

dr inż. Małgorzata Biniak-Pieróg

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji

Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska

Plac Grunwaldzki 24

50-363 Wrocław

Załącznik 2

AUTOREFERAT

Wrocław, czerwiec 2018 r.

Spis treści

1.	Sylwetka habilitantki	1
1.2.	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu	2
2.	Wskazanie osiągnięcia naukowego	2
2.1.	Tytuł osiągnięcia naukowego (dzieło opublikowane w całości)	2
2.2.	Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników	2
3.	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	22
4.	Syntetyczne podsumowanie dorobku habilitantki	32

1. Sylwetka habilitantki

Imię i nazwisko, data urodzenia: Małgorzata Biniak-Pieróg, ur. 15.11.1978 r.

1.1. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

27.06.2006 r. uzyskanie stopnia **doktora nauk rolniczych** w zakresie kształtowania środowiska, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej we Wrocławiu; tytuł rozprawy doktorskiej: *Ocena zmienności zasobów wodnych gleby w okresie zimowym w oparciu o wybraną grupę elementów agrometeorologicznych*; promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Żyromski;

27.06.2002 r. uzyskanie tytułu **magistra inżyniera** ochrony środowiska, specjalność ochrona wód, Wydział Rolniczy Akademii Rolniczej we Wrocławiu; tytuł pracy magisterskiej: *Ocena stanu sanitarnego wód powierzchniowych w dolinie Odry na odcinku Brzeg Dolny – Malczyce w latach 1971–2002*; promotor: dr hab. inż. Beata Olszewska;

26.02.2001 r. uzyskanie tytułu **inżyniera** ochrony środowiska, Wydział Rolniczy Akademii Rolniczej we Wrocławiu.

Inne formy edukacji:

2009 r. ukończenie niestacjonarnych studiów podyplomowych w zakresie zarządzania w stanach zagrożeń, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego, Szkoła Główna Służby Pożarniczej w Warszawie;

2003 r. ukończenie Studium Przygotowania Pedagogicznego, Międzywydziałowe Studium Pedagogiczne, Akademia Rolnicza we Wrocławiu.

1.2. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

- 1.05.2008– adiunkt w Instytucie Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu;
- 1.03.2007–30.04.2008 asystent w Instytucie Kształtowania i Ochrony Środowiska, Akademia Rolnicza we Wrocławiu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu);
- 16.11.2006–28.02.2007 starszy technik w Instytucie Kształtowania i Ochrony Środowiska, Akademia Rolnicza we Wrocławiu (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu).

2. Wskazanie osiągnięcia naukowego

wynikającego z art. 16 ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2016 r. poz. 882 ze zm., Dz.U. z 2016 r. poz. 1311)

2.1. Tytuł osiągnięcia naukowego (dzieło opublikowane w całości)

Małgorzata Biniak-Pieróg 2017: *Monitoring opadu atmosferycznego i wilgotności gleby jako podstawa oceny efektywnego zasilania profilu glebowego w wodę*. Monografie CCVII, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, ss. 198, ISBN 978-8377172773.

2.2. Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników

Wprowadzenie

Obserwowane coraz częściej zdarzenia ekstremalne, takie jak naprzemienne występowanie okresów suszy i z nadmiarem opadów, wymuszają konieczność bardziej szczegółowego rozpoznawania zagadnień dotyczących racjonalnego gospodarowania wodą. Niezbędne staje się precyzyjne rozpoznawanie mechanizmów odbudowywania się zasobów wodnych gleby w wyniku przychodu wody opadowej. W tym kontekście zasadne jest badanie tego procesu podczas pojedynczych opadów, które określane są mianem epizodów opadowych. Zdarzenia te cechują się takimi wskaźnikami, jak natężenie, czas trwania, wysokość opadu i jego zmienność w czasie. Dostęp w przeszłości tylko do pomiarów pochodzących z klasycznego deszczomierza, np.

Hellmanna, ograniczał możliwości interpretowania przychodu opadów atmosferycznych. Klasyczny pomiar pozwalał jedynie na pozyskiwanie informacji o sumie opadu, najczęściej z krokiem czasowym wynoszącym dobę, co uniemożliwiało wyodrębnianie pojedynczych epizodów opadowych. Rozwój metod pomiarowych – począwszy od pluwiografów, telepluwiografów aż do najnowocześniejszych metod obejmujących deszczomierze najnowszej konstrukcji, np. disdrometr – pozwala współcześnie na bardzo szczegółowe analizy i próby wyodrębniania takich pojedynczych zdarzeń o różnych charakterystykach [Biniak-Pieróg i in. 2015]. Dostępne w przeszłości metody pomiarów wilgotności gleby (szczegółowo opisane w publikacji Malickiego [1980]) wymagały znacznych nakładów pracy, co ograniczało częstość pomiarów (raz na miesiąc lub dekadę), i pozwalały jedynie na pozyskiwanie informacji punktowej. Podobnie jak w przypadku opadów atmosferycznych, duże znaczenie ma rozpoznanie zasobów wodnych gleby z krótkim krokiem czasowym, takim jak godzina, a nawet krótszym, co umożliwiają już obecnie dostępne metody pomiarowe, do których należy np. metoda TDR. Czynnikiem ograniczającym stosowanie tej metody do pomiarów wilgotności gleby, zwłaszcza w pomiarach przestrzennych, jest wysoki koszt. Wieloletnie badania zasobów wodnych gleby, ale tylko punktowe, są prowadzone przez nieliczne ośrodki. Należy do nich Zakład Melioracji Wodnych i Hydrometeorologii (do września 2017 r. Zakład Agri i Hydrometeorologii) Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, który dysponuje ponad 40-letnim ciągiem pomiarowym.

Wpływ opadu na zasilanie profilu gleby w wodę widać szczególnie w powierzchniowych warstwach, gdzie zmienność wilgotności w czasie jest duża i zanika w miarę wzrostu miąższości warstwy gleby [Lauzon i in. 2004]. Zmienność wilgotności gleby w krótkich przedziałach czasowych (np. doba) zależy od sumy opadu, czasu trwania i jego intensywności, z kolei w dłuższych okresach duże znaczenie mają częstość występowania opadów oraz czas trwania okresów bezopadowych [Parent i in. 2006]. Zagadnieniem tym w przeszłości zajmowało się na świecie wiele zespołów badawczych, m.in. Albertson i Kiely [2001], Blume i in. [2007], Penna i in. [2013], Li i in. [2013], Wang i in. [2013], Zhu i in. [2014], natomiast w kraju doświadczenia w tej dziedzinie są nieliczne [Chudecki 1971, Święcicki 1981, Żyromski 1990, Treder i Konopacki 1999, Klamkowski 2011, Biniak-Pieróg i in. 2012]. Kluczowymi czynnikami w przenikaniu wody opadowej są warunki wilgotnościowe powierzchniowej warstwy gleby oraz jej stan, tj. zaskorupienie, szorstkość,

zagęszczenie makroporów i spękania. Badania i analizy w tym zakresie prowadzi się zazwyczaj w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem symulatorów opadu. Jednak ze względu na charakter losowy opadów, ich sum i natężeń odtwarzanie tego procesu w sposób kontrolowany jest trudnym zadaniem. Spostrzeżenie to dotyczy zwłaszcza możliwości uzyskiwania rozkładów kropel porównywalnych do otrzymywanych w warunkach naturalnych [Assouline 1997].

Postęp technologiczny pozwolił na zdobywanie informacji o opadach w warunkach rzeczywistych za pomocą nowoczesnych pośrednich metod ich pomiaru. Do takich przyrządów należą disdrometry. Jak podaje Fernández-Raga z zespołem [2011], najliczniej badania z ich wykorzystaniem prowadzi się w USA, kolejno w krajach śródziemnomorskich, a najmniej licznie w krajach centralnej Europy. Przedmiotem pomiaru nie jest objętość opadu, ale jego struktura, tzn. wielkość kropel i prędkość ich opadania. Możliwość pozyskiwania tych informacji sprawia, że wspomniane urządzenia wnoszą nową jakość do badań efektywnego zasilania profilu glebowego w wodę. Pozwalają na ciągłe monitorowanie opadu z bardzo krótkimi krokami czasowymi, co z kolei pozwala w precyzyjny sposób wyodrębniać pojedyncze deszcze, tzw. epizody opadowe, wraz z odpowiadającymi im charakterystykami tj. natężenie, suma opadu i jej zmienność w czasie oraz struktura wielkości kropel. Powiązanie tych informacji z monitorowanymi w sposób ciągły zmianami wilgotności gleby na różnych głębokościach profilu glebowego pozwala na szczegółowe rozpoznawanie mechanizmów odbudowywania retencji glebowej na skutek przychodu wody opadowej do powierzchni. Nowatorskim podejściem jest uwzględnienie struktury wielkości kropel przy ocenie efektywności opadów.

Przesłankę do podjęcia eksperymentu polowego dotyczącego oceny efektywności opadów w procesie zasilania profilu glebowego w wodę w krótkich przedziałach czasowych stanowił zauważalny brak wiedzy na ten temat. Podstawą tej oceny były: monitoring wilgotności gleby lekkiej nieporośniętej na czterech głębokościach: 10, 20, 30 i 40 cm, w krótkich, bo 10-minutowych odstępach czasu z zastosowaniem metody TDR oraz nowoczesne, precyzyjne pomiary opadów atmosferycznych z wykorzystaniem bezstykowego deszczomierza laserowego – disdrometru. Ze względu na czas trwania i specyfikę wyodrębnione pojedyncze zdarzenia opadowe nazwano epizodami. Wybór powierzchni nieporośniętej, zalecanej jako referencyjna zarówno w krajowych, jak i światowych wytycznych [*Guide to Meteorological Instruments and*

Methods of Observation – WMO 2010, Instrukcja dla stacji meteorologicznych 2014], wynikał z faktu, iż w jej przypadku można z dużym prawdopodobieństwem założyć, że zawartość wody w glebie zależy głównie od czynników agrometeorologicznych.

Eksperyment polowy prowadzono w półroczu letnim, tj. od maja do października, w latach 2009–2013 na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Wrocław-Swojec Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (od 2014 r.: Wydziałowego Obserwatorium). Obiekt ten znajduje się w północno-wschodniej części miasta, w dzielnicy Swojczyce, a od „miejskiej wyspy ciepła” oddzielony jest kompleksem parków, stadionów i kanałem Odra–Widawa. Na jego terenie prowadzone są kompleksowe pomiary agro- i hydrometeorologiczne, pozwalające na ocenę tła pogodowego w okresie prowadzenia badań eksperymentalnych. Na rys. 1 zaprezentowano instalację disdrometru oraz schemat pomiaru wilgotności gleby na terenie Obserwatorium. Szczegółowy opis zasady działania powyższej aparatury przedstawiono w rozprawie habilitacyjnej.

a)



b)



Rys. 1. a) instalacja bezstykowego deszczomierza laserowego, b) pomiar wilgotności gleby metodą TDR na terenie Wydziałowego Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii

Główne cele naukowe rozprawy habilitacyjnej

Do głównych celów naukowych przeprowadzonych przeze mnie badań, których wyniki są przedmiotem rozprawy habilitacyjnej, zaliczam:

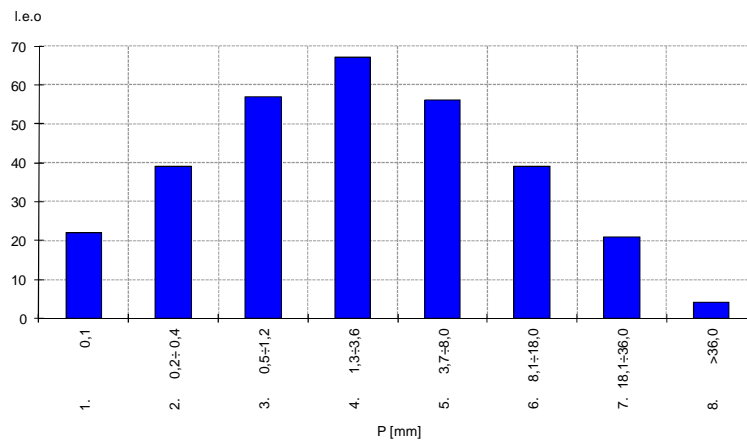
1. ocenę zróżnicowania parametrów epizodów opadowych o różnej wysokości tj. czasu trwania, natężenia, całkowitej liczby kropeł w zależności od miesiąca ich występowania;

2. opracowanie struktury wielkości kropel epizodów opadowych w zróżnicowanych przedziałach ich wysokości i ocena jej zróżnicowania w zależności od miesiąca występowania;
3. określenie udziału kropel o zróżnicowanych średnicach w całkowitej sumie epizodu opadowego z uwzględnieniem jego wysokości i okresu występowania;
4. określenie czynników istotnych dla początku wzrostu wilgotności i osiągnięcia jego maksimum oraz wpływających na wielkości przyrostu wilgotności na różnych głębokościach profilu gleby nieporośniętej, z uwzględnieniem zróżnicowania sum epizodów opadowych.

Ad 1. Ocena zróżnicowania parametrów epizodów opadowych o różnej wysokości tj. czasu trwania, natężenia, całkowitej liczby kropel w zależności od miesiąca ich występowania

Jednoznaczne zdefiniowanie epizodu opadowego ze względu na jego wykorzystanie jest zadaniem trudnym i do dziś, pomimo długoletnich badań w tym zakresie, nie powstała uniwersalna jego definicja. Wskaźniki, jakimi cechują się pojedyncze deszcze, tj. natężenie, czas trwania, wysokość opadu i jego zmienność w czasie, stanowią dane wejściowe w wielu metodach, np. do oceny odpływu wód opadowych do kanalizacji, erozji gleby, intercepcji, wilgotności gleby, infiltracji wody opadowej, czy przy symulacji opadów. Z tego też względu istnieje wiele sposobów wydzielenia epizodów opadowych, stąd w zależności od przyjętego kryterium można otrzymać różne ich liczebności na podstawie tej samej bazy danych. Najpowszechniej stosuje się podejście oparte na koncepcji minimalnej przerwy pomiędzy poszczególnymi zdarzeniami (metoda MIT – ang. *Minimum Interevent Time*), jaka musi zostać osiągnięta lub przekroczona. Alternatywą jest epizod definiowany na potrzeby badań hydrologicznych jako występowanie kolejnych przyległych przedziałów mokrych, które są równe rozdzielczości przyrządu pomiarowego (metoda AWI – ang. *Adjacent Wet Intervals*). Wyniki badań Ignacollo i de Michele [2010] wskazują, że metody MIT i AWI uznać można za równoważne. Przyjmuje się także dodatkowe kryteria, np. minimalną wysokość opadu, minimalny czas trwania opadu w wydzielonym epizodzie, minimalne natężenie na jednostkę czasu czy minimalne natężenie inicjujące epizod lub go kończące [np. Cutrim i in. 2000, Fornis i in. 2005]. Wielu autorów w swoich pracach stosuje kilka kryteriów jednocześnie. Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury stwierdzono jednak brak jednolitości interpretacyjnej.

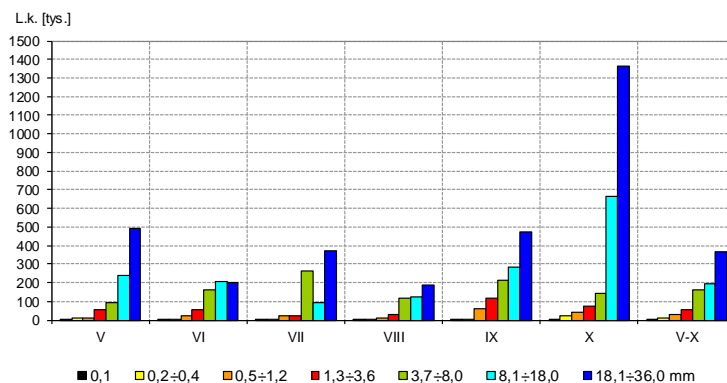
W rozprawie habilitacyjnej przy wydzieleniu epizodów opadowych na podstawie pięcioletniego materiału pomiarowego uzyskiwanego z krokiem czasowym 1 minuta za pomocą disdrometru kierowano się zasadą, że pojedynczy epizod to każdy deszcz oddzielony minimum sześciogodzinną przerwą z opadem wynoszącym 0,0 mm lub do 0,3 mm [Józefaciuk i Józefaciuk 1996]. Łącznie wyodrębniono 306 epizodów opadowych spełniających te kryteria i będących podstawą opracowania klas ich wysokości. Potrzeba ta wynikała z faktu, że zastosowanie istniejących klasyfikacji nie dało zadowalających rezultatów. W efekcie opracowano rozkład częstości epizodów opadowych najbardziej zbliżony do normalnego, który był podstawą przyjęcia ich podziału obejmującego 8 klas wysokości (rys. 2). Na podstawie otrzymanych klas opracowano strukturę epizodów opadowych dla poszczególnych miesięcy półrocza letniego (od maja do października).



Rys. 2. Rozkład częstości sum epizodów opadowych dla półrocza letniego na podstawie lat 2009÷2013;
l.e.o. – liczba epizodów opadowych

Umożliwiło to opracowanie charakterystyk i przeprowadzenie analizy istotności różnic przedziałów wysokości epizodów przy wzięciu pod uwagę wskaźników, tj. średniej liczby kropel $L.k.$, czasu trwania T oraz średniego 10-minutowego natężenia opadu atmosferycznego w czasie trwania epizodów opadowych I .

Analiza całkowitej liczby kropel $L.k.$ w epizodach opadowych wykazała duże ich zróżnicowanie (rys. 3). W całym półroczu letnim obserwowano wzrost średniej liczby kropel wraz ze wzrostem klas wysokości epizodów opadowych. Stwierdzono występowanie zbliżonej ich liczby w przypadku zdarzeń o sumach z przedziałów 3,7–8,0 mm i 8,1–18,0 mm, co odpowiadało 163 000 i 197 000 kropel, a następnie prawie



Rys. 3. Struktura średniej całkowitej liczby kropeł (*L.k.*) w epizodach opadowych w przyjętych klasach ich wysokości

dwukrotnie więcej, bo do 365 000 kropeł w kolejnej klasie ich wysokości, tj. 18,1–36,0 mm. Szczegółowe analizy przeprowadzone dla poszczególnych miesięcy pozwoliły zauważyć pewne podobieństwa zmienności liczby kropeł w maju i wrześniu, kiedy to ich liczba rosła wraz ze wzrostem klasy wysokości opadów – odpowiednio od 2950 i 1103 dla sumy opadu do 0,1 mm do 494 431 i 474 814 w przedziale 18,1–36,0 mm. Zbliżonymi rozkładami liczby kropeł charakteryzowały się także epizody opadowe w czerwcu i sierpniu. W obu przypadkach obserwowano wyraźną różnicę w liczbie kropeł między klasami opadów do 3,6 mm i powyżej. W lipcu z kolei można było wyodrębnić dwie klasy o wyraźnie odmiennej liczbie kropeł: dla sum od 3,7 do 8,0 mm nieco ponad 266 000 kropeł, natomiast z przedziału 18,1–36,0 mm prawie 372 000 kropeł. Przeprowadzone analizy pozwoliły na stwierdzenie, że z wyjątkiem września w przypadku średniej liczby kropeł w większości porównywanych przedziałów wysokości epizodów opadowych w miesiącach półrocza letniego występują istotne statystycznie różnice. Ich brak w czerwcu i sierpniu wykazano w przypadku porównywania klas obejmujących zdarzenia o sumach opadu powyżej 3,6 mm. W pozostałych przypadkach klas ich brak najczęściej obejmował epizody opadowe o wyraźnie niższych sumach i występował nieregularnie.

Analiza średnich czasów trwania epizodów *T* w obrębie opracowanych klas ich wysokości wykazała, że z wyjątkiem czerwca i sierpnia były one najdłuższe dla zdarzeń z przedziału 18,1–36,0 m. Wahwały się od 1087 minut (ok. 18 godzin) we wrześniu do 2170 minut (ok. 36 godzin) w październiku. Największą stabilność tego parametru w półroczu letnim stwierdzono dla zdarzeń o sumach z przedziału 3,7–8,0 mm. Obserwowano wyraźne skracanie się czasów trwania epizodów opadowych z przedziału 8,1–18,0 mm od maja do lipca włącznie, z ok. 1000 do 400 minut, a następnie ich wydłużanie do ok. 900 minut w październiku. Jednocześnie podobnie zmieniała się

średnia liczba kropeł identyfikowana w tych epizodach. Można zatem stwierdzić, że od maja do lipca sumy te generowane były przez zwiększającą się liczbę kropeł o większych średnicach, natomiast od sierpnia do października wzrastał udział mniejszych kropeł. Zdarzenia te miały miejsce przy jednoczesnym wydłużaniu się czasów trwania epizodów, co w efekcie przekładało się na podobne ich sumy. Analiza epizodów pod względem ich czasu trwania w czerwcu, sierpniu i wrześniu w większości przypadków wykazała brak występowania statystycznie istotnych różnic, gdy wziąć pod uwagę przedziały ich wysokości. Ten parametr najbardziej różnicował wyodrębnione klasy epizodów w maju i lipcu.

Największą stabilność średnich 10-minutowych wartości natężeń I (na poziomie 0,1 mm/10 minut) stwierdzono w przypadku epizodów opadowych w wysokości do 0,4 mm. W kolejnych przedziałach ich wysokości największą zmiennością charakteryzował się czerwiec (w zakresie 0,1–1,7 mm/10 minut), a następnie sierpień i lipiec (w zakresie od 0,1 do odpowiednio 1,0 i 0,6 mm/10 minut). Pod względem istotnych statystycznie różnic 10-minutowych natężeń pomiędzy parami klas wysokości epizodów opadowych największym zróżnicowaniem cechował się maj, a kolejno czerwiec. W lipcu i sierpniu – czyli w miesiącach charakteryzujących się występowaniem opadów o stosunkowo krótkich czasach trwania, ale i wyższych sumach oraz jednocześnie najliczniejszym ich występowaniem – stwierdzono stosunkowo nieduże zróżnicowanie pod względem parametru natężenia, bez względu na sumę przychodu opadu atmosferycznego w czasie trwania epizodu opadowego. Świadczy to o największej stabilności tej charakterystyki w odniesieniu do pozostałych miesięcy półrocza letniego.

Ad 2. Opracowanie struktury wielkości kropeł epizodów opadowych w zróżnicowanych przedziałach ich wysokości i ocena jej zróżnicowania w zależności od miesiąca występowania

Struktura opadu definiowana jest jako średnia liczba kropeł w poszczególnych klasach ich wielkości. Ma ona znaczenie w badaniach nad intercepcją roślin, erozją gleb, efektywnością zasilania w wodę profilu glebowego oraz przenikaniem w głąb gleby zanieczyszczeń czy patogenów zgromadzonych na jej powierzchni. Jeszcze do niedawna uzyskanie takich informacji nie było zadaniem łatwym z uwagi na ograniczenia dostępnych metod pomiarowych. Dzięki nowym technologiom powstały nowoczesne urządzenia w postaci różnego rodzaju disdrometrów. Umożliwiają one

uzyskiwanie informacji o rozkładzie wielkości kropeł w bardzo krótkich przedziałach czasowych. Podejmowane, głównie w badaniach zagranicznych, próby opisu rozkładu struktury kropeł w pojedynczych deszczach na ogół podążają w kierunku poszukiwania statystycznych metod ich opisu [np. Ochou i in. 2007, Brawn i Upton 2008, Kamińska i in. 2010]. Są one jednak oparte na małej grupie zdarzeń, zwykle pochodzących z jednej kampanii pomiarowej lub jednego roku, co wynika z dużego nakładu pracy przy ich pozyskiwaniu [np. Fernández-Raga i in. 2009, Smith i in. 2009]. Dysponowanie disdrometrem umożliwiło podjęcie w rozprawie habilitacyjnej analizy struktury kropeł epizodów opadowych w opracowanych przedziałach ich wysokości na podstawie bardzo obszernego, bo pochodzącego z okresu 5 lat, materiału obserwacyjnego. Przeprowadzona ocena zróżnicowania struktury opadu, uwzględniająca różne okresy jego występowania i wysokości, jest nowym kierunkiem nie tylko w Polsce, ale także na świecie.

Na potrzeby analiz wydzielono 9 klas wielkości średnic kropeł (tab. 1) na podstawie 22 identyfikowanych przez wykorzystywany w eksperymencie polowym disdrometr firmy Thies Clima. Zmienność liczby kropeł w poszczególnych klasach ich wielkości analizowano w ciągu półrocza letniego w przyjętych przedziałach wysokości epizodów opadowych. Przeprowadzono analizy rozkładu wielkości kropeł w klasach wysokości opadów w półroczu letnim oraz w poszczególnych jego miesiącach.

Tab. 1. Przyjęte klasy wielkości średnic kropeł (d)

Klasa	Średnica kropeł d [mm]
1	*0,125÷0,5
2	*0,5÷1,0
3	*1,0÷1,5
4	*1,5÷2,0
5	*2,0÷3,0
6	*3,0÷4,0
7	*4,0÷5,0
8	*5,0÷7,0
9	≥ 7

Oznaczenia: * – przedział lewostronnie zamknięty

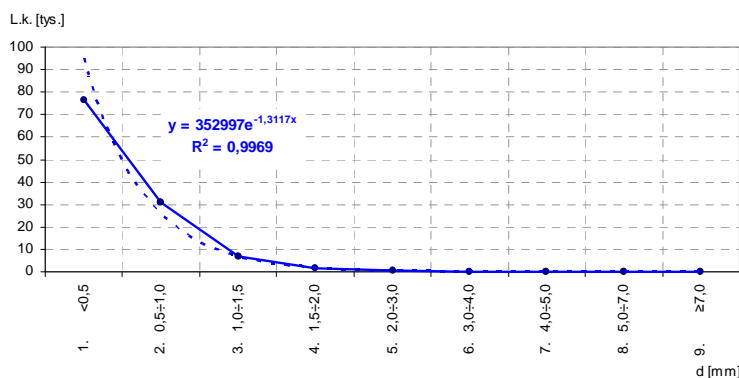
Stwierdzono, że bez względu na klasę wysokości epizodów opadowych w strukturze ich kropeł w większości przypadków dominowały najmniejsze krople, o średnicach do 0,5 mm. Kolejne pod względem liczebności były nieco większe krople, o średnicach z przedziału 0,5–1,0 mm. W epizodach opadowych o sumach śladowych (do 0,1 mm)

udział w strukturze miały jeszcze krople o średnicach 1,0–1,5 mm, podczas gdy w tych o większych sumach (tj. do 8,0 mm) znaczenie miały nieco większe krople, mieszczące się w przedziale średnic 1,5–2,0 mm. Obserwowano także pojawianie się w tym przypadku kropeł nawet do 5,0 mm. Dopiero epizody o sumach powyżej 8,0 mm charakteryzowały się widocznym udziałem większych kropeł, o średnicach 2,0–3,0 mm (zwłaszcza w miesiącach letnich, takich jak lipiec i sierpień) oraz 3,0–4,0 mm (tylko w sierpniu). Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem klasy wysokości epizodów rosła liczba kropeł o większych średnicach, wynoszących 3,0 mm i więcej, a w przypadku epizodów o sumach z zakresu 8,0–36,0 mm, zwłaszcza w okresie od czerwca do sierpnia, pojawiały się bardzo duże krople, powyżej 5,0 mm. W lipcu osiągały one wielkość nawet 7,0 mm. Wraz ze wzrostem klasy wysokości epizodów opadowych wyraźnie rósł rząd wielkości liczby kropeł. Analiza porównawcza przyrostu liczby kropeł w klasach średnic w kolejnych przedziałach wysokości epizodów opadowych pozwala na stwierdzenie, że był on największy w przypadku kropeł o najmniejszych średnicach, średnio wzrost był pięciokrotny. Dla większych kropeł zaobserwowano, że z klasy na klasę ich liczba rosła trzy-, czterokrotnie. Przykładowo liczba kropeł o średnicy do 0,5 mm w przypadku zdarzeń o śladowych sumach nie przekraczała 1500, a tych o sumach z przedziału 0,5–1,2 mm – 50 000, natomiast w epizodach o wysokich sumach (w przedziale od 18,1 do 36,0 mm) liczba kropeł w tej klasie średnio wynosiła ponad 1 000 000.

Z wyjątkiem opadów śladowych największy procentowy udział w całkowitej strukturze miały krople najmniejsze, o średnicach do 0,5 mm. Drugi w kolejności był udział kropeł o średnicach mieszczących się o klasę wyżej (0,5–1,0 mm), przy czym bez względu na klasę opadu jego zmienność w półroczu letnim miała w większości przypadków charakter lustrzanego odbicia udziału kropeł najmniejszych. Warte uwagi jest to, że w epizodach o sumach w zakresie 0,2–8,0 mm niemal identycznym charakterem przebiegu zmienności procentowego udziału charakteryzowały się krople z przedziału 1,0–1,5 mm, jednak ich udział w strukturze był wyraźnie niższy w porównaniu do tych o mniejszych średnicach. Najbardziej stabilną strukturą w ciągu półrocza letniego wyróżniały się epizody opadowe o wysokich sumach, w zakresie 8,1–36,0 mm. Pomimo wyraźnej zmiany rzędu wielkości liczby kropeł o średnicach do 1,0 mm nie stwierdzono istotnej zmiany w ich procentowym udziale w strukturze epizodów opadowych w półroczu letnim. Widoczna zmiana była obserwowana dla

kropel o większych średnicach, tj. 1,0–1,5 mm i 1,5–2,0 mm – przeważnie nastąpił dwukrotny wzrost, a w kilku przypadkach nawet cztero-, pięciokrotny.

Analiza rozkładów struktury liczby kropel w przedziałach wysokości epizodów opadowych w półroczu letnim każdorazowo przyjmowała charakter funkcji potęgowej w klasach o wielkości średnic do 5,0 mm. O bardzo dobrym dopasowaniu świadczyły otrzymane wartości współczynników determinacji R^2 , kształtujące się zawsze na poziomie 0,9777. Analizy struktury kropel – zarówno w wariancie obejmującym poszczególne przedziały wysokości epizodów opadowych w półroczu letnim oraz bez ich uwzględniania, a także w obrębie poszczególnych miesięcy – wykazały najlepsze dopasowanie dla funkcji typu wykładniczego. Na rys. 4 przedstawiono przykładowe dopasowanie krzywej teoretycznej do wartości rzeczywistych bez uwzględniania klas wysokości epizodów opadowych.



Rys. 4. Liczba kropel ($L.k.$) w przyjętych klasach ich średnic (d) w półroczu letnim

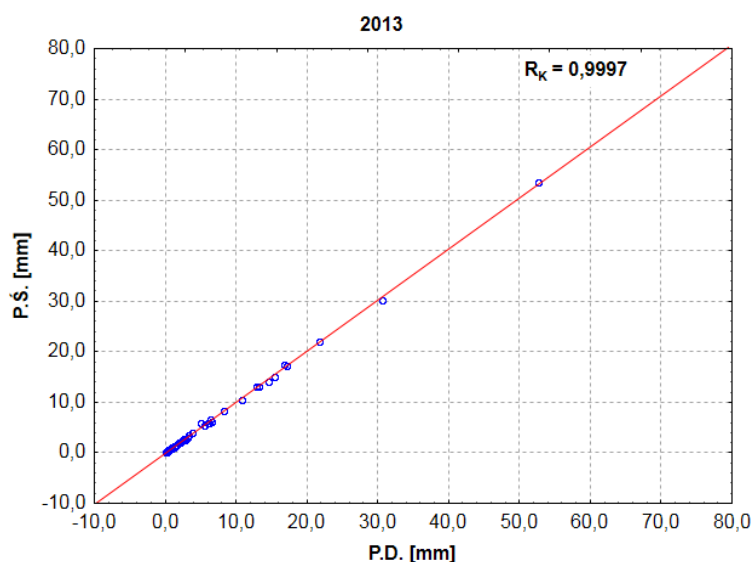
W toku analiz wykazano, że pomimo bardzo wysokich wartości współczynników determinacji R^2 , bo każdorazowo na poziomie 0,9900, należy się liczyć z możliwością ich przeszacowywania, co dotyczy małych kropel (w tym wypadku do 0,5 mm), oraz niedoszacowania tych nieco większych (o średnicach do 1,5 mm). Analiza różnic w strukturze epizodów opadowych w obrębie poszczególnych przedziałów ich wysokości i klas średnic kropel wykazała, że w większości przypadków są one istotne statystycznie.

Ad 3. Określenie udziału kropel o zróżnicowanych średnicach w całkowitej sumie epizodu opadowego z uwzględnieniem jego wysokości i okresu występowania

Wysokość opadu jest funkcją liczebności kropel i ich objętości. Szczegółowe rozpoznanie struktury wielkości kropel pozwoliło na określenie ilości wody deszczowej zawartej w kroplach w przyjętych klasach średnic, z uwzględnieniem przedziałów wysokości epizodów opadów i okresów ich występowania. Wiedza na ten temat jest

cenna i użyteczna, gdyż pozwala na powiązanie informacji o sumie opadu z informacją o jego strukturze, a przez to z ilością wody deszczowej przenoszoną do powierzchni gleby z kroplami o różnych średnicach w zależności od okresu występowania opadu. Takie ujęcie struktury jest nowatorskie i wyjątkowo rzadko podejmowane w badaniach [np. Szewrański 2009], co wynika głównie z ograniczonych możliwości pozyskiwania informacji o strukturze opadów atmosferycznych i pracochłonności ich opracowywania.

Na potrzeby prowadzonych analiz przyjęto, że kropla ma kształt kuli. Dla każdej z 22 klas wielkości identyfikowanych przez disdrometr firmy Thies Clima przyjęto średnią wartość średnicy w danym przedziale. Na jej podstawie obliczano objętość pojedynczych kropeł zgodnie ze wzorem na objętość kuli i dzielono przez płaszczyznę wiązki światła, w obrębie której odbywa się pomiar wysokości opadu, co pozwoliło otrzymać sumę opadu w milimetrach. Opierając się na informacjach o liczbie wszystkich kropeł w każdej z 22 klas zidentyfikowanych w epizodzie opadowym, obliczono ich udział w całkowitej jego sumie. Następnie agregowano otrzymane wartości do 9 przyjętych w pracy klas wielkości średnic kropeł. Zastosowana procedura dla ponad 300 wyodrębnionych na podstawie materiału źródłowego epizodów opadowych była właściwa. Przeprowadzone analizy ich sum obliczanych na podstawie objętości kropeł o kształcie kuli pozwoliły na stwierdzenie, że są one niemal identyczne jak sumy wyznaczone za pomocą algorytmów stosowanych przez producenta urządzenia.

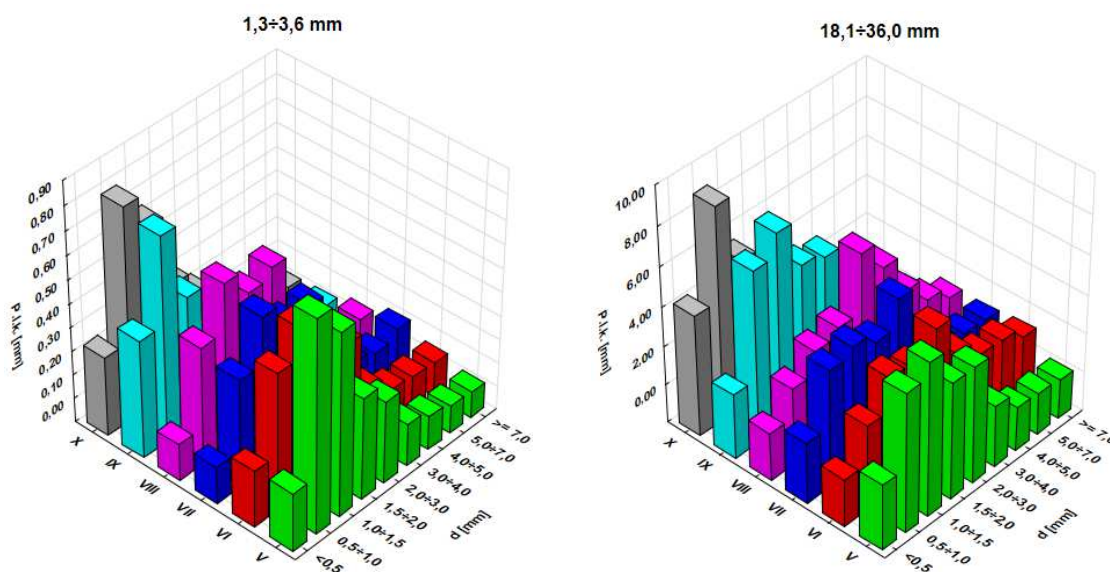


Rys. 5. Porównanie sum epizodów opadowych (P) pomierzonych bezstykowym deszczomierzem laserowym ($P.D.$) i obliczonych na podstawie średnic kropeł ($P.Ś.$) w półroczu letnim w 2013 r.

Obserwowaną zgodność potwierdzają bardzo wysokie wartości współczynników korelacji R_K , bo każdorazowo na poziomie 0,9900. Na rys. 5 pokazano przykładowy wynik porównania sum epizodów opadowych wyznaczonych obiema metodami dla 2013 r.

Analizy wykazały, że bez względu na przedział wysokości epizodów opadowych stosunkowo wysoki udział w strukturze kropeł tych o najmniejszych średnicach (do 0,5 mm) nie przekładał się na równie wysoki ich udział w całkowitej sumie epizodu opadowego. Porównywalne przełożenie występowało każdorazowo w przypadku kropeł o średnicach z przedziału 0,5–1,0 mm. Bez względu na przedział wysokości epizodów krople o średnicach z klas 0,5–1,0 mm oraz 1,0–1,5 mm wносиły za każdym razem ponad 20% do sumy opadu, a przy wyższych sumach nawet po 36%. Zmienność średniego udziału kropeł w przyjętych klasach średnic w całkowitych sumach epizodów opadowych w opracowanych przedziałach ich wysokości przyjmowała charakter funkcji wykładniczej, przy czym najlepsze dopasowanie krzywej teoretycznej otrzymano dla kropeł o średnicach 0,5–1,0 mm i 1,0–1,5 mm przy wartości współczynnika determinacji R^2 na poziomie 0,9900. Wraz ze wzrostem średnicy kropeł jakość dopasowania malała.

Stwierdzono, że ilość wody, jaką do sumy opadu wносиły poszczególne klasy kropeł, w przypadku zdarzeń o sumach do 3,6 mm nie przekraczała 1,0 mm. Dopiero przy większych sumach wraz ze wzrostem przedziału wysokości rosły udziały



Rys. 6. Porównanie średniego udziału (*P.l.k.*) w milimetrach poszczególnych klas wielkości kropeł (*d*) w sumie epizodów opadowych w przedziałach 1,3–3,6 i 18,1–36,0 mm od maja do października

poszczególnych klas, przy czym zazwyczaj największą ilość wody wносиły krople o średnicach z zakresu 0,5–3,0 mm. Dla epizodów opadowych z przedziału 3,7–8,0 mm wkład każdej z klas nie przekraczał 2,0 mm. Wraz ze wzrostem wysokości epizodów opadowych rosła ilość wody, jaką wносиły poszczególne klasy kropeł do całkowitych ich sum, lecz nie przekraczała ona 5,0 mm w przypadku tych od 8,1 do 18,0 mm i 9,0 mm dla tych o klasę wyższych. Dla przykładu na rys. 6. przedstawiono średni udział poszczególnych klas wielkości kropeł w sumach epizodów opadowych w kolejnych miesiącach półrocza letniego.

Wyniki przeprowadzonych na tym etapie analiz mogą posłużyć do doprecyzowania modeli bilansu wodnego gleby o różnym stopniu skomplikowania. Określenie wielkości kropeł dominującej w opadzie w powiązaniu z temperaturą powierzchni czynnej i stopniem jej zaskorupienia pozwoliło uzyskać odpowiedź na pytania dotyczące skuteczności opadu w zasilaniu profilu glebowego w wodę. Małe krople w kontakcie z rozgrzaną powierzchnią gleby będą ulegać odparowywaniu, z kolei większe krople przy intensywnych opadach, zwłaszcza w typowo letnich miesiącach, tj. od czerwca do sierpnia, w kontakcie z glebą będą się przyczyniać do jej zasklepienia i w znacznym stopniu ulegną rozbiciu na jej powierzchni. W efekcie spowoduje to spływ powierzchniowy oraz znaczne ograniczenie możliwości zasilenia profilu glebowego w wodę opadową.

Ad 4. Określenie czynników istotnych dla początku wzrostu wilgotności i osiągnięcia jego maksimum oraz wpływających na wielkości przyrostu wilgotności na różnych głębokościach profilu gleby nieporośniętej, z uwzględnieniem zróżnicowania sum epizodów opadowych

Zagadnienie wilgotności i zasobów wodnych gleby podejmowane jest w literaturze naukowej od lat, niemniej brak dostępu do nowoczesnych metod pomiarowych nie pozwalał w przeszłości na szczegółowe rozpoznawanie tego procesu w zakresie zaprezentowanym w rozprawie habilitacyjnej. Podstawą oceny efektywności opadów atmosferycznych było powiązanie prowadzonych w warunkach polowych pomiarów charakterystyk opadów atmosferycznych (tj. ich sum, natężenia, czasu trwania, struktury kropeł) za pomocą disdrometru i pomiarów wilgotności gleby z zastosowaniem nowoczesnej nieniszczącej metody TDR, z krokiem czasowym 10 minut. Wcześniej badania w tym zakresie najczęściej prowadzono w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem symulatorów opadu [np. Sandin 2012, Darvishan

i in. 2015], co ograniczało możliwości otrzymania rozkładów kropeł porównywalnych do występujących w warunkach naturalnych.

Analizy prezentowane w pracy obejmują cztery głębokości profilu gleby lekkiej nieporośniętej: 10, 20, 30 i 40 cm. Na większych głębokościach obserwowano zaburzenia powodowane podsiąkiem kapilarnym wody gruntowej. Przyjęte założenia, szczegółowo omówione w rozprawie habilitacyjnej, pozwoliły na uzyskanie informacji o czasie T_p , po którym obserwowano początek wzrostu wilgotności gleby na każdej z czterech analizowanych głębokości, odpowiadającej mu sumie opadu P_p , średniej 10-minutowej wartości natężenia I_p oraz całkowitej liczbie kropeł docierającej do powierzchni w tym czasie $L.k.p$. Przyjęto, że ruch wody rozpoczynał się, gdy średnia arytmetyczna z trzech kolejnych 10-minutowych zmian wilgotności ΔR na każdej z głębokości wynosiła po raz pierwszy o minimum 0,2 mm więcej w stosunku do stanu początkowego, notowanego w chwili rozpoczęcia opadu. W kolejnym etapie zidentyfikowano maksymalne wartości wzrostu wilgotności gleby ΔR_{Max} na każdej z głębokości w stosunku do wartości notowanej w chwili wystąpienia opadu R_p . Za maksimum przyjmowano pierwszą najwyższą wartość odchylenia z trzech kolejnych 10-minutowych pomiarów. Pozwoliło to na określenie dla tak zidentyfikowanych maksimumów czasu T_{Max} i sumy P_{Max} , średnich 10-minutowych wartości natężenia I_{Max} oraz całkowitej liczby kropeł $L.k.Max$, po których one występowały. Zmienność tych charakterystyk analizowano, uwzględniając głębokości gleby i przyjęte klasy epizodów opadowych.

W ramach badań analizowano także związki pomiędzy wybranymi charakterystykami epizodów opadowych a czasami występowania początku zmian wilgotności gleby i jego maksimum. Pierwszy etap obejmował wyznaczenie korelacji pomiędzy czasem T_p i T_{Max} a opracowanymi charakterystykami opadu, tj. odpowiednio P_p , I_p , $L.k.p$, R_p i P_{Max} , I_{Max} , $L.k.Max$, R_p , oraz korelacji pomiędzy wskaźnikiem ΔR_{Max} a T_{Max} , P_{Max} , I_{Max} , $L.k.Max$ i R_p . Dodatkowo wyznaczono korelacje pomiędzy liczbą kropeł w każdej z 9 klas wielkości ich średnic $L.k.p1-9$ i $L.k.Max1-9$ a ilością wody, jaką poszczególne klasy wnoszą do sum opadu P_p i P_{Max} . W drugim etapie, do opracowania ostatecznego zbioru zmiennych niezależnych opisujących T_p , T_{Max} i ΔR_{Max} , posłużono się analizą regresji wielokrotnej. W tym wariancie zamiast całkowitej liczby kropeł $L.k.p$ i $L.k.Max$ przyjęto liczbę kropeł, która miała największy udział w sumie opadu P_p i P_{Max} (odpowiednio $L.k.dp$ i $L.k.dMax$).

Analizy charakterystyk warunkujących początek wzrostu wilgotności gleby na głębokościach od 10 do 40 cm wykazały wyraźne ich zróżnicowanie. Spostrzeżenie to dotyczy zarówno czasów, sum opadów, 10-minutowych wartości natężeń, jak i całkowitej liczby kropel. Obserwowano wyraźne skracanie się czasu T_P wraz ze wzrostem przedziałów wysokości epizodów opadowych na głębokościach do 30 cm. Suma opadu P_P , po której następowało rozpoczęcie wzrostu wilgotności, zdecydowanie rosła wraz ze wzrostem głębokości, poczynając od 20 cm. W przypadku analiz tych obu charakterystyk dla maksymalnego wzrostu wilgotności w klasach epizodów opadowych stwierdzono wydłużanie się czasu T_{Max} , co jednak nie przekładało się na wzrost sumy opadu P_{Max} . Największy wzrost liczby kropel $L.k._{Max}$ w stosunku do $L.k._P$ stwierdzono na głębokościach 10 i 20 cm w każdym z analizowanych przedziałów wysokości epizodów opadowych. Należy zaznaczyć, że największą zmianę $L.k._{Max}$ obserwowano w przypadku epizodów o sumach z przedziału 18,1–36,0 mm. Stwierdzono, że dla większych głębokości i zwłaszcza przy wyższych sumach opadów liczba kropel do czasu wystąpienia początku zmian wilgotności $L.k._P$ i jego maksimum $L.k._{Max}$ była stabilna. Wynikało to z faktu, że w większości przypadków P_P i P_{Max} przyjmowały bardzo zbliżone wartości dla przedziałów obejmujących sumy do 18,0 mm. Przyczyna była następująca: epizod opadowy zakończył się i ruch wody w warstwie przypowierzchniowej gleby też ustał, jednak z powodu inercji profilu glebowego na większych głębokościach jeszcze się on odbywał. W przypadku zdarzeń o sumach do 3,6 mm pomimo wzrostu liczby kropel często nie przekładał się on na wzrost sumy opadów, z uwagi na to, że w tej klasie epizodów najczęściej identyfikowano krople o średnicach do 0,5 mm, co w zasadzie nie było równoznaczne z przyrostem sumy epizodu opadowego. Otrzymane rezultaty wykazały, że za efektywny należy uznać opad w wysokości co najmniej 10,0 mm dla głębokości 20 cm i większych, natomiast dla 10 cm wystarczy opad atmosferyczny o sumie 3,5 mm. Średnie wartości 10-minutowych natężeń do wystąpienia maksymalnych przyrostów wilgotności gleby były o połowę niższe w stosunku do I_P .

Opracowane zależności korelacyjne wskazały na istotność relacji pomiędzy czasem, po którym następował początek wzrostu wilgotności gleby T_P oraz jej maksymalny przyrost T_{Max} na skutek przychodu opadu, a jego 10-minutowym natężeniem, odpowiednio I_P i I_{Max} . Analizowane czasy wyraźnie częściej istotnie korelowały z liczbą i udziałem (w milimetrach) w całkowitej sumie epizodu kropel w klasach ich średnic do 1,5 mm. Stwierdzono, że struktura kropel nie ma w zasadzie większego znaczenia dla

maksymalnego przyrostu wilgotności ΔR_{Max} , z wyjątkiem kropel o średnicach powyżej 5,0 mm. W przypadku występowania opadów o niskich sumach istotne znaczenie miały same sumy opadu, z kolei dla zdarzeń powyżej 18,0 mm – wartości 10-minutowych natężeń.

Analiza regresji wykazała, że możliwe jest wskazanie grupy zmiennych niezależnych istotnie opisujących T_P , T_{Max} oraz ΔR_{Max} w zróżnicowanych klasach wysokości epizodów opadowych. W przypadku czasów zmiennymi wnoszącymi najwięcej informacji do otrzymanych równań były wartości I_{Max} , co miało miejsce w zdecydowanej większości w klasach opadów o sumach do 18,0 mm. W przypadku epizodów o największych analizowanych sumach (od 18,1 do 36,0 mm) otrzymane wyniki wskazywały na liczbę kropel $L.k.d_P$ i $L.k.d_{Max}$. Początkowy stan uwilgotnienia gleby nie miał statystycznie istotnego znaczenia właściwie w obu przypadkach. Analiza regresji przeprowadzona dla ΔR_{Max} dała odmienne rezultaty. Dowiodła ona, że w klasach opadów do 8,0 mm i dla głębokości 10 i 20 cm początkowy stan uwilgotnienia R_P jest często wskazywaną zmienną statystycznie istotnie opisującą ten parametr, aczkolwiek miała ona największy wkład w wyjaśnianiu ΔR_{Max} jedynie w dwóch klasach epizodów dla mniejszej głębokości. W przypadku zdarzeń o sumach powyżej 8,0 mm i na większych głębokościach najwięcej informacji wnoszą natężenia, natomiast w klasach epizodów o niższych sumach, w zakresie 3,7–8,0 mm, bez względu na głębokość są to sumy opadów.

Podsumowanie

Przeprowadzone w ramach rozprawy habilitacyjnej analizy i oceny pozwoliły w znacznym stopniu uzupełnić wiedzę dotyczącą interpretacji opadów atmosferycznych. Jeszcze do niedawna czynnikiem ograniczającym możliwości badawcze, a tym samym interpretacyjne, były koszty związane z zakupem nowoczesnej aparatury pomiarowej, tj. disdrometru. Jednak coraz większe możliwości dostępu do tej aparatury znacząco przyczyniają się do rozwoju badań związanych z rodzajami, strukturą i wielkością opadów atmosferycznych, co dostarcza nowej wiedzy nie tylko w agrometeorologii. Przedstawione wyniki bazują na obszernym materiale obserwacyjnym pochodzącym z pięcioletniego okresu badań eksperymentalnych, przez co stanowią istotny wkład w wiedzę naukową w tej dziedzinie. Informacje o opadzie atmosferycznym otrzymane za pomocą nowoczesnego bezstykowego deszczomierza laserowego umożliwiły m.in. szczegółowe rozpoznanie jego elementów dotychczas niebadanych w Polsce, takich jak struktura kropeł i jej powiązanie z dynamiką przemieszczania się wody opadowej w profilu glebowym. Jest to jedno z nowatorskich rozwiązań zaprezentowanych w monografii. Pozwoliło to również na wyjaśnienie procesów zachodzących w podłożu oraz poznanie efektywności opadów w poszczególnych miesiącach półrocza letniego.

Do największych osiągnięć rozprawy habilitacyjnej zaliczam:

1. opracowanie autorskiej klasyfikacji epizodów opadowych możliwej do zastosowania dla półrocza letniego;
2. wyznaczenie nowatorskich w skali kraju zakresów podstawowych charakterystyk epizodów opadowych, tj. ich średnich czasów trwania, 10-minutowych natężeń i – co stanowi istotne *novum* – liczby kropeł, przy uwzględnieniu zróżnicowania ich przedziałów wysokości i okresów występowania;
3. opracowanie struktury wielkości kropeł w epizodach opadowych, uwzględniającej przedziały ich wysokości i okresy występowania (osiągnięcie to pozwoliło na wyznaczenie nowego kierunku badań w Polsce, ale jest także propozycją dla badań prowadzonych poza jej granicami);
4. określenie ilości wody deszczowej zawartej w kroplach w zróżnicowanych klasach wielkości ich średnic, z uwzględnieniem przedziałów wysokości

epizodów opadowych i okresów ich występowania (takie ujęcie struktury do tej pory nie było prezentowane w literaturze tematu);

5. wyznaczenie czasów, sum opadów, średnich natężeń i liczby kropel, po których następuje wzrost wilgotności w glebie lekkiej na skutek przychodu wody opadowej przy uwzględnieniu zróżnicowania warstw gleby i przedziałów wysokości epizodów opadowych;
6. wyznaczenie maksymalnych przyrostów wilgotności gleby na skutek przychodu wody opadowej i określenie uwarunkowań ich występowania uwzględniających przedziały wysokości epizodów opadowych;
7. określenie sum opadów atmosferycznych, jakie należy uznać za efektywne przy uwzględnieniu głębokości w profilu gleby lekkiej;
8. wskazanie zależności pomiędzy czasami początku wzrostu wilgotności gleby i osiągnięcia jego maksimum, jak również jego wielkością, a analizowanymi charakterystykami opadu, uwzględniającymi przedziały jego wysokości.

Wyniki przeprowadzonych analiz nieopracowywanych dotąd charakterystyk pojedynczych deszczy, tj. struktury kropel w powiązaniu z ich wysokością, oraz sprecyzowanie wartości charakterystyk opadów z punktu widzenia ich efektywności w zasilaniu gleby lekkiej nieporośniętej w wodę posłużyć mogą do doprecyzowywania modeli bilansu wodnego gleby o różnym stopniu złożoności. Powiązanie struktury z sumą opadu pozwala na ich wykorzystanie jako analogu do interpretacji materiału historycznego. Wiedza ta pozwoli również na uzupełnienie o jeszcze jeden wskaźnik modeli zmian klimatu.

Literatura

- Albertson J.D., Kiely G. 2001. *On the structure of soil moisture time series in the context of land surface models*. Journal of Hydrology 243, 101–119.
- Assouline S., El Idrissi A., Persoons E. 1997. *Modelling the physical characteristics of simulated rainfall: a comparison with natural rainfall*. Journal of Hydrology 196, 336–347.
- Biniak-Pieróg M., Żyromski A., Baryła A. 2012. *Ocena efektywności opadów atmosferycznych w kształtowaniu zasobów wody w glebie brunatnej nieporośniętej*. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie t. 12, z. 4 (40), 45–58.
- Biniak-Pieróg M., Biel G., Szulczewski W., Żyromski A. 2015. *Evaluation of methods of comparative analysis of sums of atmospheric precipitation measured with the classical method and with a contactless laser rain gauge*. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Land Reclamation 47 (4), 371–382.
- Blume T., Zehe E., Bronstert A. 2007. *Use of soil moisture dynamics and patterns for the investigation of runoff generation processes with emphasis on preferential flow*. Hydrology and Earth System Sciences Discussions 4, 2587–2624.
- Brawn D., Upton G. 2008. *Estimation of an atmospheric gamma drop size distribution using disdrometer data*. Atmospheric Research 87, 66–79.

- Chudecki Z., Duda L., Koźmiński Cz. 1971. *Wpływ wielkości opadów atmosferycznych na zmianę uwilgotnienia gleby lekkiej na terenie RZD Lipki*. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Rolniczej w Szczecinie 37, 47–68.
- Cutrim E.M.C., Martin D.W., Butzow D.G., Silva I.M., Yulaeva E. 2000. *Pilot analysis of hourly rainfall in central and eastern Amazonia*. Journal of Climate 13, 1326–1334.
- Darvishan A.K., Banasik K., Sadeghi S.H., Gholami L., Hejduk L. 2015. *Effects of rain intensity and initial soil moisture on hydrological responses in laboratory conditions*. International Agrophysics 29, 165–173.
- Fernández-Raga M., Castro A., Palencia C., Calvo A.I., Fraile R. 2009. *Rain events on 22 October 2006 in León (Spain): Drop size spectra*. Atmospheric Research 93, 619–635.
- Fernández-Raga M., Palencia C., Tomas C., Calvo I.A., Castro A., Fraile R. 2011. *Rain research with disdrometers: a bibliometric review*. Atmospheric Measurement Techniques Discussions 4, 6041–6068.
- Fornis R.L., Vermeulen H.R., Niewenhuis J.D. 2005. *Kinetic energy-rainfall intensity relationship for central Cebu, Philippines for soil erosion studies*. Journal of Hydrology 300, 20–32.
- Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. 7th edition, updated 2010, WMO – No. 8, 2010, Geneva.
- Ignaccolo M., De Michele C. 2010. *A point based Eulerian definition of rain event based on statistical properties of inter drop time intervals: An application to Chilbolton data*. Advances in Water Resources 33, 933–941.
- Instrukcja dla stacji meteorologicznych*. Red. K. Rózdzyński. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – PIB, 2014, Warszawa.
- Józefaciuk A., Józefaciuk C. 1996. *Mechanizm i wskazówki metodyczne. Badania procesów erozji*. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 1–148.
- Kamińska J., Machowczyk A., Szewrański S. 2010. *Zmienność parametrów rozkładu gamma wielkości kropeł deszczu naturalnego dla różnych intensywności opadu*. Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie t. 10 z. 4 (32), 95–102.
- Klamkowski K., Treder W., Tryngiel-Gać A., Wójcik K. 2011. *Wpływ ilości i intensywności opadów na zmiany wilgotności gleby w sadzie jabłoniowym*. Infrastruktura i Ekologia Obszarów Wiejskich 5, 115–126.
- Malicki M. 1980. *Przegląd metod pomiaru wilgotności gleb i ocena ich przydatności w badaniach polowych*. Problemy Agrofizyki 31, Ossolineum, 1–51.
- Lauzon N., Anctil F., Petrinovic J., 2004. *Characterization of soil moisture conditions at temporal scales from few days to annual*. Hydrological Processes 18, 3235–3254.
- Li X.Y., Zhang S.Y., Peng H.Y., Hu X., Ma Y.J. 2013. *Soil water and temperature dynamics in shrub-encroached grasslands and climatic implications: Results from Inner Mongolia steppe ecosystem of north China*. Agricultural and Forest Meteorology 171–172, 20–30.
- Ochou A.D., Nzeukou A., Sauvageot H. 2007. *Parametrization of drop size distribution with rain rate*. Atmospheric Research 84, 58–66.
- Parent A.C., Anctil F., Parent L.E. 2006. *Characterization of temporal variability in near-surface soil moisture at scales from 1 h to 2 weeks*. Journal of Hydrology 325, 56–66.
- Penna D., Brocca L., Borga M., Dalla Fontana G. 2013. *Soil moisture temporal stability at different depths on two alpine hillslopes during wet and dry periods*. Journal of Hydrology 477, 55–71.
- Sandin M. 2012. *Effects of simulated rainfall intensity on water flow through soil into two tillage systems*. Master's Thesis in Soil Science. Swedish University of Agricultural Sciences, 1–46.
- Smith J.A., Hui E., Steiner M., Baeck M.L., Krajewski W.F., Ntelekos A.A. 2009. *Variability of rainfall rate and raindrop size distributions in heavy rain*. Water Resources Research 45, 1–12.
- Szewrański S. 2009. *Rozbryzg jako forma erozji gleb lessowych*. Monografie LXXVIII, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 1–138.
- Święcicki Cz. 1981. *Gleboznawstwo melioracyjne*. PWN, Warszawa, 218–228.
- Treder W., Konopacki P. 1999. *Impact of quantity and intensity of rainfall on soil water content in an orchard located in the central part of Poland*. Journal of Water Development 3, 47–58.
- Wang S., Fu B., Gao G., Liu Y., Zhou J. 2013. *Responses of soil moisture in different land cover types to rainfall events in a re-vegetation catchment of the Loess Plateau, China*. Catena 101, 122–128.
- Zhu Q., Nie X., Zhou X., Liao K., Li H. 2014. *Soil moisture response to rainfall at different topographic positions along a mixed land-use hillslope*. Catena 119, 61–70.
- Żyromski A. 1990. *Zmiany użytecznych zasobów wody w glebie pod trawnikiem na tle wybranych czynników meteorologicznych*. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu 195, Melioracja XXXVIII, 97–104.

3. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Pracę naukowo-badawczą podjęłam w chwili rozpoczęcia studiów doktoranckich w 2002 r. Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora jej tematyka dotyczyła głównie zasobów wodnych gleby w półroczu zimowym, ich zmienności i możliwości ich prognozowania. Zajmowałam się też tematyką wieloletniej zmienności wybranych elementów agrometeorologicznych. Prace te zostały podsumowane 9 publikacjami (zał. 3, tab. 2; tab. 3; tab. 7, poz. 1) oraz opublikowaniem pracy doktorskiej w formie monografii (zał. 3, tab. 5, poz. 1). Po osiągnięciu stopnia doktora kontynuowałam eksperymenty polowe obejmujące badania związane z gospodarką wodną gleby z uwagi na możliwość dostępu do nowoczesnej aparatury pomiarowej, pozwalającej na ciągły monitoring wilgotności gleby i opadów atmosferycznych. Zakres podejmowanych przeze mnie badań i zagadnień rozszerzał się ze względu na nawiązanie współpracy z innymi jednostkami naukowymi oraz na realizację grantu badawczego, którego byłam głównym wykonawcą.

Moją działalność naukowo-badawczą w okresie po uzyskaniu stopnia doktora można pogrupować w następujących sześciu działach tematycznych:

1. uwarunkowania gospodarowania wodą w glebie;
2. wpływ okresów posusznych i ich uwarunkowań na plonowanie roślin;
3. modelowanie ewapotranspiracji i wielkości plonowania wybranych roślin energetycznych;
4. uwarunkowania wzrostu sosny zwyczajnej;
5. ocena zmienności wybranych elementów meteorologicznych w zróżnicowanych przedziałach czasowych;
6. doskonalenie metod pomiarowych wybranych elementów agrometeorologicznych.

Ad 1. Uwarunkowania gospodarowania wodą w glebie

Wilgotność gleby odgrywa istotną rolę w obiegu wody w systemie: powierzchnia Ziemi – atmosfera – rośliny. Nie tylko jest ona niezbędna do zapewnienia odpowiednich warunków dla życia biologicznego, ale też warunkuje przebieg wielu ważnych procesów glebowych (co umożliwia prawidłowy wzrost i rozwój roślin) oraz wielkość ich plonowania. Informacje na temat zasobów wodnych gleby można uzyskiwać, stosując różne metody pomiarowe lub w sposób pośredni. Istnieje silna współzależność

między ilością a rozkładem opadów atmosferycznych, temperaturą powietrza, stanami wody gruntowej i zawartością wilgoci w glebie. Szczególnie ważne jest uwzględnienie relacji zachodzących w krótkich (np. dobowych) okresach między podstawowymi procesami decydującymi o rozkładzie wilgotności w profilu.

W tym kontekście przy współpracy z Katedrą Matematyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu prowadzono badania i analizy dotyczące możliwości modelowania zasobów wodnych gleby na przykładzie dwóch powierzchni przyjmowanych w agrometeorologii jako referencyjne: nieporośniętej oraz pokrytej trawą. Modelowanie polegało na określeniu zmian wilgotności w profilu glebowym na podstawie wyników pomiarów opadów atmosferycznych, wielkości parowania, stanów wód gruntowych i uwilgotnienia gleby, prowadzonych w warunkach polowych na terenie Obserwatorium Agro- i Hydrometeorologii Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Rozpatrywano modele przepływu wody, stosując równanie dyfuzji i/lub uogólnione równanie Richardsa, a także prezentowano różne podejście do opisu parametrów funkcyjnych determinujących przepływ wody w ośrodku porowatym. Wyniki zaprezentowano w pracach: **zał. 3, tab. 4, poz. 5, 6, 8, 10 oraz tab. 5, poz. 2**. Rezultaty otrzymane w oparciu o doświadczenia polowe oraz przeprowadzone symulacje pozwalające wyznaczyć wartości teoretyczne były w znacznym stopniu zadowalające. Potwierdziły one możliwość oceny wilgotności gleby i weryfikację wartości pomierzonych. Analizy porównawcze stosowanych modeli wykazały, że przy opisie parametrów funkcyjnych charakteryzujących przepływ wody w ośrodku porowatym metodą zdecydowanie prostszą i dającą lepsze rezultaty jest poszukiwanie funkcji w pewnej z góry zdefiniowanej klasie. Próby opisu tych funkcji przez krzywe, na które nie nakładano *a priori* żadnych szczególnych ograniczeń, także dały poprawne wyniki, były one jednak ilościowo słabsze. Stosowanie metod bardzo ogólnych w przypadku funkcji pF i przewodności hydraulicznej jest trudne z uwagi na ich dużą zmienność i pewne konieczne do uwzględnienia warunki, jakie muszą dodatkowo spełniać. Otrzymane wyniki analiz wskazały w przypadku większych głębokości gleby na rozbieżności pomiędzy wartościami wilgotności pomierzonych i obliczonych bez względu na rodzaj powierzchni. Jako ich przyczynę sugerowano nierozpoznany przepływ horyzontalny na terenie Obserwatorium, pomijany w opracowywanych modelach. W związku z tym podjęto próbę oceny wahań zwierciadła wody gruntowej na tym terenie oraz kierunku przepływu w strefie saturacji i jego zmian na podstawie eksperymentu polowego. Wykazano jednoznacznie, że w modelowaniu ruchu wody

glebowej bazującym na pomiarach z terenu Obserwatorium należy brać pod uwagę wpływ przepływu horyzontalnego w strefie saturacji. Stwierdzono, że w zależności od lokalizacji prowadzonych badań czynnik ten ma zróżnicowany zakres oddziaływania. Wyniki tych analiz zawarto w pracy: **zał. 3, tab. 4, poz. 11**.

Drugi nurt badań dotyczących omawianej tematyki obejmował analizy oceny wpływu wybranych elementów agrometeorologicznych, tj. temperatury powietrza, opadów atmosferycznych czy głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej, na zasoby wodne gleby w dłuższych przedziałach czasowych, dla różnych okresów i form opracowania tych zmiennych. Wyniki analiz zaprezentowano w pracach: **zał. 3, tab. 4, poz. 1, 20 i 22**. Wyprowadzono formuły pozwalające ocenić relacje zasobów wodnych gleby i temperatury powietrza ujmowanej nie tylko w klasycznej formie jako średnia, ale również jako suma czy częstość w zadanych przedziałach wartości. Otrzymane rezultaty wskazały na liczbę dni z temperaturą powietrza w zróżnicowanych zakresach jako zmienną najlepiej opisującą zasoby wodne gleby dla badanych terminów oraz warstw gleby pod powierzchnią pokrytą trawą. Podjęto także zagadnienie efektywności opadów atmosferycznych w zróżnicowanych przedziałach ich wysokości na przykładzie standardowej powierzchni nieporośniętej. Na podstawie sześcioletniej serii pomiarów wykazano, że dobowe sumy opadów atmosferycznych do wysokości 10,0 mm nie powodują wzrostu retencji powyżej 1 mm w warstwach gleby o miąższości do 40 cm. Oprócz opadów atmosferycznych istotny wpływ na zmiany retencji w powierzchniowej warstwie gleby ma stan zasobów wodnych gleby w chwili występowania opadu atmosferycznego. Zauważono również tendencje do przesuwania się okresów o minimalnym i maksymalnym uwilgotnieniu gleby w półroczu letnim, co jest szczególnie ważne z punktu widzenia prawidłowego rozwoju i funkcjonowania roślin.

Ad 2. Wpływ okresów posusznych i ich uwarunkowań na plonowanie roślin

Występowanie okresów bezopadowych, ich długość i częstość są cechą indywidualną danego obszaru. W dobie przewidywanych zmian klimatu prowadzone od lat badania wskazują, że okresy takie zdarzają się dość często na terenie Polski. Stanowią one przyczynę powstawania susz meteorologicznych (atmosferycznych), a w konsekwencji – niedoborów wody w glebie. Wykonane w tym zakresie analizy pozwoliły na wyznaczenie okresów w półroczu letnim, podczas których najczęściej występują ciągi dni bezopadowych w warunkach wrocławskich, oraz ich wieloletnich tendencji. Uzyskane rezultaty analizy tendencji terminów początków występowania

pierwszej i drugiej posuchy w półroczu letnim dowodzą, że mogą przyczyniać się one do spadku plonów roślin okopowych, jak również ozimin. Jednak metody oceny suszy na podstawie tylko jednego elementu, jakim jest opad atmosferyczny – chociaż zasadniczego z punktu widzenia agrometeorologii – są zbyt mało miarodajne. Dlatego przy ocenie niedoborów wody w glebie zaproponowano zastosowanie nowego wskaźnika suszy, opartego na wskaźniku Sielianiowa i średnich zasobach wodnych gleby dla poszczególnych miesięcy. Nowy współczynnik pozwala na odczytanie rzeczywistych zasobów wodnych gleby z nomogramów przy określonej wartości wskaźnika Sielianiowa. Umożliwia on również uzupełnienie informacji dotyczących suszy atmosferycznej o stan rzeczywistego uwilgotnienia gleby. Tematykę tę zaprezentowano w dwóch pracach: **zał. 3, tab. 4, poz. 23 oraz tab. 5, poz. 5.**

Wpływ niekorzystnych czynników klimatycznych i zjawisk meteorologicznych na wzrost i plonowanie roślin można oceniać różnymi metodami. Budowane są w tym celu liczne modele typu pogoda–plon, będące bardzo przydatnym narzędziem do przewidywania możliwego wpływu zmian klimatu na wzrost i plonowanie roślin. Bazują one zazwyczaj na szczegółowych danych meteorologicznych, spośród których najczęściej wykorzystuje się łatwo dostępne informacje o opadach atmosferycznych w klasycznej formie, stanowiących najważniejsze źródło przychodu wody glebowej. Przy współpracy z Katedrą Matematyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu prowadzono badania poświęcone możliwości szacowania plonów wybranych roślin uprawnych. Głównym założeniem było opracowanie modelu, który pozwalałby na szacowanie wielkości plonu na podstawie łatwo dostępnych elementów meteorologicznych, a jednocześnie istotnie na niego wpływających. W związku z powyższym wykorzystano liczbę dni bez opadu, jako najprostszą i ogólnie dostępną daną. Pierwotnie model typu pogoda–plon MoDrY (*Model – Dry periods – Yield*) opracowano dla jęczmienia jarego, a następnie na bazie doświadczeń wówczas zdobytych i opierając się na identycznych założeniach, zaadaptowano go dla pszenicy jarej i ziemniaków. Zadowalające rezultaty otrzymane zarówno dla zbóż jarych, jak i dla rośliny okopowej potwierdzają jego uniwersalność. Model MoDrY pozwala na oszacowanie wahań wielkości plonów tych roślin na podstawie okresów bezopadowych występujących w poszczególnych okresach pomiędzy fazami fenologicznymi tych roślin. W toku analiz wskazano te okresy międzyfazowe, podczas których pojawiające się okresy bezopadowe mają istotny wpływ na wielkość plonu potencjalnego, zarówno

jego spadku, jak i wzrostu. Wykazano, że dla jęczmienia jarego największy wpływ na spadek plonu mają okresy posuszne występujące w I i III okresie międzyfazowym (siew – wschody i krzewienie – kłoszenie), a dla pszenicy jarej w II i III (wschody – krzewienie i krzewienie – kłoszenie), natomiast w V okresie międzyfazowym występowanie okresów bezopadowych zwiększa wysokość jej plonów. W przypadku ziemniaków największy wpływ na spadek wielkości plonu mają okresy posuszne występujące w okresach międzyfazowych wschody – pędy boczne (II). Jest on również widoczny w I i V okresie międzyfazowym: sadzenie – wschody oraz zasychanie łodyg – sprzęt. W III i IV międzyfazie (pędy boczne – kwitnienie początek, kwitnienie początek – zasychanie łodyg) okresy posuszne wręcz stymulują wzrost plonów tej rośliny. Opracowany model MoDrY pozwala na rozwiązanie wielu praktycznych problemów w rolnictwie. Może on być wykorzystywany bezpośrednio przez rolników, gdyż do jego funkcjonowania potrzebna jest tylko łatwo dostępna dana wejściowa w postaci liczby dni bez opadu. Wyniki tych prac opublikowano w czasopiśmie *Agricultural Water Management* oraz *International Journal of Plant Production* (zał. 3, tab. 1, poz. 1–3).

Ad 3. Modelowanie ewapotranspiracji i wielkości plonowania wybranych roślin energetycznych

Poszukiwania odnawialnych źródeł energii od wielu lat ukierunkowane są na rośliny, których uprawa pozwala uzyskiwać znaczne ilości biomasy przeznaczonej na spalanie lub na biogaz. Wymusza to konieczność rozpoznawania procesów środowiskowych warunkujących wysoką produktywność tych roślin. Jednym z takich procesów jest ewapotranspiracja, zależna od rodzaju uprawianych roślin, ich dostępu do wody i przebiegu warunków pogodowych w okresie wegetacji. Publikacje o tej tematyce opierają się na wynikach bezpośrednich badań tego procesu z wykorzystaniem lizymetrów bądź ewaporometrów i dotyczą głównie roślin uprawnych. Na niewielką skalę badania takie prowadzone są dla kilku odmian wierzby i miskanta, jednak ze względu na ich pracochłonność zdecydowanie częściej opracowuje się nowe lub wykorzystuje istniejące modele szacowania wielkości ewapotranspiracji, np. ALMANAC czy ECOWAT. Dysponowanie specjalistyczną aparaturą i możliwości realizacji badań terenowych z jej wykorzystaniem pozwoliły na podjęcie tej tematyki. Badania i analizy prowadzono w ramach projektu badawczego MNiSW (nr 87741) w latach 2010–2014 w rozszerzonym zespole badawczym, w którym byłam wykonawcą. Na podstawie eksperymentu polowego dokonano oceny gospodarowania

wodą przez rośliny energetyczne, tj. wierzbę krzewiastą (*Salix viminalis* L.), miskant olbrzymi (*Miscanthus sinensis giganteus*), ślazier pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby) i topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) przy zróżnicowanym dostępie do wody. Rośliny uprawiano w dwóch wariantach w eksperymencie polowym: w ewaporometrach glebowych, bez możliwości korzystania z wody gruntowej, oraz na poletkach, przy swobodnym do niej dostępie. Na podstawie wyników badań terenowych opracowano autorski model WSMT, pozwalający na obliczanie ewapotranspiracji ww. roślin energetycznych. Jego parametry jakościowe wskazały na możliwość zbudowania modeli grupujących rośliny pod względem ich cech, np. morfologicznych. Do budowy modelu wykorzystano wyniki pomiarów terenowych ewapotranspiracji roślin prowadzonych w ewaporometrach glebowych. Wymaga on jako danych wejściowych, oprócz opadów atmosferycznych, także informacji o parowaniu wskaźnikowym. W tym celu można wykorzystać pomierzone wartości parowania z wolnej powierzchni wodnej lub oszacować wielkość parowania wskaźnikowego ET_0 , stosując metodę FAO Penman–Monteith. Ze względu na swoją złożoność formuła ta wymagała zbudowania aplikacji „EVAPO” do wyznaczania wartości dobowych ewapotranspiracji wskaźnikowej. Aplikacja ta umożliwia wyznaczenie wartości ET_0 dla dowolnego miejsca zadanego współrzędnymi geograficznymi i wysokością nad poziomem morza. Wyniki prowadzonych badań i analiz zaprezentowano w pracach: **zał. 3, tab. 4, poz. 16–18**. Te narzędzia z kolei umożliwiły opracowanie modelu deterministycznego do wyznaczania średniej kroczącej wielkości ewapotranspiracji rzeczywistej wierzby krzewiastej, miskanta olbrzymiego, ślazier pensylwańskiego i topinamburu w kolejnych dniach wegetacji na podstawie opadu oraz ewaporacji z wolnej powierzchni wody, mierzonej ewaporometrem EWP 992, lub wartości ewapotranspiracji potencjalnej obliczanej z formuły FAO Penman–Monteith. Przeprowadzone badania wskazały również na możliwość wykorzystania prostych modeli statystycznych do szacowania ewapotranspiracji roślin energetycznych na podstawie wybranych pomierzonych lub obliczonych elementów agrometeorologicznych. Opracowano także współczynniki empiryczne dla wierzby krzewiastej, ślazier pensylwańskiego, miskanta olbrzymiego i topinamburu, pozwalające na szacowanie ewapotranspiracji tych roślin dla zróżnicowanych przedziałów czasowych (tydzień i dekada). Forma ich opracowania umożliwia ich zastosowanie w taki sam sposób jak wykorzystywane dotychczas w literaturze współczynniki dotyczące roślin uprawnych. Wykazano znaczne zróżnicowanie

oddziaływania niedoboru wody na produktywność biomasy w warunkach ekstensywnej uprawy roślin energetycznych. Najbardziej wrażliwe na niedobór wody okazały się miskant olbrzymi i wierzba krzewiasta. Szczegółowe wyniki analiz przedstawiono w monografii będącej podsumowaniem badań prowadzonych w ramach projektu (**zał. 3, tab. 5, poz. 6**).

Drugi nurt badań w zakresie tej tematyki podążał w kierunku możliwości prostego szacowania wielkości biomasy roślin energetycznych. We współpracy z Katedrą Matematyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu zaproponowano nowatorskie modele szacowania aktualnej ilości biomasy wierzby energetycznej i miskanta olbrzymiego w okresie wegetacji tych roślin. Oparto je na trzyletnich badaniach terenowych. Ich podstawą są wyniki prostych pomiarów biometrycznych, które mogą być prowadzone przez samych plantatorów, praktycznie bez żadnych nakładów finansowych i większych utrudnień na plantacji. Dla prawidłowego funkcjonowania owych modeli poszukiwano prostych związków statystycznych między łatwymi do pomiarzenia cechami pędu tych roślin (długość i średnice w połowie pędu), tzw. wskaźnikiem objętości, a jego masą w kolejnych latach funkcjonowania plantacji oraz przy dużym zróżnicowaniu warunków pogodowych. Każdorazowo uzyskano bardzo dobre wyniki dopasowania pomiarów do opracowanego modelu. Można zatem stwierdzić, że zaproponowana metoda prowadzenia pomiarów biometrycznych dla wierzby krzewiastej i miskanta olbrzymiego jest poprawna, co pozwala nawet na polecenie jej jako standardu w tego typu badaniach. Pomimo że szczegółowe formuły obliczeniowe wydają się skomplikowane, ostatecznie modele te są bardzo proste do wykorzystania przez potencjalnego plantatora. Jedyne warunki stanowią konieczność przeprowadzenia minimum 10 prostych, nieniszczących pomiarów biometrycznych losowo wybranych na plantacji pędów roślin. Wyniki omawianych badań zaprezentowano w pracach: **zał. 3, tab. 1, poz. 4–6**, które zostały opublikowane w czasopiśmie *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, oraz w pracach: **zał. 3, tab. 6, poz. 3 i 4**.

Ad 4. Uwarunkowania wzrostu sosny zwyczajnej

W Polsce zgodnie z polityką leśną dąży się do zwiększania lesistości. Podstawowy gatunek nasadzeń, zwłaszcza na obszarach o słabych glebach, stanowi sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.). Jej produkcja w szkółkach dostarcza materiału jednorocznego,

tymczasem w niektórych przypadkach, np. w trudnych warunkach odnowieniowych, uzasadnione jest wykorzystanie bardziej wyrośniętych sadzonek. Do istotnych czynników warunkujących przyrost biomasy sosny należy klimat, najczęściej charakteryzowany przez dwa łatwo dostępne elementy: temperaturę powietrza i opady atmosferyczne. Stąd też zainteresowano się rozpoznaniem tempa przyrostu sadzonek sosny i jego uwarunkowań termiczno-opadowych. Przy współpracy z Katedrą Melioracji i Agrometeorologii Uniwersytetu Przyrodniczo-Technologicznego w Bydgoszczy rozpoczęto w 2012 r. eksperyment polowy dotyczący wzrostu sosny i jego uwarunkowań pogodowych. Młode nasadzenia prowadzono w warunkach ekstensywnych. Jedynie w celu złagodzenia dynamiki zmian zasobów wodnych powierzchniowej warstwy gleby stworzono warstwę ochronną w postaci geowłókniny i pokryto powierzchnie między roślinami sosny rozdrobnionymi pędami wierzby krzewiastej. Proste badania biometryczne wysokości roślin i średnicy pni (częste, bo w odstępach tygodniowych) pozwoliły na ocenę tempa przyrostu drzew oraz wskazanie okresów największej jego dynamiki. Stwierdzono istotną statystycznie ścisłą zależność pomiędzy wysokością sosen a ich średnicą u podstawy. Wykazano, że spośród dwóch elementów meteorologicznych, tj. sum temperatury powietrza i sum opadów atmosferycznych, dominującą rolę w przypadku relacji z wysokościami odgrywają opady atmosferyczne, a ze średnicami – temperatura powietrza. Wyniki tych badań zaprezentowano w pracach: **zał. 3, tab. 4, poz. 24, 25 i 27**. Eksperyment polowy jest kontynuowany do dziś, a zdobyte doświadczenia w pierwszych latach pozwoliły na rozszerzenie prostych badań biometrycznych o pomiary ewapotranspiracji drzew w ewaporometrach glebowych, intensywności fotosyntezy przy zróżnicowanym dostępie roślin do wody oraz intercepcji enklaw leśnych. Ponadto w 2015 r. rozpoczęto kolejny eksperyment, dotyczący dynamiki wzrostu i intensywności fotosyntezy młodych sadzonek sosny, uprawianej w różnych wariantach mulczowania (wychmielinami, zmielonymi pędami wierzby krzewiastej i miskanta olbrzymiego). Wyniki wielokierunkowych badań są aktualnie opracowywane i przygotowywane do publikacji.

Ad 5. Ocena zmienności wybranych elementów meteorologicznych w zróżnicowanych przedziałach czasowych

Zagadnienie zmian klimatu i zagrożeń z nimi związanych podejmowane jest od wielu lat w ośrodkach zagranicznych i krajowych. Zazwyczaj jako wskaźniki przyjmuje

się do analiz dwa łatwo dostępne elementy meteorologiczne, tj. opady atmosferyczne i temperaturę powietrza. Tendencje ich zmian ustalane na podstawie długich ciągów obserwacyjnych mogą sugerować potencjalne zmiany klimatu w skali punktu lub obszaru. W tego typu analizach opady atmosferyczne są wykorzystywane jako sumy za określony przedział czasowy lub liczby dni z opadem w przyjętych przedziałach wielkości i czasu. Podstawą analizy tendencji temperatury powietrza zazwyczaj jest jej klasyczna forma w postaci średniej wartości. Niemniej z uwagi na to, że w ostatnich latach wartości temperatury powietrza wykazują znacznie większe fluktuacje, oceniane są zmiany jej ekstremalnych wartości. W bogatej literaturze tego zagadnienia globalne przekonanie o postępujących zmianach klimatu nie zawsze jednak znajduje potwierdzenie w warunkach lokalnych. Biorąc powyższe pod uwagę i uwzględniając potrzebę rozpoznania zmian warunków termiczno-opadowych, wynikającą z zakresu prowadzonych badań eksperymentalnych, analizowano tendencje opadów atmosferycznych i temperatury powietrza dla różnych ich form i przedziałów czasowych w warunkach wrocławskich w okresach wieloletnich, obejmujących lata 1961–2010. Otrzymane rezultaty w warunkach lokalnych nie potwierdziły głoszonych poglądów o wyraźnych zmianach tych elementów. Nie obserwowano istotnych statystycznie tendencji sum opadów na przestrzeni półrocza letniego zarówno dla okresów miesięcznych, jak i dekadowych, nawet pomimo rozdzielenia ich na sumyienne i nocne. Stwierdzono, że liczba dni z opadem w przyjętych przedziałach wielkości stanowi lepszy wskaźnik do oceny zmian klimatu aniżeli sumy dla zróżnicowanych przedziałów czasowych. Symptodem zmian klimatycznych może być jedynie zwiększona częstość występowania wartości maksymalnych sum opadu. W przypadku temperatury powietrza stwierdzono wzrost najwyższych wartości maksymalnej temperatury powietrza w styczniu i w maju. Zauważalny wzrost ekstremów przypada na ostatnie dziesięciolecie. Szczegółowe wyniki omówionych tu badań zaprezentowano w pracach: **zał. 3, tab. 4, poz. 3, 7, 9, 12 i 19; tab. 7, poz. 2.**

Ad 6. Doskonalenie metod pomiarowych wybranych elementów agrometeorologicznych

Podjęcie wielokierunkowych badań eksperymentalnych zmusza do poszukiwania nowoczesnych rozwiązań pomiarowych wybranych procesów w środowisku. W tym celu konstruuje się różnego typu nowoczesne urządzenia pomiarowe, pozwalające aktualnie już na ciągłe monitorowanie elementów

agrometeorologicznych. Z jednej strony urządzenia te umożliwiają nowatorskie rozpoznawanie i interpretowanie procesów zachodzących w środowisku, lecz z drugiej brak krytycznego podejścia do różnych rozwiązań konstrukcyjnych przyrządów pomiarowych i sposobów ich instalacji powoduje nieprawidłowe interpretacje uzyskiwanych wyników. Prowadzone przez siebie eksperymenty terenowe doposażyłam w najnowocześniejszą aparaturę pomiarową do monitorowania takich elementów jak wilgotność i temperatura gleby czy opad atmosferyczny. Pojawił się zatem problem powiązania wyników otrzymywanych metodami standardowymi w okresach wcześniejszych z otrzymywanymi za pomocą nowoczesnych urządzeń, umożliwiających pomiary z bardzo krótkimi, bo nawet minutowymi krokami czasowymi. Wieloletnie doświadczenia zdobywane bezpośrednio w terenie i przy opracowywaniu uzyskanych informacji wskazały na wielokrotnie większą wrażliwość na czynniki zewnętrzne nowoczesnych urządzeń w porównaniu do metod klasycznych. Podstawowy wniosek wynikający z badań z wykorzystaniem specjalistycznej aparatury do pomiaru opadów atmosferycznych prowadzi do stwierdzenia, że nie można całkowicie uciec od metod standardowych. Wyniki pomiarów uzyskane za pomocą disdrometru należy każdorazowo kontrolować wynikami obserwacji tego elementu pomierzonymi metodami klasycznymi. W razie braku takiej kontroli wielokrotnie wzrasta szansa popełnienia poważnych błędów interpretacyjnych. Wykorzystywanie nowoczesnej aparatury do monitoringu wilgotności gleby za pomocą metody TDR pozwoliło na jej przetestowanie w okresie zimowym. Umożliwiło to rozpoznanie ograniczeń interpretacyjnych w przypadku jej stosowania w warunkach występowania ujemnych temperatur. Brak weryfikacji materiału pomiarowego w takich sytuacjach powoduje powstawanie dużych błędów wartości wilgotności gleby, dochodzących nawet do kilkunastu procent. Problem taki występuje zwłaszcza w powierzchniowych warstwach gleby (5–20 cm). Wyniki prac prowadzonych w tym zakresie zamieszczono w publikacjach: **zał. 3, tab. 4, poz. 15 i 26; tab. 5, poz. 4; tab. 6, poz. 5.**

4. Syntetyczne podsumowanie dorobku habilitantki

Mój dotychczasowy dorobek naukowo-badawczy obejmuje łącznie 57 pozycji, w tym 50 oryginalnych prac twórczych (41 po uzyskaniu stopnia doktora), 5 artykułów konferencyjnych oraz 2 ekspertyzy (tab. 2 i 3). Łączna liczba punktów MNiSW według roku publikacji wynosi 508. W języku angielskim opublikowałam 16 prac, z czego 6 w czasopismach ze wskaźnikiem *Impact Factor*, tj. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *Agricultural Water Management*, *International Journal of Plant Production*. Szczegółowy wykaz publikacji przedstawiono w tabelach 1–7 w załączniku 3, pkt A i D oraz załączniku 4 pkt M. Sumaryczny *Impact Factor* według Journal Citation Report (JCR) wynosi 30,297. Artykuły naukowe, których jestem autorem lub współautorem, były 18 razy cytowane w czasopismach zamieszczonych w bazie Web of Science (WoS), indeks Hirscha wynosi 3 (tab. 4). Wykonałam 16 recenzji artykułów naukowych, w tym 11 dla zagranicznych czasopism ze współczynnikiem wpływu IF, tj. *Agricultural Water Management*, *Renewable & Sustainable Energy Reviews* oraz *Energies*.

ResearcherID: A-6610-2017 <http://www.researcherid.com/rid/A-6610-2017>

W latach 2008–2009 byłam koordynatorem projektu w ramach umowy o współpracy w dziedzinie nauki i techniki między Rządem RP a Rządem Republiki Węgierskiej. Byłam także wykonawcą zadania w 1 projekcie unijnym (realizowanym w latach 2007–2013) oraz brałam udział, jako główny wykonawca, w 2 grantach badawczych krajowych (realizowanych w latach 2005–2006 i 2010–2014). Obecnie jestem głównym wykonawcą projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu BIOSTRATEG III, pt. *Innowacje technologiczne oraz system monitoringu, prognozowania i operacyjnego planowania działań melioracyjnych dla precyzyjnego gospodarowania wodą w skali obiektu melioracyjnego* (zał. 3, pkt I). W latach 2003–2013 kierowałam badaniami własnymi, stanowiącymi podstawę mojej rozprawy doktorskiej (lata 2003–2006), a następnie rozprawy habilitacyjnej (lata 2007–2013). Aktywnie współpracuję z czterema katedrami o podobnym profilu badawczym (zał. 4, pkt Q), prowadząc badania eksperymentalne, których wyniki prezentowane są na krajowych i zagranicznych konferencjach oraz publikowane.

Odbyłam zagraniczne staże naukowe w University of British Columbia, Vancouver, Kanada (5 miesięcy), The Regional Meteorological Training Center, Izrael

(1 miesiąc) i w University of Debrecen, Węgry (2 tygodnie) oraz staż zawodowy w Miejskim Centrum Zarządzania Kryzysowego we Wrocławiu (1 miesiąc) (zał. 4, pkt L i Q).

Aktywnie uczestniczyłam w 50 konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym, spośród których na ponad 30 osobiście prezentowałam wyniki własnych badań (zał. 3, pkt K; zał. 4, pkt B). Swoje umiejętności praktyczne miałam okazję wykazać w dwóch ekspertyzach, których byłam współwykonawcą (zał. 4, pkt M). Otrzymałam 6 nagród Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego za działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną – I, II i III stopnia (zał. 3, pkt J i zał. 4, pkt D).

W ramach działalności popularyzującej naukę uczestniczyłam wielokrotnie jako wykładowca w projektach „Modernizacja kształcenia zawodowego na Dolnym Śląsku II”, współfinansowanych ze środków Unii Europejskiej (zał. 4, pkt A). Byłam zaangażowana w prace w komitetach organizacyjnych 3 konferencji (zał. 4, pkt C). Jestem członkiem 4 towarzystw naukowych (zał. 4, pkt H).

W ramach działalności dydaktycznej prowadziłam zajęcia ze studentami kierunków studiów inżynieria bezpieczeństwa, inżynieria środowiska, gospodarka przestrzenna, ochrona środowiska i rolnictwo (łącznie 14 przedmiotów), a także z 3 przedmiotów w języku angielskim w ramach programu Erasmus. Byłam opiekunem 27 prac inżynierskich i 6 prac magisterskich, głównie na kierunkach studiów inżynieria bezpieczeństwa, inżynieria środowiska oraz ochrona środowiska. Obecnie jestem promotorem pomocniczym w dwóch przewodach doktorskich (zał. 4, pkt I, J, K).

Szczegółowe informacje na temat dorobku naukowo-badawczego habilitantki przedstawiono w załączniku 3, z kolei wykaz osiągnięć w działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzującej naukę w załączniku 4.

Tabela 2. Syntetyczne zestawienie dorobku naukowo-badawczego
(stan na czerwiec 2018 r.)

Rodzaj publikacji	Przed doktoratem			Po doktoracie			Łącznie		
	Indywidualne	Zespołowe	Razem	Indywidualne	Zespołowe	Razem	Indywidualne	Zespołowe	Razem
Oryginalne prace twórcze									
W czasopismach z <i>Impact Factorem</i>					6	6		6	6
Prace oryginalne publikowane w czasopismach recenzowanych	2	4	6	2	27	29	4	31	35
Monografie				1	1	2	1	1	2
Rozdziały w monografiach	2	1	3		4	4	2	5	7
Inne prace									
Artykuły konferencyjne					5	5		5	5
Ekspertyzy					2	2		2	2
Razem	4	5	9	3	45	48	7	50	57

Tabela 3. Zestawienie dorobku z uwzględnieniem oceny punktowej czasopism wg MNiSW oraz IF za rok publikacji (stan na czerwiec 2018 r.)

Nazwa czasopisma	Sumaryczny <i>Impact Factor (IF)</i> za rok wydania	Liczba prac		Łączna liczba prac	Suma punktów*
		Przed doktoratem	Po doktoracie		
Czasopisma naukowe posiadające współczynnik <i>Impact Factor (IF)</i> wraz z liczbą punktów według roku publikacji					
Renewable & Sustainable Energy Reviews	25,284		3	3	135
Agricultural Water Management	3,985		2	2	72
International Journal of Plant Production	1,028		1	1	25
Pozostałe czasopisma recenzowane wraz z liczbą punktów według roku publikacji					
Journal of Water and Land Development			4	4	26
Annals of Warsaw University			1	1	14
Journal of Ecological Engineering			1	1	12
Infrastructure and Ecology of Rural Areas			2	2	20
Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich			3	3	20
Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie		1	7	8	42
Acta Agrophysica		2	2	4	24
Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych			7	7	36
Acta Scientiarum Polonorum			1	1	6
Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie			1	1	6
Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska		1		1	6
Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu		1		1	2
Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu		1		1	0
Monografie**					
Monografie w języku angielskim			1	1	25
Monografie w języku polskim			1	1	12
Rozdziały w monografiach w języku angielskim			1	1	7
Rozdziały w monografiach w języku polskim		3	3	6	18
Inne opublikowane prace naukowe					
Prace w materiałach konferencyjnych			5	5	0
Prace niepublikowane					
Ekspertyzy			2	2	0
RAZEM		9	48	57	508

* Zgodnie z Uchwałą nr 30/833/2015 Rady Wydziału Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu z dnia 22.04.2015 r. dla publikacji wydanych przed rokiem 2010 ma zastosowanie lista MNiSW z dnia 25.06.2010 r.

** Zgodnie z Uchwałą nr 30/833/2015 Rady Wydziału Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu z dnia 22.04.2015 r. w odniesieniu do monografii (rozdziałów w monografiach) stosuje się zasady obowiązujące w przepisach dotyczących oceny parametrycznej jednostek naukowych. Dla monografii wydanych przed rokiem 2009 przyjmuje się zasady jak w latach 2009–2012.

MALGORZATA BINIAK-PIERÓG
AUTOREFERAT

Tabela 4. Zestawienie cytowań habilitantki (stan na czerwiec 2018 r.)

Baza	Liczba cytowań	Indeks H
Web of Science Core Collection	18	3
Web of Science – Cited Reference Search	39	-
Scopus	28	4
Google Scholar	71	5

Malgorzata Biniak-Pieróg