

Dr inż. Wojciech Orzepowski

Załącznik 2

Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska

Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

## **Autoreferat**

**w języku polskim**

Wrocław 2018

## Spis treści

1. Wykształcenie, przebieg pracy zawodowej i naukowej	3
2. Opis osiągnięcia naukowego	4
2.1 Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego	4
2.2 Wprowadzenie	4
2.3 Cele naukowe i wyniki badań własnych w ramach osiągnięcia naukowego	7
2.4 Wnioski	21
Literatura	22
3. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	27
4. Zestawienie dorobku naukowo-badawczego	32
5. Dorobek dydaktyczno-organizacyjny	35

## **1. Wykształcenie, przebieg pracy zawodowej i naukowej**

Dr inż. Wojciech Orzepowski, Zakład Kształtowania Środowiska i Eksploatacji Systemów Gospodarowania Wodą, Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.

Urodziłem się 20 stycznia 1965 roku we Wrocławiu i w tym mieście uczęszczałem do szkoły podstawowej (1971-1979), średniej (1979-1984), zdałem maturę i następnie studiowałem (1984-1990) na Akademii Rolniczej. Bezpośrednio po studiach odbyłem 5-miesięczną służbę wojskową w Szkole Podchorążych Rezerwy przy ówczesnej WSIW we Wrocławiu i związałem swoją przyszłość zawodową oraz naukową z macierzystą uczelnią. Od blisko 25 lat jestem żonaty.

### **Wykształcenie**

- Tytuł technika melioracji wodnych, 1984 r., 5-letnie Technikum Melioracji Wodnych w Zespole Szkół Rolniczych Wrocław-Pracze.
- Tytuł magistra inżyniera melioracji wodnych, 29.06.1990 r., jednolite wyższe studia magisterskie na Wydziale Melioracji Wodnych Akademii Rolniczej we Wrocławiu na kierunku melioracje wodne, tytuł pracy magisterskiej: *„Wpływ zabiegów melioracyjnych, agromelioracyjnych i rzeki Odry na stosunki wodne gleb ciężkich polderu Rybna”*, promotor prof. dr hab. inż. Stanisław Kostrzewa.
- Stopień naukowy doktora nauk rolniczych 10.11.1998 r. w dyscyplinie kształtowanie środowiska, tytuł rozprawy wyróżnionej przez Radę Wydziału Melioracji i Inżynierii Środowiska AR we Wrocławiu *„Oddziaływanie urządzeń wodno-melioracyjnych na stosunki wodne gleb ciężkich”*, promotor dr hab. inż. Anna Pływaczyk, recenzenci: dr hab. inż. Krzysztof Ostrowski, prof. dr hab. inż. Stanisław Kostrzewa.

### **Informacje o zatrudnieniu**

- Od 14.02.1990 asystent stażysta w Instytucie Melioracji Rolnych i Leśnych Akademii Rolniczej we Wrocławiu (obecny Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu).
- Od 15 02.1991 r. asystent w Instytucie Melioracji Rolnych i Leśnych Akademii Rolniczej we Wrocławiu.

- Od 15.01.1999 r. do chwili obecnej adiunkt w Instytucie Melioracji i Kształtowania Środowiska Akademii Rolniczej we Wrocławiu (obecny Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu).

## 2. Opis osiągnięcia naukowego

Na podstawie 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. 201 poz. 1789 tekst ujednolicony) za osiągnięcie naukowe przyjąłem cykl 5 publikacji pt. „*Szacowanie zapasów wody w profilach glebowych o zróżnicowanych właściwościach retencyjnych*”. Prezentują one wyniki oryginalnych badań przeprowadzonych po uzyskaniu stopnia doktora, wśród których to 1 praca samodzielna, 4 zespołowe **IF=4,734**, suma punktów **92**.

### 2.1 Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

*Kod udziału: a – koncepcja badań, b – pozyskanie wyników podczas badań terenowych i laboratoryjnych, c – zestawienie danych, d – analiza, interpretacja i opracowanie wyników, e – redakcja publikacji, % udziału w całości pracy.*

1. **Orzepowski W.**, Pęczkowski G., Pływaczyk A., Kowalczyk T. 2008. Kształtowanie się zapasów wilgoci w profilach czarnych ziem na użytkach rolnych. Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln. z. 528, Warszawa, 115-122. **6 pkt** (kod udziału: a, b, c, d, e, 40%)
2. **Orzepowski W.** 2010. Kształtowanie się zasobów retencji glebowej w otoczeniu małych zbiorników wodnych. Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln. z. 548, Warszawa, 435-444. **6 pkt**
3. **Orzepowski W.**, Paruch A.M., Pulikowski K., Kowalczyk T., Pokładek R. 2014. Quantitative and qualitative assessment of agricultural water resources under variable climatic conditions of Silesian Lowlands (Southwest Poland). Agricultural Water Management 138 (2014) 45–54. **40 pkt, IF= 2,286** (kod udziału: a, b, c, d, e, 57%)
4. **Orzepowski W.**, Paruch A.M., Kowalczyk T., Pokładek R., Pulikowski K. 2017. Modelling of water reserves in mineral soils with different retention properties. Water and Environment Journal, 31(3), 388-400. **20 pkt, IF=1,224** (kod udziału: a, b, c, d, e, 50%)
5. **Orzepowski W.**, Paruch A.M., Kowalczyk T., Pokładek R., Pulikowski K. 2018. Assessing the applicability of groundwater monitoring data in the modelling of soil water retention characteristics. Water and Environment Journal, Water and Environment Journal, doi:10.1111/wej.12390. **20 pkt, IF=1,224** (kod udziału: a, b, c, d, e, 50%)

### 2.2 Wprowadzenie

Zasoby wodne Polski, w porównaniu do innych krajów europejskich, są skromne, a ich znaczna zmienność w czasie i przestrzeni objawia się okresowo zjawiskami ekstremalnymi jak susze i powodzie (Zieliński, Słota 1996; Kaczmarek 1997; Mioduszeński

2004; Ostrowski 1996). Zjawiskom tym sprzyja działalność urbanizacyjna i związane z nią przekształcenia powierzchni, intensyfikacja rolnictwa i ujednoczenie siedlisk leśnych, budowa działających tylko jednostronnie odwadniających systemów melioracyjnych, co skutkuje przyspieszeniem obiegu wody i materii w zlewniach rzecznych (Mioduszewski 2008).

Występowanie w ostatnich latach opadów o stosunkowo dużej zmienności i często niekorzystnym dla rolnictwa rozkładzie, zmusza do poszukiwania skutecznych metod racjonalizacji ich wykorzystania (Faloon, Betts 2010; Tayfur 2017; Pokładek, Nyc 2010; Valipour 2013) zwłaszcza, że przewiduje się iż zapotrzebowanie na wodę dla celów rolniczych, będzie na świecie sukcesywnie rosło (De Fraiture, Wichelns 2010).

Bardzo ważną zmienną w modelowaniu klimatycznym i rolnictwie jest wilgotność powierzchniowej warstwy gleby. Jej monitorowanie jest niezbędne do zrozumienia procesów hydrologicznych i interakcji pomiędzy ziemią a atmosferą oraz dla zapewnienia optymalnych warunków wzrostu roślinności (Afshar i Yilmaz 2017; Chattopadhyay i in. 2017; Uebbing i in. 2017). Zachodzące zmiany klimatyczne objawiają się m in. występowaniem dotkliwych dla roślin zaburzeń w dostępie do zasobów wodnych (Nam i in. 2015; Ciric i in. 2017). Rozkład uwilgotnienia gleby jest istotnym składnikiem mechanizmu bioklimatycznego, który odgrywa ważną rolę przy opracowywaniu scenariuszy zmian klimatycznych (Corradini 2014). Scenariusze te sugerują w niektórych regionach nasilanie się zjawiska suszy (Cammalleri i in. 2015; Iglesias i Garotte 2015; Bradford i in. 2017; Łabędzki 2009).

Najnowsze trendy pokazują, że w monitorowaniu zmian zasobów wodnych coraz większą rolę odgrywa teledetekcja satelitarna (González-Zamora i in. 2015), która pozwala na ocenę wilgotności powierzchniowej warstwy gleby w skali kontynentalnej lub regionalnej (Zawadzki i Kędzior 2015). Jednak w technikach teledetekcji dokładność oszacowania uwilgotnienia gleby bywa często problematyczna. Satelity mogą monitorować tylko kilka centymetrów powierzchniowej warstwy gleby w relatywnie niedużych rozdzielczościach (Koster i in. 2009). Znany jest też np. wpływ pokrywy roślinnej, w szczególności lasów, na pogorszenie jakości oceny wilgotności gleby (Grant i in. 2010). Zasoby wodne środowiska można także skutecznie ocenić poprzez wskaźniki wegetacyjne roślinności typu NDVI (Mallick 2009; Santos 2014).

Nadal często dominującą jest opinia, że najdokładniejsze oszacowanie wilgotności gleby można uzyskać na podstawie bezpośrednich pomiarów terenowych, prowadzonych np. metodą reflektometryczną (TDR), czy też grawimetryczną (Mishra i Singh 2010; Seneviratne i in. 2010). W praktyce jednak dostępność danych wilgotności gleby, pochodzących

z pomiarów naziemnych, zwłaszcza w okresach wieloletnich, jest mocno ograniczona, a ich uzyskiwanie jest kłopotliwe technicznie, czasochłonne i kosztowne (Pan 2015; Seneviratne i in. 2010; Somorowska 2007). Problem stanowi również ich punktowy charakter oraz związane z tym ograniczenia przestrzennej reprezentatywności (Koster i in., 2009). Stwarza to konieczność poszukiwania algorytmów obliczeniowych do przeniesienia i przeskalowania wyników na obszary o zróżnicowanych cechach fizjograficznych (Yuan i Quiring 2017). Wymaga także uwzględnienia szeregu lokalnych oraz globalnych czynników i parametrów: zmienności pokrywy glebowej (Jirků i in. 2013), pokrycia terenu roślinnością (Liu i Shao 2015), dynamiki zwierciadła wody gruntowej, przebiegu czynników meteorologicznych oraz oddziaływania systemów wodno-melioracyjnych i innych (Zucco i in. 2014; Orfánus i in. 2016).

Prowadzi się więc działania w kierunku opracowania modeli matematycznych umożliwiających prognozowanie zmian zasobów wodnych (Brandyk i in. 2016; Szulczewski i in. 2012; Szymkiewicz 2013; Tayfur 2017). Modele te jednak również wymagają wykorzystania szeregu trudnych do ustalenia parametrów środowiska, związanych choćby z występującą w naturze znaczną zmiennością przestrzenną parametrów fizyko-wodnych gleb (Janik, 2008; Jirků i in. 2013), co w efekcie może później powodować problemy przy próbach przejścia od skali laboratoryjnej do polowej.

Od kilku już dziesięcioleci w licznych dziedzinach, również przy określaniu wielu zmiennych hydrologicznych, coraz powszechniej znajdują zastosowanie sztuczne sieci neuronowe (SSN), gdyż modelowanie przy ich użyciu nie wymaga szczegółowych informacji o danych wejściowych, tak jak w przypadku modeli fizycznych (Deo i Şahin 2015).

Pierwowzorem SSN jest mózg ludzki (Tadeusiewicz 1993). Sztuczna sieć neuronowa jest systemem przeznaczonym do przetwarzania informacji, którego budowa i zasada działania są w pewnym stopniu wzorowane na funkcjonowaniu fragmentów rzeczywistego (biologicznego) systemu nerwowego człowieka (Tadeusiewicz i Szaleniec 2015). Schematy sztucznych neuronów wchodzących w skład sieci oraz (w pewnym stopniu) jej struktura są również oparte na przesłankach biologicznych.

Najważniejszymi cechami sztucznej sieci neuronowej, jako narzędzia informatycznego, jest możliwość rozwiązywania przy jej użyciu praktycznych problemów, bez ich uprzedniej matematycznej formalizacji oraz konieczności odwoływania się do jakichkolwiek teoretycznych założeń na temat rozwiązywanego problemu, a także jej zdolność uczenia się na podstawie przykładów i automatycznego uogólniania (generalizacji) zdobytej wiedzy, (Tadeusiewicz i Szaleniec 2015).

SSN mogą być alternatywą do tradycyjnego modelowania. Pozwalają zamodelować system nieliniowy, bez konieczności podawania jakichkolwiek wstępnych założeń dotyczących kształtu modelu (Czapczuk i in. 2015; Kabsch-Korbutowicz i Kutylowska 2012). Natomiast pewnym ograniczeniem możliwości ich wykorzystania jest konieczność posiadania odpowiednio dużej bazy danych eksperymentalnych, pomiarowych, która musi posłużyć najpierw do nauczenia modelu sieci neuronowej, a następnie do wykonania prognoz przy użyciu wybranego optymalnego modelu.

SSN są obecnie wykorzystywane między innymi przy modelowaniu zasobów wodnych gleb (Moreira de Melo i Correa Pedrollo 2015; Alexakis i in. 2017; Campos de Oliveira i in. 2017) modelowaniu i interpolacji opadów, ewapotranspiracji i poziomów wód powierzchniowych (Altunkaynak 2007; Sivapragasam i in. 2009; Dadaser-Celik i Cengiz 2013; Deo i Şahin 2015); modelowaniu zmienności zwierciadła wody gruntowej (Nayak i in. 2006; Banerjee i in. 2009; Karthikeyan i in. 2013; Mohanty i in. 2015; Hong 2017; Pasandi i in. 2017), do oceny zanieczyszczenia wód podziemnych (Sahoo i in. 2005; Khaki i in. 2015), do modelowania zjawisk dotyczących przepływów w sieciach wodociągowych i kanalizacyjnych, oczyszczania ścieków i uzdatniania wody (Kabsch-Korbutowicz i Kutylowska 2012).

### **2.3 Cele naukowe i wyniki badań własnych w ramach osiągnięcia naukowego**

Po uzyskaniu stopnia doktora zakres moich zainteresowań naukowych rozszerzyłem o zagadnienia związane z małą retencją wodną, a w szczególności z kształtowaniem się stosunków wodnych na użytkach rolnych w bezpośrednim otoczeniu niewielkich zbiorników wodnych.

Badania polowe, związane z tą tematyką, podjąłem na 4 nowo założonych przeze mnie i wyposażonych w infrastrukturę pomiarową obiektach badawczych usytuowanych w pobliżu Wrocławia. Zasadniczym ich celem było rozpoznanie wzajemnego oddziaływania małych zbiorników wodnych i przyległych terenów użytkowanych rolniczo. Kontynuowałem je w ramach kierowanego przeze mnie projektu badawczego (Nr 5 P06H 070 19), finansowanego przez Komitet Badań Naukowych, pt. „*Zintegrowana gospodarka wodna małych zbiorników retencyjnych i przyległych użytków rolnych*”. Badania obejmowały swym zakresem między innymi rozpoznanie warunków meteorologicznych, glebowych, hydrogeologicznych, analizę kształtowania się zwierciadła wód powierzchniowych w zbiornikach, analizę i ocenę przebiegu zapasów wody podczas okresów wegetacyjnych

(IV-IX) w 15 wytypowanych profilach glebowych, analizę kształtowania się głębokości zwierciadła wody gruntowej w kilkudziesięciu piezometrach zainstalowanych w ciągach poprzecznych do brzegów zbiorników. Badania polowe zostały uzupełnione szeregiem niezbędnych analiz laboratoryjnych, związanych przede wszystkim z właściwościami gleb i ich zdolnościami retencyjnymi.

Zasadnicza część moich zainteresowań w dotychczasowej pracy zawodowej i naukowej dotyczyła badań związanych z oceną stosunków wodnych, a w szczególności kształtowania się zapasów wody w profilach glebowych na użytkach rolnych. Praktyczne doświadczenie nabyte w czasie badań prowadzonych przeze mnie bezpośrednio w warunkach polowych, duża pracowitość pomiarów terenowych, zgromadzona przez wiele lat pokaźna baza rzeczywistych danych pomiarowych, uzyskanych na kilku obiektach badawczych, skłoniły mnie do poszukiwania sposobu uproszczenia pozyskiwania informacji o wielkości zasobów wilgoci glebowej, dającego możliwość praktycznego wykorzystania i ewentualnego ograniczenia kosztów i czasochłonności.

Ideą badań i analiz, podjętych przeze mnie w dalszej kolejności, było poszukiwanie i opracowanie metody, pozwalającej na określenie zmian zapasów uwilgotnienia w trakcie okresu wegetacyjnego, na podstawie łatwo dostępnych danych: przebiegu opadów atmosferycznych, temperatur oraz podstawowych parametrów gleby. Uwzględniony przy tym został również fakt, iż ważnym źródłem wilgoci glebowej pobieranej przez systemy korzeniowe roślin, są płytko położone wody gruntowe.

Przeprowadzone przeze mnie studia literatury problemowej, dogłębna analiza zarówno pozytywnych stron, jak i ograniczeń współcześnie stosowanych metod pomiarów bezpośrednich zasobów wilgoci glebowej oraz metod ich szacowania, skłoniły mnie do bliższego zainteresowania się sztucznymi sieciami neuronowymi, z uwagi na ich zalety w porównaniu do innych rodzajów modelowania, i zaimplementowanie ich dla osiągnięcia założonego celu i rozwiązania nakreślonego przeze mnie problemu.

Za najważniejsze osiągnięcie naukowe w ramach cyklu publikacji pt. „*Szacowanie zapasów wody w profilach glebowych o zróżnicowanych właściwościach retencyjnych*” uważam **opracowanie metody umożliwiającej przy użyciu sztucznych sieci neuronowych relatywnie dobre oszacowanie zapasów wody gromadzonych w strefie aeracji w wierzchnich warstwach profili glebowych**. Uwzględnienie w danych wejściowych dosyć łatwych do pozyskania informacji, nie generujących przy tym nadmiernych kosztów, a jednocześnie różnicujących właściwości retencyjne gleb, pozwala sądzić, że będzie ona mogła znaleźć praktyczne szersze zastosowanie w utworach glebowych o odmiennym



składzie granulometrycznym i w związku z tym cechujących się zróżnicowanymi właściwościami powietrzno-wodnymi.

Efektywne wykorzystanie sztucznych sieci neuronowych do rozwiązania postawionego problemu jest możliwe pod warunkiem posiadania odpowiednio obszernej bazy rzeczywistych danych pomiarowych wykorzystywanych do uczenia sieci, walidacji, testowania oraz weryfikacji rezultatów jej działania. Dlatego dla sprecyzowanego powyżej osiągnięcia naukowego konieczna była realizacja celów/osiągnięć częściowych, z których za najistotniejsze mogę uznać:

- **pozyskanie, opracowanie i analizę wielu danych badawczych pomierzonych w warunkach polowych** (takich jak uwilgotnienie gleb, głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej, wielkości dobowych sum opadów, średnich dobowych temperatur powietrza);

- **dokonanie kompleksowej analizy współzależności pomiędzy tymi danymi, a także właściwościami gleb i parametrami charakteryzującymi ich zdolności retencyjne i innymi**, umożliwiające dobranie w najbardziej efektywny sposób zakresu danych wejściowych do modelowania;

- **utworzenie obszernej bazy powiązanych ze sobą danych, umożliwiającej zaimplementowanie ich do oprogramowania oferującego sieci neuronowe jako użyteczne w praktycznym stosowaniu narzędzie informatyczne.**

Zasadnicza część profili glebowych objętych badaniami i analizą, była usytuowana na użytkach rolnych, położonych w otoczeniu niewielkich zbiorników wodnych. Przyjmuje się, że gromadzenie wody w zbiornikach retencyjnych, śródpolnych oczkach wodnych, stawach i rowach zwiększa jej zasoby nie tylko w ich obrębie, ale również na obszarach przyległych poprzez oddziaływanie na wody gruntowe (Mioduszewski 1999; Bykowski i in. 2004; Przybyła i in. 2005). Zbiorniki takie o bardzo małej pojemności i powierzchni zalewu, zgodnie z podziałem zaproponowanym przez Mioduszewskiego (2008), można określić również jako „mikrozbiorniki”. Na terenie samego tylko powiatu wrocławskiego istnieje ponad 1300 takich zbiorników, w zdecydowanej większości powstałych w efekcie działalności człowieka, w miejscach wydobywania gliny, piasku, żwiru oraz jako stawy rybne, zbiorniki przeciwpożarowe lub ozdobne (Fatyga i in. 2007). Jedynie stosunkowo niewielka ich liczba ujęta została w programie małej retencji w województwie dolnośląskim, nie uwzględniającym zbiorników o powierzchni wody mniejszej od jednego hektara.

W **publikacji 1.** i **publikacji 2.** zawarłem najważniejsze rezultaty badań prowadzonych na użytkach rolnych na dwóch obiektach (Zybiszów i Bliż) w rejonie

Wrocławia. W celu dokonania oceny stosunków wodnych użytków rolnych, położonych bezpośrednio na obrzeżach niewielkich zbiorników wodnych, analizie zostało poddane kształtowanie się zapasów wody w profilach glebowych usytuowanych w różnej odległości od zbiorników na tle warunków meteorologicznych z uwzględnieniem zmienności stanów wód powierzchniowych i głębokości zwierciadła wód gruntowych. Rozpoczęte w tym okresie badania terenowe ukierunkowałem również pod kątem wykonania szeregu pomiarów terenowych, przeprowadzenia ich analiz oraz sporządzenia obszernej bazy danych, które później zostały wykorzystane w trzech kolejnych artykułach cyklu.

Dla celów analiz wykorzystano dane badawcze z trzech kolejnych lat, wyraźnie zróżnicowanych pod względem opadów atmosferycznych (pierwszy rok badań scharakteryzowano jako mokry, kolejne jako normalny i suchy, a okresy wegetacyjne tych lat oceniono odpowiednio jako okres średnio mokry, normalny i średnio suchy).

Gleby, w profilach objętych badaniami, to żyzne czarne ziemie, wytworzone z pyłów lokalnie podścielonych lżejszymi utworami (Zybiszów) lub glinami średnimi i ciężkimi pylastymi (Bliź).

Badania i analizy, prowadzone na obiektach położonych na terenach równinnych Dolnego Śląska, pozwoliły na stwierdzenie że:

- zmienność zasobów retencji glebowej w kolejnych okresach wegetacyjnych była wyraźnie związana z rozkładem opadów w poszczególnych miesiącach;
- wahania zwierciadła wody w 4 badanych zbiornikach pochodzenia antropogenicznego, były niewielkie i nie miały znaczącego wpływu na zmianę wielkości zapasów wody gromadzonej w profilach glebowych;
- w miarę wzrostu odległości od zbiornika w Zybiszowie wzrastała głębokość zwierciadła wody gruntowej i malała przeważnie wielkość zapasów wody w glebie;
- oddziaływanie zbiorników na stosunki wodne przyległego terenu było nieznaczne i ograniczało się praktycznie do ich bliskiego otoczenia;
- w warunkach terenów objętych badaniami podczas średnio mokrego oraz normalnego okresu wegetacyjnego rośliny uprawne miały zapewnione korzystne warunki wilgotnościowe w glebie, niezbędne dla prawidłowego rozwoju i plonowania;
- pomimo znacznego wyczerpywania się zasobów retencji glebowej, obserwowanego w drugiej części średnio suchego okresu wegetacyjnego, w glebie pozostawały rezerwy wilgoci większe od absolutnych minimów i nie obserwowano trwałego wędnięcia roślin.

Rezultaty moich prac znalazły potwierdzenie w wynikach badań prowadzonych w Wielkopolsce (Bykowski i in. 2004; Fiedler i in. 2002; Liberacki i in. 2006), co pozwala

sądzić, iż zaproponowane w kolejnych artykułach cyklu możliwości prognozowania zapasów wodnych w oparciu o podstawowe dane terenowe będą mogły znaleźć zastosowanie na wielu innych obszarach.

W **publikacji 3.** dokonałem oceny i analizy porównawczej kształtowania się zapasów wody w okresach wegetacyjnych w wybranych profilach glebowych na czterech obiektach badawczych położonych w rejonie Wrocławia z uwzględnieniem zmienności warunków meteorologicznych, glebowych i wahań zwierciadła wody gruntowej. Były to wspomniane już wcześniej obiekty (Zybiszów i Bliź), a także kolejne dwa - Smolec i Rybnica usytuowane również na użytkach rolnych w otoczeniu niewielkich zbiorników wodnych.

Sezonowa zmienność warunków pogodowych i uwilgotnienia gleby wpływa na rozwój roślin uprawnych, zwłaszcza w okresach dla nich krytycznych (Garcia y Garcia i in.; 2009; Singh i in. 2007; Razzaghi i in. 2012). Dlatego niezbędne jest właściwe rozpoznanie i zrozumienie stosunków wodnych gleb dla prawidłowego projektowania i eksploatacji systemów nawodnień i odwodnień oraz monitorowania przepływu wody i transportu zanieczyszczeń (Pokładek, Nyc 2010; Aljoumani i in. 2012).

Porównując przebieg zapasów wody w analizowanych latach w 6 wybranych profilach oznaczonych jako Bp (Bliź), Rp1 i Rp2 (Rybnica), Sp (Smolec), Zp1 i Zp2 (Zybiszów), stwierdziłem, że ogólny charakter ich zmienności był bardzo podobny, a pewne ich zróżnicowanie wynikało z lokalnych warunków glebowych oraz położenia zwierciadła wody gruntowej. Również ewentualne zmiany zagęszczenia gleby wskutek zabiegów uprawowych i przejazdów ciężkich maszyn, mogły wpływać bezpośrednio na jej zdolności retencyjne i ilości gromadzonej wody (Fernández-Gálvez i Barahona 2005; Alaoui i in. 2011; Bogdał i in. 2014).

Wieloletnie doświadczenie praktyczne nabyte przeze mnie podczas badań związanych z oceną kształtowania się stosunków wodnych gleb, wiele dziesiątek dni spędzonych na prowadzonych w terenie pomiarach uwilgotnienia gleb w różnych warunkach hydrograficznych, meteorologicznych, glebowych na kilku różnych obiektach doświadczalnych oraz związana z tym świadomość zróżnicowania i uzależnienia uzyskiwanych wyników od szeregu czynników zewnętrznych, a także zgromadzona przez lata obszerna baza rzeczywistych danych pomiarowych, spowodowały, że zainteresowałem się możliwością wykorzystania sztucznych sieci neuronowych (SSN) do szacowania zasobów wilgoci w profilu glebowym. W **publikacji 3.** podjąłem próbę zastosowania tej metody do określania zapasów wody w glebie przy wykorzystaniu zgromadzonej wcześniej bazy danych pomiarowych.

Czynnikami decydującymi o ilości wody gromadzonej w profilu glebowym jest wysokość opadów oraz ilość energii dostarczonej w postaci promieniowania słonecznego (Galicia i in. 1999). Ponadto zarówno temperatura jak i opady są głównymi parametrami uwzględnianymi w modelowaniu skutków zmiany klimatu dla bilansu wodnego (Veijalainen i in. 2012). Wilgotność gleby odzwierciedla nie tylko aktualne, ale i wcześniej panujące warunki pogodowe, dlatego dla oceny jej zmienności celem jest uwzględnianie nie tylko bieżących warunków meteorologicznych, ale także z okresów wcześniejszych (Czarnecka, Nidzgorska-Lencewicz 2006; Łabędzki, Adamski 2010). W związku z tym do oszacowania zasobów wody w profilu glebowym zaproponowałem wstępnie następujący model:

$$Z_n = f(P_0, T_0, \sum_{i=1}^{i=n-1} P_i, \sum_{i=0}^{i=n-1} T_i) \quad [mm]$$

gdzie:

$Z_n$  – zapas wody w glebowym w n-tym dniu okresu wegetacyjnego (dla 1 IV  $i=1$ ), mm;

$P_0$  – suma opadów w okresie półrocza zimowego (1 X – 31 III) bezpośrednio poprzedzającego analizowany okres wegetacyjny, mm;

$T_0$  – suma średnich dobowych temperatur w okresie półrocza zimowego (1 X – 31 III) bezpośrednio poprzedzającego analizowany okres wegetacyjny, °C;

$\sum_{i=1}^{i=n-1} P_i$  – suma dobowych opadów od 1 IV do dnia poprzedzającego dzień wyznaczania zasobów wody w profilu glebowym, mm;

$\sum_{i=1}^{i=n-1} T_i$  – suma średnich dobowych temperatur powietrza od 1 IV do dnia poprzedzającego dzień wyznaczania zasobów wody w profilu glebowym, °C.

Do analiz przy użyciu SSN wykorzystane zostały dane pomiarowe uzyskane na obiekcie Bliż podczas trzech okresów wegetacyjnych w czterech profilach glebowych. W każdym profilu wykonano po 74 oznaczenia uwilgotnienia gleby, na podstawie których określono wielkości zasobów wody dla trzech warstw o miąższości 0-25 cm; 0-50 cm oraz 0-100 cm. Dane pierwszego wykorzystano do uczenia sieci, z drugiego do walidacji, a trzeciego do testowania (profile te omówiono bardziej szczegółowo w **publikacji 2.**, oznaczając je odpowiednio jako B1, B2, B4). Natomiast dane z kolejnego, czwartego profilu, wykorzystano do oceny modelu.

Po wstępnej analizie wyników uzyskiwanych dla modeli dostępnych w pakiecie Statistica, stwierdzono, że najlepsze dopasowanie uzyskiwano dla sieci radialnej RBF. Jest

ona rodzajem jednokierunkowej sieci neuronowej, w której wykorzystywana jest technika radialnych funkcji bazowych (RBF – Radial Basis Functions), stosowane są neurony radialne i która w typowym kształcie składa się z warstwy wejściowej, nieangażowanej bezpośrednio w procesy przetwarzania informacji, warstwy ukrytej złożonej z neuronów radialnych i warstwy wyjściowej, wypracowującej odpowiedź sieci (Tadeusiewicz, Szaleniec 2015).

Dla każdego przypadku testowano 100 sieci i wybierano 5 najlepiej dopasowanych przyjmując za kryterium najmniejszy błąd dla zbioru walidacyjnego. Ze względu na bardzo zbliżone parametry dla wybranego zbioru sieci ostatecznego wyboru modelu dokonano w oparciu o wielkość korelacji.

Uzyskane wartości współczynnika korelacji, oscylujące wokół 0,9, świadczą o bardzo wysokim dopasowaniu modelu do danych empirycznych. Jego wartość wzrasta wraz z miąższością profilu glebowego. W dalszej kolejności przeprowadzono analizę dopasowania wartości zmierzonych (X) oraz prognozowanych (Y) dla trzech różnych miąższości profilu. Model wykazuje wysoki stopień dopasowania i pozwala sądzić, że można on być przydatny do szacowania zapasów wody w profilu glebowym.

O przydatności modelu do praktycznego zastosowania decyduje jego weryfikacja. Do tego celu wykorzystano dane pochodzące z ostatniego profilu oddalonego o około 250 m od miejsca, w którym są zlokalizowane profile wykorzystane do budowy modelu. Przeanalizowano zależności pomiędzy prognozą uzyskaną dla tego profilu, a wartościami pomierzonymi. Uzyskano zależności o wysokim współczynniku korelacji. Zdecydowana większość punktów mieści się w pasie predykcji o prawdopodobieństwie wynoszącym 95%.

Uzyskane wyniki wskazują, że sztucznie sieci neuronowe mogą być stosowane do modelowania retencji profilu glebowego na podstawie powszechnie mierzonych danych meteorologicznych.

Zaproponowane w **publikacji 3.** wykorzystanie SSN do szacowania zapasów wody w glebie i modelu uwzględniającego tylko warunki meteorologiczne wskazuje, że zapewne w takiej postaci nie mógłby on być zastosowany szerzej, zwłaszcza w warunkach występującego zwykle w środowisku przyrodniczym znacznego zróżnicowania glebowego. Niezbędnym więc dalszym działaniem okazała się ocena możliwości prognozowania zapasów wody w glebie przy użyciu SSN w oparciu nie tylko o podstawowe dane meteorologiczne, lecz również z uwzględnieniem zróżnicowania właściwości retencyjnych gleb.

W **publikacji 4.** podjąłem próbę rozbudowy i poszukiwania modelu opisującego zapasy wody w okresie wegetacyjnym w zależności od wysokości opadów, przebiegu

temperatur oraz wartości polowej pojemności wodnej jako czynnika różnicującego gleby, ich zdolności do magazynowania wody i jednocześnie relatywnie prostego do oszacowania w warunkach terenowych.

Do modelowania wykorzystane zostały dane badawcze uzyskane w terenie w różnych okresach na 7 obiektach doświadczalnych w południowo-zachodniej Polsce. Pięć z nich Ługowinka, Samotwór, Smolec, Rybnica i Bliż położonych jest w województwie dolnośląskim, natomiast dwa – Rybna i Wyszków w województwie opolskim.

Dla zapewnienia największej reprezentatywności danych pomiarowych do analiz wybrano łącznie 15 profili glebowych w taki sposób, aby zapewnić szerokie zróżnicowanie gleb i ich właściwości retencyjnych – od gleb lekkich piaszczystych na obiekcie Samotwór do bardzo ciężkich na obiekcie Rybna, zawierających nawet około 80 % i więcej frakcji spławialnej ( $>0,02$  mm). Charakterystyczne stany retencji gleb w tym PPW, określono sporządzając krzywe retencyjności na podstawie badań laboratoryjnych próbek pobranych z poszczególnych warstw profili glebowych.

W obliczeniach wykorzystano dane opadowe i termiczne uzyskane ze stacji IMGW i posterunków meteorologicznych, zlokalizowanych najbliżej terenu badań. Wszystkie obiekty, na których prowadzono badania, zgodnie z regionalizacją klimatyczną Wosia (2010), są położone na terenie regionu Dolnośląskiego Wschodniego. Średnia roczna suma opadów z wielolecia 1951-2000 wynosi w tym regionie 570 mm, najmniej występuje ich w lutym (26 mm), a najwięcej w lipcu (89 mm). Średnia roczna temperatura powietrza w regionie Dolnośląskim Wschodnim to  $8,3^{\circ}\text{C}$ , dla stycznia  $-1,5^{\circ}\text{C}$ , a dla lipca  $18,1^{\circ}\text{C}$ .

Na podstawie analizy przebiegu zmienności zapasów wody glebowej na obiektach badawczych w poszczególnych latach stwierdzono, że kształtowały się one zgodnie z sezonową tendencją typową dla warunków klimatycznych Polski.

Ponieważ wybór obiektów i konkretnych profili dla celów modelowania przy użyciu SSN dokonany został w taki sposób, aby reprezentowały one możliwie szerokie spektrum gleb (od gleb lekkich, przez średnie do bardzo ciężkich), dokonując porównania wielkości zapasów wody gromadzonych w profilach glebowych pomiędzy obiektami w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego, można zauważyć znaczne zróżnicowanie zarejestrowanych wartości. Najniższe ilości wody retencjonowane były w glebach na obiektach Samotwór i Ługowinka, wyraźnie wyższe w Smolcu i Bliżu, najwyższe w Wyszkowie i w Rybnej. Stan taki związany jest przede wszystkim ze zróżnicowaniem gatunków gleb i ich właściwości wodnych. W profilach Lu1 i Lu2 (Ługowinka, piaski gliniaste lekkie i mocne, podścielone gliną lekką i średnią) oraz w profilach Sa1, Sa2, Sa3 (Samotwór, piaski glinaste i glina lekka)

wielkość średnich zapasów wody gromadzonych w jednometrowym profilu glebowym w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego kształtowała się w przedziale od około 80 mm do 250 mm. W profilach Lu3 (Ługowinka, glina lekka i średnia pylasta, podścielona piaskiem luźnym), B11, B12, B13 (Bliz, pyły podścielone gliną średnią i ciężką pylastą), Ra4 (Rybnica, pył podścielony gliną lekką pylastą), Sm4 (Smolec, glina lekka pylasta podścielona pyłem) ilość retencjonowanej wody w okresie wegetacyjnym wahała się w przedziale około 200-340 mm. Najwyższe zasoby wody retencjonowane były w profilach obiektów Wyszków (profil Wy4, glina ciężka i ciężka pylasta, podścielone gliną średnią pylastą) oraz Rybna (profile Ry1, Ry2, Ry3, gliny ciężkie i ility) – średnio w poszczególnych miesiącach IV-IX od około 340 mm do ponad 500 mm. Na wielkość zasobów wodnych gromadzonych w glebach tego ostatniego obiektu oprócz składu granulometrycznego, typowego dla bardzo ciężkich utworów i charakterystycznych dla niego właściwości wodnych, niewątpliwie duży wpływ miała również specyfika jego położenia na polderze (Rybna-Stobrawa) rzeki Odry.

Modelowanie zapasów wody w glebie zostało przeprowadzone przy użyciu sztucznych sieci neuronowych (SSN) i oprogramowania Statistica.

Profile określone jako B11, Lu1, Ry1, Sa1 zostały wykorzystane do uczenia sieci, B12, Lu2, Ry2, Sa2 do testowania, B13, Lu3, Ry3, Sa3 do walidacji, natomiast do weryfikacji modelowania dane pomiarowe uzyskane w profilach Ra4, Sm4 i Wy4. Zaproponowałem przeprowadzenie modelowania w czterech wariantach:

$$A - Z_n = f(P_0, T_0, \sum_{i=1}^{i=n-1} P_i, \sum_{i=0}^{i=n-1} T_i)$$

$$B - Z_n = f(PPW, P_0, T_0, \sum_{i=1}^{i=n-1} P_i, \sum_{i=0}^{i=n-1} T_i)$$

$$C - Z_n = f(P_0, T_0, Z_0, \sum_{i=1}^{i=n-1} P_i, \sum_{i=0}^{i=n-1} T_i)$$

$$D - Z_n = f(PPW, P_0, T_0, Z_0, \sum_{i=1}^{i=n-1} P_i, \sum_{i=0}^{i=n-1} T_i)$$

$Z_n$  – zasób wody w glebowym w n-tym dniu okresu wegetacyjnego (dla 1 IV  $i=1$ ), mm;

$PPW$  – połowa pojemność wodna, mm;

$P_0$  – suma opadów w okresie półrocza zimowego (1 X – 31 III) bezpośrednio poprzedzającego analizowany okres wegetacyjny, mm;

$T_0$  – suma średnich dobowych temperatur w okresie półrocza zimowego (1 X – 31 III) bezpośrednio poprzedzającego analizowany okres wegetacyjny, °C;

$Z_0$  – zasób wody w glebowym w dniu 1 kwietnia, mm;

$\sum_{i=1}^{i=n-1} P_i$  – suma dobowych opadów od 1 IV do dnia poprzedzającego dzień wyznaczenia zapasów wody w profilu glebowym, mm;

$$\sum_{i=1}^{i=n-1} T_i$$

– suma średnich dobowych temperatur powietrza od 1 IV do dnia poprzedzającego dzień wyznaczania zapasów wody w profilu glebowym, °C.

Najprostszy z powyższych wariantów A był analogiczny do przeanalizowanego w **publikacji 3.**, w kolejnych dwóch podjęto próbę jego rozbudowania o wielkości różnicujące zmienność gleb i ich zdolności retencyjnych, uwzględniając w wariancie B połowę pojemność wodną (PPW), a w wariancie C zapas wody na początku okresu wegetacyjnego. Wariant D kompleksowo połączył wszystkie wcześniejsze, uwzględniając dane meteorologiczne, PPW oraz zapas początkowy wilgoci.

Po wstępnej analizie wyników uzyskiwanych dla modeli dostępnych w pakiecie Statistica stwierdzono, że najlepsze dopasowanie uzyskiwano dla sieci typu RBF (Radial Basis Functions), a w niektórych przypadkach lepsze dopasowanie uzyskiwano dla modelu GRNN (sieć uogólnionej regresji - General Regression Neural Network) (Tadeusiewicz, Szaleniec 2015), co znajduje potwierdzenie w literaturze, gdzie różne modele SSN były stosowane w badaniach hydrologicznych, na przykład do oceny zasobów wodnych, oceny współczynników spływu i oceny jakości wody (Parida i in., 2006; Karadurmus i in. 2012).

Porównanie wariantów modelu pokazało że przy modelowaniu zapasów wody w profilach glebowych o trzech miąższościach (0-25cm, 0-50cm oraz 0-100 cm) uwzględnienie połowej pojemności wodnej (model B) pozwala na uzyskiwanie znacznie lepszego dopasowania modelu do danych pomiarowych niż w przypadku najprostszego wariantu uwzględniającego tylko podstawowe dane meteorologiczne. Interesującym okazało się uwzględnienie w modelu (C) wartości początkowej zapasów wody w profilu glebowym. Dla wszystkich przypadków uzyskano większy współczynnik korelacji niż miało to miejsce w modelu B. Ostatecznie podjęto próbę wykorzystania obu tych wartości (model D), jednak poprawę dopasowania modelu uzyskano tylko dla profilu o miąższości 0-25 cm.

W dalszej kolejności przystąpiono do weryfikacji uzyskanych wyników dla danych niezależnych pochodzących z innych obiektów badawczych: Rybnica (Ra4), Smolec (Sm4) oraz Wyszaków (Wy4), testując wszystkie modele.

Weryfikacja wykazała istnienie zależności o wysokim współczynniku korelacji pomiędzy wartościami estymowanymi i pomierzonymi. Zdecydowana większość punktów mieści się w pasie predykcji o prawdopodobieństwie wynoszącym 95%. Wszystkie zależności są istotne dla  $p=0,05$ . Ze względu na dość zróżnicowane wyniki, najlepsze dopasowanie uzyskiwano dla różnych modeli, podjęto próbę wyboru najlepszego wariantu dla



profilu o danej miąższości Dokonano oceny wariantów modeli dla poszczególnych obiektów (profilu) i miąższości, przypisując najlepszemu 3 punkty, drugiemu w kolejności - 2, trzeciemu - 1 i czwartemu – 0. Następnie dla danej miąższości zsumowano liczby punktów uzyskane przez poszczególne modele:

Model/ warstwa	0 – 25 cm	0 – 50 cm	0 – 100 cm
A	<b>6</b>	4	0
B	3	2	7
C	<b>6</b>	5	3
D	3	<b>7</b>	<b>8</b>

Porównanie punktacji wykazało, że najlepsze dopasowanie danych w warstwie 0-25 cm uzyskano dla modeli A i C, natomiast w warstwach 0-50 cm i 0-100 cm dla wariantu D. Wyraźnie wskazuje to na to, że bezpośredni wpływ na zasoby wody w powierzchniowych warstwach gleby mają lokalne warunki meteorologiczne, co znajduje potwierdzenie w ustaleniach podanych w literaturze (Earman i Dettinger 2011; Garcia y Garcia i in. 2009). W profilach o większej miąższości, szczególnie w głębszych warstwach, większe znaczenie mają właściwości gleby, w tych konkretnie analizach charakteryzowane przez PPW i zapas początkowy  $Z_0$ .

Porównanie przebiegu wartości pomierzonych zapasów i wartości szacowanych podczas 6 kolejnych okresów wegetacyjnych wskazuje na dość dobre dopasowanie modelu do wartości rzeczywistych, a trendy modelowania prawidłowo zareagowały na zmienność danych. Również inni badacze uzyskali wyraźną korelację między pomierzonymi i modelowanymi wartościami zapasów wilgoci glebowej (Baláž i in. 2009; Mohanty i in. 2015; Liang i in. 2016).

Dla zrealizowania założonego celu naukowego w **publikacji 5.** podjąłem próbę modyfikacji i udoskonalenia wcześniejszego modelu poprzez wprowadzenie do niego kolejnego zmiennego parametru, jakim jest głębokość zalegania zwierciadła wody gruntowej i dokonania oceny jego przydatności dla potrzeb szacowania zmian uwilgotnienia strefy aeracji. Przeprowadzone analizy miały na celu ocenę możliwości dalszego uproszczenia modelowania zapasów wody w glebie przy użyciu SSN, przy wykorzystaniu łatwo dostępnego parametru, jakim jest położenie zwierciadła wody gruntowej na początku okresu wegetacyjnego. We wcześniejszych wariantach (C i D) wykorzystywano wielkość początkową zapasów wody w glebie ( $Z_0$ ), co nie zawsze jest możliwe do ustalenia (zmierzenia) w warunkach polowych. Dzięki temu opracowany model mógłby zyskać znacznie szersze zastosowanie praktyczne przydatne, w szybkim prognozowaniu zmian zasobów wodnych gleby.

Aby zapewnić możliwość porównania i obiektywnej oceny wszystkich wariantów modelowania, skorzystano z bazy danych pomiarowych, użytej do modelowania w **publikacji 4**. We wszystkich lokalizacjach profili glebowych (Lu1, Lu2, Lu3 – obiekt Ługowinka, Sa1, Sa2, Sm3 – obiekt Samotwór, B11, B12, B13 – obiekt Bliż, Ry1, Ry2, Ry3 – obiekt Rybna, Sm – obiekt Smolec, Wy – obiekt Wyszków, Ra – obiekt Rybnica) zainstalowane były piezometry, w których regularnie, również w terminach badań uwilgotnienia, prowadzone były za pomocą gwizdka hydrometrycznego pomiary głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej.

Analizując kształtowanie się lustra wody gruntowej w badanych profilach glebowych, można stwierdzić, że w większości profili, z nielicznymi wyjątkami, średnia jego głębokość kształtuje się zazwyczaj w przedziale około 100-150 cm od powierzchni terenu.

Okresowo lub stale płytko zalegające zwierciadło wody gruntowej może wpływać na wielkość zasobów wilgoci glebowej (Soylu i in. 2014; Xu i in. 2016). Celowość uwzględnienia w modelowaniu zapasów retencji glebowej, położenia lustra wody gruntowej jako kolejnego parametru, zdawały się również potwierdzać podjęte w latach wcześniejszych na obiektach Rybna i Wyszków próby oceny związku głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej i uwilgotnienia powierzchniowej (0-50 cm) warstwy gleby (Orzepowski 2001). Stwierdzono, że w glebach ciężkich, przy płytkim zaleganiu wody gruntowej w pobliżu analizowanej warstwy profilu (obiekt Rybna), taki związek jest wyraźny, natomiast gdy wody gruntowe zalegają głębiej (obiekt Wyszków), jest on słaby. Również w glebach przepuszczalnych i średnio zwięzłych na obiekcie Ługowinka, przy zwierciadle wody gruntowej przeciętnie na poziomie od 0,5 do 1,5 m, stwierdzono wyraźną zależność między głębokością zwierciadła wody gruntowej a zawartością wilgoci w strefie aeracji (Kowalczyk i in. 2004).

W celu poprawy dopasowania danych prognozowanych do wartości pomierzonych testowano w kolejnych wariantach możliwość zastąpienia zapasów wody w profilu glebowym w początkowej fazie okresu wegetacyjnego ( $Z_0$ ) prostszą w pomiarze głębokością zwierciadła wody w tym czasie ( $H_0$ ), jak również poszerzenie modelu o kolejny parametr ( $H$ ) – wynikający z przebiegu zmian położenia zwierciadła wody gruntowej w okresie wegetacyjnym (warianty E, F, G). Obliczenia przeprowadzono dla trzech warstw o miąższości: 0-25 cm; 0-50 cm oraz 0-100 cm. Wykonano je w pakiecie Statistica, w podobny sposób jak przedstawiony w **publikacji 4**:

$$D- Z_n = f(PPW, P_0, T_0, Z_0, \sum_{i=1}^{n-1} P_i, \sum_{i=0}^{n-1} T_i)$$

$$E- Z_n = f(PPW, P_0, T_0, H_0, \sum_{i=1}^{i=n-1} P_i, \sum_{i=0}^{i=n-1} T_i)$$

$$F- Z_n = f(PPW, P_0, T_0, H_0, H, \sum_{i=1}^{i=n-1} P_i, \sum_{i=0}^{i=n-1} T_i)$$

$$G- Z_n = f(PPW, P_0, T_0, Z_0, H, \sum_{i=1}^{i=n-1} P_i, \sum_{i=0}^{i=n-1} T_i)$$

gdzie:

$Z_n$  – zapas wody w glebowym w n-tym dniu okresu wegetacyjnego (dla 1 IV  $i=1$ ), mm;

$PPW$  – połowa pojemność wodna, mm,

$P_0$  – suma opadów w okresie półrocza zimowego (1 X – 31 III) bezpośrednio poprzedzającego analizowany okres wegetacyjny, mm;

$T_0$  – suma średnich dobowych temperatur w okresie półrocza zimowego (1 X – 31 III) bezpośrednio poprzedzającego analizowany okres wegetacyjny, °C;

$Z_0$  – zapas wody w profilu glebowym w dniu 1 kwietnia, mm;

$H_0$  – głębokość zwierciadła wody gruntowej w dniu 1 kwietnia, cm

$H$  – głębokość zwierciadła wody gruntowej w czasie okresu wegetacyjnego, cm;

$\sum_{i=1}^{i=n-1} P_i$  – suma dobowych opadów od 1 IV do dnia poprzedzającego dzień wyznaczania zapasów wody w profilu glebowym, mm;

$\sum_{i=1}^{i=n-1} T_i$  – suma średnich dobowych temperatur powietrza od 1 IV do dnia poprzedzającego dzień wyznaczania zapasów wody w profilu glebowym, °C.

Analiza uzyskanych rezultatów w profilach glebowych o trzech miąższościach (0-25 cm, 0-50 cm oraz 0-100 cm) wykazała, że uwzględnienie sezonowego przebiegu zmian położenia zwierciadła wody (H) (modele F i G) dało pozytywny wynik tylko w połączeniu z wykorzystaniem w modelu zapasów wody w profilu glebowym w początkowej fazie okresu wegetacyjnego ( $Z_0$ ). Zamiana tego parametru na pomierzoną w tym samym czasie głębokość zalegania wody gruntowej ( $H_0$ ) wpłynęła na zmniejszenie współczynnika korelacji.

W dalszej kolejności przystąpiono do weryfikacji uzyskanych wyników dla danych niezależnych pochodzących z innych obiektów badawczych: Rybnica (Ra), Smolec (Sm) oraz Wyszków (Wy). Testowi poddano wszystkie modele, odnosząc rezultaty do modelu bazowego D, który podlegał doskonaleniu. Korzystny wynik uzyskano tylko dla miąższości 0–25 cm, ponieważ we wszystkich przypadkach lepsze dopasowanie uzyskano dla modelu G oraz po jednym przypadku dla modelu E i F. Przy miąższości 0-50 cm oraz 0-100 cm tylko po jednym przypadku na trzy analizowane, uzyskano lepszy wynik dla modelu E, natomiast modele F i G dały mniej korzystne wyniki we wszystkich przypadkach niż model bazowy D.

W dalszej kolejności podjęto próbę określenia najlepszego modelu dla poszczególnych miąższości. W podobny sposób, jak przy wcześniejszych wariantach modeli analizowanych w **publikacji 4.**, dla każdego obiektu i miąższości sporządzono ranking modeli, przypisując najlepszemu 3 punkty, drugiemu – 2, trzeciemu – 1 i czwartemu – 0. Następnie dla danej miąższości zsumowano liczby punktów uzyskane przez poszczególne modele i dokonano oceny przydatności kolejnych wariantów modeli do prognozowania zasobów w poszczególnych warstwach profilu glebowego.

Model/warstwa	0 – 25 cm	0 – 50 cm	0 – 100 cm
D	4	7	6
E	3	6	7
F	4	3	0
G	7	2	5

Przeprowadzona analiza wykazała, że najwyższą ocenę punktową dla każdej z trzech miąższości profilu glebowego uzyskały 3 różne warianty modelu, w tym dwa nowo opracowane (E i G). Dla warstwy o miąższości 0-100 cm najwyższą ocenę uzyskał wariant E, w którym zastąpiono użytą w modelu D wielkość początkową zasobów wody  $Z_0$  głębokością początkową zwierciadła wody gruntowej  $H_0$ . Dla warstwy 0-25 cm najlepszy wynik osiągnięto dla najbardziej rozbudowanego modelu G, łączącego w sobie wszystkie zastosowane dotychczas parametry meteorologiczne, hydrologiczne i glebowe. Jednak w przypadku tej warstwy wcześniejsze analizy wskazywały, że uwzględnienie PPW znacząco pogorszyło dopasowanie. Ponadto w dwóch z trzech analizowanych miąższości profili glebowych najlepsze dopasowania osiągnęły warianty modelu nie uwzględniające sezonowej zmienności zwierciadła wody gruntowej. Konieczna okazała się więc głębsza ocena celowości wykorzystania zmienności poziomów wód gruntowych w modelowaniu zasobów wody w glebie. W tym celu porównano przebieg wyników zmierzonych i oszacowanych w najbardziej wszechstronnym wariantcie modelu G z wyjściowym, najprostszym modelem A, który w warstwie 0-25 cm dawał najlepsze rezultaty (**publikacja 4.**). Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazały, że w tej warstwie gleby zmienność zwierciadła wody w okresie wegetacyjnym nie ma większego wpływu na wielkość zasobów wilgoci glebowej. Ustalenia te poparte są wnioskami przedstawionymi w literaturze, wskazującymi, że dla zasobów wilgoci w warstwie powierzchniowej gleby największe znaczenie ma lokalna zmienność warunków meteorologicznych (Garcia y Garcia i in. 2009; Earman i Dettinger 2011).

## 2.4 Wnioski

1. Głównym czynnikiem wpływającym na kształtowanie się zwierciadła wód gruntowych i zasobów retencji glebowej był przebieg i rozkład warunków meteorologicznych w poszczególnych miesiącach.
2. Zapasy wody gromadzone w glebie w okresie wegetacyjnym na obiektach badawczych kształtowały się zgodnie z sezonową tendencją typową dla warunków klimatycznych Polski.
3. Charakter zmian zapasów wody w profilach glebowych na różnych obiektach badawczych był bardzo podobny, natomiast ich wielkości wynikały przede wszystkim z lokalnych warunków glebowych i położenia zwierciadła wody gruntowej.
4. Sztuczne sieci neuronowe mogą mieć zastosowane praktyczne do określania zapasów retencji w zróżnicowanych warunkach glebowych, przy czym dla uzyskania najlepszych rezultatów ich szacowania, duże znaczenie ma odpowiedni dobór parametrów wejściowych, uzależniony od miąższości profilu glebowego dla którego te zapasy są modelowane.
5. Analizy i oceny porównawcze wszystkich wariantów wykazały, że dla płytko położonych, powierzchniowych warstw gleby, najlepsze rezultaty można osiągnąć wykorzystując do modelowania tylko podstawowe dane meteorologiczne (opady i temperatura), natomiast podczas szacowania zapasów wody w profilach glebowych o większej miąższości, lepsze dopasowanie modelu do danych można uzyskać poprzez dodatkowe uwzględnienie zapasu początkowego (na początku okresu wegetacji) oraz polowej pojemności wodnej.
6. W celu ułatwienia pozyskania danych wejściowych, bez znaczącego wpływu na dokładność modelowania, oznaczanie stanu początkowego zapasów wodnych może być zastąpione pomiarem głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej na początku okresu wegetacyjnego.
7. Wykorzystanie w modelowaniu przy użyciu SSN szczegółowych danych, dotyczących zmienności położenia zwierciadła wody gruntowej w czasie trwania okresu wegetacyjnego, nie poprawia dokładności oszacowania zapasów retencji glebowej.
8. Sztuczne sieci neuronowe (SSN) mogą być użytecznym narzędziem do szacowania i oceny zawartości wody w profilach glebowych w warunkach różnych scenariuszy klimatycznych.

## Literatura

- Afshar M.H., Yilmaz M.T., 2017. The added utility of nonlinear methods compared to linear methods in rescaling soil moisture products. *Remote Sensing of Environment* 196, 224–237.
- Alaoui A., Lipiec J., Gerke H.H., 2011. A review of the changes in the soil pore system due to soil deformation: a hydrodynamic perspective. *Soil Till. Res.* 115-116, 1–15.
- Alexakis D.D., Mexis F.-D.K., Vozinaki A.-E.K., Daliakopoulos I.N. Tsanis I.K., 2017. Soil moisture content estimation based on sentinel-1 and auxiliary earth observation products. A Hydrological Approach. *Sensors*, 17 (6), 1455.
- Aljoumani B., Sánchez-Espigares J.A., Nuria Cañameras N., Josa R., Monserrat J., 2012. Time series outlier and intervention analysis: irrigation management influences on soil water content in silty loam soil. *Agric. Water Manage.* 111, 105–114.
- Altunkaynak A. 2007. Forecasting surface water level fluctuations of Lake Van by artificial neural networks. *Water Resour. Manage.*, 21 (2), 399–408.
- Baláž P., Střelcová K., Blaženec M., Pokorný R. Klimánková, Z. 2009. Assessment of water deficiency in forest ecosystems: can a simple model of forest water balance produce reliable results? W: Střelcová K., Mátyás C., Kleidon A., Lapin M., Matejka F., Blaženec M., Škvarenina J., Holécý J. (eds). *Bioclimatology and Natural Hazards*, 207–217. Springer, The Netherlands.
- Banerjee P., Prasad R.K., Singh V.S., 2009. Forecasting of groundwater level in Hard Rock Region using artificial neural network. *Environ. Geol.*, 58 (6), 1239–1246.
- Bogdał A., Borek Ł., Ostrowski K., 2016. Wpływ głęboszowania na zmiany właściwości fizyko-wodnych gleby płowej. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus* 13 (4), 35–43.
- Bradford J. B., Schlaepfer D. R., Lauenroth W. K., Yackulic C. B., Duniway M., Hall S., Jia G. S., Jamiyansharav K., Munson S. M., Wilson S. D., Tietjen B., 2017. Future soil moisture and temperature extremes imply expanding suitability for rainfed agriculture in temperate drylands. *Scientific Reports* 7, 12923.
- Brandyk A., Kiczko A., Majewski G., Kleniewska M., Krukowski M. 2016. Uncertainty of deardorff's soil moisture model based on continuous TDR measurements for sandy loam soil. *J. Hydrol. Hydromech.*, 64, 2016, 1, 23–29.
- Bykowski J., Szafranski Cz., Fiedler M., 2004. Dynamika uwilgotnienia czarnych ziem w warunkach piętrzenia wody w rowie melioracyjnym. *Rocz. AR w Poznaniu* 357, Melior. i Inż. Środ. 25, 29-34.
- Cammalleri C., Micale F., Vogt J., 2015. On the value of combining different modelled soil moisture products for European drought monitoring. *Journal of Hydrology* 525, 547–558.
- Campos de Oliveira M.H., Sari V., dos Reis Castro N.M., Pedrollo, O.C., 2017. Estimation of soil water content in Watershed using artificial neural networks. *Hydrol. Sci. J.*, 62 (13), 2120–2138.
- Chattopadhyay N., Vyas S. S., Bhattacharya B. K., Tidke N. S., Dhangar N. G., 2017. Validation of soil moisture derived from water balance method and satellite observation. *MAUSAM*, 68, 2 (April 2017), 279-286.
- Ciric V. I., Dreskovic N., Mihailovic D. T. Mimic G., Arsenic I., Durdevic V., 2017. Which is the response of soils in the Vojvodina Region (Serbia) to climate change using regional climate simulations under the SRES-A1B? *CATENA*, 158 171-183.
- Corradini C., 2014. Soil moisture in the development of hydrological processes and its determination at different spatial scales. *Journal of Hydrology* Volume 516, 1–5.
- Czapczuk A., Dawidowicz J., Piekarski J., 2015. Metody sztucznej inteligencji w projektowaniu i eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 1527–1544.

- Czarnecka M., Nidzgorska-Lencewicz J., 2006. Rola elementów meteorologicznych w kształtowaniu dobowej zmienności wilgotności gleby lekkiej w okresie zimowym. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio B*, Vol. 61, 125-130.
- Dadaser-Celik F., Cengiz, E., 2013. A Neural network model for simulation of water levels at the Sultan Marshes Wetland in Turkey. *Wetl. Ecol. Manage.*, 21 (5), 297–306.
- De Fraiture Ch., Wichelns D., 2010. Satisfying future water demands for agriculture. *Agric. Water Manage.* 97, 502-511.
- Deo R.C., Şahin M., 2015. Application of the artificial neural network model for prediction of monthly standardized precipitation and evapotranspiration index using hydrometeorological parameters and climate indices in Eastern Australia. *Atmos. Res.*, 161–162, 65–81.
- Earman S., Dettinger M. 2011 Potential impacts of climate change on groundwater resources – a global review. *J. Water. Clim. Change*, 2, 213–229.
- Falloon P., Betts R, 2010. Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation—The importance of an integrated approach. *Science of the Total Environment* 408, 5667–5687.
- Fatyga J., Górecki A., Helis M., 2007. Małe zbiorniki wodne na obszarze powiatu wrocławskiego ziemskiego. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie t. 7 z. 2a (20)*, 107-126.
- Fernández-Gálvez J., Barahona E., 2005. Changes in soil water retention due to soil kneading. *Agric. Water Manage.* 76, 53–61.
- Fiedler M., Szafranski Cz., Bykowski J. 2002. Zasoby wodne w mikrozelewni rolniczej z występującymi oczkami wodnymi. *Rocz. AR w Poznaniu* 342, *Melior. Inż. Środ.* 23, 73-81.
- Galicia L., López-Blanco J., Zarco-Arista A.E., Filips V., García-Oliva F., 1999. The relationship between solar radiation interception and soil water content in atropical deciduous forest in Mexico. *Catena* 36, 153–164.
- Garcia y Garcia, A., Guerra, L.C., Hoogenboom, G., 2009. Water use and water use efficiency of sweet corn under different weather conditions and soil moisture regimes. *Agric. Water Manage.* 96, 1369–1376.
- González-Zamora A., Sánchez N., Martínez-Fernández J., Gumuzzio A., Piles M., Olmedo E., 2015. Long-term SMOS soil moisture products: A comprehensive evaluation across scales and methods in the Duero Basin (Spain). *Phys. Chem. Earth.*, 83–84, 123–136.
- Grant J.P., Van de Griend A.A., Wigneron J.-P., Saleh K., Panciera R., Walker J.P., 2010. Influence of forest cover fraction on L-band soil moisture retrievals from heterogeneous pixels using multi-angular observations. *Remote Sensing of Environment* 114, 1026–1037.
- Hong Y.M., 2017. Feasibility of using artificial neural networks to forecast groundwater levels in real time. *landslides*, 14 (5), 1815–1826.
- Iglesias A., Garotte L., 2015. Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agric. Water Manage.* 155, 113-124.
- Janik G. 2008. Spatial variability of soil moisture as information on variability of selected physical properties of soil. *Int. Agrophysics*, 22, 35-43.
- Jirků V., Kodešová R., Nikodema A., Mühlhanslová M., Žigová A., 2013. Temporal variability of structure and hydraulic properties of topsoil of three soil types. *Geoderma*, Volumes 204–205, 43–58.
- Kabsch-Korbutowicz M., Kutylowska M., 2012. Sztuczne sieci neuronowe jako narzędzie do modelowania zagadnień związanych z inżynierią środowiska – stan wiedzy. *Gaz-Woda-Technika Sanitarna*, 5, 228-232.
- Kaczmarek Z., 1997. Zasoby wodne Polski i Europy w obliczu globalnych zmian klimatu. *Zesz. Nauk. Komitetu „Człowiek i Środowisko”*, 17, 15-31.

- Karadurmus E., Cesmecici M., Yuceer M., Berber, R. 2012. An artificial neural network model for the effects of chicken manure on ground water. *Appl. Soft Comput.*, 12, 494–497.
- Karthikeyan L., Kumar D.N., Grailot D., Gaur S., 2013. Prediction of ground water levels in the uplands of a tropical coastal Riparian Wetland using artificial neural networks. *Water Resour. Manage.*, 27 (3), 871–883.
- Khaki M., Yusoff I., Islami N., 2015. Application of the artificial neural network and neuro-fuzzy system for assessment of groundwater quality. *Clean – Soil, Air, Water.*, 43 (4), 551–560.
- Koster R.D., Guo Z., Yang R., Dirmeyer P.A., Mitchell K., Puma M.J., 2009. On the nature of soil moisture in land surface models. *J. Clim.* 22:4322–4335.
- Kowalczyk T., Pływaczyk A., Orzepowski W., 2004. The influence of the regulated water management on forming of soil water reserves on afforested arable lands. *Roczniki AR w Poznaniu CCCLVII, Melioracje i Inżynieria Środowiska* 25, Poznań, 279-285.
- Liang H., Hu K., Batchelor W.D., Qi Z., Li B., 2016. An integrated soil-crop system model for water and nitrogen management in North China. *Sci. Rep.*, 6, 5755.
- Liberacki D., Szafranski Cz., Stasik R., Korytowski M., 2006. Wpływ przebiegu warunków meteorologicznych na gospodarkę wodną siedlisk leśnych w zlewni ciekut Hutka. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus* 5 (2) 2006, 83–90.
- Liu B., Shao M. 2015. Modeling soil–water dynamics and soil–water carrying capacity for vegetation on the Loess Plateau, China. *Agric. Water Manage.* 159, 176-184.
- Łabędzki L., 2009. Przewidywane zmiany klimatyczne a rozwój nawodnień w Polsce. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich* Nr 3/2009, 7-18.
- Łabędzki L., Adamski P., 2010. Związek między opadami uśrednionymi a uwilgotnieniem gleby w uprawie buraków cukrowych na Kujawach Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie t. 10 z. 3 (31), 165-174.
- Mallick K, Bhattacharya B. K., Patel N. K. 2009. Estimating volumetric surface moisture content for cropped soils using a soil wetness index based on surface temperature and NDVI. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 149, Issue 8, 3 August 2009, Pages 1327–1342.
- Mioduszewski W., 1999. Ochrona i kształtowanie zasobów wodnych w krajobrazie rolniczym. *Wyd. IMUZ, Falenty*, 76-85.
- Mioduszewski W., 2004. Gospodarowanie zasobami wodnymi w aspekcie wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*, t. 4, z. 1 (10) IMUZ Falenty, 11-29.
- Mioduszewski W., 2008. Mała retencja w lasach elementem kształtowania i ochrony zasobów wodnych. *Studia i Materiały Centrum Edukacji Przyrodniczo-Leśnej* R. 10, Z. 2 (18), 33-48.
- Mishra A.K., Singh V.P., 2010. A review of drought concepts. *J. Hydrol.* 391, 202–216.
- Mohanty S., Jha M.K., Raul S.K., Panda R.K., Sudheer, K.P., 2015. Using artificial neural network approach for simultaneous forecasting of weekly groundwater levels at multiple sites. *Water Resour. Manage.*, 29 (15), 5521–5532.
- Moreira de Melo T., Correa Pedrollo O., 2015. Artificial neural networks for estimating soil water retention curve using fitted and measured data. *Appl. Environ. Soil Sci.*, 2015, 1-16.
- Nam W.-H., Choi J.-Y. and Hong E.-M. 2015 Irrigation vulnerability assessment on agricultural water supply risk for adaptive management of climate change in South Korea. *Agric. Water Manage.*, 152, 173–187.
- Nayak P. C., Satyaji Rao Y. R., Sudheer, K. P., 2006. Groundwater level forecasting in a shallow aquifer using artificial neural network Approach. *Water Resour. Manage.*, 20 (1), 77–90.



- Orfánus T., Stojkovicová D., Nagy V. & Németh T., 2016 Variability of soil water content controlled by evapotranspiration and groundwater–root zone interaction, *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62:11, 1602-1613.
- Orzepowski W., 2001. Influence of drainage system on water relations in heavy soils. *Zesz. Nauk AR we Wrocławiu*, Nr 417, 53-79.
- Ostrowski J., 1996. Program małych zlewni IMGW i model regionalny „MOREMAZ 1” dla potrzeb odbudowy i rozwoju małej retencji. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu*, Konferencje XI, nr 289, 155-165.
- Pan F., Nieswiadomy M., Qian, S., 2015. Application of a soil moisture diagnostic equation for estimating root-zone soil moisture in arid and semi-arid regions. *J. Hydrol.*, 524, 296–310.
- Parida B.P., Moalafhi D.B., Kenabatho P.K., 2006. Forecasting runoff coefficients using ANN for water resources management: The case of notwane catchment in Eastern Botswana. *Phys. Chem. Earth*, 31, 928–934.
- Pasandi M., Salmani N., Samani N., 2017. Spatial estimation of water-table depth by artificial neural networks in light of ancillary data. *Hydrol. Sci. J.*, 62 (12), 2012–2024.
- Pokładek R., Nyc K., 2010. Doskonalenie gospodarowania zasobami wodnymi obszarów rolniczych na przykładzie obiektu Miękinia. Rozdział w monografii: Zarządzanie kryzysowe. Zrównoważony rozwój obszarów wiejskich. Opole, 39-52.
- Przybyła Cz., Kozłowski M., Sosiński M., 2005. Wstępna ocena wpływu zbiornika retencyjnego Jezewo na głębokość zalegania zwierciadła wód gruntowych terenów przyległych. *Rocz. AR w Poznaniu* 365, *Melior. i Inż. Środ.* 26, 330-344.
- Razzaghi F., Plauborg F., Jacobsen, S.E., Jensen, C.H.R., Neumann Andersen, M., 2012. Effect of nitrogen and water availability of three soil types on yield, radiation use efficiency and evapotranspiration in field-grown quinoa. *Agric. Water Manage.* 109, 20–29.
- Sahoo G.B., Ray C., Wade H.F., 2005. Pesticide prediction in ground water in North Carolina domestic wells using artificial neural networks. *Ecol. Model.* 183 (1), 29–46.
- Santos W. J. R., Silvaa B. M., Oliveiraa G. C., Volpatoc M. M. L., Limaa J. M., Curia N., Marquesa J. J., 2014. Soil moisture in the root zone and its relation to plant vigor assessed by remote sensing at management scale. *Geoderma*, Volumes 221–222, June 2014, 91–95.
- Seneviratne S.I., Corti T., Davin E.L., Hirschi M., Jaeger E.B., Lehner I., Orlowsky B., Teuling A.J., 2010. Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: a review. *Earth-Sci. Rev.* 99, 125–161.
- Singh P.N., Shukla S.K., Bhatnagar V.K., 2007. Optimizing soil moisture regime to increase water use efficiency of sugarcane (*Saccharum* spp. hybrid complex) in subtropical India. *Agric. Water Manage.* 90, 95–100.
- Sivapragasam C., Arun V.M., Giridhar, D., 2009. A Simple Approach for Improving Spatial Interpolation of Rainfall Using ANN. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 109 (1–2), 1–7.
- Somorowska U., 2007. Wpływ stanu retencji podziemnej na proces odpływu w zlewni nizinnej. *Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego*, ss. 152.
- Soylu M. E., Kucharik C. J., Loheide S. P., 2014. Influence of groundwater on plant water use and productivity: Development of an integrated ecosystem - Variably saturated soil water flow model. *Agricultural and Forest Meteorology* 189–190 (2014) 198–210.
- Szulczewski W., Żyromski A., Biniak-Pieróg, M., 2012. New approach in modeling spring wheat yielding based on dry periods. *Agric. Water Manage.* 103, 105–113.
- Szymkiewicz A., 2013. Modelling water flow in unsaturated porous media: Accounting for nonlinear permeability and material heterogeneity. *Heidelberg: Springer*, ss 237.
- Tadeusiewicz R., 1993. *Sieci neuronowe*. Akademicka Oficyna Wydawnicza RM, Warszawa.

- Tadeusiewicz R., Szaleniec M., 2015. Leksykon sieci neuronowych. Wyd. Fundacji „Projekt Nauka, Wrocław, ss. 134.
- Tayfur G., 2017. Modern optimization methods in water resources planning, engineering and management. *Water Resources Management*, 31, 3205–3233. doi 10.1007/s11269-017-1694-6.
- Uebbing B., Forootan, Braakmann-Folgmanna A., Kusche J., 2017. Inverting surface soil moisture information from satellite altimetry over arid and semi-arid regions. *Remote Sensing of Environment* 196, 205–223.
- Valipour M., 2013. Use of surface water supply index to assessing of water resources management in Colorado and Oregon, US. *Advances in Agriculture, Sciences and Engineering Research*. 3, 631.
- Veijalainen N., Korhonen J., Vehviläinen B., Koivusalo H., 2012. Modelling and statistical analysis of catchment water balance and discharge in Finland in 1951–2099 using transient climate scenarios. *J. Water. Clim. Change* 3, 55–78.
- Woś A. 2010. *Klimat Polski w drugiej połowie XX wieku*. Wyd. UAM, Poznań, ss. 489.
- Xu X., Zhang Q., Li Y., Li X. 2016. Evaluating the influence of water table depth on transpiration of two vegetation communities in a lake floodplain wetland. *Hydrology Research* 47, S1, 293-312.
- Yuan S. Quiring S. M., 2017. Comparison of three methods of interpolating soil moisture in Oklahoma. *Int. J. Climatol.* 37, 987–997.
- Zawadzki J., Kędzior M., 2016. Soil moisture variability over Odra watershed: Comparison between SMOS and GLDAS Data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 45 (B), 110–124.
- Zieliński J., Słota H., 1996. Stan i wykorzystanie zasobów wód powierzchniowych Polski. *Mat. Bad. IMGW, Seria Gospodarka wodna i ochrona wód Nr 20, Warszawa-Kraków, IMGW* ss. 52.
- Zucco G., Brocca L., Moramarco T., Morbidelli R., 2014. Influence of land use on soil moisture spatial–temporal variability and monitoring. *Journal of Hydrology* 516 (2014), 193–199.

### 3. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

#### Przed uzyskaniem stopnia doktora

Swoją działalność naukowo-badawczą rozpocząłem w 1990 roku, jeszcze jako student V roku Wydziału Melioracji Wodnych Akademii Rolniczej we Wrocławiu podejmując pracę jako asystent stażysta w ówczesnym Instytucie Melioracji Rolnych i Leśnych AR. Od początku czynnie włączyłem się w badania prowadzone na obiekcie Rybna w województwie opolskim, na polderze Rybna - Stobrawa zlokalizowanym przy ujściu Nysy Kłodzkiej do Odry. Efektem była praca dyplomowa magisterska „*Wpływ zabiegów melioracyjnych, agromelioracyjnych i rzeki Odry na stosunki wodne gleb ciężkich polderu Rybna*” Po uzyskaniu tytułu magistra inżyniera melioracji wodnych kontynuowałem prowadzenie badań w Rybnej i jednocześnie współuczestniczyłem w tworzeniu od podstaw zupełnie nowego obiektu badawczego zlokalizowanego w Wyszkwie Śląskim, w rejonie Nysy w województwie opolskim. W latach 1992-1993 doskonaliłem swój warsztat naukowy odbywając 10-miesięczny staż naukowy na Politechnice Federalnej w Zurychu (ETH) w Instytucie Inżynierii Rolnej.

W ogólnym zarysie celem badań prowadzonych na obiektach Rybna i Wyszków w glebach ciężkich i bardzo ciężkich, zdrenowanych miejscowo dla celów doświadczalnych systematyczną siecią rurociągów o zróżnicowanej normatywnej, podwojonej i nawet potrojonej rozstawie, była **ocena stosunków wodnych gleb ciężkich w warunkach zasilania opadami atmosferycznymi oraz okresowo także wodami rzeki Odry (Rybna), ocena stosunków wodnych gleb ciężkich zasilanych wyłącznie opadami atmosferycznymi w warunkach głębokiego zalegania wód gruntowych (Wyszków) oraz ocena wpływu urządzeń wodno-melioracyjnych i zabiegów agromelioracyjnych na kształtowanie gospodarki wodnej gleb ciężkich**. Badania te pozwoliły na dokonanie kompleksowej oceny stosunków wodnych gleb ciężkich i funkcjonowania urządzeń melioracyjnych. Ich wyniki opublikowane zostały w pracach:

*Pływaczyk A., Orzepowski W., 1994. Kształtowanie się poziomów wody gruntowej na zdrenowanym terenie polderowym w Rybnej, woj. Opolskie. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Inż. Środ. VI, Nr 243, 73-82.*

*Kostrzewa S., Pływaczyk A., Orzepowski W., Nowacki J., 1994. Odnowialność zasobów retencji wodnej gleb. Zesz. Nauk. Ar we Wrocławiu, Konferencje III, Nr 246, t.2, 127-134.*

*Pływaczyk A., Orzepowski W., 1995. Funkcjonowanie systemu drenarskiego w warunkach zasilania wodami rzecznyymi na polderze odrzańskim Rybna-Stobrawa. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Konferencje VIII, Nr 266, 105-112.*

*Kostrzewa S., Pływaczyk A., Orzepowski W., 1999. Water relations of drained heavy soils at the Rybna-Stobrawa Odra polder. Roczn. AR w Poznaniu CCCX, Melior. i Inż. Środ. 20, cz.II., s. 167-177.*

Orzepowski W., Pływaczyk A., Pęczkowski G., 2002. Warunki wodne w madach ciężkich o zróżnicowanym zasilaniu. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, t2. Z.1 (4), Wyd. IMUZ, Falenty, 155-168.

Zwieńczeniem tego etapu pracy naukowo-badawczej było uzyskanie w 1998 roku stopnia doktora nauk rolniczych w dyscyplinie kształtowanie środowiska na podstawie pracy doktorskiej zatytułowanej: „Oddziaływanie urządzeń wodno-melioracyjnych na stosunki wodne gleb ciężkich”. Jej zasadnicze elementy zostały później opublikowane:

Orzepowski W., 2001. Oddziaływanie urządzeń wodno-melioracyjnych na stosunki wodne gleb ciężkich. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Melioracja XLIII, Nr 417, 54-79.

Badania przeprowadzone na obiektach w Rybnej i Wyszku wykazały, że:

- wahania stanów wody w rzece Odrze bezpośrednio oddziałują na stosunki wodne i funkcjonowanie urządzeń melioracyjnych zlokalizowanych na rzeczonym polderze, zasięg tego oddziaływania oceniono na około 450 m od koryta, a zróżnicowana rozstawa drenażu w tych warunkach nie miała znaczącego wpływu na kształtowanie się zwierciadła wody gruntowej;

- nieprawidłowo wykonane urządzenia melioracyjne, zwłaszcza przegłębiony rów, miały negatywny wpływ na stosunki wodne gleb i działanie sieci drenarskiej;

- zabiegi agromelioracyjne, przeprowadzone w wytypowanych działkach drenarskich, przyniosły pozytywne efekty w postaci rozluźnienia się profilu glebowego, zmniejszenia gęstości objętościowej, wzrostu porowatości oraz zwiększenia się zdolności retencyjnych gleby o 9-14 mm;

- przy wyborze koncepcji melioracji potencjalnie żyznych mad, zalegających w płaskich dolinach rzecznych, podstawowe znaczenie ma zapewnienie możliwości odprowadzenia nadmiaru wody z sieci rowów.

### **Po uzyskaniu stopnia doktora**

Równoległe do moich zainteresowań związanych z kształtowaniem się zasobów retencji glebowej na terenach użytkowanych rolniczo, zaangażowałem się w **prace badawcze związane z oceną stosunków wodnych obszarów określanych ogólnie jako miejskie tereny zieleni.**

Zieleni miejskiej przypisuje się ważne funkcje ekologiczne związane między innymi z jakością powietrza i łagodzeniem uciążliwości klimatu miejskiego a także

przeciwdziałaniem degradacji gleb i wód. Tereny zielone w miastach funkcjonują w bardzo trudnych warunkach środowiskowych, a znacznym zagrożeniem dla roślinności jest postępujące zanieczyszczenie powietrza, wód i gleb, zmniejszenie wilgotności atmosfery i gleby, niekorzystne oddziaływanie infrastruktury komunalnej, obniżenie zwierciadła wody gruntowej związane z postępującą urbanizacją, a także deficyt wody spowodowany warunkami klimatycznymi. Dlatego problematyka badań dotyczących stosunków wodnych na tych terenach jest bardzo ważna.

Wziąłem udział w pracach monitoringowych i badawczych prowadzonych na terenie dwóch największych wrocławskich parków – Szczytnickiego i Południowego, a także w Arboretum Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Obejmowały one swym zakresem między innymi pomiary głębokości wód gruntowych, rozpoznanie warunków glebowych i hydrogeologicznych, ocenę zmienności stanów wody w zbiornikach parkowych, pomiary i analizę uwilgotnienia w wybranych profilach glebowych oraz przestrzenną, na powierzchni całości lub fragmentu parków, analizę warunków meteorologicznych, ocenę wpływu istniejącego systemu wodnego i infrastruktury kanalizacyjnej na stosunki wodne terenów parkowych. Ich efektem były opracowania sporządzane na zlecenie Zarządu Zieleni Miejskiej we Wrocławiu, Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu oraz opublikowane prace naukowe:

*Pływaczyk A., Orzepowski W., Kowalczyk T., 2001. Kształtowanie się stosunków wodnych we wrocławskim Parku Południowym. Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln. z. 477, Warszawa, s. 135-142.*

*Pływaczyk A., Orzepowski W., Kowalczyk T., 2008. Ocena zmian zasobów retencji glebowej terenów zieleni miejskiej na przykładzie Parku Południowego we Wrocławiu. Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln. z. 528, Warszawa, 431-437.*

*Kowalczyk T., Orzepowski W., Pęczkowski G., 2008. Ocena możliwości rewaloryzacji systemu wodno-melioracyjnego na terenie arboretum w Pawłowicach Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln. z. 528, Warszawa, 231-236*

*Kowalczyk T., Orzepowski W., Pokładek R. 2010: Kształtowanie się głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej na obszarze Parku Szczytnickiego we Wrocławiu. Zesz. Probl. Post. Nauk. Roln. z. 548, Warszawa, 327-338.*

*Orzepowski W., Kowalczyk T., Pokładek R., Pęczkowski G., Faron S., 2015. Ocena zmienności zasobów retencji glebowej w Parku Południowym we Wrocławiu. Inżynieria Ekologiczna 43, 160–165.*

*Kowalczyk T., Dąbek P., Orzepowski W., Pęczkowski G., Pokładek R., Żmuda R., 2015 Ocena wpływu zmian użytkowania gruntów na kształtowanie się warunków odpływu z lokalnej mikrozelewni w rejonie arboretum UPWr w Pawłowicach, Inżynieria Ekologiczna 44, 34–39.*

*Orzepowski W., Kowalczyk T., Pokładek R., Pęczkowski G. 2017: Ocena retencji glebowej miejskich terenów zieleni w warunkach niedoboru opadów na przykładzie Parku Szczytnickiego we Wrocławiu. Inżynieria Ekologiczna 18, z. 5, 103–109.*

Badania i analizy wykazały, że:

- na obszarze Parku Południowego we Wrocławiu wysokości i rozkłady opadów w okresie wegetacji wywierały istotny wpływ na wilgotność wierzchniej 100 cm warstwy gleby oraz roślinność parkową, a w efekcie złożonej budowy hydrogeologicznej w warunkach parku należy się liczyć z dużym zróżnicowaniem głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej;

- w różnych partiach badanego terenu występuje znaczne zróżnicowanie zasobów retencji glebowej, dochodzące nawet do około 30-40% objętości w warstwie 0-25 cm oraz do około 25 % w warstwie 25-50 cm, co wynika z właściwości wodnych gleby, głębokości zalegania zwierciadła wody gruntowej, pokrywy roślinnej oraz odległości od stawu parkowego,

- zbiornik wodny, usytuowany w centralnej części parku, pełni istotną rolę, przejmując nadmiar wód spływających z terenów przyległych; jednocześnie zaobserwować można, że w odległości ok. 50-100 m od jego brzegów zasoby wilgoci glebowej są przeciętnie o około 10-15 % większe w porównaniu do pozostałych fragmentów parku;

- kształtowanie się zwierciadła wód gruntowych na terenie Parku Szczytnickiego we Wrocławiu ma stabilny charakter a głębokości jego zalegania i dynamika wahań są uzależnione przede wszystkim od wpływu rzeki Odry oraz systemu wodnego parku, natomiast relatywnie małe oddziaływanie wywierają opady atmosferyczne;

- postępujący proces zabudowy zlewni zasilającej system wodno-melioracyjny Arboretum UPWr w Pawłowicach pod Wrocławiem powoduje znaczący wzrost wielkości przepływu w korytach rowów głównych, co będzie w konsekwencji prowadziło do zwiększenia ryzyka podtapiania najniższej położonych fragmentów obiektu;

- zwierciadło wody gruntowej na obszarze Arboretum zalega na zróżnicowanych głębokościach (od 0,5 m do przeszło 2,0 m), charakteryzuje się dużymi rocznymi amplitudami wahań (rzędu 1,0–1,5 m), a sprawny, poddany modernizacji i prawidłowo eksploatowany system wodno-melioracyjny zmniejszy amplitudę wahań wody gruntowej i pozwoli na gospodarowanie zasobami wodnymi zgodnie z wymogami poszczególnych typów siedlisk leśnych;

- istnieje potrzeba prowadzenia systematycznego monitoringu zasobów wodnych cennych dendrologicznie terenów zieleni miejskiej, co pozwoli na odpowiednio wczesne podjęcie działań zaradczych w walce ze skutkami suszy.

Pewnym dopełnieniem i uzupełnieniem prowadzonych przeze mnie badań koncentrujących się zasadniczo na ocenie ilościowych zmian zasobów wodnych w profilach

glebowych terenów użytkowanych rolniczo oraz zieleni miejskiej były **prace dotyczące zmian jakości wód zarówno powierzchniowych jak i gruntowych**. Najważniejsze wnioski i ustalenia z badań, w których współuczestniczyłem zostały opublikowane w pracach:

*Orzepowski W., Kowalczyk T., Pęczkowski G., Szymańska-Pulikowska A., 2008. Zawartość wybranych składników w wodach małych zbiorników na terenach wiejskich. Gospodarka Wodna, nr 8, 313-317.*

*Orzepowski W., Kowalczyk T., Pęczkowski G., Szymańska-Pulikowska A., 2008. Jakość wód gruntowych na terenach wiejskich gminy Kąty Wrocławskie. Wiadomości. Melioracyjne i Łąkarskie, nr 2, 80-82.*

*Orzepowski W., Pulikowski K., 2008. Magnesium, calcium, potassium and sodium content in groundwater and surface water in arable lands in the commune (gmina) of Kąty Wrocławskie. Journal of Elementology, 13(4), Olsztyn, 605-614.*

*Pulikowski K., Orzepowski W., Pokładek R. 2011. Water quality in agriculturally used catchments in Lower Silesia. Wyd. UP we Wrocławiu, Monografia CXXXVIII, ser. Współczesne problemy inżynierii środowiska XVIII, ss. 94.*

Badania wykazały, że:

- jakość wód podziemnych pierwszego poziomu wodonośnego na objętych analizą terenach użytkowanych rolniczo nie budzi istotnych zastrzeżeń pod względem zawartości zanieczyszczeń zarówno mineralnych, jak i organicznych, zanotowano jedynie podwyższoną zawartość azotu azotanowego;

- wody drenażowe odprowadzane z użytków rolnych zawierały znaczne ilości azotu azotanowego i niekiedy fosforu, przez co stanowią znaczne zagrożenie dla jakości wód odbiornika;

- wody powierzchniowe w 7 zbiornikach charakteryzowały się niską zawartością azotanów i zawierały nadmierne ilości azotu ogólnego, natomiast, podwyższone stężenia azotu amonowego, fosforanów i fosforu ogólnego stwierdzono jedynie w dwóch zbiornikach;

- wody powierzchniowe odpływające ze zlewni rolniczych nie były zanieczyszczone substancją organiczną, zawierały natomiast znaczne ilości związków azotu, głównie w formie azotanów;

- uzyskane wyniki wskazały, że na terenach wiejskich znaczne zagrożenie dla jakości wód gruntowych oraz wody gromadzonej w małych zbiornikach stanowi nieuporządkowana gospodarka wodno-ściekowa.

#### 4. Zestawienie dorobku naukowo-badawczego

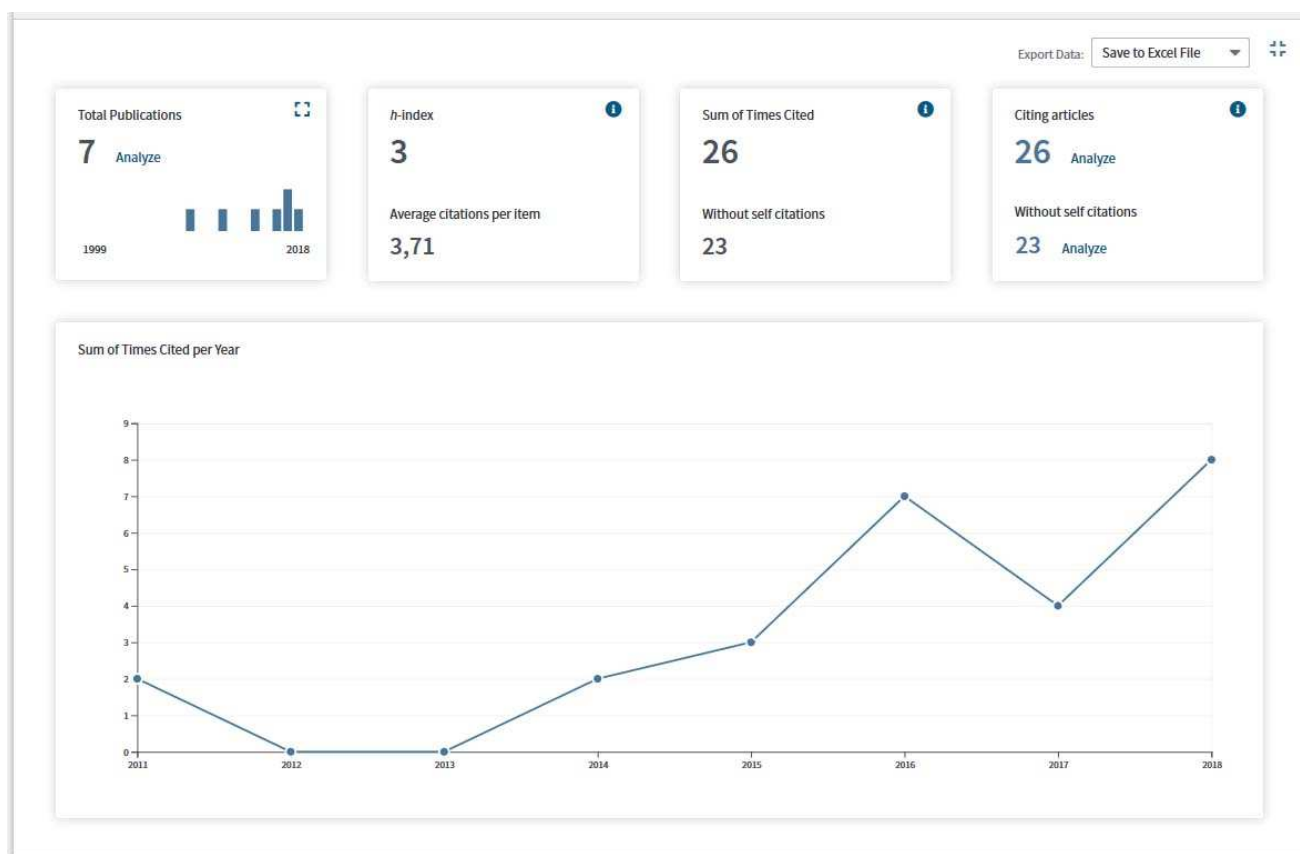
Zestawienie dorobku oraz ocenę punktową dorobku przedstawiłem w tabeli 1. Punktację za publikacje do roku 2010 przyjęto według listy MNiSW z dnia 25.06. 2010 r. (zgodnie z Uchwałą nr 30/833/2015 Rady Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu), natomiast dla prac opublikowanych w kolejnych latach – według listy właściwej i obowiązującej dla roku wydania publikacji.

Mój dorobek obejmuje **47** opublikowanych prac, **21** raportów, opracowań, ekspertyz, **12** komunikatów i streszczeń, **4** postery. Przed uzyskaniem stopnia doktora (1990-1998) opublikowałem **4** prace w języku polskim. Po uzyskaniu stopnia doktora (1999-2018) opublikowałem **43** prace (9 w języku angielskim i 34 w języku polskim). Z tego 5 prac opublikowanych zostało w czasopismach posiadających współczynnik IF i zarejestrowanych w bazie JCR (część A wykazu MNiSW), 28 prac w czasopismach z listy B wykazu MNiSW, a 8 to recenzowane prace wydane przed 2006 r. (Zesz. Nauk AR we Wrocławiu, Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Roczn. AR w Poznaniu), które nie znalazły się na liście MSNiSW z 25.06. 2010 r., 1 praca to monografia w języku angielskim, 1 – artykuł popularno-naukowy w języku polskim. Łączna ilość punktów za publikacje wydane po doktoracie wynosi **339**, a suma **IF=7,181**. Według bazy Web of Science na dzień 30.11.2018 odnotowałem **26 cytowań** spośród 7 indeksowanych prac, **indeks Hirscha 3**.



Nazwa czasopisma	Ilość prac		Liczba punktów		Suma punktów
	przed doktoratem	po doktoracie	do 2010 r. wg listy MNiSW z 2010	od 2011 wg list MNiSW właściwych dla roku publikacji	
<b>(1) Prace publikowane - Czasopisma z IF (z listy MNiSW – część A)</b>					
Agricultural Water Management	–	1	–	40	40
Water and Environment Journal	–	2	–	20	40
Journal of Elementology	–	1	–	15	15
Water	–	1	–	30	30
<b>Łącznie (1)</b>	<b>–</b>	<b>5</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>125</b>
<b>(2) Prace publikowane - Czasopisma recenzowane (z listy MNiSW - część B)</b>					
Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie	–	3	6	5	17
Zeszyty Problemowe PNR	–	12	6	–	72
Annals of Warsaw Agricultural University	–	1	6	–	6
Gospodarka Wodna	–	1	6	–	6
Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie	–	3	6	8	20
Journal of Elementology	–	1	6	–	6
Acta Scientiarum Polonorum	–	3	–	5/10	25
Inżynieria ekologiczna	–	3	–	9	27
Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich	–	1	–	10	10
Zesz. Nauk AR we Wrocławiu, Inżynieria Środowiska	1	–	2	–	2
<b>Łącznie (2)</b>	<b>1</b>	<b>28</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>191</b>
<b>(3) Prace publikowane - Pozostałe czasopisma recenzowane</b>					
Roczniki AR w Poznaniu	–	4	–	–	–
Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu	3	1	–	–	–
Zeszyty Naukowe AR w Krakowie	–	3	–	–	–
<b>Łącznie (3)</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>–</b>
<b>(4) Prace publikowane – Monografie i rozdziały w monografiach</b>					
Monografia w j. angielskim	–	1	–	25	25
<b>Łącznie (4)</b>	<b>–</b>	<b>1</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>25</b>
<b>Łącznie (1)+(2)+(3)+(4)</b>	<b>4</b>	<b>42</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>341</b>
<b>(5) – Inne prace naukowe publikowane</b>					
Streszczenia i komunikaty w j. angielskim	–	2	–	–	–
Streszczenia i komunikaty w j. polskim	–	10	–	–	–
Artykuły popularno-naukowe	–	1	–	–	–
Postery	1	3	–	–	–
<b>Łącznie (5)</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>–</b>
<b>(6) Prace niepublikowane</b>					
Raporty i ekspertyzy	1	20	–	–	–
<b>Łącznie (1)+(2)+(3)+(4)+(5)+(6)</b>	<b>6</b>	<b>78</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>341</b>

## Raport cytowań wg bazy Web of Science (stan na 30.11.2018 r.)



Use the checkboxes to remove individual items from this Citation Report

or restrict to items published between 1900 and 2019 Go

	2015	2016	2017	2018	2019	Total	Average Citations per Year
<input type="checkbox"/> 1. <b>MAGNESIUM, CALCIUM, POTASSIUM AND SODIUM CONTENT IN GROUNDWATER AND SURFACE WATER IN ARABLE LANDS IN THE COMMUNE (GMINA) OF KATY WROCLAWSKIE</b> By: Orzepowski, Wojciech; Pulikowski, Krzysztof JOURNAL OF ELEMENTOLOGY Volume: 13 Issue: 4 Pages: 605-614 Published: DEC 2008	3	7	4	8	0	26	3.25
<input checked="" type="checkbox"/> 2. <b>Quantitative and qualitative assessment of agricultural water resources under variable climatic conditions of Silesian Lowlands (Southwest Poland)</b> By: Orzepowski, Wojciech; Paruch, Adam M.; Pulikowski, Krzysztof; et al. AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT Volume: 138 Pages: 45-54 Published: MAY 31 2014	1	2	0	5	0	12	1.09
<input checked="" type="checkbox"/> 3. <b>RETENTION PROPERTIES OF THE TYPE OF EXTENSIVE GREEN ROOFS AS AN EXAMPLE OF MODEL TESTS</b> By: Peczkowski, Grzegorz; Orzepowski, Wojciech; Pokladek, Ryszard; et al. ACTA SCIENTIARUM POLONORUM-FORMATIO CIRCUMIECTUS Volume: 15 Issue: 3 Pages: 113-120 Published: 2016	0	0	1	3	0	4	1.33
<input checked="" type="checkbox"/> 4. <b>Hydrological Performance and Runoff Water Quality of Experimental Green Roofs</b> By: Peczkowski, Grzegorz; Kowalczyk, Tomasz; Szawernoga, Katarzyna; et al. WATER Volume: 10 Issue: 9 Article Number: 1185 Published: SEP 2018	0	0	0	0	0	0	0.00
<input checked="" type="checkbox"/> 5. <b>Modelling of water reserves in mineral soils with different retention properties</b> By: Orzepowski, Wojciech; Paruch, Adam M.; Kowalczyk, Tomasz; et al. WATER AND ENVIRONMENT JOURNAL Volume: 31 Issue: 3 Pages: 388-400 Published: AUG 2017	0	0	0	0	0	0	0.00
<input checked="" type="checkbox"/> 6. <b>ESTIMATION OF VARIATION OF SOIL WATER RETENTION RESERVES IN ARABLE LANDS IN THE REGION OF WROCLAW</b> By: Pokladek, Ryszard; Kowalczyk, Tomasz; Orzepowski, Wojciech; et al. ACTA SCIENTIARUM POLONORUM-FORMATIO CIRCUMIECTUS Volume: 16 Issue: 1 Pages: 15-25 Published: 2017	0	0	0	0	0	0	0.00
<input checked="" type="checkbox"/> 7. <b>Na, K, Ca AND Mg CONCENTRATIONS IN EFFLUENT WATER DRAINED FROM AGRICULTURAL CATCHMENT BASINS IN LOWER SILESIA</b> By: Pokladek, Ryszard; Kowalczyk, Tomasz; Orzepowski, Wojciech; et al. JOURNAL OF ELEMENTOLOGY Volume: 16 Issue: 3 Pages: 467-479 Published: SEP 2011	0	0	0	0	0	0	0.00

## 5. Dorobek dydaktyczno-organizacyjny

Oprócz badań naukowych prowadziłem zajęcia dydaktyczne, głównie na kierunkach Inżynieria Środowiska, Inżynieria i Gospodarka Wodna, Architektura Krajobrazu na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych, między innymi z takich przedmiotów jak: odwodnienia, fizyka i chemia gleb, fizjografia, systemy gospodarowania wodą, podstawy melioracji i odwodnienia, agromelioracje, kompleksowe zagospodarowanie terenów, melioracje rolne, inżynieria wodno-melioracyjna, melioracje terenów górskich, kształtowanie małej retencji, melioracje kompleksowe, inżynieria ekologiczna.

Byłem współorganizatorem w roku 2007 „kompleksowych ćwiczeń terenowych” dla studentów kierunku Architektura Krajobrazu, w latach 2005-2008 tygodniowych „ćwiczeń terenowych” dla studentów III roku kierunku Inżynieria Środowiska, a w latach 2015-2016 kilkudniowych „specjalistycznych ćwiczeń terenowych” dla studentów IV roku kierunku Inżynieria Środowiska.

W 2011 roku odbyłem 6-miesięczny staż zawodowy w Przedsiębiorstwie Robót Wodnych i Ekologicznych „EKO-WOD” Sp. z o.o. w Świdnicy, a zdobyte wówczas doświadczenia na kilku inwestycjach realizowanych wówczas przez firmę wraz z pozyskanymi materiałami dokumentacyjnymi, z powodzeniem wykorzystuję w procesie dydaktycznym.

Regularnie od wielu lat jako członek komisji uczestniczę w egzaminach inżynierskich lub magisterskich na kierunkach Inżynieria Środowiska oraz Inżynieria i Gospodarka Wodna, na tych kierunkach byłem promotorem 14 dyplomowych magisterskich oraz 21 prac i projektów dyplomowych inżynierskich, recenzowałem 21 prac magisterskich i 29 inżynierskich.

Byłem członkiem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej na kierunkach Inżynieria Środowiska oraz Inżynieria Bezpieczeństwa, pełniłem funkcję sekretarza Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej na kierunku Inżynieria Środowiska, jestem aktualnie opiekunem roku kierunku Inżynieria Środowiska oraz opiekunem Domu Studenckiego.

W 2018 roku byłem członkiem zespołu egzaminatorów eliminacji centralnych XLII Olimpiady Wiedzy i Umiejętności Rolniczych. Jestem członkiem Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych NOT, Oddział we Wrocławiu oraz członkiem Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej, Oddział Dolnośląski.

W kadencji 2003-2006 byłem członkiem Sekcji Kształtowania i Rozwoju obszarów Wiejskich, Komitet Melioracji i Inżynierii Środowiska Rolniczego V Wydziału PAN.

Wrocław, 3 grudnia 2018 r.

*miejsowość i data*

  
*podpis habilitanta*