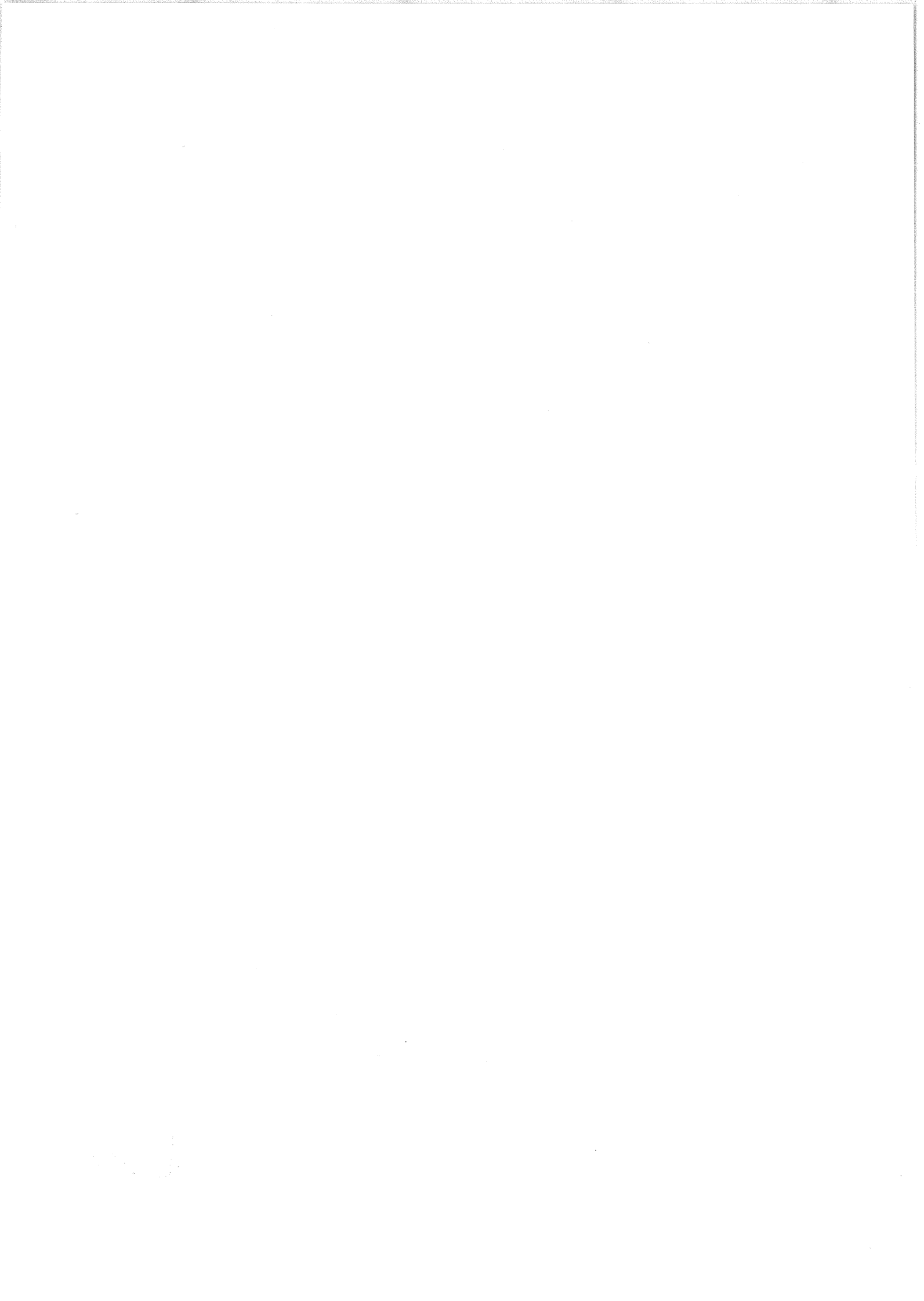


AUTOREFERAT

dr Adam Kiczko

Zakład Hydrauliki, Katedra Inżynierii Wodnej  
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie





## Spis treści

1. Informacje podstawowe . . . . .	5
2. Dyplomy i stopnie naukowe . . . . .	5
3. Zatrudnienie w jednostkach naukowych . . . . .	5
4. Osiągnięcie naukowe będące podstawą wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego . . . . .	5
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego . . . . .	5
4.2. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego . . . . .	7
4.3. Omówienie celu naukowego i uzyskanych wyników . . . . .	7
4.3.1. Cel naukowy . . . . .	7
4.3.2. Omówienie wyników badań . . . . .	9
5. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze . . . . .	20
5.1. Wielokryterialne sterowanie zbiornikiem zaporowym, dotyczące tematyki podjętej w dysertacji doktorskiej . . . . .	20
5.2. Zależność między systemem wodnym a siedliskami przyrzecznymi . . . . .	21
5.3. Metody optymalizacji globalnej . . . . .	21
5.4. Metodyka wymiarowania urządzeń kanalizacji deszczowej . . . . .	22
5.5. Przepływ wody w korycie z roślinnością . . . . .	22
5.6. Zastosowanie numerycznej mechaniki płynów . . . . .	23
5.7. Pozostałe . . . . .	23
5.8. Podsumowanie . . . . .	24
Literatura . . . . .	26





## 1. Informacje podstawowe

Urodziłem się 1981 r. w Kaliszu. W roku 2000, jako uczeń liceum pod wezwaniem św. Augustyna w Warszawie przystąpiłem do egzaminu maturalnego, a następnie podjąłem Międzywydziałowe Studia Ochrony Środowiska na Uniwersytecie Warszawskim. Po uzyskaniu stopnia magistra rozpocząłem studia doktoranckie w Instytucie Geofizyki Polskiej Akademii Nauk. W 2010 roku obroniłem rozprawę doktorską pt. „Sterowanie zbiornikiem zaporowym Siemianówka z uwzględnieniem potrzeb środowiskowych doliny Narwi”. Tego samego roku zostałem zatrudniony w biurze projektowym Hydroprojekt Warszawa na stanowisku asystenta projektanta. Pracę w firmie zakończyłem jako starszy asystent projektanta, podejmując w 2012 r. pracę w charakterze adiunkta Zakładu Hydrauliki, Katedry Inżynierii Wodnej, Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

## 2. Dyplomy i stopnie naukowe

- wrzesień 2005 r. Uniwersytet Warszawski, Międzywydziałowe Studia Ochrony Środowiska, tytuł zawodowy magistra, praca pt. „Transformacja fali wezbraniowej Wisły od ujścia Pilicy do ujścia Narwi” (promotor: prof. dr hab. Małgorzata Gutry-Korycka),
- październik 2010 r. Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk, stopień naukowy doktora, praca pt. „Sterowanie zbiornikiem zaporowym Siemianówka z uwzględnieniem potrzeb środowiskowych doliny Narwi” (promotor: prof. dr hab. inż. Jarosław Napiórkowski).

## 3. Zatrudnienie w jednostkach naukowych

- 09.2005–10.2010 r. Studium doktoranckie Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk,
- od 09-2012 adiunkt w Zakładzie Hydrauliki, Katedry Inżynierii Wodnej, Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

## 4. Osiągnięcie naukowe będące podstawą wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego

### 4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym jest cykl siedmiu artykułów naukowych (Tabela 1), przypisanych tematowi:

*Niepewności modelowania numerycznego w ochronie przed powodzią*



Tabela 1. Cykl publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, ze wskazaniem pkt. MNiSW i IF czasopisma, na rok publikacji; pod każdą pozycją wskazałem mój szacunkowy udział.

L.p.*	Publikacja	Pkt. MNiSW	IF
[1]	<b>Kiczko, A.</b> , Romanowicz, R. J., Osuch, M., Karamuz, E. (2013). Maximising the usefulness of flood risk assessment for the River Vistula in Warsaw. <i>Natural Hazards and Earth System Sciences</i> , 13(12), 3443. <i>Mój udział szacuję na: 60%</i>	30	1,826
[2]	<b>Kiczko, A.</b> , Romanowicz, R. J., Osuch, M., Pappenberger, F. (2015). Adaptation of the integrated catchment system to on-line assimilation of ECMWF forecasts. <i>Stochastic Flood Forecasting System</i> (str. 173-186). Springer, Cham. <i>Mój udział szacuję na: 65%</i>	10	–
[3]	Romanowicz, R. J., <b>Kiczko, A.</b> (2016). An event simulation approach to the assessment of flood level frequencies: risk maps for the Warsaw reach of the River Vistula. <i>Hydrological Processes</i> , 30(14), str. 2451-2462. <i>Mój udział szacuję na: 50%</i>	40	3,014
[4]	Szeląg, B., <b>Kiczko, A.</b> , Dąbek, L. (2016). Analiza wrażliwości i niepewności w modelach hydrodynamicznych na przykładzie zlewni zurbanizowanej. <i>Ochrona Środowiska</i> . 38(3), str 15-22, PZLiT, <i>Mój udział szacuję na: 35%</i>	15	0,630
[5]	<b>Kiczko, A.</b> , Koziół, A., Kubrak, J., Krukowski, M., Kubrak, E., Brandyk, A. (2017). Identification of vegetation parameters for compound channel discharge as inverse problem. <i>Annals of Warsaw University of Life Sciences–SGGW. Land Reclamation</i> , 49(4), 255-267. <i>Mój udział szacuję na: 55%</i>	14	–
[6]	<b>Kiczko, A.</b> , Szeląg, B., Koziół, A. P., Krukowski, M., Kubrak, E., Kubrak, J., Romanowicz, R. J. (2018). Optimal Capacity of a Stormwater Reservoir for Flood Peak Reduction. <i>Journal of Hydrologic Engineering</i> , 23(4). <i>Mój udział szacuję na: 55%</i>	30	1,576 (2017 r.)
[7]	<b>Kiczko, A.</b> , Mirosław-Świątek, D. (2018). Impact of Uncertainty of Floodplain Digital Terrain Model on 1D Hydrodynamic Flow Calculation. <i>Water</i> , 10(10), 1308. <i>Mój udział szacuję na: 65%</i>	30	2,069 (2017 r.)
<b>Suma:</b>		<b>169</b>	<b>9,115</b>

\*L.p. w tabeli odpowiada numeracji w spisie literatury.

## 4.2. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego zestawilem w Tabeli 1. Pozycje zostały wymienione w porządku chronologicznym wraz z punktacją Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW) oraz wskaźnikiem cytowań<sup>1</sup> czasopism na rok publikacji. Wskazane artykuły mają charakter prac zbiorowych, z tego względu podałem również mój szacunkowy udział. W dalszej części autoreferatu, odwołanie do poszczególnych artykułów przyjmuje postać numeru ze spisu literatury, zgodnego z liczbą porządkową wierszy tabeli [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

## 4.3. Omówienie celu naukowego i uzyskanych wyników

### 4.3.1. Cel naukowy

Ochrona przed powodzią polega na wyeliminowaniu lub zmniejszeniu szkód związanych z tym zjawiskiem. Działania służące temu celowi dzielone są na krótkoterminowe, zwane też biernymi i długoterminowe, czyli czynne [8, 9]. Do pierwszej grupy należy zaliczyć zabiegi ograniczające przyczyny powodzi, jak zwiększanie zdolności retencyjnych zlewni przez np. budowę zbiorników, czy zagospodarowanie terenu sprzyjające wolniejszemu spływowi wód z wyżej położonych obszarów zlewni. Środki czynne, mają zastosowanie w trakcie powodzi i służą minimalizacji zagrożenia, poczynając od wałów przeciwpowodziowych, kanałów ulgi, przez poldery zalewowe, kończąc na ewakuacji ludności i dóbr z terenów zalewowych.

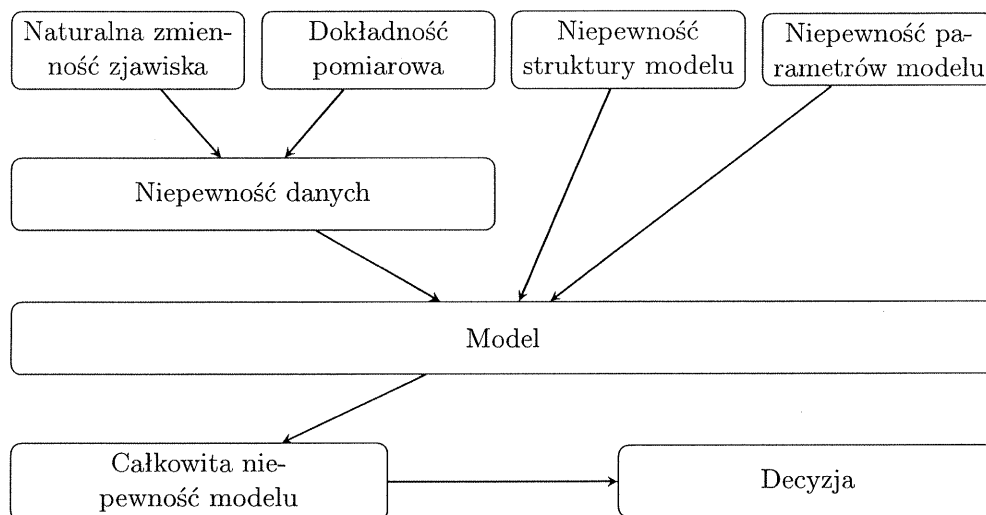
Działania ochronne dobierane są na podstawie przewidywanej odpowiedzi systemu wodnego. Obecnie, do analizy wpływu poszczególnych rozwiązań wykorzystuje się najczęściej modele numeryczne. W większości przypadku alternatywą jest bowiem modelowanie fizyczne, odznaczające się znacznie wyższymi kosztami. Przykładowo, prognoza odpływu ze zlewni możliwa jest z zastosowaniem modeli opad-dopływ, natomiast do wyznaczenia rzędnej korony wałów przeciwpowodziowych służą modele przepływu wody w korytach otwartych.

Podstawowym zagadnieniem związanym z modelowaniem, jest niepewność wyniku. Wyróżniane są przy tym dwa typy niepewności: naturalna i epistemiczna [10]. Pierwszy jest utożsamiany ze stochastyczną zmiennością rzeczywistego procesu. Przykładem w problematyce powodziowej może być maksymalny roczny przepływ, czy intensywność opadu. Niepewność epistemiczna pojawia się natomiast w konsekwencji prób odwzorowania rzeczywistego systemu, wobec braku pełnej wiedzy o nim. Dane modeli, takie jak np. hydrogramy stanów i przepływów rzecznych, czy nawet geometria sieci drenażu, obarczone są niepewnością pomiarową. Ważnym źródłem niepewności jest sam model, nigdy niebędący przecież idealną reprezentacją rzeczywistości, a zawsze bazujący na uproszczeniach i często odznaczający się nieadekwatnością opisu.

Niepewność naturalna jest najczęściej szacowana z użyciem metod statystycznych i w zagadnieniach ochrony przed powodzią stanowi przeważenie domenę hydrologii i meteorologii statystycznej. Analiza niepewności epistemicznej, wymaga natomiast opisanie ilościowego źródła niepewności (parametryzacji). O ile wobec danych pomiarowych nie stanowi

<sup>1</sup> IF, na podstawie bazy JRC – Journal Citation Report, jeśli czasopismo jest w niej indeksowane

to przeważnie większej trudności, inaczej jest w przypadku niepewności samego modelu. Ze względu na złożony i silnie nieliniowy charakter współczesnych modeli, jest to element nieznanym i jego właściwości w ogólnym przypadku mogą być ocenione na drodze zadania odwrotnego, poprzez zestawienie wyników modelu z obserwacjami.



Rysunek 1. Schemat niepewności w modelowaniu numerycznym.

Istnieje wiele metod szacowania niepewności epistemicznej modeli [11, 12, 13]. Szczególną popularnością cieszą się techniki bazujące na estymacji Bayesowskiej. W takim ujęciu analiza niepewności jest przeważnie łączona z problemem identyfikacji parametrów, traktowanych jako zmienne losowe. Uzasadnieniem jest spostrzeżenie, że w przypadku modeli ze znaczną ilością parametrów, nie sposób jednoznacznie określić ich wartości. Istnieje zatem wiele możliwych kombinacji parametrów, pozwalających na uzyskanie zadowalającego odwzorowania procesu przez model. Rozwiązaniem zagadnienia niejednoznaczności okazała się probabilistyczna postać identyfikacji parametrów, polegająca na estymacji ich wielowymiarowego rozkładu, zamiast wartości punktowych, uzyskiwanych poprzez optymalizację deterministyczną [14]. Poszukiwanie takiego rozkładu na drodze zadania odwrotnego, dążąc do najlepszego odwzorowania procesu przez model, prowadzi do przypisania zmienności parametrów, jego całkowitej niepewności. Nie jest więc możliwe, o ile nie zrobiono tego na etapie parametryzacji niepewności, zróżnicowanie jej źródeł. Przykładowo, jeśli losowy charakter dotyczy jedynie współczynników szorstkości, ich zidentyfikowany rozkład będzie tłumaczył zarówno niepewność związaną ze strukturą modelu, jak i niepewność danych pomiarowych.

Tak definiowany problem niepewności modelowania numerycznego przedstawia Rys. 1. Blok „Decyzja” odnosi się do wykorzystania niepewnego wyjścia modelu. W zadaniach z zakresu ochrony przed powodzią, będzie to przyjęcie określonego rozwiązania projektowego, czy powzięcie działań zaradczych.

Analizę niepewności wykonuje się najczęściej stosując techniki Monte Carlo. Pozwalają one na przeprowadzenie estymacji parametrów, a tym samym niepewności samego modelu,

*AM*



jak i również określenie transformacji pozostałych źródeł niepewności (np. niepewności naturalnej) przez model.

Ocena niepewności modelu ma szczególne znaczenie w zagadnieniach ochrony przed powodzią. Modele są tu wykorzystywane do prognozy zachowania rzeczywistego systemu wobec zdarzeń rzadkich, odznaczających się nasileniem zjawiska (np. przepływu, opadu), przeważnie nieobserwowanym w seriach pomiarowych. Ze względu na konieczność ekstrapolacji, wiedza o niepewności końcowego wyniku, zdaje się być niezbędna. Wypada przy tym odnotować, że o ile środowisko naukowe, szczególnie związane z hydrologią jest świadome wagi problemu [10, 11, 14, 15, 16], to analiza niepewności bardzo rzadko znajduje zastosowanie w praktyce.

Celem przedstawionego osiągnięcia naukowego było zbadanie znaczenia niepewności modelowania numerycznego oraz zaproponowanie wykorzystania technik jej analizy w zadaniach z zakresu ochrony przed powodzią. Stanowiło to zarazem mój indywidualny wkład, bowiem we wszystkich wskazanych publikacjach byłem odpowiedzialny za analizę niepewności i ocenę jej wpływu na wynik. Kolejne pozycje cyklu publikacji (Tabela 1) odnoszą się do poszczególnych aspektów problemu<sup>2</sup>:

- A. Analiza wybranych źródeł niepewności modeli przepływu w korytach otwartych [5, 7].
- B. Analiza niepewności w wyznaczaniu stref zagrożenia powodzią [1].
- C. Analiza niepewności transformacji opadu w odpływ [4].
- D. Koncepcja ograniczenia szacowanej niepewności modelu [3].
- E. Wymiarowanie urządzeń przeciwpowodziowych z uwzględnieniem niepewności modelu [6].
- F. Użyteczność odwzorowania niepewności w systemie prognozy odpływu ze zlewni [2].

Zakres prac tworzących cykl publikacji w oczywisty sposób nie wyczerpuje tematu analizy niepewności w zagadnieniach ochrony przed powodzią, a koncentruje się na aktualnych problemach badawczych. W mojej opinii stanowi jednak spójny wkład w badaniu jej znaczenia. Punkt A. przedstawia omówienie wybranych źródeł niepewności modeli przepływu w korytach otwartych, wynikających z niedostatecznej ilości danych z pomiarów do identyfikacji modelu oraz niedokładności danych geometrycznych. Punkty B. i C. poświęciłem analizie niepewności samych modeli: przepływów wezbraniowych w korytach otwartych i opad-odpływ. Możliwe działania mające na celu ograniczenie szacunku niepewności wskazałem w punkcie D. Znaczenie niepewności ukazałem natomiast na przykładzie zadania wymiarowania urządzeń przeciwpowodziowych (punkt E.) oraz systemu prognozy odpływu ze zlewni (punkt F.).

#### 4.3.2. Omówienie wyników badań

Poniżej omówiłem tematykę objętą cyklem publikacji, odwołując się do pozycji wyszczególnionych w Tabeli 1.

**Ad. A. Analiza wybranych źródeł niepewności modeli przepływu w korytach otwartych:** Moim obszarem zainteresowania była niepewność epistemiczna modeli numerycznych stosowanych w zadaniach z zakresu ochrony przed powodzią. Punktem wyjścia

<sup>2</sup> numeracja zgodna z Tabelą 1 i spisem literatury



jest analiza jej źródeł. Literatura tematu jest bogata, jako główne wskazywane są [10] m.in.: dobór struktury, parametry i dane modelu, niepewność obserwacji wykorzystywanych w identyfikacji modelu oraz naturalne zmiany odwzorowywanego systemu, jak zagospodarowanie i ukształtowanie terenu. Dwie pozycje z cyku publikacji poświęcono temu zagadnieniu. Praca Kiczko i in. (2017) [5] dotyczyła znaczenie problemu niejednoznaczności w identyfikacji parametrów modeli przepustowości koryt z roślinnością. Zagadnienie to, rzadko analizowane w hydraulice, jest podstawowym założeniem współczesnej analizy niepewności [14]. Artykuł Kiczko i Mirosław-Świątek (2018) [7] omawia natomiast wpływ niepewności Numerycznego Modelu Terenu (NMT) na prognozę transformacji fali wezbraniowej w dolinie rzecznej.

Odwzorowanie przepustowości koryt z roślinnością pozostaje jednym z większych wyzwań hydrauliki. W analizie zagrożenia powodzią, szorstkość tarasów zalewowych, kształtowana przez roślinność, jest uznawana za jedno z głównych źródeł niepewności modeli hydraulicznych [17]. W artykule Kiczko i in. (2017) [5] analizowano zagadnienie identyfikacji parametrów wybranych metod obliczania przepustowości koryt z roślinnością. Wykorzystano do tego wyniki eksperymentów przeprowadzonych w laboratorium hydraulicznym SGGW dla koryta dwudzielnego z roślinnością symulowaną przez sztywne cylindry. Doświadczenia numeryczne przeprowadzono dla czterech metod. Pierwszą była Metoda Koryta Złożonego (MKZ) z formułą Manninga [18], jako podejście stosowane w praktyce. Jej działanie odniesiono do metod Pasche i Mertensa [19, 20], stanowiących jedne z bardziej złożonych a zarazem uznanych, jednowymiarowych opisów przepustowości koryta z roślinnością. Czwartą, była alternatywna postać MKZ z formułą Darcy-Weisbacha zamiast Manninga.

Jedną z bardziej interesujących cech pracy [5], było rozpatrywanie właściwości roślinności, stanowiących dane metod Pasche i Mertensa, jako parametrów modelu. Miało to na celu rozwiązanie problemu praktycznego, jakim jest brak tego typu danych w zagadnieniach inżynierskich, przekładającego się zarazem na nikłą popularność tych dwóch metod. W efekcie właściwości roślinne (w tym przypadku np. odstęp między łodygami i ich średnica) były traktowane jak parametry, których wielkości są wyznaczane na drodze zadania odwrotnego, poprzez dopasowanie wyjścia modelu do wartości obserwowanych. Upodobniło to tym samym wykorzystanie metod Pasche i Mertensa, do sposobu stosowania MKZ, gdzie ogólnie przyjętym jest poprawianie odwzorowania modelu przez dostosowywanie współczynników szorstkości Manninga, a z drugiej strony pozwoliło na porównanie tych metod.

Zadanie identyfikacji parametrów sformułowano względem stanów wody i rozwiązywano dla zmiennej liczebności zbioru wartości obserwowanych, uwzględniając wszystkie możliwe ich kombinacje. Do znalezienia parametrów pozwalających najdokładniej odwzorować wybrany zestaw zmierzonych głębokości zastosowano metodę próbkowania Monte Carlo.

Najważniejszymi wynikami pracy [5], z perspektywy tematyki cyklu publikacji, jest wykazanie, że:

— wobec złożonych, wieloparametrycznych metod obliczania przepustowości koryt (me-

tody Pasche i Mertensa) możliwe jest znalezienie wielu zbiorów parametrów, pozwalających na dokładne odtworzenie krzywej przepływu;

- uzyskane optymalne w sensie deterministycznym wartości parametrów znacząco odbiegały od fizycznych wielkości, którym powinny odpowiadać;
- przy niewielkiej, w stosunku do liczby parametrów, liczebności zbioru wielkości obserwowanych, problem niejednoznaczności identyfikacji skutkuje dużym rozrzutem obliczanych stanów wody.

Powyższe spostrzeżenia stanowią potwierdzenie założeń stosowanej w hydrologii Bayesowskiej analizy niepewności [11, 14] dla metod obliczania przepustowości w korytach z roślinnością, badanych pod tym kątem po raz pierwszy. Wyniki mają również ważną implikację natury praktycznej. Od wielu lat bowiem rozwijane są techniki obliczania przepustowości koryt, mające na celu poprawić dokładność modeli jednowymiarowych [21]. Najbardziej zaawansowane techniki jak np. metoda Shiono i Knighta (1991) [22] wyprowadzona z równań Naviera-Stokesa, czy omawiane Pasche i Mertensa, pozwalają na szczegółowe odwzorowanie profilu prędkości w przekroju poprzecznym, uwzględniając oddziaływanie strumieni przepływu koryta głównego i tarasów zalewowych. Równoległe do badań nad opisem przepływu korytowego, w środowisku naukowym prowadzone były prace nad doskonaleniem opisu oddziaływania roślinności, zarówno sztywnej jak i ulegającej odkształceniom na przepływ wody [23, 24, 25, 26, 27]. Możliwość traktowania dodatkowych danych złożonych metod, odnoszących się np. do właściwości roślinności, jako parametrów poszukiwanych na drodze zadania odwrotnego, otwiera potencjalnie drogę do ich wykorzystania w praktyce. Mogłoby to poprawić odwzorowanie przepływu korytowego w zagadnieniach z zakresu ochrony przed powodzią. Ze względu jednak na silną niejednoznaczność rozwiązania, typową dla wieloparametrowych modeli, wskazane jest wykorzystanie probabilistycznej postaci problemu identyfikacji parametrów, pozwalającej na przeprowadzenie analizy niepewności wyniku. Wydaje się to również ważne ze względu na stosowanie parametrów w oderwaniu od ich fizycznego znaczenia. Należy przy tym zauważyć, że ten problem dotyczy prawdopodobnie większości modeli spotykanych w zadaniach związanych z ochroną przed powodzią [28, 29], gdzie ilość dostępnych obserwacji jest przeważnie niewystarczająca do wyeliminowania niejednoznaczności w ich identyfikacji [11]. Mając na uwadze powyższe zastrzeżenia, wydaje się, że do obliczeń układu zwierciadła wody przy przepływach wezbraniowych, można stosować dokładniejszy opis przepustowości korytowej, zamiast tego uzyskiwanego metodą koryta złożonego, nie zwiększając przy tym znacząco zbioru wymaganych danych.

Innym źródłem niepewności modeli przepływu rzecznoego jest NMT. Na jego podstawie przygotowywane są dane dotyczące geometrii tarasów zalewowych, nieodzowne również przy wyznaczaniu stref zagrożenia powodzią. Mimo, że znaczenie niepewności NMT na wyniki modeli przepływu jest od dawna znane [30, 31, 32, 33], stosunkowo niewiele było wiadomo na temat charakteru transformacji niepewności przez jednowymiarowy model przepływu. Artykuł Kiczko i Mirosław-Świątek (2018) [7] stanowił próbę uzupełnienia wiedzy z tego zakresu, koncentrując się na przestrzennej korelacji niepewności NMT.

Obszarem badań w pracy [7] była dolina Biebrzy, wybrana ze względu na duży udział roślinności w tarasie zalewowym, a tym samym wysoką niepewność teledetekcyjnego pomiaru rzędnych wysokościowych. Rzeczywiście, dostępny NMT, opracowany na podstawie

skaningu laserowego, odznaczał się błędem rzędnej terenu bliskim 0,5 m, oszacowanym z użyciem punktowych pomiarów naziemnych. Niepewność NMT analizowano względem punktów wysokościowych w wytyczonych przekrojach poprzecznych tarasu zalewowego. Przyjęto przy tym dwa podejścia, w pierwszym założono, że niepewność każdego z punktów wysokościowych jest nieskorelowana. W drugim, na podstawie opracowanego korelogramu, dopuszczono przestrzenną korelację niepewności. Do odwzorowania niepewności w modelu przepływu posłużono się techniką Monte Carlo, próbując zgodnie z założonymi modelami niepewności NMT rzędne w przekrojach poprzecznych tarasu zalewowego. Dla każdej próby wykonywano obliczenia przepływu wezbraniowego.

Wyniki artykułu [7] można podsumować następująco:

- niepewność obliczonych rzędnych zwierciadła wody jest wyższa, gdy uwzględniona zostanie korelacja niepewności rzędnych terenu;
- niepewność rzędnych zwierciadła wody nie przekłada się na równie dużą niepewność wyznaczanego z użyciem NMT (bez niepewności) maksymalnego zasięgu wód;
- średnia powierzchnia prognozowanego zasięgu wód wysokich jest mniejsza gdy uwzględniona zostaje niepewność NMT;
- model jednowymiarowy jest szczególnie wrażliwy na korelację niepewności rzędnych terenu w strefie przepływów brzegowych;
- brak korelacji niepewności rzędnych terenu wpływa na zmienność promienia hydraulicznego w funkcji głębokości, w zakresie przepływów brzegowych;
- uwzględnienie niepewności rzędnych terenu wraz z korelacją przestrzenną pozwoliło na poprawienie odwzorowania rzędnych zwierciadła wody w przekroju wodowskazowym.

Najważniejszym wnioskiem płynącym z pracy [7], jest konieczność uwzględnienia korelacji przestrzennej niepewności rzędnych terenu, gdy badany jest jej wpływ na niepewność modeli hydraulicznych. Pominięcie takiej współzależności skutkuje niższym oszacowaniem niepewności obliczonych stanów wody i powierzchni zalewu. Przeczy to tym samym często stosowanemu w praktyce założeniu, że pominięcie korelacji niepewności NMT prowadzi do przeszacowania odpowiedzi systemu, czyli uzyskania mniej korzystnego rozwiązania [34]. Wyniki są zgodne z nowszymi badaniami z dziedziny geostatyki [35, 36], przełożonymi prezentowanym artykułem na obszar hydrauliki. Z perspektywy ochrony przed powodzią istotny może być jednak mały wpływ niepewności rzędnych terenu na układ wód wysokich. Korzystne jest również wykazywane przeszacowanie zasięgu wezbrania w przypadku pominięcia niepewności NMT. Należy zauważyć, że w tym aspekcie jest to jedna z nielicznych prac, analizujących wpływ niepewności NMT na wyjście jednowymiarowego modelu przepływu. Dotychczasowe prace koncentrowały się raczej na znaczeniu jakości NMT, na wynik obliczeń hydraulicznych w ujęciu deterministycznym [37, 38]. Zbliżone podejście prezentuje jedynie artykuł Junga i Merwade (2012) [17], nieuwzględniający jednak korelacji NMT, rozpatrywanej do tej pory jedynie odnośnie do modeli dwuwymiarowych [39, 40].

**Ad. B. Analiza niepewności w wyznaczaniu stref zagrożenia powodzią:** Artykuł Kiczko i in. (2013) [1] poświęcono problematyce niepewności w zadaniu wyznaczania stref zagrożenia powodzią. Za obszar badań obrano warszawski odcinek Wisły, dla którego z użyciem jednowymiarowego modelu przepływu ustalonego, analizowano zasięg