

SZKOŁA HYDROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ 2025
HYDROLOGIA I ODDZIAŁYWANIA
ANTROPOGENICZNE W ZLEWNIACH GÓRSKICH
KSIĄŻKA ABSTRAKTÓW



SERIA PUBLIKACJI POKONFERENCYJNYCH IMGW-PIB

SZKOŁA HYDROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ 2025
HYDROLOGIA I ODDZIAŁYWANIA
ANTROPOGENICZNE W ZLEWNIACH GÓRSKICH
KSIĄŻKA ABSTRAKTÓW



Ogólnopolska Szkoła



Projekt dofinansowany ze środków Polskiej Akademii Nauk

Opracowanie redakcyjne
Rafał Stepnowski

Opracowanie graficzne i techniczne
Michał Seredin

ISBN: 978-83-64979-56-9

Wydawca
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy
01-673 Warszawa, ul. Podleśna 61, E. content@imgw.pl

Redaktor Wydawniczy/Publishing Editor
Rafał Stepnowski, E. rafal.stepnowski@imgw.pl

Słowem wstępu	4
List do uczestników Szkoły Hydrologii i Gospodarki Wodnej 2025 Wiatkowski Mirosław	5
Maksymalny Wiarygodny Opad (MWO) – koncepcja badań (1), MWO – ocena na przykładzie Wyżyny Kieleckiej (2), Metodyka obliczania Maksymalnego Wiarygodnego Opadu (MWO) i Maksymalnego Wiarygodnego Wezbrania (MWW) dla potrzeb oceny ekstremalnie groźnych sytuacji powodziowych (3) Ozga-Zieliński Bogdan, Suligowski Roman	6
Zmienność terminów występowania niżówek rzecznych w zlewni Górnej Wisły Rutkowska Agnieszka, Baran-Gurgul Katarzyna	7
Rzeki, Retencja, Rozwój: Dolnośląska Gra z Wodą – Dolnośląska Polityka Wodna Sieradzka-Stasiak Aleksandra	8
Ocena efektywności różnych kryteriów informacyjnych Laskowski Norbert, Mańko Robert	9
Propozycja działań adaptacyjnych i rewitalizacyjnych, które pozytywnie oddziałują na hydromorfologię i retencyjność zlewni na przykładzie zlewni Skrody Lejcuś Iwona	10
Możliwości poprawy jakości wody w małych zbiornikach w okresie wezbrań Gruss Łukasz	11
Budowa modelu zlewni z użyciem SWAT przydatnego dla rozwiązywania problemów gospodarki wodnej Marcinkowski Paweł	12
Scenariusze zmian klimatu i użytkowania terenu w modelu SWAT Orlińska-Woźniak Paulina, Wilk Paweł, Szalińska van Overdijk Ewa	13
Scenariusze zmian klimatu – dobór globalnych i regionalnych modeli klimatycznych determinantą (?) wyników Wypych Agnieszka, Szalińska van Overdijk Ewa, Wilk Paweł, Orlińska-Woźniak Paulina	14
Zastosowanie modelu SWAT do oceny efektywności stref buforowych w zlewni w warunkach zmiany klimatu Bojanowski Damian, Orlińska-Woźniak Paulina, Wilk Paweł, Wypych Agnieszka, Szalińska van Overdijk Ewa	15
The new version of SWAT – SWAT+ – insights from recent case studies in Poland and Europe Mohammad Reza Eini	16
A Systematic review of hydrologic and crop growth responses to elevated CO ₂ : addressing modeling uncertainties for improved future projections Davarpanah Rouhollah, Piniewski Mikołaj, Ershadfath Farnaz	17
Powódź we wrześniu 2024 roku – przyczyny, przebieg, skutki i dalsze plany redukcji ryzyka powodziowego w zlewniach Ziemi Kłodzkiej Stodolak Radosław, Bednarek Borys	18
Zmienność potencjału retencyjnego zlewni w świetle zmian klimatu i zagospodarowania zlewni Wątega Andrzej	21
Ile wody mogło płynąć potokiem Morawka w przekroju zapory w Stroniu Śląskim we wrześniu 2024 roku? Kokoszka Rafał	22
Kopule w badaniach relacji zmiennych hydro-meteorologicznych oraz zagrożenia i ryzyka powodziowego w zlewni górnej Nysy Kłodzkiej Perz Adam	24
Wewnątrzdobowe zmiany składu chemicznego wód, w tym zmiany stężeń związków biogennych i form węgla, w zlewniach o różnym użytkowaniu na Pogórzu Karpackim Biernacka Anna	25
Metody analizy zmian koryt rzecznych na przykładzie Białki Radomski Paweł, Bryła Monika, Kraj Katarzyna, Walczykiewicz Tomasz	26
Powódź z września 2024 roku okiem satelitów Strojna Natalia, Najda Aleksandra	27
Wpływ technologii pomiaru stanu wody oraz antropopresji na charakterystyki przepływów niskich na przykładzie SNQ w zlewni Nysy Kłodzkiej Krasowski Wojciech	28

Szanowni Państwo, Koleżanki i Koledzy, Drodzy Goście!

Dzisiaj otwieramy nowy rozdział księgi pt. „Szkoła Hydrologii i Szkoła Gospodarki Wodnej”. Przez 50 lat specjaliści z zakresu hydrologii, z inicjatywy Pani Profesor Marii Ozgi-Zielińskiej, spotykali się na obradach Szkoły Hydrologii, organizowanej przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej wraz z Politechniką Warszawską, pod egidą Komitetu Gospodarki Wodnej PAN. Z kolei przez 31 lat, dzięki zaangażowaniu Profesorów Macieja Maciejewskiego i Tomasza Walczykiewicza, specjaliści od spraw gospodarki wodnej uczestniczyli w obradach współorganizowanych przez Komitet Gospodarki Wodnej PAN i Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, przy wsparciu takich ośrodków akademickich jak: Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Politechnika Wrocławska, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie i Akademia Rolnicza we Wrocławiu.

W ubiegłym roku, w Gdańsku, dzięki pracy Pani Profesor Tamary Tokarczyk i Pana Profesora Tomasza Walczykiewicza, po raz pierwszy spotkały się razem dwie szkoły. Pamiętajmy, że historię Szkoły Hydrologii swoją aktywnością współtworzyli m.in.: Profesor Laura Radczuk z Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Profesor Piotr Kowalik z Politechniki Gdańskiej, Profesorowie Stanisław Węglarczyk i Wiesław Gądek z Politechniki Krakowskiej, piastujący zaszczytną funkcję „dyżurnego szkoły”, a także Profesorowie Danuta Małecka i Małgorzata Gutry-Korycka z Uniwersytetu Warszawskiego oraz wielu innych znacznych uczestników i uczestniczek. Należy także pamiętać, że Szkołę Gospodarki Wodnej rozwijali Profesorowie: Maciej Maciejewski i Tomasz Walczykiewicz z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Profesorowie Jan Żelazo i Tomasz Okruszko ze Szkoły Główny Gospodarstwa Wiejskiego, jak również wielu innych naukowców i praktyków.

W tym roku mam zaszczyt powitać Państwa w imieniu Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, którego pracownicy również wnieśli duży wkład w kształt tych dwóch dyscyplin – hydrologii i gospodarki wodnej – tak jak Profesorowie Zbigniew Dzierwoński i Julian Wołoszyn. Na rzecz rozwoju hydrologii i społeczności Szkoły Hydrologii aktywnie pracowali Profesor Laura Radczuk i jej wychowankowie: Profesorowie Wiesław Szulczewski i Wojciech Jakubowski, a także śp. dr inż. Dorota Olearczyk oraz Profesor Tamara Tokarczyk.

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, jako tegoroczny współorganizator, rozpoczyna nową erę spotkań w ramach Szkoły Hydrologii i Szkoły Gospodarki Wodnej. Mamy nadzieję, że ta inicjatywa będzie corocznie wspierana i kultywowana przez kolejne ośrodki akademickie, wraz z Polską Akademią Nauk i Instytutem Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytutem Badawczym.

Wierzę, że podczas kolejnych szkół, wśród znacznych prowadzących oraz znakomitych dyskusantek i dyskusantów, nie zabraknie naszych wybitnych naukowców i praktyków: Pani Profesor Tamary Tokarczyk z IMGW-PIB, Profesora Mirosława Żelaznego z Uniwersytetu Jagiellońskiego, Profesora Andrzeja Wałęgi z Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Profesora Bogdana Ozgi-Zielińskiego z IMGW-PIB oraz wielu naszych koleżanek i kolegów. Nie bez znaczenia dla funkcjonowania szkoły są doświadczeni praktycy i młodzi adepci dwóch dyscyplin naukowych: hydrologii i gospodarki wodnej. Szkołę tworzymy wspólnie, budując jej wyjątkową atmosferę, nadając problemom naukowy wymiar oraz proponując ich praktyczne rozwiązania. Mierzmy się z suszą, powodziami czy też złą jakością wód.

Szanowni Państwo, w jednym z wywiadów polski pisarz Wiesław Myśliwski powiedział: „Opowiadając, porządkujemy chaos życia. Szukamy w nim wzoru, nadajemy wydarzeniom potrzebny nam do istnienia sens”. Zatem zanurzymy się w opowieść o wodzie, porządkujemy chaos, szukajmy w nim wzoru i nadajmy naszej pracy podczas obrad szkoły sens. Życzę owocnych obrad, budujących i twórczych dyskusji, a także wytchnienia na Ziemi Kłodzkiej.

Dziekan Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji
Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu
prof. dr hab. inż. Mirosław Wiatkowski 

SŁOWEM WSTĘPU

Za nami kolejna edycja Szkoły Hydrologii i Gospodarki Wodnej (LII Szkoła Hydrologii „Współczesne Zagadnienia Hydrologii” oraz XXXIII Ogólnopolska Szkoła Gospodarki Wodnej) – tym razem organizowanej pod tematem przewodnim obrad „Hydrologia i oddziaływania antropogeniczne w zlewniach górskich”. Od 13 do 16 maja 2025 r. ponad 60 uczestników, reprezentujących ponad 25 firm i instytucji, uczestniczyło w Hotelu Alpejskim w Polanicy-Zdroju w wydarzeniu organizowanym przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy oraz Komitet Nauk o Wodzie i Gospodarki Wodnej Polskiej Akademii Nauk, przy współudziale Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, a także Wydziału Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Zgodnie z duchem zasad tzw. nauki otwartej przekazujemy w Państwa ręce, pierwszą w historii wspólnie organizowanych szkół, publikację zawierającą zbiór niemal wszystkich referatów zaprezentowanych podczas tegorocznego wydarzenia. Mamy nadzieję, że wydawnictwo to będzie nie tylko pamiątką dla każdego z Prelegentów, ale także asumptem do ożywionej dyskusji o kondycji złożonych relacji człowiek – środowisko we współczesnym świecie. Niniejsza publikacja – wydana w ramach serii publikacji pokonferencyjnych IMGW-PIB – jak i poprzedzające ją majowe wydarzenie, tj. Szkoła Hydrologii i Gospodarki Wodnej 2025: „Hydrologia i oddziaływania antropogeniczne w zlewniach górskich” zostały dofinansowane ze środków Polskiej Akademii Nauk. Patronat medialny nad wydarzeniem objęło czasopismo Gospodarka Wodna.

Korzystając z okazji, składamy serdeczne podziękowania wszystkim osobom zaangażowanym w proces organizacji SHiGW’2025, których aktywna postawa i współdziałanie przełożyło się na sukces tegorocznej edycji połączonych szkół.

Opiekunowie naukowci SHiGW 2025:

- prof. dr hab. inż. Laura Radczuk 
- prof. dr hab. inż. Maciej Maciejewski 

Komitet organizacyjny SHiGW 2025 w składzie:

- dr hab. inż. Tamara Tokarczyk, prof. IMGW-PIB  – kierownik Szkoły Hydrologii „Współczesne Zagadnienia Hydrologii”
- prof. dr hab. inż. Tomasz Walczykiwicz  – kierownik Ogólnopolskiej Szkoły Gospodarki Wodnej
- prof. dr hab. inż. Tomasz Okruszko , Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie – Wiceprzewodniczący Komitetu Nauk o Wodzie i Gospodarki Wodnej przy Prezydium PAN
- dr inż. Joanna Markowska , dr inż. Łukasz Gruss , Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
- Jolanta Buczyńska, mgr inż. Grzegorz Dumieński  – Sekretariat Szkoły Hydrologii „Współczesne Zagadnienia Hydrologii”
- dr Monika Bryła , mgr inż. Katarzyna Kraj  – Sekretariat Ogólnopolskiej Szkoły Gospodarki Wodnej

Maksymalny Wiarygodny Opad (MWO) – koncepcja badań (1), MWO – ocena na przykładzie Wyżyny Kieleckiej (2), Metodyka obliczania Maksymalnego Wiarygodnego Opadu (MWO) i Maksymalnego Wiarygodnego Wezbrania (MWW) dla potrzeb oceny ekstremalnie groźnych sytuacji powodziowych (3)

prof. dr hab. inż. Bogdan Ozga-Zieliński  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Hydrologii i Inżynierii Zasobów Wodnych,
e-mail: bogdan.ozga-zielinski@imgw.pl

dr hab. inż. Roman Suligowski, prof. UJK  | Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii i Nauk o Środowisku, Zakład Badań Środowiska i Geoinformacji
e-mail: roman.suligowski@ujk.edu.pl

Wystąpienie obejmowało trzy prezentacje.

W pierwszej, zatytułowanej „Maksymalny Wiarygodny Opad (MWO) – koncepcja badań”, zaprezentowano metody szacowania maksymalnych, fizycznie możliwych opadów w różnych przedziałach czasu trwania. Przedstawiono procedurę obliczania MWO metodą meteorologiczną (uwzględniającą genezę opadu) oraz statystyczną. Omówiono źródła danych umożliwiające określenie warunków termiczno-higrycznych w troposferze oraz rozkładu przestrzennego opadów – zarówno archiwalne, jak i pochodzące ze współczesnych, zaawansowanych systemów teledetekcyjnych, satelitarnych i radarowych.

W drugiej prezentacji przedstawiono wyniki obliczeń MWO na przykładzie Wyżyny Kieleckiej. Na jej wstępie omówiono przyczyny wystąpienia ekstremalnie wysokich sum opadów (okresy powodzi regionalnych i lokalnych) w tym regionie, a w efekcie ustalono najefektywniejszy mechanizm tworzenia opadu w obszarze Wyżyny. We wszystkich okresach intensywnych opadów zestawiono wartości parametrów termiczno-wilgotnościowych mas powietrza (temperatura punktu rosy, wilgotność właściwa, opad potencjalny) zarówno w obszarze źródłowym, jak i zasilającym układ opadotwórczy. Obliczone wartości MWO w wybranych przedziałach czasowych porównano z historycznie zaobserwowanymi w regionie maksymalnymi wysokościami i sumami opadu oraz z opadami maksymalnymi o zadanym prawdopodobieństwie przewyższenia.

W trzeciej prezentacji, dotyczącej metodyki obliczania MWW, przedstawiono koncepcję modelu MWO/MWW. Zaproponowano zastosowanie modelu opad-odpływ w postaci modułu NAM w modelu MIKE 11 dla zlewni do 200 km², a dla zlewni o powierzchni powyżej 200 km² dodatkowo model transformacji w korycie rzeczonym w postaci modelu hydrodynamicznego lub – przy braku znaczącego dopływu bocznego skupionego bądź rozproszonego – model Muskingum. Przedstawiono przykład wyznaczenia MWW dla zlewni Soły do przekroju Żywiec. Ponadto zaprezentowano możliwości zastosowań MWW oraz miary powodziogenności: wskaźnik gwarancji bezpieczeństwa obiektów hydrotechnicznych, wskaźnik zagrożenia powodziowego i wskaźnik komplementarnej powodziogenności.

Słowa kluczowe: Maksymalny Wiarygodny Opad, Maksymalne Wiarygodne Wezbranie, miary powodziogenności.

Zmienność terminów występowania niżówek rzecznych w zlewni Górnej Wisły

dr hab. Agnieszka Rutkowska, prof. URK  | Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Katedra Zastosowań Matematyki
e-mail: agnieszka.rutkowska@urk.edu.pl

dr inż. Katarzyna Baran-Gurgul  | Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej
e-mail: katarzyna.baran-gurgul@pk.edu.pl

Jednym z parametrów niżówki jest termin (data) jej wystąpienia. Charakterystyka ta podlega zmianom na skutek zmieniających się warunków klimatycznych i hydrologicznych w zlewni. Długotrwałe niżówki mogą prowadzić do deficytów wody w środowisku, dlatego znajomość zmian terminów ich występowania jest ważna przy zarządzaniu zasobami wodnymi oraz w różnych gałęziach gospodarki.

Analizowano terminy występowania niżówek w wieloleciu 1973-2022 (50 lat) w 24 przekrojach wodowskazowych zlokalizowanych w zlewni Górnej Wisły dla przepływów granicznych $Q_{70\%}$, $Q_{80\%}$, $Q_{90\%}$. Wykorzystano ciągi dobowych wartości natężenia przepływu z bazy IMGW-PIB. Podstawowym narzędziem były statystyki kołowe, które są charakterystykami służącymi do opisu dat występowania różnych zjawisk. Badano następujące zmienne: datę pierwszego dnia niżówki w roku, datę pierwszego dnia najdłuższej trwającej niżówki w roku, datę ostatniego dnia ostatniej niżówki w roku oraz datę ostatniego dnia najdłuższej trwającej niżówki w roku. Analizie poddano wypadkową każdej z tych zmiennych, tzn. średnią datę oraz współczynnik koncentracji dat, jak również empiryczny rozkład daty. Zweryfikowano hipotezę o równości średnich dat występowania niżówek w pierwszym i drugim 25-leciu badanego okresu, tj. 1973-1997 i 1998-2022 przy pomocy testu Watsona-Wheelera ($\alpha = 0,05$).

W większości przekrojów, przy przepływie granicznym $Q_{70\%}$, niżówki rozpoczynały się od lipca do listopada, a w przekrojach wysoko położonych, np. Dunajec/Koniówka, od listopada do marca; przy $Q_{80\%}$ było to odpowiednio od lipca do września oraz od listopada do lutego, a przy $Q_{90\%}$ od lipca do sierpnia oraz od listopada do stycznia. Zaobserwowano wielomodalność rozkładu daty początku pierwszej niżówki oraz jednomodalność daty początku najdłuższej niżówki. Przy $Q_{90\%}$ średnia data początku najdłuższej niżówki w przekrojach niżej położonych (np. Skawa/Sucha Beskidzka, Mleczka/Gorliczyna) występowała od sierpnia do października i była o ok. 3-4 miesiące wcześniejsza niż w przekrojach wysoko położonych (Białka/Łysa Polana, Poprad/Muszyna), gdzie występowała od grudnia do lutego. Przy $Q_{70\%}$ współczynniki koncentracji daty początku pierwszej niżówki są wysokie dla wszystkich przekrojów oprócz Dunajec/Koniówka, Białka/Łysa Polana, natomiast współczynniki koncentracji daty końca ostatniej niżówki są bardzo wysokie w przekrojach wysoko położonych, np. większe niż 0,75 gdy stacje usytuowane są powyżej 400 m n.p.m. W większości przekrojów współczynnik koncentracji daty ostatniego dnia niżówki jest niższy przy $Q_{90\%}$ niż $Q_{80\%}$ i $Q_{70\%}$. Zaobserwowano następującą tendencję w większości przekrojów: średnia data początku i końca niżówki była wcześniejsza w okresie 1998-2022 niż w 1973-1997. W kilku przekrojach zmiany te były istotne statystycznie.

Słowa kluczowe: niżówka rzeczna, data początku i końca niżówki, statystyki kołowe, Górna Wisła.

Rzeki, Retencja, Rozwój: Dolnośląska Gra z Wodą – Dolnośląska Polityka Wodna

mgr inż. Aleksandra Sieradzka-Stasiak | Instytut Rozwoju Terytorialnego, Zespół Energii i Wody
e-mail: aleksandra.sieradzka@irt.wroc.pl

W obliczu nasilającej się zmiany klimatu i presji antropogenicznej zasoby wodne Dolnego Śląska mierzą się z wieloma wyzwaniami, wobec których fragmentaryczne narzędzia i brak integracji celów wodnych w politykach krajowych są nieskuteczne. Zarząd Województwa Dolnośląskiego, widząc konieczność zmiany w podejściu do gospodarowania zasobami wodnymi w regionie, podjął inicjatywę opracowania Dolnośląskiej Polityki Wodnej (DPW) – dokumentu o charakterze strategicznym, integrującym zagadnienia wodne z szeroko pojętą polityką rozwoju regionu.

Założenia do Dolnośląskiej Polityki Wodnej, przyjęte przez Zarząd Województwa Dolnośląskiego w lipcu 2024 r., są pierwszym etapem podjętych prac, a ich zadaniem było określenie metodologii opracowania Dolnośląskiej Polityki Wodnej (DPW), identyfikacja głównych wyzwań w zakresie gospodarki wodnej na Dolnym Śląsku (należą do nich m.in. zła jakość wód, negatywne skutki ekstremalnych zjawisk pogodowych, przekształcenie wód i odwadnianie krajobrazu, deficyty wody, katastrofy ekologiczne, brak zintegrowanej bazy wiedzy o wodach oraz niski poziom świadomości społecznej) oraz próba zdefiniowania celów.

Zasadniczym celem Dolnośląskiej Polityki Wodnej jest osiągnięcie wysokiej jakości wód powierzchniowych i podziemnych, zabezpieczenie zasobów wodnych dla ludzi, ekosystemów i zrównoważonej gospodarki do 2050 r. poprzez integrację zagadnień wodnych z sektorowymi politykami regionalnymi, a także kształtowanie odpowiedzialnych postaw społecznych wobec wyczerpywalnych zasobów wodnych. DPW zakłada realizację szeregu działań skupionych wokół integracji polityk sektorowych, wzmocnienia współpracy, lobbingu na rzecz skuteczniejszej ochrony wód, zwiększenia retencji (zwłaszcza naturalnej i krajo-
brazowej), redukcji zanieczyszczeń, ochrony i odtwarzania mokradeł, renaturyzacji rzek, skuteczniejszego przewencyjnego planowania przestrzennego, łagodzenia skutków zmiany klimatu, zapewnienia bezpieczeństwa wodnego oraz działań edukacyjnych. Zakres przestrzenny DPW obejmuje obszar województwa dolnośląskiego ujęty w układzie zlewniowym (zlewnie rzędu III) z uwzględnieniem zlewni transgranicznych. Szczególny nacisk zostanie położony na edukacyjny charakter dokumentu, dlatego planuje się jego szerokie uspołecznienie i zaangażowanie społeczne (dedykowane) w kluczowych momentach DPW.

Podsumowując, Dolnośląska Polityka Wodna będzie dokumentem o charakterze strategicznym, koncentrującym się na działaniach i rekomendacjach ukierunkowanych na politykę adaptacyjną. Opracowanie będzie wspierało zrównoważone wykorzystanie i gospodarowanie zasobami wodnymi w politykach sektorowych, w tym szeroko rozumianą ochronę i odtwarzanie zasobów wodnych oraz przeciwdziałanie negatywnym skutkom zmiany klimatu. Powinno też kierunkować i uwrażliwiać regionalne dokumenty strategiczne na aspekty wodne.

Słowa kluczowe: Dolnośląska Polityka Wodna, gospodarka wodna, zmiany klimatu, retencja, renaturyzacja, edukacja wodna, przewencyjne planowanie przestrzenne, adaptacja do zmiany klimatu, ochrona mokradeł, dorzecze Odry.

Ocena efektywności różnych kryteriów informacyjnych

dr inż. Norbert Laskowski  | Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Szczecinie, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
e-mail: norbert.laskowski@wody.gov.pl

dr inż. Robert Mańko  | Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
e-mail: robert.manko@zut.edu.pl

W ramach referatu przedstawiono efekty pracy nad, będącym w przygotowaniu, artykułem dotyczącym kryteriów informacyjnych. Temat ten jest kontynuacją rozważań rozpoczętych w rozprawie doktorskiej, odnoszącej się do wpływu stosowanych kryteriów estymacji na modele konceptualne relacji opad–odpływ.

Rozwój technologiczny umożliwia tworzenie i wykorzystywanie coraz bardziej skomplikowanych struktur modeli. Nadmierna parametryzacja nie gwarantuje jednak znacznej poprawy jakości dopasowania symulacji, prowadzi natomiast do wzrostu niepewności modelu. Porównując modele o różnym stopniu skomplikowania, poza jakością dopasowania modelu, ważne jest uwzględnienie jego użyteczności związanej z liczbą identyfikowanych parametrów. Narzędziem uwzględniającym te dwa elementy są kryteria informacyjne. W przeprowadzonych badaniach poddano ocenie modele konceptualne: pojedynczego zbiornika liniowego, kaskady Nasha, modelu Diskina, kaskady zbiorników zatopionych, dwugałęziowego modelu kaskady Nasha i kaskady zbiorników zatopionych, za pomocą których zasymulowano sześć wydarzeń opadowych mających miejsce w zlewni rzeki Żebrówka w latach 1980-1981. Do identyfikacji wartości parametrów modeli zastosowano dziesięć różnych funkcji celu. W rezultacie otrzymano dziesięć zestawów wartości parametrów każdego z modeli dla każdego wydarzenia opadowego. Oceny wspomnianych modeli konceptualnych dokonano za pomocą pięciu kryteriów informacyjnych: Bayesowskie kryterium Schwarza (BIC), Akaike (AIC), skorygowane Akaike (AICc), Bozdogana (CAIC) i Hannana-Quinna (HQC).

Wyniki wskazały, że zastosowane kryteria informacyjne są w znacznej części zgodne i „najgorzej” oceniają modele skomplikowane, dla których uzyskano najlepsze dopasowania symulacji. Świadczy to o dużej wrażliwości kryteriów informacyjnych na stopień skomplikowania struktury modelu. Z wyjątkiem AIC, wartość kary wynikająca z liczby parametrów zmienia się wraz z wielkością próby. Najbardziej dynamiczne zmiany zachodzą w przypadku kryterium AICc – wartość kary znacząco rośnie przy małych próbach. Różne wskazania najlepszego modelu najczęściej występowały przy małych próbach oraz przy zastosowaniu funkcji celu, dla których uzyskano najwyższą średnią wartość funkcji wiarygodności.

Słowa kluczowe: Kryteria informacyjne, porównanie modeli matematycznych, modele opad–odpływ.

Propozycja działań adaptacyjnych i rewitalizacyjnych, które pozytywnie oddziałują na hydromorfologię i retencyjność zlewni na przykładzie zlewni Skrody

dr Iwona Lejcuś  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Badań Środowiskowych
e-mail: iwona.lejcus@imgw.pl

Wzmacnianie rozwoju retencji jest jednym z kluczowych działań adaptacyjnych wobec obserwowanej i prognozowanej zmiany klimatu. Od kilkunastu lat obserwujemy aktywne działania w tym kierunku, głównie w obszarach zabudowanych (miejskich), gdzie w zależności od zaangażowania środków realizowane są różnorodne rozwiązania z zakresu mikroretencji (np. gromadzenie deszczówki) i błękitno-zielonej infrastruktury (np. ogrody deszczowe, muldy wzdłuż ciągów komunikacyjnych, stawy retencyjne). Tego rodzaju działania w obszarach miejskich są zrozumiałe – z jednej strony na relatywnie małej przestrzeni żyje tu największa liczba mieszkańców (ok. 60% obywateli kraju), z drugiej to właśnie w obszarze zabudowanym epizody opadów nawaalnych powodują zwykle duże straty funkcjonalne i materialne. Ponadto, zmieniające się wzorce rozkładu i czasowego występowania opadu skutkują epizodami opadów nawaalnych, ale także okresami braku opadów, co przekłada się na coraz dotkliwsze straty z powodu suszy.

Potrzeba zatrzymania opadu w miejscu jego wystąpienia, zmagazynowania i możliwie powolnego uwalniania, uwypukla zasadność spojrzenia na obszar zlewni z perspektywy jej zdolności retencionowania wody. Dużym potencjałem charakteryzują się obszary dolin rzecznych, z przyległymi do nich terenami leśnymi i rolniczymi. Oba typy użytkowania dominują w zlewni Skrody, prawostronnego dopływu Nysy Łużyckiej. Stan hydromorfologiczny rzeki nie jest jednolity. W odcinku leśnym mamy klasę I (stan bardzo dobry), w rolniczym klasę II (stan dobry). Stąd podejmowanie różnorodnych działań w dolinie cieków może korzystnie wpłynąć zarówno na retencję, jak i samą rzekę (stan hydromorfologiczny), poprawiając skalę oferowanych przez naturę usług ekosystemowych. Do działań przynoszących największe korzyści w obszarze rolniczym należy zaliczyć tworzenie wzdłuż cieków stref buforowych o złożonej strukturze. Stworzony ekoton jest bardzo korzystnym siedliskiem fauny i flory a zacienienie z wyższych drzew w strefie przybrzeżnej ogranicza nagrzewanie wody, jest źródłem rumoszu drobnego i grubego, zaś roślinność wychwytuje nadmiar biogenów spływających z terenów rolnych. Innym skutecznym rozwiązaniem jest udostępnianie rzece rozległego obszaru zalewowego – miejsca do gromadzenia się wód wezbraniowych, które zasilają wody podziemne i umożliwiają rozwój cennych siedlisk (np. zarośli i lasów łęgowych). W obrębie cieków istotne jest tworzenie lokalnych niszy (siedlisk) przypominających naturalne elementy (np. nagromadzone gałęzi, kamieni), tworzące lokalne miejsca żerowania, rozrodu czy wzrostu fauny wodnej.

Słowa kluczowe: zlewnia Skrody, działania adaptacyjne, retencja, ocena hydromorfologiczna HIR.

Możliwości poprawy jakości wody w małych zbiornikach w okresie wezbrań

dr inż. Łukasz Gruss  | Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Instytut Inżynierii Środowiska
e-mail: lukasz.gruss@upwr.edu.pl

Zanieczyszczenie zbiorników podczas powodzi to poważny problem środowiskowy i zdrowotny [Quin i in. 2021]. Podczas tego rodzaju zdarzeń do wód powierzchniowych trafiają związki biogenne, nawozy i środki ochrony roślin, oleje i metale ciężkie, substancje zwiększające zasolenie wód czy związki zmniejszające dostępność tlenu rozpuszczonego w wodzie. Zanieczyszczenia mogą pochodzić ze ścieków komunalnych lub przemysłowych (np. w wyniku zalania lub uszkodzenia systemu kanalizacji), część z nich spływa razem z wodą opadową z pól rolnych czy dróg [Mulholland i in. 1981; Euripidou, Murray 2004; Carpenter i in. 2011]. Ponadto intensywny przepływ może wzruszyć osady dennie w rzekach i zbiornikach, uwalniając do toni wodnej zgromadzone tam zanieczyszczenia – metale ciężkie czy związki azotu i fosforu [Gruss i in. 2021]. Woda staje się niebezpieczna dla ekosystemu wodnego, nie nadaje się do spożycia, kąpieli i irygacji [Buta i in. 2022], może powodować śnięcie ryb i eutrofizację rzek i zbiorników.

Eutrofizacja, którą wywołują głównie związki azotu i fosforu, dostające się do wody również podczas wezbrań [Wiatkowski, Wiatkowska 2019; Wurtsbaugh i in. 2019], jest przedmiotem wielu badań mających na celu ograniczenie, a nawet wyeliminowanie tego zjawiska. Istnieje wiele metod oczyszczania wód małych zbiorników, wśród których wyróżniamy metody: biologiczne, fizyczne i chemiczne oraz ekohydrologiczne [Jurczak i in. 2019; Zalewski i in. 2021; Akinnowo 2023; Gruss, Cyganowski 2025]. Jeżeli zależy nam na szybkim usunięciu związków biogennych, bez wprowadzania do środowiska innych substancji chemicznych, to można rozważyć zastosowanie selektywnych żywic jonowymiennych. Były one dotychczas stosowane w procesach uzdatniania wody pitnej czy oczyszczania ścieków. W latach 2019–2022 prowadzono badania nad zastosowaniem instalacji, na którą składają się głównie kolumna filtracji mechanicznej, wypełniona piaskiem i żwirem bądź zeolitem, w układzie z kolumną wypełnioną selektywnymi żywicami anionowymiennymi. Podczas testów wykorzystano silnie zasadową żywicę anionową, makroporową, wyposażoną w przewodze w grupy chlorkowe (PA202). Badania prowadzono w warunkach polowych w zlewni zbiornika Turawa, który zlokalizowany jest w południowo-zachodniej części Polski na rzece Małej Panwi (Dorzecze Górnej Odry), oraz w wydzielonych częściach tego zbiornika. Zastosowanie instalacji umożliwiło skuteczne obniżenie stężenia azotanów i fosforanów [Buta i in. 2022; Cyganowski i in. 2024; Gruss, Cyganowski 2025], co sugeruje, że rozwiązanie to może skutecznie zmniejszać stężenie biogenów w wodach małych zbiorników podczas powodzi.

Badanie zostało przeprowadzone w ramach projektu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju BIOSTRATEG3/343733/15/NCBR/2018 pt. „Innowacyjna metoda poprawy jakości wody w wielofunkcyjnych zbiornikach retencyjnych”.

Słowa kluczowe: zbiornik, jakość wód, wezbranie, biogeny, zanieczyszczenie wód.

Budowa modelu zlewni z użyciem SWAT przydatnego dla rozwiązywania problemów gospodarki wodnej

dr inż. Paweł Marcinkowski  | Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Instytut Inżynierii Środowiska,
Katedra Hydrologii, Meteorologii i Gospodarki Wodnej
e-mail: pawel_marcinkowski@sggw.edu.pl

Celem prezentacji było przedstawienie możliwości wykorzystania modelu SWAT (Soil & Water Assessment Tool) do wspierania procesów decyzyjnych w gospodarce wodnej, z uwzględnieniem specyfiki warunków rolniczych i hydrologicznych Polski.

SWAT to uznany na świecie, ogólnodostępny model symulacyjny, służący do długoterminowej analizy ilości i jakości wód w zlewniach. Model umożliwia uwzględnienie zarówno procesów naturalnych (opad, odpływ, retencja, infiltracja), jak i wpływu działalności człowieka (rolnictwo, zrzuty punktowe, zbiorniki retencyjne). W prezentacji skupiono się na kluczowych problemach i potencjalnych rozwiązaniach związanych z modelowaniem w różnych skalach przestrzennych. Na poziomie lokalnym szczególny nacisk położono na poprawną reprezentację użytkowania terenu i praktyk rolniczych – m.in. poprzez integrację danych GUS i ARiMR, budowę szczegółowych kalendarzy zabiegów agrotechnicznych oraz precyzyjne odwzorowanie dawek nawożenia. Na poziomie dużych zlewni omówiono m.in. kwestie związane z interpolacją danych meteorologicznych, metodologią kalibracji i walidacji przepływu, symulacją zrzutów punktowych oraz ograniczeniami w odwzorowaniu retencji zbiornikowej i przepływu wód podziemnych. Podkreślono również znaczenie rozwoju nowych wersji modelu, takich jak SWAT+ i jego integracja z innymi narzędziami (np. MODFLOW, GWFLOW). Wskazano, że dalszy rozwój narzędzi modelujących powinien opierać się na szerokiej współpracy między jednostkami naukowymi a instytucjami zarządzającymi wodami.

Słowa kluczowe: modelowanie hydrologiczne, SWAT, gospodarka wodna, rolnictwo, jakość wód.

Scenariusze zmian klimatu i użytkowania terenu w modelu SWAT

dr hab. inż. Paulina Orlińska-Woźniak, prof. IMGW-PIB  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Badań i Rozwoju
e-mail: paulina.wozniak@imgw.pl

dr hab. inż. Paweł Wilk, prof. IMGW-PIB  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Badań i Rozwoju
e-mail: pawel.wilk@imgw.pl

dr hab. inż. Ewa Szalińska van Overdijk, prof. AGH  | Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Ochrony Środowiska
e-mail: eszalinska@agh.edu.pl

W świetle postępującej degradacji jakości wód powierzchniowych w Europie, szczególnie w zlewniach zurbanizowanych i o intensywnym użytkowaniu rolniczym, konieczne staje się stosowanie zaawansowanych narzędzi modelowania środowiskowego. Model SWAT (Soil and Water Assessment Tool) stanowi jedno z najbardziej rozpowszechnionych rozwiązań do symulacji długoterminowych procesów hydrologicznych, erozyjnych oraz transportu zanieczyszczeń w zlewniach rzecznych. Jego modułowa struktura i możliwość uwzględniania zróżnicowanych scenariuszy użytkowania terenu oraz projekcji klimatycznych czyni go efektywnym instrumentem wspierającym planowanie strategiczne w gospodarce wodnej.

W prezentowanym badaniu pokazano możliwości modelu SWAT w prowadzeniu analiz scenariuszowych dotyczących zarówno zmian w użytkowaniu terenu (wpływu urbanizacji), jak i zmian klimatycznych na dynamikę spływu powierzchniowego oraz transport biogenów w warunkach zlewni miejskich (miasto Lublin) oraz rolniczych (zlewnia Wełny i Raby). Scenariusze opracowano w oparciu o dane projektów Forecom (zmiany użytkowania terenu) oraz CHASE (projekcje klimatyczne), a także Miejskich Planów Adaptacji do zmian klimatu. Analiza objęła warianty indywidualne oraz zintegrowane, z uwzględnieniem efektów synergicznych i kompensacyjnych. Przeprowadzono również ocenę skuteczności stref buforowych jako narzędzi ograniczających emisję zanieczyszczeń do wód powierzchniowych.

Wyniki wskazują na istotne zwiększenie ładunków azotu i fosforu w scenariuszach zakładających wzrost powierzchni uszczelnionych oraz intensyfikację opadów. Zidentyfikowano obszary krytyczne pod względem ryzyka degradacji jakości wód, co umożliwia ukierunkowanie działań ochronnych. Podkreślono również znaczenie realistycznego podejścia do parametrów planistycznych – zwłaszcza szerokości i rozmieszczenia stref buforowych – oraz konieczność walidacji i analizy niepewności modelu.

Przeprowadzone analizy potwierdzają wysoką przydatność modelu SWAT jako narzędzia wspomagającego podejmowanie decyzji w zakresie zrównoważonego zarządzania zlewniami w kontekście adaptacji do zmiany klimatu oraz wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej.

Słowa kluczowe: modelowanie scenariuszowe, SWAT, jakość wód powierzchniowych, zmiany użytkowania terenu, zmiany klimatu, strefy buforowe, zarządzanie zlewnią.

Scenariusze zmian klimatu – dobór globalnych i regionalnych modeli klimatycznych determinantą (?) wyników

dr hab. Agnieszka Wypych, prof. UJ  | Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Klimatologii
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Meteorologii i Klimatologii
e-mail: agnieszka.wypych@uj.edu.pl, agnieszka.wypych@imgw.pl

dr hab. inż. Ewa Szalińska van Overdijk, prof. AGH  | Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Ochrony Środowiska
e-mail: eszalinska@agh.edu.pl

dr hab. inż. Paweł Wilk, prof. IMGW-PIB  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Badań i Rozwoju
e-mail: pawel.wilk@imgw.pl

dr hab. inż. Paulina Orlńska-Woźniak, prof. IMGW-PIB  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Badań i Rozwoju
e-mail: paulina.wozniak@imgw.pl

W obliczu nasilających się skutków zmian klimatu na procesy erozji i transportu zawiesiny w zlewniach górskich rośnie znaczenie wiarygodnego modelowania tych zjawisk w skali lokalnej. Celem pracy była analiza wpływ doboru źródeł danych klimatycznych, okresów referencyjnych oraz składu wiązki modeli klimatycznych na wyniki prognoz obciążenia zawiesiną na przykładzie zlewni górnej Raby w Karpatach Zachodnich. Symulacje przeprowadzono przy użyciu modelu SWAT z zastosowaniem metody delta change na podstawie projekcji zmian klimatu dla różnych wariantów RCP (4.5 i 8.5), horyzontów czasowych (2026-2035 i 2046-2055) oraz z wykorzystaniem punktowego i obszarowego źródła danych klimatycznych.

Wyniki wskazują na istotne różnice w prognozach, zależne od wybranej metody przestrzennej reprezentacji danych meteorologicznych. Scenariusze oparte na danych punktowych (ze stacji synoptycznej) wskazują średnio niższy przyrost ładunku zawiesiny w porównaniu do podejścia obszarowego, które lepiej odwzorowuje zróżnicowanie opadów w terenie górskim. Wybór okresu referencyjnego (10- lub 30-letni) okazał się kluczowy dla rozkładu miesięcznego ładunku – krótszy okres, używany w wielu lokalnych planach adaptacyjnych, generował anomalnie wysokie wartości w kwietniu, wynikające z nieadekwatnych wskaźników odchyień.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na wyniki jest skład wiązki modeli klimatycznych. Wyodrębnione podzbiory modeli „suchych” i „mokrych” wykazały skrajnie różne rozkłady miesięczne i wartości ekstremalne prognozowanych ładunków zawiesiny – różnice roczne przekraczały 3000 ton. Takie rozbieżności mogą prowadzić do błędnych wniosków o zagrożeniach dla jakości wód i pojemności retencyjnej zbiorników.

Autorzy podkreślają, że bez ścisłej współpracy klimatologów i specjalistów modelowania środowiskowego istnieje ryzyko poważnych błędów w ocenie skutków zmian klimatu. Koniecznością jest większa integracja między tymi ekspertami, opracowanie zestawów modeli dedykowanych konkretnym analizom wpływu oraz stosowanie rygorystycznego podejścia naukowego uwzględniającego niepewności modeli klimatycznych. Wnioski te mają istotne znaczenie dla planowania adaptacji do zmian klimatu na poziomie lokalnym i regionalnym.

Słowa kluczowe: opady atmosferyczne, modele klimatyczne, scenariusze zmian środowiska przyrodniczego, zlewnia górską, Karpaty.

Literatura: Szalińska i in. 2024; Szalińska i in. 2025.

Zastosowanie modelu SWAT do oceny efektywności stref buforowych w zlewni w warunkach zmiany klimatu

mgr inż. Damian Bojanowski  | Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie/Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
e-mail: bojanows@agh.edu.pl

dr hab. inż. Paulina Orlińska-Woźniak, prof. IMGW-PIB  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Badań i Rozwoju
e-mail: paulina.wozniak@imgw.pl

dr hab. inż. Paweł Wilk, prof. IMGW-PIB  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Centrum Badań i Rozwoju
e-mail: pawel.wilk@imgw.pl

dr hab. Agnieszka Wypych, prof. UJ  | Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Klimatologii, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Meteorologii i Klimatologii
e-mail: agnieszka.wypych@uj.edu.pl, agnieszka.wypych@imgw.pl

dr hab. inż. Ewa Szalińska van Overdijk, prof. AGH  | Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Ochrony Środowiska
e-mail: eszalinska@agh.edu.pl

Zmiana klimatu, przejawiająca się m.in. wzrostem średniej temperatury i sumy opadów, może stać się jednym z najważniejszych zagrożeń dla gospodarki wodnej ze względu na prawdopodobną intensyfikację eutrofizacji wskutek zwiększania się dopływu biogenów ze zlewni (azotu i fosforu). Stosunkowo prostym działaniem ograniczającym dostawę zanieczyszczeń do wód powierzchniowych jest zastosowanie stref buforowych, np. seminaturalnych pasów roślinności zlokalizowanych wzdłuż cieków i oddzielających koryto rzeki od jej zlewni. W strefach buforowych zachodzą procesy biologiczne i fizykochemiczne, które skutkują redukcją ładunków dopływających ze zlewni do środowiska wodnego.

Celem niniejszej pracy była ocena efektywności stref buforowych w warunkach zmiany klimatu. W tym celu wykorzystano cyfrowy model zlewni rzeki Nurzec (wschodnia Polska) z wykorzystaniem oprogramowania Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Wykalibrowany i zweryfikowany model posłużył do obliczenia ładunków biogenów odpływających ze zlewni. Prognozy zmiany klimatu (temperatury i opadu), oparte na dwóch scenariuszach klimatycznych (RCP4.5 and RCP 8.5), wykorzystano do oceny przewidywanych zmian w wielkości ładunków biogenów w trzech perspektywach czasowych (w latach 2026-2050, 2051-2075 i 2076-2100). Dla wszystkich scenariuszy klimatycznych oraz scenariusza bazowego wykonano analizy czterech szerokości strefy buforowej w zlewni: 2 m, 5 m, 10 m oraz 20 m. W celu zasymulowania wpływu stref buforowych zastosowano funkcję modelu SWAT Vegetative Filter Strips (VFS), która modyfikuje parametry modelu dopływające do stref buforowych (odpływ, zawiesinę, biogeny). W referacie omówione zostały także inne potencjalne metody symulowania efektu stref buforowych.

Analiza wykazała, że średni roczny odpływ ze zlewni w latach 2005-2019 wyniósł 724 tony azotu ogólnego i 50 ton fosforu ogólnego. W scenariuszu bazowym strefy buforowe mogą zapewnić redukcję do 54,8% azotu ogólnego i 37,1% fosforu ogólnego. W scenariuszach klimatycznych, implementacja stref buforowych może zmniejszyć ładunki o maksymalnie 66,3% azotu ogólnego i 36,1% fosforu ogólnego. Efektywność redukcji w strefach buforowych waha się pomiędzy 27,9% a 66,3% (azot ogólny) i 10,8% a 36,1% (fosfor ogólny) w zależności od scenariusza i zastosowanej szerokości strefy buforowej. Wyniki potwierdzają, że pełna implementacja stref buforowych w zlewni Nurca może mieć znaczny wpływ na redukcję ładunków biogenów odpływających ze zlewni. Nawet wariant obejmujący strefy buforowe o szerokości 2 m zapewnia redukcję biogenów i zachowuje swoją skuteczność w warunkach zmiany klimatu. Sformułowane wnioski są ważne z punktu widzenia zarządzania gospodarką wodną w zlewni oraz mogą stanowić solidną podstawę dla decydentów i innych interesariuszy w gospodarce wodnej do podejmowania konkretnych działań w gospodarce wodnej.

Słowa kluczowe: strefy buforowe, ładunki biogenów, modelowanie, SWAT, zmiana klimatu, gospodarka wodna.

The new version of SWAT – SWAT+ – insights from recent case studies in Poland and Europe

dr Mohammad Reza Eini  | Warsaw University of Life Sciences, Institute of Environmental Engineering, Department of Hydrology, Meteorology and Water Management,
e-mail: mohammad_eini@sggw.edu.pl

SWAT+ is the newest generation of the Soil and Water Assessment Tool, a watershed model whose line of development spans more than 80 years and has made it one of the most widely used tools in hydrological research. Building on that legacy, SWAT+ delivers more realistic simulations through a modern, object-oriented framework that captures distinct landscape units (uplands and floodplains), supports multiple channels per sub-basin, and lets users route water and sediment along any pathway they define. The model streamlines workflow by reducing the number of mandatory input files and by allowing connectivity between all watershed objects to be edited directly in its accompanying SQLite database. Decision tables replace hard-wired management rules, so reservoir releases, land-use changes, or crop schedules can be updated without rerunning the entire model. Equally important, SWAT+ benefits from active, free support within the global SWAT community, alongside a growing suite of open-source pre- and post-processing tools that shorten the path from setup to insight. Three European case studies illustrate these advances.

In a medium-sized Wętna catchment (Poland), the model reproduced discharge and rain-fed crop yields. Assimilating satellite soil-moisture data in the 118,000 km² Odra basin (Germany/Poland/Czechia) improved peak-flow simulation by 12% and reduced yield bias by 9%. Within the pan-European OPTAIN project, SWAT+ executed >20,000 nature-based intervention scenarios – buffer strips, cover crops, ponds and wetlands – Identifying optimal portfolios that enhance water retention without compromising nutrient recycling. These examples confirm that SWAT+ offers (i) scale-independent fidelity from plot to basin, (ii) transparent linkages between land management and hydrology, and (iii) an open, growing ecosystem of pre- and post-processing utilities. Consequently, SWAT+ provides a robust, versatile platform for climate-impact studies, agri-environmental planning, and integrated water-resources management across diverse landscapes.

Keywords: SWAT+, hydrological modelling, landscape units, decision tables, nature-based solutions.

A systematic review of hydrologic and crop growth responses to elevated CO₂: addressing modeling uncertainties for improved future projections

MSc Rouhollah Davarpanah  | Warsaw University of Life Science, Institute of Environmental Engineering, Department of Hydrology, Meteorology and Water Management
e-mail: rouhollah_davarpanah@sggw.edu.pl

dr hab. Mikołaj Piniewski, prof. SGGW  | Warsaw University of Life Science, Institute of Environmental Engineering, Department of Hydrology, Meteorology and Water Management
e-mail: mikolaj_piniewski@sggw.edu.pl

Dr. Farnaz Ershadfath | Lecturer at Bu-Ali Sina University, Iran
e-mail: farnaz.ershadfath@gmail.com

Rising atmospheric carbon dioxide (CO₂) levels significantly impact crop productivity and water dynamics, posing challenges for global food security and sustainable water resource management amid climate change. Understanding these effects is crucial, especially given the variability in research outcomes across different climates and methodologies, and the discrepancies between experimental studies and numerical models.

This systematic literature review (2005-2025) synthesizes the effects of elevated CO₂ (eCO₂) on plant-water interactions, focusing on physiological responses such as enhanced photosynthesis, reduced stomatal conductance, and improved water-use efficiency. These responses influence hydrological processes, including evapotranspiration, soil moisture, and runoff. A primary objective is to reconcile inconsistencies between experimental studies, notably Free-Air CO₂ Enrichment (FACE) experiments, and modeling approaches like the Soil and Water Assessment Tool (SWAT), which contribute to uncertainties in projecting future agricultural and hydrological outcomes.

Adhering to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines, a comprehensive search was conducted in Scopus and Web of Science encompassing both experimental and modeling studies. The review highlights advancements in hydrological and crop growth models, particularly the development of modified versions of SWAT that incorporate eCO₂ effects through adjustments in stomatal conductance and leaf area index. However, these models often lack validation for CO₂ concentrations exceeding 660 ppm, limiting their applicability under future climate scenarios. This gap underscores the need for enhancing models like SWAT+ to accurately simulate plant responses at higher eCO₂ levels. By identifying key sources of uncertainty and advocating for the integration of contemporary experimental data into modeling frameworks, this review provides valuable insights for researchers and policymakers aiming to improve projections of agricultural productivity and water resource management in the context of climate change.

Keywords: elevated CO₂, hydrologic projection, crop growth, water-food nexus, uncertainty, SWAT model.

Powódź we wrześniu 2024 roku – przyczyny, przebieg, skutki i dalsze plany redukcji ryzyka powodziowego w zlewniach Ziemi Kłodzkiej

dr inż. Radosław Stodolak | Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Instytut Inżynierii Środowiska
e-mail: radoslaw.stodolak@upwr.edu.pl

mgr inż. Borys Bednarek | SWECO Polska Sp. z o.o.
e-mail: borys.bednarek@sweco.pl

W prezentacji przedstawiono zagadnienia związane z przebiegiem i skutkami wezbrania powodziowego we wrześniu 2024 r. w zlewni Nysy Kłodzkiej. Omówiono genezę opadów oraz ich przebieg na obszarze Sudetów Wschodnich, sposób kształtowania się i parametry fal powodziowych w poszczególnych przekrojach wodowskazowych Ziemi Kłodzkiej oraz wartości przepływów maksymalnych, w tym takich, które pochodziły z wyników modelowania opad–odpływ, np. dla wodowskazu Łądek Zdrój po katastrofie zapory czy dopływ z niekontrolowanej zlewni Morawki do przekroju zapory w Stroniu Śl. Zaprezentowano sposób pracy kaskady zbiorników Topola–Kozieln–Otmuchów–Nysa, w tym oszacowaną wielkość dopływu ze zlewni Białej Głuchotaskiej do wod. Głuchotazy, który na podstawie wyników modelowania opad–odpływ (wobec zniszczenia wodowskazu) określono na $631 \text{ m}^3/\text{s}$. Analizie poddano także odcinek Nysy Kłodzkiej od zbiornika Nysy do ujścia do Odry, wskazując na blisko 2-krotny przyrost kubatury fali wywołany dopływem ze zlewni różnicowych. W prezentacji podkreślono, że wszystkie z czterech nowo wybudowanych suchych zbiorników przeciwpowodziowych na Ziemi Kłodzkiej spełniły swoją rolę, zapewniając bezpieczeństwo powodziowe terenom zlokalizowanym bezpośrednio poniżej i redukcję przepływu maksymalnego od 15% (zb. Krosnowice) do 55% (zb. Szalejów i Boboszków).

Szczegółowo omówiono hydrogram przebiegu fali powodziowej w dolinie Białej Łądeckiej, bazując na wykonanej dokumentacji zdjęciowej rzeki Białej Łądeckiej w obrębie stacji wodowskazowej w Łądku Zdroju oraz pomiarach znaków wielkiej wody. W dniach 13–15 września można było zaobserwować wystąpienie kompletu przepływów ujętych na mapach zagrożenia i ryzyka powodziowego. W nocy z 13/14 września odnotowano przepływ $p = 10\%$, 14 września o godz. 17:00 zaobserwowano przepływ $p = 1\%$, natomiast zdjęcia wykonane 15 września ok. godz. 10:30, tj. tuż przed awarią zbiornika Stronie Śląskie, potwierdzają wystąpienie przepływu $p = 0,2\%$. Odnotowany wówczas stan wody na wodowskazie w Łądku Zdroju wyniósł 380 cm i był większy o 15 cm od absolutnego maksimum z 1997 r. W następstwie awarii zbiornika stan wody uzyskał rekordowy poziom 515 cm, odznaczając się na ścianach budynku stacji wodowskazowej, co odpowiada $Q = 1065 \text{ m}^3/\text{s}$.

Na zdjęciach pokazano napełnienie koryta Białej Łądeckiej przy przepływie $p = 1\%$ [fot. 1], przekroczenie poziomu znaku wielkiej wody z 1997 przy przepływie $p = 0,2\%$ [fot. 2] oraz budynek stacji wodowskazowej z odznaczonym poziomem wody w trakcie kulminacji przepływu po awarii zbiornika Stronie Śląskie [fot. 3].

Prezentację podsumowano poprzez zaprezentowanie aktualnie rozpatrywanych lokalizacji dodatkowych zbiorników i działań przeciwpowodziowych rekomendowanych w ramach konsultowanego społecznie „Programu redukcji ryzyka powodziowego w zlewni Nysy Kłodzkiej”.

Słowa kluczowe: powódź, Nysa Kłodzka, ochrona przed powodzią, awaria zbiornika Stronie Śląskie.

14.09.24 - 17:10 – stan 283 cm



Fot. 1. Napełnienie koryta Białej Łądeckiej przy przepływie $p = 1\%$ (F. Borys Bednarek).

15.09.24 - 10:50 – stan 380 cm



Fot. 2. Przekroczenie poziomu znaku wielkiej wody z 1997 przy przepływie $p = 0,2\%$ (F. Borys Bednarek).



Fot. 3. Budynek stacji wodowskazowej z odznaczonym poziomem wody w trakcie kulminacji przepływu po awarii zbiornika Stronie Śląskie (F. Borys Bednarek).



Fot. 4. Prezentacja odnotowanych stanów wody w lipcu 1997 r, wrześniu 2024 r. i po przejściu katastrofalnej fali z przerwanego zbiornika w Stroniu Śląskim.

Zmienność potencjału retencyjnego zlewni w świetle zmian klimatu i zagospodarowania zlewni

dr hab. inż. Andrzej Wałęga, prof. URK  | Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej
e-mail: andrzej.walega@urk.edu.pl

Celem niniejszego badania było udzielenie odpowiedzi na kluczowe pytanie: jak zmienia się potencjał retencyjny zlewni w wyniku zmian zagospodarowania zlewni oraz zmiany klimatu? Aby je rozstrzygnąć, przeprowadzono kompleksową analizę w różnych skalach przestrzennych, której innowacyjnym elementem było opracowanie i zastosowanie metody Landscape Hydric Potential (LHP) – Potencjału Retencyjnego Krajobrazu. Metoda ta umożliwia ocenę i prognozowanie zmian w zasobach wodnych z wykorzystaniem wskaźnika wielowymiarowego (LHP), w przeciwieństwie do tradycyjnych miar jednowymiarowych.

Wskaźnik LHP odzwierciedla naturalną zdolność krajobrazu do infiltracji i retencji wody, uwzględniając kluczowe cechy geograficzne w skali zlewni. Wyznaczany jest na podstawie warunków hydrogeologicznych, właściwości gleb, warunków klimatycznych i meteorologicznych, ukształtowania terenu oraz użytkowania i pokrycia terenu (LULC).

Badania koncentrowały się na trzech głównych komponentach:

1. Prognozowanie przyszłych zmian retencji wodnej w dorzeczu Górnej Wisły. W pierwszym etapie obliczono wartości LHP dla 33 zlewni w warunkach aktualnych. Następnie przeanalizowano prognozowane zmiany w użytkowaniu terenu (LULC) oraz klimacie – zarówno w perspektywie krótkoterminowej, jak i długoterminowej. Przeprowadzono symulacje pokazujące, jak wartości LHP mogą się zmieniać w czasie w wyniku tych przekształceń. Wyniki wykazały, że zlewnie górskie charakteryzują się obecnie wyższymi wartościami LHP niż zlewnie położone na wyżynach i nizinach. Największe prognozowane zmiany użytkowania terenu dotyczą obszarów rolniczych, natomiast przewidywane zmiany bilansu wodnego klimatycznego są minimalne – niezależnie od przyjętego horyzontu czasowego. Na tej podstawie stwierdzono, że w analizowanym regionie to zmiany w użytkowaniu terenu mogą mieć większy wpływ na potencjał retencyjny krajobrazu niż zmiany klimatyczne.
2. Ocena LHP w kontekście zagrożenia powodziowego – zlewnia rzeki Drwinki. W związku z postępującą urbanizacją i jej wpływem na systemy hydrologiczne, badano również, jak zmiany LHP wpływają na przebieg powodzi. Przeprowadzono analizę historycznych zmian w użytkowaniu terenu, sieci rzecznej i opadach w latach: 1785, 1864, 1900, 1936, 1965, 1997 i 2023. W badaniu wykorzystano trzy scenariusze opadowe – dwa oparte na zdarzeniach rzeczywistych oraz jeden projektowy – do symulacji odpływu powierzchniowego. Analiza wykazała silną korelację między wartościami LHP a opadem netto: wzrost wartości LHP prowadził do zmniejszenia przepływów szczytowych i objętości fali powodziowej. Zauważono także wyraźne przekształcenia krajobrazu – przejście z terenów rolniczych do zurbanizowanych, zmniejszenie powierzchni zlewni oraz spadek jej zdolności retencyjnej.
3. Ocena potencjału retencji wodnej w skali Europy. Aby zaprezentować uniwersalność metody, zastosowano ją w skali Europy. Wskaźnik LHP został zmapowany i zagregowany do dwunastu relatywnie jednorodnych regionów, reprezentujących podobne warunki retencji wodnej. Analiza wykazała, że naturalna zdolność do retencji wody w Europie jest silnie zróżnicowana, głównie w wyniku różnic klimatycznych, geomorfologicznych, glebowych oraz wynikających z pokrycia i użytkowania terenu. Północna Europa osiąga wyższe wartości LHP dzięki korzystnemu bilansowi wodnemu i nachyleniu terenu, podczas gdy w Europie Południowej niższe wartości wynikają głównie z niekorzystnego bilansu wodnego klimatu. Badanie potwierdziło również, że istnieją wystarczające, ogólnodostępne i precyzyjne dane umożliwiające ocenę potencjału retencyjnego krajobrazu (LHP) także w skali kontynentalnej, co czyni tę metodę cennym wskaźnikiem w zarządzaniu zasobami wodnymi i krajobrazowymi.

Ile wody mogło płynąć potokiem Morawka w przekroju zapory w Stroniu Śląskim we wrześniu 2024 roku?

dr inż. Rafał Kokoszka  | Arcadis Sp. z o.o.

e-mail: rafal.kokoszka@arcadis.com

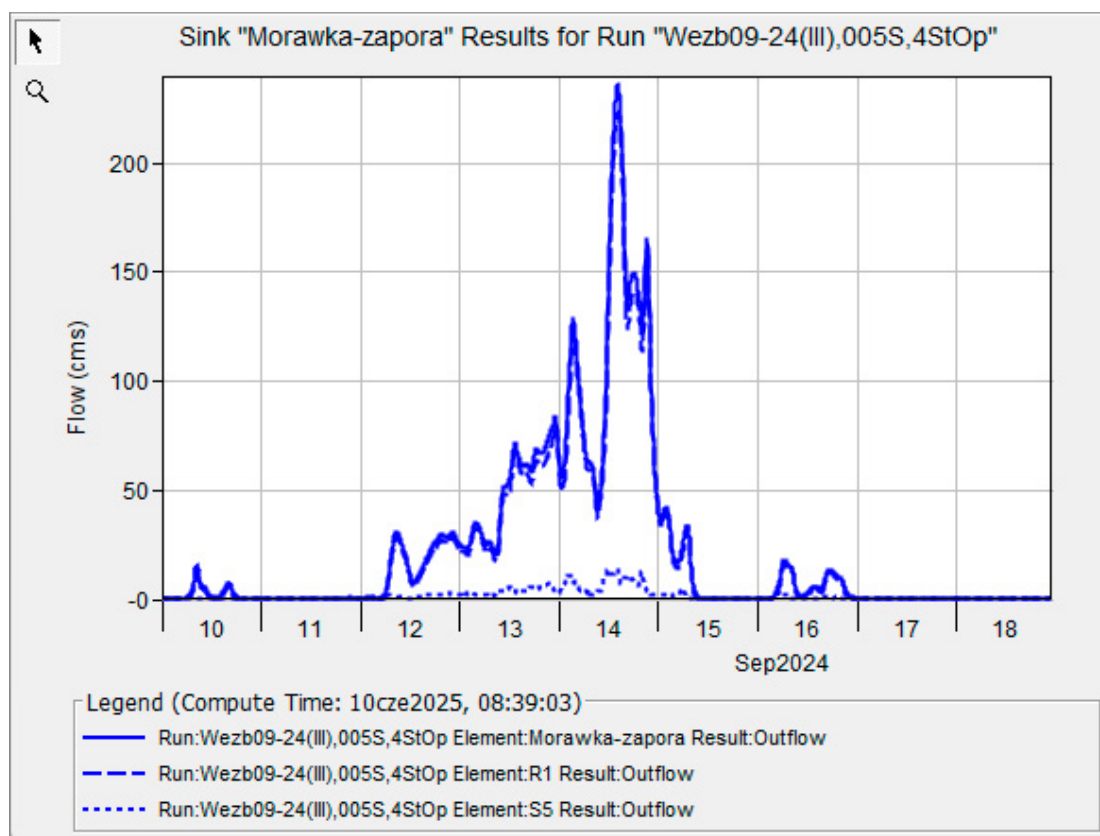
15 września 2024 roku doszło do katastrofy budowlanej, polegającej na uszkodzeniu zapory czołowej suchego zbiornika przeciwpowodziowego w Stroniu Śląskim na potoku Morawka. Katastrofę poprzedziły długotrwałe opady nawałne w dorzeczu górnej i środkowej Odry wywołane przez tzw. „niż genueński”.

Na podstawie danych opadowych z 4 stacji meteorologicznych (Kamienica, Międzygórze, Stronie Śląskie i Stary Gierałów) wykonano obliczenia hydrologiczne z wykorzystaniem modelu opad–odpływ (HEC-HMS) dla epizodu opadowego obejmującego okres od 10 do 17 września 2024 r. Model opad–odpływ zbudowano wg następujących założeń:

- w przekroju zbiornika w km 1+816 potoku Morawka nie ma żadnej budowli hydrotechnicznej (brak piętrzenia);
- na podstawie danych NMT wydzielono pięć zlewni cząstkowych oraz dwa odcinki transformacji fali w korycie;
- grunty zalegające w podłożu zaliczono do grupy D (o bardzo małej przepuszczalności);
- do transformacji opadu w odpływ wykorzystano model SCS-UH ze standardowym PRF = 484;
- opad efektywny obliczono metodą SCS /NRCS/ dla 3. stopnia uwilgotnienia gruntów /AMC III/, straty początkowe przyjęto na poziomie $0,05 \cdot S$ (mała retencyjność gruntów w zlewni, duże spadki).

Obliczenia wykonano przyjmując jako warunki brzegowe cztery warianty modeli meteorologicznych:

- pojedynczy hietogram (dla jednej stacji meteorologicznej Kamienica, z uwzględnieniem redukcji sumy opadu punktowego);
- poligony Thiessena (uwzględniono dwie stacje meteorologiczne);
- interpolację IDW;
- interpolację IDW-2.



W przypadku metod IDW i IDW-2 uwzględniono cztery stacje meteorologiczne, przy czym promień wpływu dobrano w taki sposób, aby każda z wydzielonych zlewni cząstkowych znajdował się w zasięgu oddziaływania co najmniej trzech stacji meteorologicznych. Jako najbardziej wiarygodne i fizycznie uzasadnione wyniki uznano te, otrzymane za pomocą metody IDW (kulminacja wezbrania równa 235,97 m³/s). W celu weryfikacji otrzymanego wyniku dla przekroju zapory wykonano obliczenia kontrolne za pomocą wzorów publikowanych w literaturze hydrologicznej oraz danych historycznych (powódź z 1997 roku). Wyniki obliczeń kontrolnych zestawiono w tabeli.

Metoda	wg Fal (2004)	wg K_{F-R} 4,17*	wg ekstrapolacji z 1997 r.**	wg Lambora (1970)	wg Dębskiego (1970)	wg Ciepielowskiego (1970)
Q _{max} / WWQ [m ³ /s]	192,39	218,23	220,26	288,25	296,87	399,16

(*) indeks powodziowości Francou-Rodiera

(**) wg wodowskazu Łądek-Zdrój, wartość obarczona ryzykiem popełnienia błędu większego niż 15% z uwagi na dopuszczalny warunek ekstrapolacji 0,5-Ao

Obliczona kulminacja możliwego wezbrania na potoku Morawka wydaje się być wartością wiarygodną, którą potwierdzają również obliczenia kontrolne. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że opad 24-godzinny zarejestrowany na stacji meteorologicznej Kamienica w dniu 14 września (228,4 mm) jest opadem o prawdopodobieństwie przewyższenia 0,1% (wg danych IMGW-PB, portal: opady maksymalne, metoda POT, kwantyl opadu maksymalnego: 209,25 mm, górna granica przedziału ufności: 280,02 mm).

Słowa kluczowe: zbiornik Stronie Śląskie, katastrofa budowlana, wezbranie 2024, model opad-odpływ, opady maksymalne.

Kopule w badaniach relacji zmiennych hydrometeorologicznych oraz zagrożenia i ryzyka powodziowego w zlewni górnej Nysy Kłodzkiej

dr Adam Perz  | Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Zakład Hydrologii i Gospodarki Wodnej
e-mail: adam.perz@amu.edu.pl

W dobie postępującej zmiany klimatu i jej licznych konsekwencji dla obiegu wody racjonalne wykorzystanie zasobów wodnych oraz ich właściwie rozpoznanie i ochrona nabierają kluczowego znaczenia dla zachowania możliwości rozwoju społeczno-gospodarczego. Jednakże woda to nie tylko zasób, ale i zagrożenie – na terenach górskich najczęściej związane z jej okresowym nadmiarem, czyli powodziami. Dlatego badania relacji opadów atmosferycznych z wezbrzeniami mają także charakter praktyczny, a ich wyniki mogą być wykorzystane np. w trakcie procesu planistycznego związanego z ochroną przeciwpowodziową czy tworzenia systemów wczesnego ostrzegania.

Problematyka badawcza zbioru przedstawionych prac dotyczyła zarówno relacji opadów atmosferycznych i odpływów rzecznych w ujęciu średniorocznym, jak i relacji opadów atmosferycznych i przepływów lub stanów wody w analizie zdarzeń ekstremalnych – wezbrań – w kontekście zagrożenia i ryzyka powodziowego. W analizach wykorzystane zostały nie tylko zmienne hydrologiczne, ale także meteorologiczne i ekonomiczne. Objęły one m.in. przepływ i odpływ rzeczny, parametry fal wezbraniowych, sumy opadów atmosferycznych i potencjalne straty powodziowe. Głównym celem badań było ustalenie w ujęciu probabilistycznym siły związków i ich zróżnicowania w czasie i przestrzeni między wybranymi zmiennymi w zlewni górnej Nysy Kłodzkiej. Przeprowadzone analizy dotyczyły zarówno kształtowania się najważniejszych elementów bilansu wodnego tego obszaru i formowania jego zasobów wodnych, jak i zagrożenia i ryzyka powodziowego.

Zlewnia górnej Nysy Kłodzkiej to hydrologicznie interesujący obszar, który z jednej strony ma duże znaczenie w kształtowaniu się zasobów wodnych dorzecza Odry, a z drugiej narażony jest na wielkie powodzie, będące konsekwencją górskiego charakteru cieków oraz koncentrycznego układu sieci rzecznej. Uzyskane rezultaty wskazują na skomplikowany charakter relacji zmiennych hydrometeorologicznych na tym obszarze i rzucają nowe światło zarówno na warunki kształtowania się zasobów wodnych, jak i kwestie związane z zagrożeniem i ryzykiem powodziowym tego obszaru. Należy zwrócić uwagę na szczególną rolę wschodnich dopływów Nysy Kłodzkiej w kształtowaniu się odpływu z całej badanej zlewni, jako potencjalnej przyczyny zagrożenia powodziowego Kłodzka.

Elementem łączącym wszystkie analizy, oprócz obszaru badań, jest metodyka bazująca na teorii kopul. Wykorzystano synchroniczność występowania zjawisk jako miarę pozwalającą na badanie relacji i ich siły między wybranymi zmiennymi. Wypracowana metodyka jest uniwersalna i może zostać użyta do badania związków między zmiennymi tego samego rodzaju (np. przepływ-przepływ), a także do bardziej złożonych relacji między różnymi zmiennymi hydro-meteorologicznymi oraz ekonomicznymi. Podczas dyskusji w kularach po wystąpieniu omówiono szczegóły dotyczące wykorzystanych metod statystycznych, a także możliwość ich adaptacji np. w badaniu niżówek.

Słowa kluczowe: teoria kopuli, zasoby wodne, wezbrania, synchroniczność, Kotlina Kłodzka.

Wewnątrzdobowe zmiany składu chemicznego wód, w tym zmiany stężeń związków biogennych i form węgla, w zlewniach o różnym użytkowaniu na Pogórzu Karpackim

mgr Anna Biernacka  | Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Zakład Hydrologii, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Szkoła Doktorska Nauk Ścisłych i Przyrodniczych
email: anna.biernacka@doctoral.uj.edu.pl

Zmiany składu chemicznego wody są ściśle związane z naturalnymi czynnikami, takimi jak budowa geologiczna, pokrycie terenu oraz przepływ. Ponadto duży wpływ na wody ma również działalność człowieka. Zmiany użytkowania terenu, zrzuty podczyszczonych ścieków (gospodarka wodno-ściekowa), a niekiedy doprowadzanie do wód szkodliwych związków obniżają jej jakość. Liczne badania wykazują zmiany składu chemicznego wody w trakcie wezbrań. Zdecydowanie mniejszą uwagę poświęca się zmianom chemizmu wód w czasie dób bezopadowych (między wezbrzeniami). Celem niniejszego badania było poznanie wewnątrzdobowych zmian składu chemicznego wody w różnie użytkowanych zlewniach podczas niskiego przepływu.

Badania przeprowadzono w zlewni Starej Rzeki (22,3 km²) położonej częściowo w granicach miasta Bochnia, zlokalizowanej na Pogórzu Wiśnickim (Pogórze Karpackie). Wytypowano cztery stanowiska w dwóch różnie użytkowanych zlewniach: rolniczej i leśnej oraz w dolnej części głównego cieku Starej Rzeki, powyżej oraz poniżej oczyszczalni ścieków w Brzeźnicy. W terminie 4-8 lipca 2024 r. za pomocą autosamplerów (ISCO 6712) pobierano synchronicznie co dwie godziny próbkę wody ($n = 96$). W Laboratorium Hydrologiczno-Chemicznym IGIGP UJ metodą chromatografii jonowej (DIONEX ICS-2000) oznaczono stężenia czternastu jonów: Ca, Mg, Na, K, Li, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl, F, Br, w tym mineralnych związków biogennych: NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻. Za pomocą analizatora Vario TOC Cube oznaczono stężenia form węgla: TIC, TOC, TC.

Z reguły na wszystkich stanowiskach wystąpiły wewnątrzdobowe zmiany stężeń jonów w wodzie. Badania wykazały występowanie dobowych cykli stężeń dla niektórych jonów, m.in. NO₃⁻ w wodach pobranych ze zlewni rolniczej, leśnej oraz przed oczyszczalnią. Dopływ podczyszczonych ścieków z oczyszczalni do Starej Rzeki modyfikował zarówno dobowy rytm stężeń sodu, potasu, chlorków, związków azotu oraz fosforu (większy zakres zmian), jak i spowodował skokowy wzrost stężeń w podłużnym profilu hydrochemicznym cieku. Przykładowo, maksymalne stężenie chlorków w wodach Starej Rzeki powyżej oczyszczalni wyniosło 25,68 mg·dm⁻³, natomiast poniżej zrzutu podczyszczonych ścieków – 46,98 mg·dm⁻³. Odniesienie wewnątrzdobowych stężeń N-NO₃⁻ w Starej Rzece za oczyszczalnią ścieków do Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dn. 25 czerwca 2021 r. (poz. 1475) wskazuje, że wody pobrane o różnej porze doby (dzień/noc) mają różną jakość (stan bardzo dobry, dobry i poniżej dobrego). Świadczy to o dużej wewnątrzdobowej zmianie stężenia jonów w wodzie, która nie jest w uwidocznioma w metodyce czasu poboru prób wody, a w konsekwencji może powodować obniżenie jej jakości.

Słowa kluczowe: wewnątrzdobowe zmiany składu chemicznego wody, oczyszczalnia ścieków, związki biogenne, azot, fosfor, jakość wody.

Metody analizy zmian koryt rzecznych na przykładzie Białki

mgr Paweł Radomski  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Hydrologii i Inżynierii Zasobów Wodnych
e-mail: pawel.radomski@imgw.pl

mgr Monika Bryła  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Hydrologii i Inżynierii Zasobów Wodnych
e-mail: monika.bryla@imgw.pl

mgr inż. Katarzyna Kraj  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Hydrologii i Inżynierii Zasobów Wodnych
e-mail: katarzyna.kraj@imgw.pl

prof. dr hab. inż. Tomasz Walczykiewicz  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Hydrologii i Inżynierii Zasobów Wodnych
e-mail: tomasz.walczykiewicz@imgw.pl

Rzeka Białka to ostatnia rzeka roztokowa w Polsce. Swoje źródło ma na wysokości ok. 2600 m n.p.m. w Tatrach Wysokich, których obszar charakteryzuje się dużymi spadkami. Uchodzi do Zbiornika Czorszyńskiego w Kotlinie Orawsko-Nowotarskiej, na wysokości ok. 530 m n.p.m., co wskazuje, że deniwelacje w jej zlewni są znaczące. Wysokość bezwzględna oraz spadki zmniejszają się w kierunku północnym. Mimo że wpływ wysokogórskiej części badanego obszaru zanika dość szybko, to typowy dla rzek alpejskich reżim hydrologiczny Białki jest kluczowy z punktu widzenia zjawisk hydrologicznych zachodzących niżej.

Proces renaturyzacji rzeki rozpoczął się w wyniku zmian w polityce ochrony przyrody. Dolina Białki została objęta różnymi formami ochrony, w tym – po decyzji Komisji Europejskiej – włączona do sieci obszarów Natura 2000. Proces ten, choć korzystny z punktu widzenia ekologii, wywołał napięcia społeczne i gospodarcze wśród lokalnych mieszkańców, prowadząc do eskalacji konfliktu na przestrzeni ostatnich dekad. Północna część zlewni jest w większości użytkowana rolniczo, co w konfrontacji z działaniami związanymi z ochroną przyrody stanowi główne źródło konfliktów. Badania ankietowe potwierdziły protesty mieszkańców i chęć ponownego uregulowania biegu Białki. Niestety, jest to zarówno przejaw braku zrozumienia istoty ochrony ekosystemu rzeki, jak i fiasko systemu, który powinien zadbać jednocześnie o dobro lokalnej społeczności i natury. Istotną dla ułatwienia dialogu pomiędzy skonfliktowanymi stronami jest analiza zmian przebiegu koryta ciekłu.

Celem prowadzonych badań jest opracowanie metodyki do przeanalizowania zmian charakteru koryta Białki w czasie oraz przestrzeni, aby lepiej zrozumieć skalę zmian i relacje zachodzące między człowiekiem a rzeką. We wstępnych analizach wykorzystano metodę Object Based Image Analysis (OBIA) oraz analizę wolumetryczną aluwii przy pomocy DEM of Difference (DoD). Dzięki metodzie OBIA na podstawie ortofotomap udało się wyznaczyć szerokość koryta Białki w różnych przedziałach czasowych na dostatecznie szczegółowym poziomie. Wyraźne są również zmiany w rozmieszczeniu materiału korytowego oraz roślinności, które wskazują na dynamikę zachodzących zjawisk. Metoda DoD umożliwiła wstępną, ilościową analizę wolumetryczną transportowanego rumoszu rzeczno-łazowego na poziomie piksela 1 m × 1 m w różnych okresach. Niestety, ze względu na podobną skalę zmian zachodzących w morfologii koryt rzecznych oraz błąd, jakim obarczone są NMT, konieczna jest uprzednia redukcja błędów propagowanego na DoD. W ramach dalszych prac zaplanowano dopracowanie metod i eliminację błędów pomiarowo-statystycznych.

Słowa kluczowe: OBIA, DEM of Difference (DoD), ankietyzacja, antropopresja, hydrologia, procesy korytowe, renaturyzacja, rzeki roztokowe, zmiany morfologiczne.

Powódź we wrześniu 2024 r. okiem satelitów

mgr Natalia Strojna | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Zespół Modelowania IMGW HD
e-mail: aleksandra.najda@imgw.pl

mgr Aleksandra Najda | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Pracownia Doskonalenia Produktów Hydrologicznych
e-mail: natalia.strojna@imgw.pl

Współczesne technologie satelitarne odgrywają kluczową rolę w monitorowaniu i analizie zdarzeń hydrologicznych, takich jak powódzie. Celem referatu było zaprezentowanie możliwości i ograniczeń analizy powodzi, która miała miejsce we wrześniu 2024 roku, z wykorzystaniem danych uzyskanych przez IMGW z satelitów Sentinel-1, Sentinel-2, ICEYE oraz serwisów takich jak Copernicus Rapid Mapping.

Dzięki zastosowaniu radarowych obrazów interferometrycznych (SAR) z Sentinel-1, które pozwalają na precyzyjne śledzenie zmian w rozprzestrzenianiu się zalanych terenów, możliwe było uzyskanie wczesnych i dokładnych informacji o rozwoju powodzi z rozdzielczością 10 m, bez względu na warunki pogodowe. Głównymi ograniczeniami tej metody są: rozdzielczość czasowa (12 dni dla pojedynczego instrumentu), skomplikowany proces przygotowania zobrażeń oraz metoda pomiaru, która przez swoją wrażliwość na obszary zabudowane i wyższą roślinność pomniejsza faktyczny zasięg powodzi. Dane optyczne Sentinel-2 o rozdzielczości 10 m miały zdecydowaną przewagę pod względem łatwości w przygotowaniu i interpretacji, natomiast największe ograniczenie stanowiło zachmurzenie, które uniemożliwiały całkowicie obserwację zjawiska i rozdzielczość czasowa (10 dni dla pojedynczego instrumentu). Satelity ICEYE, również wykorzystujące technologię SAR o wysokiej rozdzielczości, umożliwiły ścisłą kontrolę zmienności warunków hydrologicznych co 6 godzin, bez względu na warunki pogodowe. ICEYE jako jedyne źródło oferował ciągłą obserwację wskazanych obszarów, co było największym – obok rozdzielczości około 4 m – atutem tych danych. Dostępne były produkty kumulacyjne zasięgu powodzi oraz szacowanej głębokości zalania. Jako ograniczenia wskazano: brak informacji o granicach pomiaru oraz brak możliwości wiarygodnej weryfikacji.

W pracy zaprezentowano możliwości i ograniczenia teledetekcji satelitarnej w wyznaczaniu zasięgów powodzi, porównując różne metody na przykładzie zbiornika Racibórz oraz okolic miasta Nysa. Dodatkowo przedstawiono przykładowe analizy wykonane przez Copernicus Rapid Mapping dla różnych obszarów dotkniętych powodzią: Kłodzko, Bystrzyca Kłodzka i Głuchołazy. Wnioski płynące z tym prac pozwalają na lepsze zrozumienie w jaki sposób technologie satelitarne mogą przyczynić się do efektywniejszego zarządzania ryzykiem powodziowym.

Słowa kluczowe: Copernicus, Earth Observation, hydrologia, ICEYE, teledetekcja satelitarna.

Wpływ technologii pomiaru stanu wody oraz antropopresji na charakterystyki przepływów niskich na przykładzie SNQ w zlewni Nysy Kłodzkiej

mgr Wojciech Krasowski  | Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Wydział Prognoz i Opracowań Hydrologicznych we Wrocławiu
e-mail: wojciech.krasowski@imgw.pl

W prezentacji poruszono problematykę wpływu zmian częstości pomiaru stanu wody i metodologii opracowań charakterystyk hydrologicznych, a także lokalizacji stacji hydrologicznych w odniesieniu do działających urządzeń gospodarki wodnej na sposób wyznaczania charakterystyki SNQ i jej stacjonarność. Zagadnienie jest istotne z punktu widzenia porównywalności charakterystyk hydrologicznych okresów niżówkowych w ujęciu czasowym i przestrzennym, a tym samym ma znaczenie w gospodarce wodnej i pracach projektowych na jej potrzeby. Wnioski znajdują również zastosowanie w ocenie wpływu antropopresji na stacjonarność ciągów przepływów minimalnych rocznych, a przez to na interpretację SNQ w kontekście postępującej zmiany klimatu i próby rozróżniania ich wpływu na odpływ rzecznych od skutków działalności człowieka w środowisku.

Do testów wybrano zlewnię Nysy Kłodzkiej z uwagi na dostępność kilkunastoletnich ciągów przepływów chwilowych o 10-minutowej rozdzielczości czasowej z lat hydrologicznych 2011-2024 oraz obecność różnych przykładów antropopresji (małe elektrownie wodne, kaskada zbiorników retencyjnych). Analizę 10-minutowych przepływów przeprowadzono dla wybranych stacji hydrologicznych pod kątem wyboru wartości minimalnych przepływów rocznych (NQ) na trzy różne sposoby: wg kryterium ilościowego – (1) minimum ze zbioru wartości chwilowych (NQCH), (2) minimum ze zbioru wartości średnich dobowych (NQŚR_D) oraz wg kryterium czasowego tzw. głównego terminu obserwacji (z godz. 6 UTC – NQ6). Dla każdej z wydzielonych grup opracowano rozkład statystyczny w postaci wykresu skrzynkowego i obliczono charakterystykę SNQ. Charakterystyki minimalne roczne NQ skorelowano wg trzech możliwych kombinacji: NQCH – NQŚR_D, NQCH – NQ6, NQŚR_D – NQ6 dla wybranych stacji hydrologicznych. Zależności opisano współczynnikiem korelacji Pearsona (r) oraz determinacji (r^2). Różnice między siłą związków korelacyjnych przedstawiono na przykładzie stacji hydrologicznych o różnym stopniu przekształcenia antropogenicznego przepływów chwilowych 10-minutowych. Poza analizami czasowymi, dokonano przestrzennego porównania charakterystyk SNQ wg trzech wariantów oraz w profilu podłużnym rzeki Nysy Kłodzkiej na odcinku Międzyzlesie–Skorogoszcz, tj. z uwzględnieniem przejścia przez elektrownię wodną rejonu Barda oraz kaskadę zbiorników retencyjnych Topola–Kozielno–Otmuchów–Nysa. Z kolei na przykładzie węzła hydrologicznego (hydrograficznego) rzek kontrolowanych: Nysa Kłodzka – Bystrzyca (p) – Biała Łądecka (p) – Bystrzyca Dusznicka (l) oraz węzła Nysa Kłodzka–Ścinawka (l) przeprowadzono bilansowanie wartości charakterystyki SNQ. W każdym węźle obliczono udział powierzchni zlewni i sumy charakterystyki SNQ z części kontrolowanej bezpośrednio i pośrednio w całości powierzchni i w odniesieniu do wartości charakterystyki na stacji zamykającej (dolnej) węzeł i przyjęto jako miarę jakości zbilansowania.

Ustalono, że w przypadku części stacji hydrologicznych występują znaczne różnice między SNQ w zależności od wariantu obliczeń. Są one tym bardziej nieporównywalne, im bardziej niestabilne są wartości chwilowe przepływu. Najsilniejsze skorelowanie wykazano między SNQŚR_D a SNQ6. Stwierdzono też, że bilans węzłów hydrologicznych w odniesieniu do SNQ jest możliwy i daje lepszy rezultat, im charakterystyka SNQ wykazuje większą synchronizację. Częstość pomiaru stanu wody, a tym samym rozdzielczość czasowa przepływów, ma znaczenie dla stacjonarności i jednorodności ciągów przepływów minimalnych rocznych. W pierwszej dekadzie XXI wieku zmieniono system obserwacji z manualnego (pojedyncze obserwacje stanu wody na dobę) na automatyczny i telemetryczny, przez co zbiory wartości chwilowych w roku hydrologicznych zwiększyły się o dwa rzędy wielkości. Tylko z tego powodu, w warunkach rzek kontrolowanych na odcinkach przekształconych antropogenicznie, dochodzi do rozwoju niejednorodności zarówno genetycznej, jak i statystycznej. Ponieważ aktualnie charakterystyka SNQ jest średnią arytmetyczną minimów rocznych, wybieranych spośród wszystkich dostępnych wartości chwilowych, w zlewniach przekształconych w coraz większym stopniu przestaje być jedynie miarą odpowiedzi zlewni na brak opadów, a staje się wyraźniejszym i niezaniedbywalną miarą działania odcinka rzeki. W tym kontekście należałoby rozważyć zmianę sposobu obliczenia charakterystyki SNQ w przypadkach, kiedy miałyby być ona wykorzystywana jako wskaźnikowa dla działania zlewni w warunkach przepływów niskich.

Słowa kluczowe: niżówka hydrologiczna, SNQ, przepływy minimalne roczne, antropopresja, Nysa Kłodzka.

Organizatorzy:



**Komitet
Nauk o Wodzie
i Gospodarki Wodnej**

Współorganizatorzy:



**UNIWERSYTET
PRZYRODNICZY
WE WROCŁAWIU**



**SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO**

Dofinansowanie Projektu:



Patronat medialny:



