstremalnymi opadami atmosferycznymi. W tym celu użyto danych z 90 stacji opadowych i przyporządkowano je do każdej interwencji. Za wiarygodną odległość od stacji przyjęto 20 km, przy czym w blisko 70% przypadków dystans ten był mniejszy niż 10 km, a w przypadku większej ilości stacji, wyznaczono najbliższą. Liczba interwencji mogła być niedoszacowana zwłaszcza w przypadku mniejszych miejscowości, gdzie często system zarządzania kryzysowego opiera się na Ochotniczych Strażach Pożarnych (OSP), dla których brakuje danych na temat interwencji. Dodatkowo, gdy nieruchomość jest zagrożona, ludzie mogą reagować z własnej inicjatywy, nie czekając na pomoc formalną ze strony służb ratunkowych.

Spośród 17 793 interwencji jednostek PSP w województwie wielkopolskim w analizowanym okresie ponad jedna czwarta miała miejsce w roku wielkiej powodzi w Polsce, czyli 2010 roku (4664), z czego ponad połowa w maju (54%; 2508). Z kolei najniższą liczbę interwencji (516) odnotowano w bardzo suchym roku 2015. Lipiec jest miesiącem, w którym wystąpiło najwięcej interwencji (5864), a szczególnie wyróżnił się lipiec 2011 roku (1201 interwencji), kiedy to wystąpiły najwyższe dobowe opady (20 lipca 2011 r. wynoszące 160,7 mm, zanotowane na dwóch stacjach oddalonych od siebie o ok. 12 km). Takie opady spowodowały jedynie 29 interwencji w pięciu gminach, gdzie łączny odsetek pokrycia gruntami leśnymi i rolnymi w czterech z nich wynosi ponad 95%. W kwietniu 2020 roku nie było ani jednej interwencji z uwagi na suszę, omówioną w pozycji A3, wchodzącej w skład niniejszego osiągnięcia.

Najwięcej interwencji w ciągu jednego dnia (530) miało miejsce 24 lipca 2010 roku. Na ten jeden dzień przypadło blisko 3% wszystkich interwencji z lat 2010-2021. Odnotowany maksymalny opad dobowy nie był bardzo wysoki: wyniósł 59,5 mm (również 59 mm i 58 mm), dając łącznie 14 interwencji dla tych 3 stacji, jednak szereg interwencji wynikał z intensywnych opadów deszczu, które wystąpiły także poprzedniego dnia, w efekcie czego suma maksymalna suma 2-dobowa osiągnęła aż 122 mm (a na kolejnych 4 stacjach powyżej 100 mm), w wyniku czego na obszarze wokół tych stacji odnotowano 31 interwencji. Łącznie z interwencjami tego dnia powiązanych było 60 stacji, dla których mediana wysokości opadów dobowych wyniosła 27 mm, a dla opadów 2-dobowych: 61 mm.

Trzy najwyższe dzienne liczby interwencji w odniesieniu do jednej stacji (tj. w maksymalnym promieniu 20 km od stacji do zdarzenia) miały miejsce w 2021 roku. Największa

liczba interwencji miała miejsce 9 lipca, kiedy na obszarze wokół stacji Sobótka przeprowadzono 99 interwencji. Działania te zostały wywołane opadem dobowym wynoszącym 18,8 mm, a łącznie z opadami z poprzedniego dnia dało sumę 2-dobową wynoszącą 69,5 mm i zaowocowało blisko jedną trzecią z 326 interwencji przeprowadzonych tego dnia w całym województwie wielkopolskim. Druga najwyższa liczba interwencji (85) w wokół jednej stacji miała miejsce 22 czerwca, kiedy odnotowano sumę dobową w wysokości 136,9 mm w Gruszczyń pod Poznaniem po gwałtownej burzy trwającej ok. 2 godziny. Trzeci rekord również pochodzi z 22 czerwca, będąc odpowiedzią na opad dobowy w wysokości 79,4 mm, w samym Poznaniu. Odległość pomiędzy stacjami Poznań-Ławica i Gruszczyń wynosi zaledwie 16 km. Na stacji Poznań-Ławica suma opadu 1-godzinowego wyniosła 75,2 mm, a 30-minutowa 59,4 mm. Ale były także obszary w innych częściach Poznania, gdzie w ciągu 10 minut spadło prawie 25 mm deszczu (Skonieczna i in. 2021). Tego dnia w województwie wielkopolskim było 277 interwencji, w Poznaniu 108 (część interwencji powiązana ze stacją Gruszczyń położoną na granicy miasta), a na terenie miasta i gminy Swarzędz, gdzie znajduje się stacja Gruszczyń: 38. Wspólnym elementem wszystkich tych rekordowych wydarzeń był gęsto zaludniony i zurbanizowany krajobraz z dużym udziałem powierzchni nieprzepuszczalnych.

Przestrzenne rozmieszczenie interwencji w badanym okresie w miastach i gminach województwa wielkopolskiego pokrywa się głównie z obszarami gęsto zaludnionymi. Najbardziej narażonym obszarem jest największe miasto regionu – Poznań, gdzie odnotowano sumarycznie 1139 interwencji. Jednak przeliczając liczbę interwencji na 10 000 mieszkańców, obraz jest nieco inny: proporcjonalnie najwięcej interwencji doświadczają także mniejsze miasta. Liczba interwencji wzrasta od około 65 (wartość średnia) na 10 000 mieszkańców w najmniejszych miastach do ponad 80 interwencji w miastach o wielkości od 15 000 do 25 000 mieszkańców. Dzieje się tak prawdopodobnie dlatego, że miasta te mają te same cechy, które zwiększają ryzyko, takie jak gęsta zabudowa, budynki wielomieszkaniowe, duże obszary powierzchni nieprzepuszczalnych, a jednocześnie mają mniejsze możliwości ograniczania ryzyka, takie jak rozbudowane systemy odprowadzania wody deszczowej. Wraz ze wzrostem liczby mieszkańców liczba interwencji malała i wyniosła 21 w Poznaniu, liczącym ponad 500 000 mieszkańców. Z kolei obszary wiejskie, choć w mniejszym stopniu niż miasta, także są narażone na potencjalne straty związane z ulewnymi opadami deszczu. Liczba interwencji jednostek PSP zwiększa się wraz z gęstością zaludnienia, chociaż zależność nie jest prosta i stosunkowo duża liczba interwencji miała miejsce także w gminach o małej gęstości zaludnienia. W gminach wiejskich położonych w bezpośrednim sąsiedztwie Poznania, gdzie gęstość zaludnienia jest znacznie wyższa niż w gminach z przewagą użytkowania gruntów rolnych i gdzie istnieją obszary o gęstej zabudowie, często z domami wielorodzinnymi, liczba interwencji na km² była wyraźnie wyższa – nawet kilkakrotnie – niż na obszarach słabiej zaludnionych.

Liczba interwencji wynika z zagrożeń, jakie niosą opady ekstremalne. W badanym okresie 2010-2021 w Wielkopolsce różnice w występowaniu ekstremów, mierzonych liczbą dni z opadami przekraczającymi 20, 30, 40 i 50 mm, pomiędzy gminami były dość duże. Obszar najmniej narażony na występowanie intensywnych opadów, dla wszystkich analizowanych przypadków znajdował się w północno-wschodniej części województwa. I odwrotnie, we wszystkich przypadkach obszar najbardziej zagrożony zlokalizowany był w północno-zachodniej części. Dla liczby dni z opadami 20, 30 i 40 mm najwyższe wartości notuje się w środkowej i południowo-zachodniej części województwa. W przypadku dni z opadami przekraczającymi 50 mm najbardziej narażonym obszarem jest zachodnia część województwa, natomiast w części wschodniej nie odnotowano tak ekstremalnych opadów. Całkowita liczba dni z ekstremalnymi opadami obliczona była dla dwóch przedziałów czasowych: 1961–2021 i dla 41

stacji oraz 1981–2021 dla 61 stacji. W pierwszym przypadku, dla okresu 1961–2021, tendencja wzrostowa była nieznaczna lub bez zmian. W drugim, dla okresu 1981–2021, tendencja rosnąca była bardziej widoczna, choć wszystkie te zmiany były nieistotne statystycznie. Porównując liczbę dni z opadami ekstremalnymi w poszczególnych 10-letnich i w badanym okresie 2010–2021, widoczna jest duża zmienność naturalna, jednak ostatnie lata charakteryzowały się większą liczbą dni z ekstremalnymi opadami atmosferycznymi. Średnia roczna wartość dni z ekstremalnymi opadami w latach 2010–2021 była znacznie wyższa niż w okresach 1961–2010 i 1981–2010: średnia liczba dni z opadem wyższym niż 50 mm podwoiła się z 0,12 dnia/rok w latach 1981–2010 do 0,24 dnia/rok w 2010–2021, a w stosunku do lat 1961–2010 niemal się podwoiła z 0,14 do 0,23 dnia/rok w ostatnich latach.

Identyfikacja ryzyka związanego z opadami ekstremalnymi czyli liczba interwencji przypadającego na km² została oparta o model wielokrotnej regresji liniowej z 14 zmiennymi predykcyjnymi. Model został zastosowany osobno dla miast i gmin miejskich, dla gmin wiejskich oraz dla Poznania i gmin przyległych i wyjaśniał od 55% zmienności interwencji dla miast, przez 72% dla wsi, do 99% dla Poznania i gmin przyległych, tworzących powiat poznański.

Analiza korelacji każdego z predyktorów pokazuje, że gęstość zaludnienia na km² odgrywa najważniejszą rolę w wyjaśnianej zmienności dla wszystkich trzech modeli. Drugą najważniejszą cechą jest proporcja zwartej zabudowy. Dla interwencji na terenie gmin wiejskich i powiatu poznańskiego istotna jest także obecność obszarów infrastruktury, takich jak ulice, tory kolejowe, lotniska. Odległość od jednostki PSP odgrywa również rolę w przypadku interwencji w gminach miejskich. Ekstremalne opady wydają się mieć wpływ na gęstą zabudowę: na terenach wiejskich, gdzie pokrywa jest mniej gęsta, rolę odgrywają duże opady (liczba dni z opadem dobowym przewyższającym 50 mm), gdyż dopiero takie zazwyczaj wywołują potrzebę interwencji. Wraz ze wzrostem udziału pokrywy zwartej interwencje powodują mniejsze opady, np. 40 mm w miastach czy 30 mm w powiecie poznańskim.

4.2.6. Projekcje zmian w ekstremach opadowych w przyszłości

Rozpoznanie zmian w ekstremach opadowych w przyszłości jest ważną kwestią z uwagi na możliwość podjęcia działań adaptacyjnych, odpowiadających zmienionym warunkom. Projekcje zmian opadów w Polsce zostały przedstawione w pozycji A6, wchodzącej w skład niniejszego osiągnięcia naukowego. W analizie wykorzystano wyniki symulacji ośmiu modeli regionalnych dla dwóch reprezentatywnych ścieżek atmosferycznej koncentracji gazów cieplarnianych: RCP4,5 i RCP8,5, oznaczających możliwy zakres wartości dodatkowego wymuszenia radiacyjnego w roku 2100: odpowiednio 4,5, i 8,5 W/m² oraz dwóch horyzontów czasowych, bliskiej przyszłości: 2021–2050 i dalekiej przyszłości: 2071–2100 oraz dla okresu przeszłego 1971–2000, stanowiącego okres referencyjny. Symulacje pochodziły z projektu EURO-CORDEX i zostały skorygowane oraz dopasowane do oczek siatki wielkości 5 km w projekcie CHASE-PL (Mezghani i in., 2017).

Zmiana wartości opadów w przyszłości została przedstawiona jako różnica pomiędzy średnią wartością symulacji z ośmiu modeli, a wartością dla okresu referencyjnego. Analizie poddano takie wskaźniki opadów, jak: sumy roczne, maksymalna suma dobową, maksymalna suma 3-dobowa oraz liczba trzydniowych sum dobowych, przekraczających 50 mm, najdłuższy okres wilgotny z opadem powyżej 1 mm (*CWD*) i liczba okresów wilgotnych trwających dłużej niż 5 dni, *SDII*, najdłuższy okres suchy (z opadem poniżej 1 mm; *CDD*), liczba dni suchych (poniżej 1 mm) i jednocześnie gorących (z temperaturą powyżej 30°C) oraz liczba dni z intensywnymi opadami przekraczającymi 20 mm na dobę. Ogólnie można stwierdzić, iż wartość większości badanych wskaźników będzie rosła i dotyczy to zarówno średnich rocznych sum

opadów, jak i opadów intensywnych, a także niedoborów opadów. Przyszłe zmiany będą bardziej dotkliwe dla wyższej reprezentatywnej ścieżki koncentracji gazów cieplarnianych (RCP8,5) i odległego horyzontu czasowego (2071-2100).

Projekcje modeli klimatycznych wskazują, że średnia roczna suma opadów będzie rosła w całym kraju, przy czym wyższy wzrost prawdopodobnie wystąpi na obszarach południowych i północnych. W bliskiej przyszłości opadów będzie więcej o ok. 25–50 mm (RCP4,5) lub o ponad 50 mm (RCP8,5). W dalekiej przyszłości wzrost będzie bardziej widoczny: więcej będzie obszarów z różnicą w opadach przekraczającą 50 mm, a w południowej, północnej i wschodniej części Polski przekraczającą 75 mm (RCP4,5) 100 mm na zachodzie, 125 mm na wschodzie, i do 150 w północnej i południowej części kraju (w górach nawet do 175 mm; RCP8,5).

Najdłuższy okres wilgotny (*CWD*) nie wykazuje regularnych wzorców zmiany: prawdopodobnie skróci się on o ok. 2,5 dnia w południowo-wschodniej części Polski oraz w dalekiej przyszłości w dorzeczu górnej Odry, natomiast wydłuży o ok. 5 dni we wschodniej części kraju. W przyszłości przybędzie okresów wilgotnych trwających dłużej niż pięć dni na większości obszaru Polski o ok. 10 (w całej 30-latce) i o 20 takich okresów, szczególnie we wschodniej części kraju, natomiast na zachodzie może być ich mniej (o ok. 10), podobnie w południowo-wschodniej części kraju.

Prawdopodobnie wzrośnie średnia intensywność opadów (*SDII*): o 0,25–0,5 mm w bliższej przyszłości, natomiast o ok. 0,5 mm (RCP4,5) czy o 0,75 mm dla większości obszaru Polski i o 1 mm dla południowej części kraju dla RCP8,5. Zmiany w zakresie ekstremalnych opadów wykazują raczej spójny wzór. Dla niemal całego kraju symulacje modeli przewidują wzrost wartości wskaźników, który pod koniec XXI wieku będzie jeszcze większy. W najbliższej przyszłości można spodziewać się, że maksymalne opady dobowe będą wyższe o 20–40 mm niż w okresie referencyjnym 1971-2000, a w dalekiej nawet o 60–80 mm.

Podobnie, najwyższa 3-dniowa suma opadów prawie na całym obszarze może wzrosnąć o dodatkowe 50 mm, a pod koniec wieku nawet o 75–100 mm (RCP8,5). Także okresów 3-dniowych okresów, dla których suma opadów przekracza 50 mm będzie więcej o 25 (w całej 30-latce, średnio prawie 1 dodatkowo rocznie) na terenie niemal całego kraju i o 50 na południu Polski. Jeszcze więcej może ich przybyć do końca XXI wieku: w części południowej kraju nawet o 75-100 (RCP8,5).

W przyszłości będzie także coraz więcej dni, w których dobową sumę opadów przekroczy 20 mm. W początkowym okresie o 0,5–1,0 dni średnio na rok, ale im później, tym takich dni może być więcej: o 2 dni w części południowej Polski (RCP4,5) o nawet 3–4 dni na tym obszarze dla RCP8,5.

W przyszłości mogą się także nasilić okresy suche, choć zmiany rozkładają się dość nierównomiernie: najdłuższy okres suchy (*CDD*) może wydłużyć się średnio o 5 dni, szczególnie we wschodniej części Polski i krótszy średnio o 7 dni w części zachodniej. Natomiast najdłuższy okres suchy i gorący wydłuży się o 3–7 dni, a na wschodzie kraju pod koniec XXI wieku nawet do 12 dni (RCP8,5). Oznacza to, że bardzo prawdopodobne jest znaczne wydłużenie się fal suchych i gorących.

4.2.7. Podsumowanie

Niniejsze osiągnięcie naukowe, składające się z 6 pozycji, przedstawia zmiany w ekstremach hydro-klimatycznych w Polsce. Wyniki badań wskazują, że susza wiosenna 2020 roku była jedną z najdotkliwszych od pięciu dekad: narastające z roku na rok niedobory wody znalazły odzwierciedlenie w bardzo niskich wartościach *SPEI* i niskich wartościach wilgotności gleby. W miesiącach cieplejszych, przedłużające się okresy suszy (przerywane intensywnymi opadami

atmosferycznymi), wysoka ewapotranspiracja i występowanie fal upałów mogą prowadzić do rozwoju wieloletniej suszy. Analizy sumy opadów sezonowych i miesięcznych wykazały niepokojącą tendencję. Wzrastają opady w półroczu chłodnym, jednak nawet jeśli w miesiącach półrocza ciepłego da się zaobserwować wzrost sumy opadów, może on być niewystarczający przy zwiększającym się parowaniu, przez co niedobory wody w okresie wegetacyjnym mogą się pogłębić. W tym sensie suszy, która wystąpiła w Polsce wiosną 2020 roku, nie należy postrzegać jako czegoś nadzwyczajnego. Może to być raczej zwiastun tego, co ma nadejść, a co mogliśmy obserwować w roku 2022 i w 2023.

Zjawiska ekstremalne zmieniają się wraz z ociepleniem. W ciągu ostatnich 25 lat (1991-2015) większość wskaźników statystycznych, takich jak 25-ty i 75-ty percentyl, mediana oraz maksimum opadów ekstremalnych było wyższe niż w chłodniejszym okresie 1961-1990. Przeanalizowane indeksy opadów intensywnych wskazują, iż pojawiają się one częściej jesienią, wiosną i zimą, a rzadziej latem. Ponadto, liczba dni powyżej 95-tego (99-tego) percentyla (z okresu referencyjnego 1971-2000) dla lat 1989-2018 okazała się niższa (wyższa) niż dla lat 1959-1988. Badanie wartości powyżej najwyższych percentyli dla każdego przedziału temperatur z osobna wykazało, że dla lat 1989-2018 liczba dni powyżej obu percentyli zmniejszyła się, ale średnia intensywność wzrosła. Całkowita suma opadów powyżej 95-tego percentyla spadła, ale powyżej 99-tego wzrosła. A więc najbardziej ekstremalne zjawiska stają się jeszcze bardziej ekstremalne. Również wyższa jest wrażliwość opadów atmosferycznych na wzrost temperatury: dla lat z dalszej przeszłości 1959-1988 współczynnik skalujący wyniósł 5,26%/°C, a dla okresu cieplejszego 1989-2018 wyraźnie więcej: 6,06%/°C. Wraz z postępującym globalnym ociepleniem widoczny jest wzrost opadów bardziej ekstremalnych, czyli 99-tego percentyla w porównaniu z opadami 95-tego percentyla.

Liczne zbadane zmiany, choć zauważalne, nie są istotne statystycznie. Badania prowadzone w różnych częściach Europy wskazują, że w niektórych regionach Europy i Morza Śródziemnego występują nieregularne tendencje w zakresie ekstremalnych zdarzeń. Według Hartmanna i in. (2013) w większej liczbie regionów Europy obserwuje się wzrost opadów ekstremalnych niż ich spadek, jednak ocenę zmian utrudniają różnice regionalne i sezonowe, wykorzystane zbiory danych, użyte wskaźniki czy naturalna zmienność, która w przypadku opadów jest bardzo duża. Nawet dla obszaru Polski różnice mogą być bardzo duże: sierpień 2023 roku zapisze się na większości obszaru kraju jako miesiąc bardzo wilgotny z opadem powyżej 270% normy, jak w przypadku Poznania czy Wrocławia, ale w tym miesiącu były też obszary, gdzie opad miesięczny nie przekroczył normy (okolice Białegostoku czy Leska; <https://klimat.imgw.pl/pl/biuletyn-monitoring/#2023/08>). Ponadto zdarzenia, które do niedawna były rzadko obserwowane, nastroczają trudności w wykrywaniu trendu. Tymczasem, jak stwierdzają Frei i Schär (2000), nie musi to koniecznie oznaczać braku trendu. Badanie tych autorów wykazało również trudność w określeniu trendów w przypadku bardzo rzadkich zdarzeń, dlatego zalecają oni ostrożną interpretację wyników nieistotnych statystycznie. Przyspieszające ocieplenie klimatu ujawnia w coraz większym stopniu zachodzące zmiany w ekstremach.

Zwiększająca się suburbanizacja, rosnący udział powierzchni nieprzepuszczalnych oraz wpływ zmian klimatycznych mają duże znaczenie dla ryzyka występowania gwałtownych powodzi i podtopień. Dlatego należy wspierać społeczności lokalne, decydentów, aby można było rozwinąć lepsze zdolności do radzenia sobie ze zwiększoną ilości wód opadowych. Podobnie, nowa i szczegółowa wiedza, rzucająca światło na problem susz i ich specyfikę, może przyczynić się do lepszej adaptacji i zarządzania zasobami wodnymi, w tym na obszarach gęsto zaludnionych.

Jak wskazują projekcje modeli klimatycznych, przyszłe problemy związane opadami intensywnymi jak i niedoborami opadów mogą się pogłębiać, co więcej będą one tym bardziej dotkliwe, im wyższa będzie koncentracja gazów cieplarnianych i odleglejszy horyzont czasowy.

Kaźmierczak i Cavan (2011) stwierdzili, że szersza wiedza na temat podatności i zagrożenia może pomóc w przeciwdziałaniu ryzyku. Dlatego też, ze względu na rosnące ryzyko wystąpienia takich zdarzeń i coraz większą dotkliwość ich konsekwencji, duże znaczenie mają badania poświęcone temu problemowi.

4.2.8. Literatura

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, FAO: Rome, Italy, 300, 6541.
- Ban, N., Schmidli, J., Schär, C. 2015. Heavy precipitation in a changing climate: Does short-term summer precipitation increase faster? *Geophys. Res. Lett.*, 42, 1165–1172. <https://doi.org/10.1002/2014GL062588>
- Berg, P., Moseley, C., Haerter, J.O. 2013. Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. *Nat. Geosci.* 6, 181–185. <https://doi.org/10.1038/ngeo1731>
- Frei, C., Schär, C. 2001. Detection Probability of Trends in Rare Events: Theory and Application to Heavy Precipitation in the Alpine Region. *J. Clim.* 14, 1568–1584.
- Graczyk, D., Kundzewicz, Z.W., Choryński, A., Førland, E.J., Pińskwar, I., Szwed, M. 2019. Heat-related mortality during hot summers in Polish cities. *Theor. Appl. Climatol.*, 136, 1259–1273. <https://doi.org/10.1007/S00704-018-2554-X>
- Hari, V., Rakovec, O., Markonis, Y., Martin, H., Kumar, R. 2020. Increased future occurrences of the exceptional 2018–2019 Central European drought under global warming. *Sci. Rep.*, 10, 12207. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68872-9>
- Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M., Alexander, L.V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F.J., Dlugokencky, E.J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B.J., Thorne, P.W., Wild, M., Zhai, P.M. 2013. Observations: atmosphere and surface. W: Stocker, T.F. et al. (eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Huo, R., Li, L., Chen, H., Xu, C.-Y., Chen, J., Guo, S. 2021. Extreme Precipitation Changes in Europe from the Last Millennium to the End of the Twenty-First Century. *J. Clim.*, 34, 567–588. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0879.1>
- IPCC, 2021. Summary for Policymakers. W: Masson-Delmotte, V. et al. (eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 3–32, [doi:10.1017/9781009157896.001](https://doi.org/10.1017/9781009157896.001).
- Kaźmierczak, A., Cavan, G. 2011. Surface water flooding risk to urban communities: Analysis of vulnerability, hazard and exposure. *Landscape and Urban Planning* 103(2): 185–197.
- Konieczny, R., Pińskwar, I., Kundzewicz, Z.W. 2018. The September 2017 flood in Elbląg (Poland) in perspective. *Meteorol. Hydrol. Water Manag.*, <https://doi.org/10.26491/mhwm/92406>
- Lenderink, G., van Meijgaard, E. 2008. Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nat. Geosci.*, 1, 511–514. <https://doi.org/10.1038/ngeo262>

- Łupikasza, E.B., Małarzewski, Ł. 2023. Trends in the indices of precipitation phases under current warming in Poland, 1966–2020. *Advances in Climate Change Research*, 14, 1, 97–115. <https://doi.org/10.1016/j.accres.2022.11.012>.
- Majewski, W. 2016. Urban flash flood in Gdańsk - 2001. Case study. *Meteorol. Hydrol. Water Manag.*, 4, 41–49. <https://doi.org/10.26491/mhwm/64636>
- Marelle, L., Myhre, G., Hodnebrog, Ø., Sillmann, J., Samset, B.H. 2018. The changing seasonality of extreme daily precipitation. *Geophys. Res. Lett.*, 45, 11, 352–11,360, <https://doi.org/10.1029/2018GL079567>
- Mezghani, A., Dobler, A., Haugen, J.E., Benestad, R.E., Parding, K.M., Piniewski, M., Kardel, I., Kundzewicz, Z.W. 2017. CHASE-PL Climate Projection dataset over Poland-Bias adjustment of EURO-CORDEX simulations. *Sci Data Discuss*, Earth Syst. <https://doi.org/10.5194/essd-2017-51>
- Ministerstwo Środowiska, 2020. Pożar w Biebrzańskim Parku Narodowym–Podsumowanie Oraz Dalsze Działania, <https://www.gov.pl/web/srodowisko/pozar-w-biebrzanskim-parku-narodowym---podsumowanie-i-dalsze-dzialania> (Dostęp: 11.12.2022).
- Myhre, G., Alterskjær, K., Stjern, C.W. et al. 2019. Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming. *Sci Rep* 9, 16063, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52277-4>
- NOAA, 2023. Climate Change: Global Temperature: <https://www.climate.gov/news-features/understandingclimate/climate-change-global-temperature> (Dostęp: 22.05.2023).
- Report of the Copernicus Climate Change Service 2023. Copernicus Climate Change Service (C3S), 2023: European State of the Climate 2022. <https://climate.copernicus.eu/esotc/2022/temperature> (Dostęp: 07.06.2023).
- Seneviratne, S.I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Di Luca, A., Ghosh, S., Iskandar, I., Kossin, J., Lewis, S., Otto, F., Pinto, I., Satoh, M., Vicente-Serrano, S.M., Wehner, M., Zhou, B. 2021. Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. W: Masson-Delmotte, V. et al. (eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1513–1766, doi:10.1017/9781009157896.013.
- Skonieczna, M., Hański, A., Topiłko, J., Barszczewska, M., Wdowikowski, M. 2021. Miejskie powodzie – winny klimat czy człowiek? (Urban floods – guilty climate or human?). *Gaz. Obs. IMGW*, <https://obserwator.imgw.pl/miejskie-powodzie-winny-klimat-czy-czlowiek/> (in Polish).
- Sulikowska, A., Wypych, A. 2021. Seasonal Variability of Trends in Regional Hot and Warm Temperature Extremes in Europe. *Atmosphere*, 12, 612. <https://doi.org/10.3390/atmos12050612>
- Sun, Q., Zhang, X., Zwiers, F., Westra, S., Alexander, L.V. 2021. A Global, Continental, and Regional Analysis of Changes in Extreme Precipitation. *J. Clim.*, 34, 243–258.
- Tabari, H., Madani, K., Willems, P. 2020. The contribution of anthropogenic influence to more anomalous extreme precipitation in Europe. *Environ. Res. Lett.*, 15, 104077. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb268>
- Ustrnul, Z., Wypych, A., Czekierda, D. 2021. Air Temperature Change. W: Falarz, M. (red.), *Climate Change in Poland: Past, Present, Future.*, Springer International Publishing, Cham, 275–330. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70328-8_11
- WMO 2023. Global Annual to Decadal Climate Update. Available online: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11611 (Dostęp: 22.05.2023)

5. Informacje o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową lub artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

5.1. Współpraca w ramach realizowanych projektów naukowych

W ramach projektu MICE (Modelling the Impact of Climate Extremes) była podejmowana tematyka zmian zachodzących w ekstremach klimatycznych w Europie. Jednym z rezultatów projektu była publikacja:

Kundzewicz, Z.W., Ulbrich, U., Brucher, T., Graczyk, D., Kruger, A., Leckebusch, GC., Menzel, L., Pińskwar, I., Radziejewski, M., Szwed, M. 2005. Summer floods in central Europe - Climate change track? *Natural Hazards*, 36, 1-2, 165-189.

W ramach projektu ADAM ((Adaptation and Mitigation Strategies: Supporting European climate policy) przebywałam na tygodniowej wizycie u prof. Petry Döll w Instytucie Geografii Fizycznej Uniwersytetu we Frankfurcie nad Menem, u której na stypendium była także dr Yukiko Hirabayashi z Uniwersytetu w Tokio. Efektem była m. in. wspólna publikacja:

Kundzewicz, Z.W., Luger, N., Dankers, R., Hirabayashi, Y., Döll, P., Pińskwar, I., Dysarz, T., Hochrainer, S., Matczak, P., 2010. Assessing river flood risk and adaptation in Europe – review of projections for the future. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, 641–656.

W ramach projektu WATCH (Water and Global Change) powstała książka pod redakcją Zbigniewa W. Kundzewicza "Changes in Flood Risk in Europe" (Special Publication No. 10. IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK), w której znajdują się trzy rozdziały z moim udziałem jako współautora:

Choryński, A., Pińskwar, I., Kron, W., Brakenridge, R. & Kundzewicz, Z.W. 2012. Catalogue of large floods in Europe in the 20th century. W: Kundzewicz, Z.W. (ed.) *Changes in Flood Risk in Europe*, Special Publication No. 10, IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK., Ch. 3, 27-54.

Kundzewicz, Z. W., Dobrowolski, A., Lorenc, H., Niedźwiedź, T., Pińskwar, I., Kowalczak, P. 2012. Floods in Poland. W: Kundzewicz, Z. W. (ed.) *Changes in Flood Risk in Europe*, Special Publication No. 10, IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK., Ch. 17, 319-334.

Pińskwar, I., Kundzewicz, Z. W., Peduzzi, P., Brakenridge, R., Stahl, K., Hannaford, J. 2012. Changing floods in Europe. W: Kundzewicz, Z. W. (ed.) *Changes in Flood Risk in Europe*, Special Publication No. 10, IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK., Ch. 5, 83-96.

W ramach projektu FLORIST (Zagrożenie powodziowe na przedpolu Tatr, Flood risk on the northern foothills of the Tatra Mountains) współpracowałam z naukowcami z Uniwersytetu Śląskiego, Instytutu Ochrony Przyrody PAN w Krakowie oraz Uniwersytetu w Bern. Powstało kilka publikacji oraz książka pod redakcją Zbigniewa W. Kundzewicza, Markusa Stoffela, Tadeusza Niedźwiedzia i Bartłomieja Wyżgi „Flood risk in the Upper Vistula Basin” (GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences, Springer), w której znalazły się dwa rozdziały z moim współautorstwem:

Łupikasza E., Niedźwiedź T., Pińskwar I., Ruiz-Villanueva V., Kundzewicz Z. W. 2016. Observed changes in temperature and precipitation and relationship between them, in the Upper

Vistula Basin. Rozdział 8, 155–187. W: Kundzewicz Z.W., Stoffel M., Niedźwiedź T., Wyżga B. (red.) Flood risk in the Upper Vistula Basin. GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences. Springer.

Pińskwar I., Choryński A., Kundzewicz Z. W., Ruiz-Villanueva V. 2016. Projections of precipitation in the northern foothills of the Tatra Mountains. Rozdział 15, 311–329. W: Kundzewicz Z.W., Stoffel M., Niedźwiedź T., Wyżga B. (red.) Flood risk in the Upper Vistula Basin. GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences. Springer.

Inne publikacje powstałe w ramach projektu FLORIST, których byłą współautorką:

Kundzewicz Z. W., Stoffel M., Wyżga B., Ruiz-Villanueva V., Niedźwiedź T., Kaczka R., Ballesteros Canovas J. A., Pińskwar I., Łupikasza E., Zawiejska J., Mikuś P., Choryński A., Hajdukiewicz H., Spyt B., Janecka K. 2017. Changes of flood risk on the northern foothills of the Tatra Mountains. *Acta Geophysica*. 65(4): 799-807.

Niedźwiedź, T., Łupikasza, E., Pińskwar, I., Kundzewicz, Z. W., Stoffel, M., Małarzewski, Ł. 2015. Variability of heavy rainfall events and related synoptic situations causing floods at the northern foothills of the Tatra Mountains. *Theoretical and Applied Climatology*, 19, 1-2, 273-284, doi.org/10.1007/s00704-014-1108-0.

Kundzewicz, Z. W. Stoffel, M. Kaczka R. J., Wyżga, B. Niedźwiedź, T. Pińskwar, I. Ruiz-Villanueva, V. Łupikasza E., Czajka B., Ballesteros-Canovas J. A., Małarzewski Ł., Choryński A., Janecka K., Mikuś P. 2014. Floods at the Northern Foothills of the Tatra Mountains – A Polish–Swiss Research Project. *Acta Geophysica*, 62(3), 620-641, DOI: 10.2478/s11600-013-0192-3.

W ramach projektu CHASE-PL - Climate change impact assessment for selected sectors in Poland (Ocena wpływu zmian klimatu na wybrane sektory w Polsce) powstały wspólne publikacje z naukowcami ze Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie oraz Instytutu Meteorologii w Oslo:

Graczyk, D., Pińskwar, I., Kundzewicz Z.W., Hov, O., Forland, E.J., Szwed, M., Choryński, A., 2017. The heat goes on – changes in indices of hot extremes in Poland. *Theoretical and Applied Climatology*, 129 (1-2), 459-471, <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1786-x>.

Graczyk, D., Kundzewicz, Z.W., Choryński, A., Førland, E.J., Pińskwar, I., Szwed, M. 2019. Heat related mortality during hot summers in Polish cities. *Theoretical And Applied Climatology*. 136, 1259–1273, <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2554-x>.

Kundzewicz, Z.W., Piniewski, M., Mezghani, A., Okruszko, T., Pińskwar, I., Kardel, I., Hov Ø., Szcześniak, M., Szwed, M., Benestad, R.E., Marcinkowski, P., Graczyk, D., Dobler, A., Førland, E.J., O’Keeffe, J., Choryński, A., Parding, K.M., Haugen, J.E. 2018. Assessment of climate change and associated impact on selected sectors in Poland. *Acta Geophys*. 66, 1509-1523, <https://doi.org/10.1007/s11600-018-0220-4>.

Szwed, M., Pińskwar, I., Kundzewicz, Z.W., Graczyk, D. Mezghani, A. (2017) Changes of snow cover in Poland. *Acta Geophysica*. 65(1), 65-76, DOI: 10.1007/s11600-017-0007-z.

W ramach projektu NCN OPUS - Interpretacja zmian wskaźników związanych z powodzią na podstawie zmienności klimatu (Interpretation of Change in Flood-related Indices based on Climate Variability FloVar) powstały m. in. poniższe publikacje:

Kundzewicz, Z.W., Pińskwar, I., Koutsoyiannis, D. 2020. Variability of global mean annual temperature is significantly influenced by the rhythm of ocean-atmosphere oscillations. *Science of the Total Environment* 747, 141256, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141256.

Kundzewicz, Z.W., Huang, J., Pińskwar, I., Buda Su., Szwed, M., Jiang, T. 2020. Climate variability and floods in China - A review. *Earth-Science Reviews*, 211, 103434, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103434>.

Norel, M., Kałczyński, M., Pińskwar, I., Krawiec, K., Kundzewicz, Z.W. 2021. Climate Variability Indices—A Guided Tour. *Geosciences*, 11, 128. <https://doi.org/10.3390/geosciences11030128>

5.2. Współpraca z naukowcami z kraju i zagranicy

W czasie mojej kariery naukowej podejmowałam współpracę z naukowcami z Polski i zagranicy, w efekcie czego powstały takie publikacje, jak:

Kundzewicz, Z.W., Graczyk, D., Maurer, T., Pińskwar, I., Radziejewski, M., Svensson, C., Szwed, M. 2005. Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow. *Hydrol. Sci. J.*, 50, 5, 797-810.

Krysanova, V., Kundzewicz, Z.W., Pińskwar, I., Habeck, A., Hattermann, F. 2006. Regional socio-economic and environmental changes and their impacts on water resources on example of Odra and Elbe basins. *Water Resources Management*, 20, 4, 607-641.

Kundzewicz, Z. W. Pińskwar, I., Brakenridge, R. 2013. Large floods in Europe, 1985-2009. *Hydrol. Sci. J.* 58(3), 736-736, DOI: 10.1080/02626667.2013.781318.

Matczak, P., Brazova, V.-K., Samardzija, V., Pińskwar, I. 2015. Civil Security Governance Systems in the New EU Member States: Closer to 'Old Europe' or a Distinctive Path? Rozdział 3 w: *European Civil Security Governance: Diversity and Cooperation in Crisis and Disaster Management* (Eds: Raphael Bossong, Hendrik Hegemann). Palgrave Macmillan, Series: *New Security Challenges*.

Konieczny, R., Pińskwar I., Kundzewicz Z.W. 2018. The September 2017 flood in Elbląg (Poland) in perspective. *Meteorol. Hydrol. Water Manage.* 6(2): 67-78.

Kundzewicz, Z.W., Pińskwar I., Brakenridge G.R. 2018. Changes in river flood hazard in Europe: a review. *Hydrology Research*, 49(2), 291-302.

W 2021 roku ukazała się monografia pod redakcją Małgorzaty Falarz: *Climate change in Poland: Past, Present and Future*. Wyd. Springer, której autorami rozdziałów są naukowcy zajmujący się zmianami klimatu w Polsce. W monografii tej jestem współautorem trzech rozdziałów:

Pińskwar, I., Choryński, A. 2021. Projections of precipitation changes in Poland. W: Falarz, M. (red.) *Climate change in Poland: Past, Present and Future*. Springer.

Graczyk, D., Pińskwar, I., Choryński, A. 2021. Projected changes in thermal indices related to the agriculture and energy sectors. W: Falarz, M. (red.) *Climate change in Poland: Past, Present and Future*. Springer.

Falarz, M. Bielec-Bąkowska, Z., Wypych, A., Matuszko, D., Niedźwiedź, T., Pińskwar, I., Piotrowicz, K., Ustrnul, Z., Bokwa, A., Filipiak, J., Graczyk, D., Kuchcik, M., Opała-Owczarek, M., Szwed, M., Wibig, J. 2021. *Climate Change in Poland—Summary, Discussion and Conclusion*. W: Falarz, M. (red.) *Climate change in Poland: Past, Present and Future*. Springer.

W roku 2022 odbył się międzynarodowy warsztat skupiający naukowców zajmujących się zatorami lodowymi i powodziemi. Owocem tego spotkania była publikacja:

Lindenschmidt, K.-E., Alfredsen, K. Carstensen, D., ..., Pińskwar, I. et al. 2023. Assessing and Mitigating Ice-Jam Flood Hazards and Risks: A European Perspective. *Water*, 15(1), 76.

6. Informacje o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzacyjnych naukę lub sztukę

6.1. Osiągnięcia związane z działalnością dydaktyczną

Większość mojej zawodowej aktywności naukowej przypada na okres zatrudnienia w Instytucie Środowiska Rolniczego i Leśnego Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu (1999-2022). Z uwagi na charakter pracy naukowej, nie prowadziłam zajęć dydaktycznych.

W latach 2007-2013 byłam wykonawcą w projekcie współfinansowanym ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki 2007-2013, Priorytet III. Wysoka jakość systemu oświaty, Działania 3.3. Poprawa jakości kształcenia, Poddziałania 3.3.4. Modernizacja treści i metod kształcenia, (UDA-POKL.03.03.04-00-281/12-00) pt. „Akademia Talentów Przyrodniczych – podwyższanie jakości kształcenia kompetencji naukowych w szkołach ponadgimnazjalnych w ramach przedmiotu Ekologia Krajobrazu”.

Celem projektu było opracowanie zajęć z zakresu ekologii krajobrazu. W ramach projektu powstał skrypt z opracowanymi tematami zajęć, które były przeprowadzane w szkołach ponadgimnazjalnych. Ponadto uczniowie mogli spotkać się z opiekunem danego projektu i jedno z takich spotkań odbyło się w siedzibie Instytutu. Opracowałam dwa tematy:

- Ryzyko powodziowe – co powinniśmy wiedzieć?
- Gdzie jest globalne ocieplenie?

6.2. Osiągnięcia związane z działalnością organizacyjną

W latach 2011-2016 sprawowałam funkcję kierownika administracyjnego projektu pt. „Zagrożenie powodziowe na przedpolu Tatr” *FLORIST* (Flood risk on the northern foothills of the Tatra Mountains) nr 153/2010 PSPB w ramach Polsko-Szwajcarskiego Programu Badawczego. Byłam współorganizatorem warsztatów o tematyce przeciwpowodziowej, zorganizowanych w dniu 7 kwietnia 2016 w Nowym Targu dla przedstawicieli gmin i interesariuszy z obszarów zagrożonych powodzią położonych na przedpolu Tatr.

W okresie od 01.04.2019 do 28.02.2022 pełniłam rolę kierownika Zakładu Klimatu i Zasobów Wodnych w Instytucie Środowiska Rolniczego i Leśnego Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu.

6.3. Osiągnięcia związane z działalnością popularyzatorską

Jestem współautorem publikacji o charakterze popularnonaukowym:

Kundzewicz, Z.W., Przymusińska I. 2002. Zmiany temperatury powietrza w Polsce 1961-2000. Fakty i interpretacja. Wiadomości IMGW, 4:63 - 72.

Kundzewicz, Z.W., Przymusińska, I. 2003. W kierunku trwałego rozwoju terenów wiejskich, cz.I, Przegląd Komunalny, 5/2003, 32 - 33.

Kundzewicz, Z.W., Przymusińska, I. 2003. W kierunku trwałego rozwoju terenów wiejskich, cz.II, Przegląd Komunalny, 6/2003, 24 - 25.

Kundzewicz, Z.W., Pińskwar, I. 2008. Prognozy zmian klimatu i ich skutków. Przegląd Komunalny, 103 - 106.

W roku 2017 ukazała się monografia (także w języku angielskim) pod redakcją: Kundzewicz, Z. W., Øystein, H., Okruszko, T.: Zmiany klimatu i ich wpływ na wybrane sektory w Polsce. Wyd. Ridero. Jestem współautorem w 4 rozdziałach tej monografii:

Graczyk D., Pińskwar I., Choryński A., Szwed M., Kundzewicz Z.W. 2017. Zmiany temperatury powietrza w Polsce. 47 – 59.

Pińskwar I., Choryński A., Graczyk D., Szwed M., Kundzewicz Z.W. 2017. Zmiany opadów w Polsce. 60 – 81.

Szwed M., Pińskwar I., Kundzewicz Z.W., Graczyk D., Mezghani A. 2017. Zmiany pokrywy śnieżnej. 82 – 92.

Graczyk D., Pińskwar I., Choryński A., Szwed M., Kundzewicz Z.W. 2017. Wpływ fal upałów na zdrowie w największych polskich miastach. 199 – 212.

W 2005 roku wygłosiłam prelekcję dla uczniów III klasy Gimnazjum im. Mikołaja Kopernika w Swarzędzu-Zalasewie na temat problemów z wodą i zmian klimatu.

W 2007 roku byłam prelegentem na V Konferencji Poświęconej Strefie Zdrowia w Busku – Zdroju, gdzie wygłosiłam referat: Kundzewicz, Z.W. i Pińskwar, I. Zmiany klimatu i ich konsekwencje – obserwacje i prognozy.

W 2008 roku wygłosiłam referat na Młodzieżowym Szczycie Klimatycznym w Poznaniu: Kundzewicz, Z.W. i Pińskwar, I. Zmiany klimatu i ich skutki – przeciwdziałanie i adaptacja.

W 2014 roku w ramach realizowanego projektu z Polsko-Szwajcarskiego Programu Badawczego pt. „Zagrożenie powodziowe na przedpolu Tatr” FLORIST (Flood risk on the northern foothills of the Tatra Mountains) uczestniczyłam w XVIII Festiwalu Nauki, odbywającym się na stadionie narodowym w Warszawie.

W 2019 roku udzieliłam współwywiadu dla Kultury Liberalnej: <https://kulturaliberalna.pl/2019/06/18/polska-woda-susza-globalne-ocieplenie/>

W 2020 roku udzieliłam wywiadu w ramach festiwalu Malta: Projekt Hydronarracje o tematyce związanej z problemami wodnymi.

W 2023 brałam udział w I panelu obywatelskim gminy: „Zielony Czerwonak. Jak sprawić, by nasza gmina była bardziej ekologiczna?”, gdzie wygłosiłam prezentację na temat zmian w ekstremach klimatycznych i ich konsekwencji.

7. Informacje dotyczące kariery zawodowej

7.1. Informacje o udziale w projektach zagranicznych

W okresie od 2002 do 2017 roku uczestniczyłam w sześciu projektach międzynarodowych jako wykonawca. W jednym byłam także kierownikiem administracyjnym, a w jednym kierownikiem zadania. W ramach projektów uczestniczyłam w spotkaniach, konferencjach i byłam współautorem publikacji.

2014-2017 CHASE-PL - Climate change impact assessment for selected sectors in Poland (Ocena wpływu zmian klimatu na wybrane sektory w Polsce) Projekt nr POL-NOR/200799/90/2014 realizowany w ramach Polsko-Norweskiej Współpracy Badawczej, kierownik zadania.

2011-2016 FLORIST (Zagrożenie powodziowe na przedpolu Tatr, Flood risk on the northern foothills of the Tatra Mountains) nr 153/2010 PSPB w ramach Polsko-Szwajcarskiego Programu Badawczego, kierownik administracyjny i wykonawca.

2007-2010 WATCH (Water and Global Change) kontrakt nr 036946 w ramach 6. Ramowego Programu UE, wykonawca.

2005-2009 ADAM (Adaptation and Mitigation Strategies: Supporting European climate policy) kontrakt nr GOCE-018476 w ramach 6. Ramowego Programu UE, wykonawca.

2004-2009 ENSEMBLES (Ensembles-Based Predictions of Climate Changes and their Impacts) kontrakt nr GOCE-CT-2003-505539 w ramach 6. Ramowego Programu UE, wykonawca.

2002-2004 MICE (Modelling the Impact of Climate Extremes) kontrakt nr EVK2oCT2001-0018 w ramach 5. Ramowego Programu UE, wykonawca.

7.2. Informacje o udziale w projektach krajowych

Od roku 2001 uczestniczyłam jako wykonawca w pięciu projektach krajowych. W latach 2007-2009 realizowałam grant promotorski, zakończony pracą doktorską. Byłam kierownikiem projektu NCN OPUS, realizowanego latach 2019-2023. W ramach projektów uczestniczyłam w licznych spotkaniach, konferencjach i byłam współautorem publikacji.

2023-2026 NCN SONATA - Elastyczność (odporność) miast: podatność na ryzyka meteorologiczne polskich miast w kontekście procesów rewitalizacyjnych (Urban resilience: factors contributing to vulnerability to meteorological risks of Polish towns in the context of revitalization processes). Projekt nr 2022/47/D/HS4/01313, wykonawca.

2019-2023 NCN OPUS - Podatność na ekstremalne zdarzenia pogodowe: mapowanie zagrożeń naturalnych i związanych z nimi działań. Analiza wybranych sektorów i infrastruktury zagrożonych ekstremami meteorologicznymi w Wielkopolsce (Vulnerability to extreme weather events: mapping natural hazards and related activities. Analysis of selected sectors and

infrastructures at risk due to extreme meteorological events in Wielkopolska region). Projekt nr 2018/31/B/HS4/03223, kierownik projektu.

2018-2021 NCN OPUS - Interpretacja zmian wskaźników związanych z powodzią na podstawie zmienności klimatu (Interpretation of Change in Flood-related Indices based on Climate Variability FloVar). Projekt nr 2017/27/B/ST10/00924, wykonawca.

2007-2009 Grant Nr N305 048 32/1824 – Projekcje zmian w ekstremach opadowych w Polsce, grant promotorski – wykonawca.

2004-2007 Grant PBZ-KBN-086/PO4/2003 – Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne i hydrologiczne w Polsce (Ocena zdarzeń oraz prognozowanie ich skutków dla środowiska życia człowieka), wykonawca.

2001-2002 Grant KBN nr 6 PO4E 055 20 – Detekcja zmian w danych hydrologicznych – czy dostrzegamy składową cieplarnianą?”, wykonawca.

7.3. Informacje o członkostwie w organizacjach i towarzystwach naukowych

Od 2019 roku jestem członkiem Komisji Klimatu, Zasobów Wodnych i Ochrony Powietrza przy Oddziale PAN w Poznaniu.

7.4. Informacje o wystąpieniach na konferencjach naukowych

Wyniki badań przedstawiałam głównie w formie posterów na takich konferencjach, jak :

- The 5th International Conference on Hydrosience and Engineering, 2002 w Warszawie
- The General Assembly of the European Geosciences Union (EGU), 2004 w Nicei (Francja), 2005 i 2007 w Wiedniu (Austria)
- Climatic Change and Impacts in Eastern and Central Europe, 2006 w Poiana Brasov (Rumunia)
- The International Geographical Union, 2014 w Krakowie
- The International Conference on Analysis and Management of Changing Risks for Natural Hazard, 2014 w Padwie (Włochy)
- The 56th Floodplain Management Australia Conference, 2016 w Nowra (Australia)
- The 7th International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER2016), 2016 w Kyoto (Japonia)
- The European Meteorological Society Annual Meeting (EMS), 2022 w Bonn (Niemcy)
- The 5th edition of the Polish Scientific Networks conference: Climate Change: Science & Society, 2022 we Wrocławiu

7.5. Informacje o udziale w panelach eksperckich

W 2018 roku brałam udział w panelu dyskusyjnym oraz jako prelegentka w konferencji zorganizowanej przez Urząd Gminy Kościan pt. „Zbiornik Sepienko – za i przeciw”.

7.6. Działalność recenzencka

Byłam recenzentką w ramach konkursów MINIATURA 5 i MINIATURA 6 ogłoszonych przez Narodowego Centrum Nauki.

Wykonałam recenzje dla takich czasopism, jak: *Climate Research*, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *Atmosphere* (3), *Climate*, *Earth*, *Hydrology*, *Remote Sensing*, *Applied Sciences*, *Water* (5).

7.7. Zestawienie dorobku naukowego

Mój dotychczasowy dorobek naukowy obejmuje 30 publikacji w czasopismach posiadających *impact factor* oraz 14 artykułów bez *impact factor*, w tym 10 rozdziałów w monografiach oraz Monografię Komitetu Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, która ukazała się po moim doktoracie w 2010 roku. Według *Google Scholar* Monografia KGW PAN została zacytowana 35 razy. W moim dorobku są także publikacje, które posłużyły za referencje w raportach o zasięgu międzynarodowym, takich jak:

1. EASAC Policy Report 22 2013. Trends in extreme weather events in Europe: implications for national and European Union adaptation strategies https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Extreme_Weather/Extreme_Weather_full_version_EASAC-Norwegian_Meteorological_Institute.pdf
2. EASAC 2018. Extreme weather events in Europe. Preparing for climate change adaptation: an update on EASAC's 2013 study https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Extreme_Weather/EASAC_Statement_Extreme_Weather_Events_March_2018_FINAL.pdf
3. EEA Report 2019. The European environment —state and outlook 2020. Knowledge for transition to a sustainable Europe. European Environment Agency, 2019 <https://www.eea.europa.eu/publications/soer-2020>
4. EEA Report 2020. Bathing water management in Europe: Successes and challenges. EEA Report No 11/2020 <https://www.eea.europa.eu/publications/bathing-water-quality-2020>
5. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2023. Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. W: Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 1767-1926). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157896.014

Publikacje:

Kundzewicz, Z.W., Graczyk, D., Maurer, T., Pińskwar, I., Radziejewski, M., Svensson, C., Szwed, M. 2005. Trend detection in river flow series: 1. Annual maximum flow. *Hydrological Sciences Journal* 50, 797-810.

- Kundzewicz, Z.W., Radziejewski, M., Pińskwar, I. 2006. Precipitation extremes in the changing climate of Europe. *Climate Research* 31, 51–58.
- Kundzewicz, Z.W., Luger, N., Dankers, R., Hirabayashi, Y., Döll, P., Pińskwar, I., Dysarz, T., Hochrainer, S., Matczak, P. 2010. Assessing river flood risk and adaptation in Europe – review of projections for the future. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, 641–656.
- Choryński, A., Pińskwar, I., Kron, W., Brakenridge, G. 2012. Catalogue of large floods in Europe in the 20th century. W: Kundzewicz, Z.W. (red.), *Changes in Flood Risk in Europe*, Special Publication No. 10. IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Kundzewicz, Z.W., Pińskwar, I., Brakenridge, G.R., 2013. Large floods in Europe, 1985–2009. *Hydrological Sciences Journal* 58, 1–7.

zostały zacytowane w pozycji 1, natomiast poniższa publikacja w pozycjach 2, 3, 4 i 5:

Kundzewicz, Z.W., I. Pińskwar, I., Brakenridge, G.R. 2018. Changes in river flood hazard in Europe: A review. *Hydrology Research*, 49(2), 294–302.

Publikacja na temat śmiertelności podczas fal upałów w Polsce:

Graczyk, D., Kundzewicz, Z.W., Choryński, A., Førlund, E.J., Pińskwar, I., Szwed, M. 2019. Heat related mortality during hot summers in Polish cities. *Theoretical And Applied Climatology*. 136, 1259–1273, <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2554-x>.

została zacytowana w kolejnych dwóch raportach:

1. European Academies' Science Advisory Council (EASAC) Report 2019. The imperative of climate action to protect human health in Europe. Opportunities for adaptation to reduce the impacts, and for mitigation to capitalise on the benefits of decarbonisation. <https://easac.eu/publications/details/the-imperative-of-climate-action-to-protect-human-health-in-europe/>
2. InterAcademy Partnership 2022. Health in the climate emergency: a global perspective. <https://easac.eu/publications/details/health-in-the-climate-emergency-a-global-perspective>.

Łączna liczba punktów dla wszystkich publikacji przyznawanych przez Ministerstwo Nauki i Edukacji od 2019 roku wynosi 1790, natomiast sumaryczny *impact factor* wszystkich publikacji wynosi 82,462. Według Web of Science liczba cytowań moich publikacji bez autocytowań wynosi 1289, a Indeks Hirscha: 18 (dane z dnia 20.09.2023).

Pełna lista moich osiągnięć naukowych znajduje się w Załączniku 5 do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego (Wykaz osiągnięć naukowych albo artystycznych stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny).

Załącznik 6 zawiera kopie 10 najważniejszych publikacji naukowych (6.1 do 6.10):

1. Kundzewicz, Z.W., Luger, N., Dankers, R., Hirabayashi, Y., Döll, P., Pińskwar, I., Dysarz, T., Hochrainer, S., Matczak, P. 2010. Assessing river flood risk and adaptation in Europe – review of projections for the future. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, 641–656
2. Choryński, A., Pińskwar, I., Kron, W., Brakenridge, G. 2012. Catalogue of large floods in Europe in the 20th century. W: Kundzewicz, Z.W. (red.), *Changes in Flood Risk in Europe*, Special Publication No. 10. IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK

3. Graczyk, D., Pińskwar, I., Kundzewicz Z.W., Hov, O., Forland, E.J., Szwed, M., Choryński, A. 2017. The heat goes on – changes in indices of hot extremes in Poland. *Theoretical and Applied Climatology*, 129(1-2), 459-471
4. Kundzewicz Z. W., Stoffel M., Wyźga B., Ruiz-Villanueva V., Niedźwiedź T., Kaczka R., Ballesteros Canovas J. A., Pińskwar I., Łupikasza E., Zawiejska J., Mikuś P., Choryński A., Hajdukiewicz H., Spyt B., Janecka K. 2017. Changes of flood risk on the northern foothills of the Tatra Mountains. *Acta Geophysica*, 65(4): 799-807
5. Kundzewicz Z.W., Piniewski M., Mezghani A., Okruszko T., Pińskwar I., Kardel I., Hov Ø., Szcześniak M., Szwed M., Benestad R.E., Marcinkowski P., Graczyk D., Dobler A., Førland E.J., O’Keeffe J., Choryński A., Parding K.M., Haugen J.E. 2018. Assessment of climate change and associated impact on selected sectors in Poland. *Acta Geophysica* 66, 1509-1523
6. Kundzewicz Z.W., Pińskwar I., Brakenridge G.R. 2018. Changes in river flood hazard in Europe: a review. *Hydrology Research*, 49(2), 291-302
7. Kundzewicz Z.W., Szwed M., Pińskwar I., 2019. Climate Variability and Floods-A Global Review. *Water*. 11(7): 1399
8. Graczyk D., Kundzewicz Z.W., Choryński A., Førland E.J., Pińskwar I., Szwed M. 2019. Heat related mortality during hot summers in Polish cities. *Theoretical And Applied Climatology*, 136, 1259-1273
9. Kundzewicz, Z.W., Pińskwar, I., Koutsoyiannis, D. 2020. Variability of global mean annual temperature is significantly influenced by the rhythm of ocean-atmosphere oscillations. *Science of the Total Environment*, 747, 141256
10. Kundzewicz, Z.W., Huang, J., Pińskwar, I., Buda Su., Szwed, M., Jiang, T. 2020 Climate variability and floods in China - A review. *Earth-Science Reviews*, 211, 103434

W tabeli 1 zestawiono ogólny dorobek publikacyjny przed i po uzyskaniu stopnia doktora, a w tabeli 2 przedstawiono wykaz czasopism i monografii wraz z danymi bibliograficznymi.

Tabela 1. Ogólny dorobek publikacyjny.

| Liczba prac | Artykuły (z IF) | Artykuły (bez IF) | Punktacja wg MEiN | Pierwszy lub korespondencyjny autor |
|-------------------------|-----------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| <i>Przed doktoratem</i> | | | | |
| 4 | 4 | 0 | - | - |
| <i>Po doktoracie</i> | | | | |
| 40 | 26 | 14 | 1790 (od 2019 roku) | 14 |
| <i>SUMA</i> | | | | |
| 44 | 30 | 14 | 1790 (od 2019 roku) | 14 |

Tabela 2. Wykaz czasopism i monografii, w których opublikowano prace wraz z danymi bibliograficznymi.

| Czasopismo | Liczba prac | Rok | W roku opublikowania | |
|---|-------------|-----------|----------------------|-------------|
| | | | IF | Punkty MEiN |
| <i>Czasopisma z IF</i> | | | | |
| 1 Water | 2 | 2023 | 3,4 | 100 |
| 2 Applied Sciences | 1 | 2023 | 2,7 | 100 |
| 3 International Journal of Disaster Risk Science | 1 | 2023 | 4,0 | 100 |
| 4 Water | 1 | 2022 | 3,53 | 100 |
| 5 Atmosphere | 1 | 2022 | 2,686 | 70 |
| 6 Sustainability | 1 | 2022 | 3,251 | 100 |
| 7 International Journal of Climatology | 1 | 2022 | 4,069 | 140 |
| 8 Science of the Total Environment | 1 | 2020 | 7,963 | 200 |
| 9 Earth-Science Reviews | 1 | 2020 | 12,413 | 200 |
| 10 Agronomy | 1 | 2020 | 3,417 | 100 |
| 11 Weather Climate and Society | 1 | 2020 | 2,746 | 100 |
| 12 Water | 1 | 2019 | 2,544 | 70 |
| 13 Theoretical and Applied Climatology | 2 | 2019 | 2,882 | 70 |
| 14 Geografie | 1 | 2019 | 0,957 | 20 |
| 15 Acta Geophysica | 1 | 2018 | 0,917 | - |
| 16 Hydrology Research | 1 | 2018 | 2,475 | - |
| 17 Acta Geophysica | 2 | 2017 | 0,709 | - |
| 18 Theoretical and Applied Climatology | 1 | 2017 | 2,321 | - |
| 19 Theoretical and Applied Climatology | 1 | 2015 | 2,433 | - |
| 20 Acta Geophysica | 1 | 2014 | 1,068 | - |
| 21 Hydrological Sciences Journal | 1 | 2014 | 1,549 | - |
| 22 Natural Hazards and Earth System Sciences | 1 | 2010 | 1,792 | - |
| 23 Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change | 1 | 2010 | 1,077 | - |
| 24 Climate Research | 1 | 2006 | 1,519 | - |
| 25 Water Resources Management | 1 | 2006 | 0,614 | - |
| 26 Hydrological Sciences Journal | 1 | 2005 | 1,606 | - |
| 27 Natural Hazards | 1 | 2005 | 0,833 | - |
| SUMA (I) | | 30 | 82,462 | 1660 |
| <i>Pozostałe czasopisma naukowe</i> | | | | |

| | | | |
|--|--------------------------------|-----------|-------------|
| 1 | Geosciences | 1 | 70 |
| 2 | Meteorol. Hydrol. Water Manage | 2 | - |
| 3 | Monografia KGW PAN | 1 | - |
| SUMA (II) | | 4 | 70 |
| <i>Monografie, w których opublikowano rozdział</i> | | | |
| 1 | Springer 2016 / Springer 2021 | 2 / 3 | 20 |
| 2 | IAHS Press | 3 | - |
| 3 | Palgrave Macmillan | 1 | - |
| 4 | Wyd. Politechniki Poznańskiej | 1 | - |
| SUMA (III) | | 10 | 60 |
| SUMA (I + II + III) | | 44 | 1790 |

Podpis wnioskodawcy