

Książka abstraktów

Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej
pt. „Nowoczesna hydrotechnika dla rozwoju gospodarki wodnej”

15–17 września 2026, Kraków

Opracowanie: Marta Łapuszek



PRZEWODNICZĄCY KOLEGIUM REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Tomasz Kapecki

SKŁAD I ŁAMANIE

Anna Pawlik

Abstrakty zostały zaakceptowane przez Komitet Naukowy Konferencji.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

© Copyright by Politechnika Krakowska

e-ISBN 978-83-68649-10-9

Wydawnictwo PK, ul. Skarżyńskiego 1, 31-866 Kraków; tel. 12 628 37 25
e-mail: wydawnictwo@pk.edu.pl □ www.wydawnictwo.pk.edu.pl
Adres do korespondencji: ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Krakowska



Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy



Fundacja Spacerowa 7

FUNDACJA SPACEROWA 7

Ogólnopolska Konferencja Naukowa
pt. „NOWOCZESNA HYDROTECHNIKA DLA ROZWOJU GOSPODARKI WODNEJ”
15–17 września 2026



Patronat honorowy



Minister
Infrastruktury



Państwowe
Gospodarstwo Wodne
Wody Polskie



POLSKA
IZBA
INŻYNIERÓW
BUDOWNICTWA

MAŁOPOLSKA



WODOCIĄGI
Miasta Krakowa
125 lat! Jesteśmy z Wami. Każdego dnia.

Patronat medialny

DGP

Dziennik
Gazeta Prawna

ENERGETYKA
WODNA

GOSPODARKA
WODNA

Inżynier
budownictwa



water

an Open Access Journal by MDP

Nowoczesne
budownictwo
Inżynieryjne

NBI
PORTAL INŻYNIERYJNY

ITP-PIB

Mecenat rubinowy



PP NORDICA
POLSKA
Fibre Reinforced Solutions



GIS PARTNER

Mecenat szmaragdowy



Jacobs
Challenging today.
Reinventing tomorrow.



3D FORMAT



GEOTASS



ARCADIS



BELSE



Pietrucha

Mecenat złoty

NeoStrain
TECHNOLOGIE POMIAROWE DLA BUDOWNICTWA

Mecenat srebrny



KOMITET NAUKOWY

- dr hab. inż. Sławomir Bajkowski, prof. SGGW, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
- Mateusz Balcerowicz, Państwowe Gospodarstwo Wodne (PGW) Wody Polskie
- dr inż. Aleksandra Bąk, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
- dr hab. inż. Ewa Burszta-Adamiak, prof. UP, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji
- prof. dr hab. Robert Czerniawski, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB), Dyrektor
- dr hab. inż. Paweł Falaciński, prof. PW, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska
- dr hab. inż. Izabela Godyń, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
- dr hab. inż. Tomisław Gołębiowski, prof. PK, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
- prof. dr hab. inż. Sławomir Grądział, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
- dr hab. inż. Tomasz Kałuża, prof. UPP, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej
- prof. dr hab. inż. Zbigniew Kledyński, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska
- dr hab. inż. Stanisław Kostecki, prof. PWr, Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
- prof. dr hab. inż. Janusz Kubrak, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
- dr inż. Marta Łapuszek, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
- dr hab. inż. Dorota Mirosław-Świątek, prof. SGGW, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
- prof. dr hab. inż. Elżbieta Nachlik, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
- dr hab. inż. Leszek Opyrchal, prof. WAT, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji

dr hab. inż. Karol Plesiński, prof. URK, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji
dr hab. inż. Paweł Popielski, prof. PW, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska
dr inż. Krzysztof Radzicki, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
prof. dr hab. Paweł Rowiński, czł. rzecz. PAN, Instytut Geofizyki PAN, dyrektor
prof. dr hab. inż. Michał Szydtowski, Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
prof. dr hab. inż. Krzysztof. F. Tajduś, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa Nafty i Gazu
prof. dr hab. inż. Andrzej Truty, Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej
prof. dr hab. inż. Janusz Zaleski, PGW Wody Polskie, Kierownik Projektu OPDOW

KOMITET ORGANIZACYJNY

dr inż. Krzysztof Radzicki (przewodniczący), Politechnika Krakowska
Borysław Zatoka (z-ca przewodniczącego), prezes Fundacji Spacerowa 7
Maciej Sieński (z-ca przewodniczącego), dyrektor Centrum Technicznej Kontroli Zapór, IMGW-PIB
dr inż. Beata Baziak, Politechnika Krakowska
dr inż. Marek Bodziony, Politechnika Krakowska
dr Krzysztof Chudy, Politechnika Wrocławska
dr inż. Marta Łapuszek, Politechnika Krakowska
dr inż. Krzysztof Muszyński, Politechnika Krakowska
dr inż. Monika Szłapa, Politechnika Krakowska
mgr inż. Magdalena Tutro, Politechnika Krakowska
dr inż. Marcin Wdowikowski, Politechnika Wrocławska

SPIS TREŚCI

Wyzwania gospodarki wodnej w Polsce – bezpieczeństwo, retencja i odporność na zmiany klimatu	
Mateusz Balcerowicz.....	13
Priorytety rozwojowe gospodarki wodnej – jak im sprostać?	
Izabela Godyń, Elżbieta Nachlik.....	14
Od ochrony przed powodzią do odporności na zmiany klimatyczne – transformacja podejścia do zagrożenia	
Janusz Zaleski	17
Sekwencyjne i współwystępujące ekstrema hydroklimatyczne jako paradygmat oceny zagrożeń klimatycznych	
Tamara Tokarczyk, Wiwiana Szalińska.....	19
Innowacyjne rozwiązania i technologie w nowoczesnej hydrotechnice	
Krzysztof Radzicki.....	21
Wpływ dynamiki opadów atmosferycznych na efektywność hydrologiczną bioretencji	
Ewa Burszta-Adamiak, Małgorzata Biniak-Pieróg	22
Odtworzone tarliska dla ryb litofilnych jako ostoje bioróżnorodności	
Karol Plesiński, Michał Bień.....	25
Wpływ małych zbiorników zaporowych na zmiany parametrów fizyczno-chemicznych i biologicznych rzek	
Robert Czerniawski, Kamila Żołądkiewicz.....	26
Ocena wpływu niskiej zabudowy hydrotechnicznej na jakość siedlisk w rzekach górskich	
Joanna Korpak, Anna Lenar-Matyas, Weronika Majchrzak	27
Modelowanie hydrologiczne typu opad-odpływ jako narzędzie do oceny warunków kształtowania się odpływu i skuteczności NBS w zlewni Białej Łądeckiej	
Radosław Stodolak, Henryk Grzywina, Roksana Barska	28
Ask-The-Fish: od demonstracji planowania renaturyzacji na rzece Świder do zastosowania metodyki MesoHABSIM w projekcie <i>Life for Rivers</i>	
Piotr Parasiewicz, Katarzyna Suska.....	30

Rowy melioracyjne w projekcie rewitalizacji siedliska łąkowego w Młodzawach	
Andrzej Strużyński, Maciej Wyrębek, Leszek Książek, Szymon Wojak.....	32
BIM w hydrotechnice	
Rafał Antoszewski.....	35
Metody geodezyjnego monitorowania obiektów hydrotechnicznych oraz interpretacja wyników obserwacji	
Adrian Pilecki	38
Przyrząd przeznaczony do pomiaru grubości miękkiego osadu dennego w zbiornikach wodnych	
Andrzej Wolak	40
Kalibracja jednowymiarowego modelu sieci kanalizacyjnej w oparciu o standardy CIWEM na przykładzie modelu NEWPORT (Rhode Island, USA)	
Przemysław Powroźnik.....	43
Zastosowanie teledetekcji w monitoringu obiektów hydrotechnicznych w CTKZ	
Dagmara Wziątek, Tomasz Ryfa, Maciej Kuzioła	46
Termomonitoring przecieków oraz erozji wewnętrznej zapór ziemnych i wałów przeciwpowodziowych	
Krzysztof Radzicki.....	47
Model hydrodynamiczny Zbiornika Włocławskiego	
Magdalena Tutro, Paweł Hachaj	51
Niedostatek wody opadowej w dorzeczu górnej Wisły w latach 2001–2023	
Marta Cebulska, Piotr Rybiński.....	54
Modelowanie hydrodynamiczne w warunkach niedostatku danych	
Paweł S. Hachaj.....	57
Wolontariat naukowy jako dodatkowe źródło danych dla gospodarki wodnej	
Paweł S. Hachaj.....	60
Trendy hydroklimatyczne w kontekście miejskim	
Mariola Kędra.....	63
Assessment of Bed Protection Effectiveness in Reducing Local Scour	
Marta Kiraga, Věra Hubačiková	64
Analiza możliwości wykorzystania narzędzia numerycznego w wymiarowaniu Bystrza	
Paweł Koliński, Leszek Lewicki, Marta Łapuszek	67

Aplikacja <i>Hydrolith</i> jako narzędzie wspomagające obliczenia hydrologiczne w inżynierii wodnej	
Michał Łątka	70
Wykorzystanie zaawansowanych analiz NMT w narzędziu Scalgo Live	
Natalia Mączka	72
Adaptacja do zmian klimatu a kształtowanie przestrzeni publicznej w miastach europejskich	
Matylda Wdowiarz-Bilska, Jakub Błachut, Marta Łapuszek.....	73
Wyzwania dla operatorów w zakresie cyberbezpieczeństwa i bezpieczeństwa kryzysowego gospodarki wodno-ściekowej – przykład odpowiedzi Zakładu Gospodarki Komunalnej w Wieliczce sp. z o.o.	
Ewa Wysowska, Karolina Marzec-Oleksik	76
Turbina Kaplana pracująca ze zmienną prędkością obrotową dla niskospadowych elektrowni przepływowych	
Sławomir Grądział, Dariusz Borkowski, Damian Liszka	78
Nowe kierunki rozwoju hydroenergetyki w Polsce – od modernizacji istniejących obiektów do nowych modeli wykorzystania potencjału energetycznego wód	
Łukasz Kalina.....	81
Ochrona powierzchni przed erozją kawitacyjną	
Roman Masek	84
Znaczenie hydrotechniki w zabezpieczeniu energetycznym kraju	
Katarzyna Antoszevska, Tomasz Ryfa, Maciej Kuzioła	87
Odbudowa zasobów wodnych wschodniej Wielkopolski jako element transformacji energetycznej i bezpieczeństwa hydroenergetycznego	
Tomasz Kałuża, Mateusz Hämmerling, Ireneusz Laks, Jolanta Kanclerz, Ewelina Janicka-Kubiak, Stanisław Zaborowski	89
Elektrownie szczytowo-pompowe wyzwaniem współczesnej hydrotechniki	
Kamil Jabłoński, Agata Lethel, Julia Sapryk.....	92
Modelowanie dwuwymiarowego pola przepływu w korycie o złożonej geometrii na przykładzie wybranych odcinków rzeki Wisły	
Tomasz Siuta	93
Modelowanie obiektów kubaturowych w programie HEC-RAS jako narzędzie wsparcia projektanta	
Tomasz Wilk	96

Geofizyczne badania i monitoring budowli hydrotechnicznych i ich podłoża	
Tomisław Gołębiowski, Michał Ćwiklik.....	99
Tomografia elektrooporowa ERT w badaniach zbiorników wodnych	
Michał Ćwiklik, Tomisław Gołębiowski.....	102
<i>Topographic Differencing</i> w określeniu załadowania czaszy zbiornika retencyjnego z wykorzystaniem archiwalnych opracowań kartograficznych i nowoczesnych metod pomiarowych	
Beata Baziak, Marek Bodziony, Cezary Toś, Anna Szafarczyk.....	105
Rola człowieka w pozyskaniu i przetwarzaniu danych przestrzennych wobec dynamicznego rozwoju automatyzacji pomiarów na wybranych przykładach projektów hydrotechnicznych	
Leszek Balcarczyk, Dariusz Niemirski.....	106
Zawiesiny twardniejące na bazie odpadów poprocesowych jako materiały uszczelniające obiekty hydrotechniczne	
Paweł Falaciński	110
Naprawy konstrukcji żelbetowych i ziemnych obiektów hydrotechnicznych	
Adam Gonera, Darosław Demski	112
Zastosowanie hybrydowej przesłony przeciwfiltracyjnej (HPP) w remontach obiektów hydrotechnicznych przy utrzymanym piętrzeniu wody	
Michał Sołtysik, Robert Sołtysik.....	115
Regionalizacja przepływów niskich jako narzędzie wspomagające projektowanie i zarządzanie gospodarowaniem wodą w zlewniach	
Katarzyna Baran-Gurgul, Andrzej Wałęga.....	117
Społeczna wiedza na temat powodzi – spostrzeżenia na bazie ankietyzacji	
Karolina Łach, Katarzyna Baran-Gurgul	119
Ocena podatności powodziowej z wykorzystaniem entropii, charakterystyk ogonowych oraz wieloskalowych ekstremalnych zależności opad-odpływ	
Bernard Twaróg	121
Zbiornik Klimkówka w warunkach suszy hydrologicznej – wyzwania gospodarowania zasobami wodnymi	
Anna Szafarczyk, Beata Baziak, Marek Bodziony, Cezary Toś	123
Zastosowanie podejść probabilistycznych w analizie współpracy konstrukcji budowlanych z podłożem gruntowym	
Andrzej Truty.....	125

Studium przypadku – koncepcja budowy układu zbiorników przeciwpowodziowych z funkcją przerzutu wody z górnego zbiornika do zbiornika dolnego usytuowanego w sąsiedniej dolinie na przykładzie planowanej pary zbiorników Stójków-Rudawka w zlewni Białej Łądeckiej	
Borys Bednarek, Hubert Bober, Henryk Kukuła, Mikołaj Urbaniak	128
Wpływ zmian przepisów na realizację robót utrzymaniowych w korytach rzek i czasach zbiorników wodnych	
Przemysław Derengowski	129
Hydrauliczne warunki pracy oraz efektywność otwartych zbiorników retencyjnych wspomagających systemy odwodnienia terenów zurbanizowanych	
Andrzej Mączkałowski, Antoni Bojarski	130
Autonomiczne systemy retencyjne dla przeciwdziałania suszy i ochrony przeciwpowodziowej	
Andrzej Polniak	133
Możliwości niskonakładowego – znaczącego powiększenia rezerwy powodziowej i pojemności użytkowej w zbiornikach kaskady Nysy Kłodzkiej	
Tomasz Kamiński	136
Metody szacowania strat powodziowych infrastruktury komunikacyjnej: wnioski z powodzi 2024 w zlewni Nysy Kłodzkiej	
Izabela Godyń, Katarzyna Pierzga, Natalia Strojna, Anna Foks-Ryznar	140
Nowoczesne rozwiązania mobilnych barier przeciwpowodziowych, barier retencyjnych i remontowych	
Wojciech Kudła, Michał Kudła	143
Wpływ kaskady zbiorników Solina-Myczkowce na cykliczność przepływu rzeczno Sanu	
Mariola Kędra, Łukasz Wiejaczka	146
Czy istnieje potrzeba utrzymania współcześnie systemów polderowych wokół jezior na przykładzie jeziora Gardno	
Roman Cieśliński	147
Rola inżynierii wodnej przy realizacji liniowych inwestycji transportowych na przykładzie budowy odcinka drogi ekspresowej S19 Podgórze – Kamień	
Tadeusz Bawolski	149

Zastosowanie betonu ze zbrojeniem rozproszonym do budowy i remontów budowli hydrotechnicznych	
Daniel Jagiełło, Palle Olsen.....	151
Strategie cyberbezpieczeństwa w infrastrukturze hydrotechnicznej i energetyce wodnej	
Michał Muszer	155
Strategiczne i taktyczne znaczenie budowli hydrotechnicznych oraz sieci hydrograficznej w operacjach wojskowych	
Aleksandra Bąk.....	158
Modelowe badania hydrauliczne przelewu powierzchniowego Zbiornika Topola po powodzi 2024 roku jako narzędzie oceny bezpieczeństwa budowli hydrotechnicznej	
Tomasz Kałuża, Mateusz Hämmerling, Paweł Zawadzki, Natalia Walczak, Stanisław Zaborowski, Sebastian Kujawiak, Bartłomiej Cieciora, Tomasz Tymiński, Robert Kasperek.....	160
Modelowanie hydrodynamiczne przejścia fali z przerwania zapory przez miejscowość Stronie Śląskie	
Krzysztof Radzicki, Michał Wróbel	163
Podwójne zastosowanie technicznych możliwości zwiększenia interakcji wód powierzchniowych i podziemnych w celu ponownego nawadniania osuszonych torfowisk	
Paweł Popielski, Grzegorz Sinicyn, Krzysztof Kochanek, Łukasz Kaczmarek, Jacek Gralewski.....	165
Zastosowanie wysokorozdzielczych modeli mesh z nalogów BSP w symulacjach zniszczenia budowli hydrotechnicznych	
Tomasz Gębala.....	168
Katastrofa zapory ziemnej na skutek przelania w ujęciu naprężeń ścinających	
Leszek Opyrchal	171
Stan techniczny i stan bezpieczeństwa budowli hydrotechnicznych piętrzących wodę	
Ryszard Piwoński	174
Analiza wybranych metod obliczeniowych do projektowania bystrza o zwiększonej szorstkości	
Angelika Gancarz, Marta Łapuszek.....	175

Czynniki wpływające na występowanie powodzi opadowych

Magdalena Skonieczna, Andrzej Hański, Karolina Kupczyk, Adam Nowak,
Paweł Terlecki, Tomasz Walczykiewicz 178

**Cyfrowy Bliźniak dla Gmin – usługa monitoringu środowiska wodnego
i Twojej przestrzeni Gminy**

Leszek Ziółkowski, Magdalena Grondkowska-Hada 181

DZIEŃ 1 – 15.09.2026		
10:00	OTWARCIE KONFERENCJI	A0-1 DUŻA AULA
Otwarcie konferencji dr inż. Krzysztof Radzicki, Politechnika Krakowska, dyrektor CTKZ, IMGW-PIB Maciej Sieiński, prezes Fundacji Spacerowa 7 Borysław Zatoka Uroczyste powitanie gości JM Rektor Politechniki Krakowskiej Andrzej Szarata dr hab. inż. Tomisław Gołębiowski, prof. PK		
10:20-11:00	SALA PLENARNA	A0-2 DUŻA AULA
MODERATOR prof. dr hab. inż. Elżbieta Nachlik		

WYZWANIA GOSPODARKI WODNEJ W POLSCE – BEZPIECZEŃSTWO, RETENCJA I ODPORNOŚĆ NA ZMIANY KLIMATU

Mateusz Balcerowicz

Prezes PGW Wody Polskie

Polska stoi dziś przed koniecznością równoczesnego reagowania na skutki suszy i powodzi, przy jednoczesnym zapewnieniu bezpieczeństwa wodnego mieszkańcom, rolnictwu i gospodarce. W swoim wystąpieniu Prezes PGW Wody Polskie Mateusz Balcerowicz przedstawi kluczowe działania związane z rozwojem retencji, modernizacją infrastruktury hydrotechnicznej oraz wzmacnianiem odporności kraju na coraz bardziej odczuwalne skutki zmian klimatu. Wskaże również najważniejsze kierunki współpracy administracji, samorządów i użytkowników wód w budowaniu nowoczesnej gospodarki wodnej.

PRIORYTETY ROZWOJOWE GOSPODARKI WODNEJ – JAK IM SPROSTAĆ?

Izabela Godyń, Elżbieta Nachlik

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: izabela.godyn@pk.edu.pl; elzbieta.nachlik@pk.edu.pl

Osiąganie celów gospodarowania wodami jest oparte na trzech filarach definiujących potrzeby wodne, które w praktyce realizacyjnej wymagają harmonizacji działań. Są to:

- **Bezpieczeństwo wodne** (dostęp do wody odpowiedniej jakości, ograniczanie ryzyka zagrożeń wodnych – głównie powodzi i suszy).
- **Potrzeby społeczne** (definiowane przez oczekiwaną/pożądaną jakość życia).
- **Potrzeby i uwarunkowania środowiskowe** (dobry stan zasobów i ekosystemów wodnych, a także konieczność stosowania rozwiązań bliskich naturze w gospodarowaniu wodami).

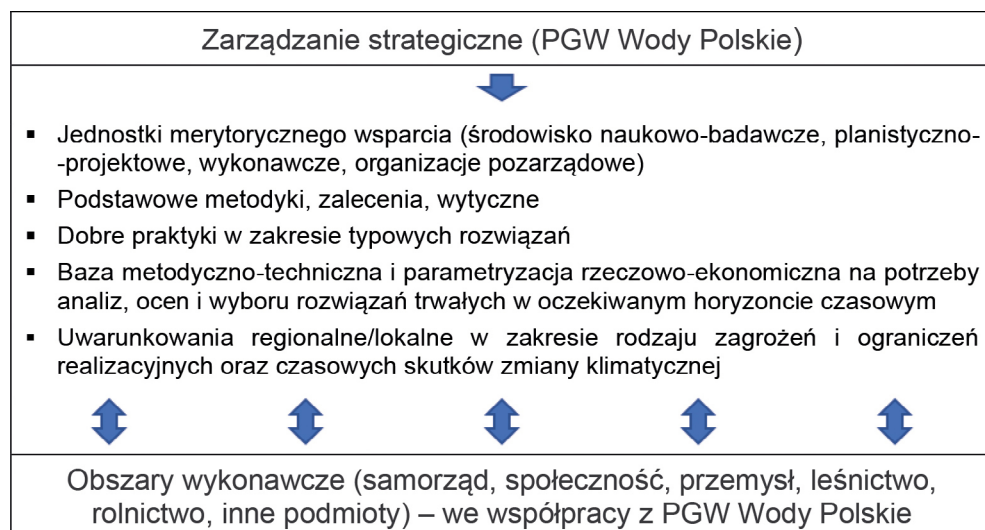
Cele i priorytety gospodarki wodnej definiuje się na poziomie krajowym. Mają one charakter strategiczny i są ujmowane w dokumentach planistycznych, które zobowiązują do ich realizacji zgodnie z ustalonym harmonogramem działań. Od wielu lat, niezależnie od zmian zarządczo-administracyjnych, efekty wykonawcze tych planów wskazują jednak na niewystarczające tempo osiągania zakładanych celów.

Kluczowe znaczenie ma fakt, że realizacja zobowiązań wynikających z celów i priorytetów gospodarki wodnej odbywa się przede wszystkim na poziomie wykonawczym, w obszarze zarządzanym w znacznym zakresie przez samorząd terytorialny, a tylko w ograniczonym zakresie przez PGW Wody Polskie. Harmonizacja działań służących zaspokajaniu potrzeb wodnych wymaga zatem:

- efektywnej współpracy zarządzającego wodami z samorządem terytorialnym, wspartej odpowiedzialną realizacją zadań gospodarki wodnej na szczeblu lokalnym,
- odpowiedniej, aktualizowanej w czasie bazy informacyjnej, a także bazy metodycznej, planistycznej, projektowej i realizacyjnej, łączącej zarządzanie strategiczne z obszarami wykonawczymi.

Schematycznie, system **Zarządzanie strategiczne – obszary wykonawcze** wraz z przestrzenią informacyjną, wspartą doradztwem na tym poziomie, pokazano na schemacie (rys. 1). Ten uproszczony schemat nie oddaje całej złożoności tego etapu aktywności, którego zakres i jakość są równie ważne jak współpraca zarządzającego wodami z podmiotami odpowiedzialnymi za realizację zadań gospodarki wodnej. Jednak wskazuje on na kilka istotnych kwestii, które mają bezpośredni wpływ na jakościowe i terminowe osiągnięcie priorytetów w gospodarce. Dotyczą one przede wszystkim:

- kompletności i komplementarności zadaniowej bazy informacyjnej oraz takiego zakresu jej parametryzacji rzeczowej i ekonomicznej, która umożliwi analizę i ocenę efektywności rozwiązań wariantowych;
- wybór wariantu realizacyjnego, spełniającego warunki trwałości w oczekiwanym horyzoncie czasowym z uwzględnieniem skutków zmian klimatyczno-rozwojowych;
- respektowania uwarunkowań lokalnych i regionalnych, zarówno o charakterze geograficznym i środowiskowym, jak i społeczno-rozwojowym i ekonomicznym, co przekłada się bezpośrednio na konieczny poziom uszczegółowienia bazy informacyjnej w układzie lokalnym (regionalnym), zwłaszcza w odniesieniu do identyfikacji zagrożeń i możliwości ich ograniczenia.



Rys. 1. Schemat systemu „Zarządzanie strategiczne – obszary wykonawcze” uwzględniającego informacyjną bazę realizacyjną zadań gospodarki wodnej

Sprostanie priorytetom w gospodarowaniu wodami i realna poprawa efektywności realizacji zadań w tym zakresie wymaga zidentyfikowanie luk w systemie: **zarządzanie strategiczne – obszary wykonawcze**. Dotyczy to zwłaszcza bazy informacyjnej funkcjonującej w tej przestrzeni oraz wsparcia obszaru wykonawczego w podnoszeniu wiedzy i kwalifikacji niezbędnych do skutecznej realizacji zadań. Wraz z wysokiej jakości współpracą PGW Wody Polskie z samorządem terytorialnym stanowi to warunek oczekiwanej harmonizacji działań opartych na trzech wskazanych we wstępie filarach definiujących potrzeby wodne.

W tym kontekście w referacie skoncentrowano się na właściwym planowaniu wykorzystania i rozwoju retencji wodnej nie tylko w zakresie podnoszenia bezpieczeństwa wodnego, ale i poprawy jakości życia dzięki usługom ekosystemowym. Szczególną uwagę poświęcono parametryzacji finansowo-ekonomicznej, która należy obecnie do pilnych potrzeb w dyskusji o rozwiązaniach typu **infrastrukturalne vs. oparte na naturze (NBS)**.

W referacie odniesiono się do zagadnień wymagających pilnego zdefiniowania i uregulowania w tym zakresie. Dotyczą one przede wszystkim konieczności opracowania wytycznych w zakresie: zasad oceny efektywności różnych rodzajów retencji rozwiązań – infrastrukturalnych i opartych na naturze, kryteriów ich porównywania, metod identyfikacji i parametryzacji korzyści wynikających z retencji wodnej, metod szacowania wartości korzyści społecznych i środowiskowych wynikających z wdrożenia NBS. Tego typu baza informacyjna stanowiłaby podstawę analiz kosztów i korzyści, umożliwiając przygotowanie wiarygodnych planów działań opartych na porównywalnej ocenie efektywności rozwiązań oraz pełniejszym uwzględnieniu ich skutków ekonomicznych, społecznych i środowiskowych.

OD OCHRONY PRZED POWODZIĄ DO ODPORNOŚCI NA ZMIANY KLIMATYCZNE – TRANSFORMACJA PODEJŚCIA DO ZAGROŻENIA

Janusz Zaleski

Politechnika Wrocławska, Biuro Koordynacji Projektów Banku Światowego
oraz Banku Rozwoju Rady Europy w Państwowym Gospodarstwie Wodnym
Wody Polskie

Kontakt: janusz.zaleski@pwr.edu.pl

Zagrożenie powodzią jest źródłem największych strat ludzkich i materialnych w Polsce, szczególnie na południu kraju. W efekcie postępującej urbanizacji i zmian w zagospodarowaniu przestrzennym, redukujących naturalną retencję, a także zmian klimatycznych (ostatnie 30–40 lat), zagrożenie powodzią przekształciło się ze zjawiska katastrofalnego o charakterze lokalnym w zagrożenie o charakterze ponadregionalnym w obu głównych dorzeczach naszego kraju. Katastrofalna powódź z 1997 roku zainicjowała strategiczne działania planistyczne i realizacyjne w odpowiedzi na zidentyfikowane rosnące zagrożenie, a kolejne ponadregionalne powodzie w latach 2010 i 2024 potwierdziły wzrost ryzyka powodziowego oraz były podstawą do strategicznych działań planistycznych i ich wdrożenia w górnych częściach dorzeczy Odry i Wisły.

Celem referatu jest przedłożenie tych strategicznych działań oraz ich realizacji po 1997 roku pod kątem transformacji podejścia do wdrażanych rozwiązań, poprzez zmianę paradygmatu od ochrony przed powodzią, przez redukcję ryzyka powodziowego, do budowania odporności na zmiany klimatyczne. Drugim wymiarem transformacji w podejściu do ograniczenia strat powodziowych jest przejście od działań stricte hydrotechnicznych w kierunku zielonej hydrotechniki, a więc preferowania działań typu *Nature-based Solutions* (NbS), wprowadzających się w obszarze hydrotechniki do błękitno-zielonej infrastruktury, która dla wezbrań niekatastrofalnych jest skutecznym i przyjaznym środowisku rozwiązaniem, ale niewystarczającym w przypadku wezbrań o charakterze katastrofalnym.

Zmiany w podejściu do zagrożenia powodziowego i jego ograniczania są zilustrowane zrealizowanymi i planowanymi działaniami wdrożeniowymi w dorzeczu górnej i środkowej Odry oraz w dorzeczu górnej Wisły, które w coraz większym stopniu łączą działania w postaci „szarej” i „zielonej” infrastruktury z działaniami w obszarze edukacji na temat zagrożenia powodziowego i przygotowania ludności w przypadku jego wystąpienia.

SEKWENCYJNE I WSPÓŁWYSTĘPUJĄCE EKSTREMA HYDROKLIMATYCZNE JAKO PARADYGMAT OCENY ZAGROŻEŃ KLIMATYCZNYCH

Tamara Tokarczyk, Wiwiana Szalińska

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: tamara.tokarczyk@imgw.pl

Zmiany klimatu prowadzą do istotnych modyfikacji wzorców hydroklimatycznych, rozumianych jako charakterystyczne zależności pomiędzy elementami klimatu (opadem, temperaturą i ewapotranspiracją) a reakcją hydrologiczną zlewni, obejmującą odpływ, retencję oraz sezonowość przepływu. Obserwowane w ostatnich dekadach w Polsce ocieplenie klimatu, zmiany warunków śnieżnych oraz wzrost zmienności opadowej powodują przekształcenia reżimu hydrologicznego, zwiększając częstotliwość występowania zarówno susz, jak i powodzi. W konsekwencji wzorce hydroklimatyczne stają się coraz bardziej kontrastowe, sprzyjając występowaniu złożonych i sekwencyjnych ekstremów hydroklimatycznych.

Szczególnym przejawem tych zmian jest paradoksalne współwystępowanie suszy i powodzi. Choć zjawiska te są postrzegane jako przeciwstawne – susza oznacza długotrwały deficyt wody, natomiast powódź jej gwałtowny nadmiar – w warunkach współczesnych zmian klimatu coraz częściej stanowią element tego samego procesu hydroklimatycznego. Mogą występować sekwencyjnie w tym samym regionie, gdy długotrwały okres bezopadowy zostaje przerwany przez intensywne opady prowadzące do wezbrań i powodzi, lub równocześnie w różnych częściach kraju. Zjawisko to jest konsekwencją zaburzeń cyklu hydrologicznego, obejmujących wydłużanie okresów bezopadowych, wzrost intensywności opadów oraz zwiększenie zmienności międzyrocznej i sezonowej. W efekcie tradycyjne podejście do oceny zagrożeń, traktujące susze i powodzie jako niezależne procesy, staje się niewystarczające.

Celem badań było rozpoznanie mechanizmów czasowo-przestrzennej ewolucji suszy oraz identyfikacja regionów szczególnie podatnych na gwałtowne przejścia między warunkami suchymi i mokrymi. Analizy przeprowadzono na podstawie

miesięcznych szeregów czasowych wskaźników SPI, SPEI i SRI, wyznaczonych na podstawie danych pomiarowych sieci IMGW-PIB, dla okresu 1980–2020.

Do oceny propagacji suszy zastosowano dwa komplementarne podejścia: model łańcucha przyczynowego (ang. *Causality Chain Model*, CCM) oraz analizę korelacji sieciowej (ang. *Network Correlation Analysis*, NCA).

Wrażliwość regionów na gwałtowne przejścia pomiędzy stanami sucho–mokra oraz mokro–sucho oceniono za pomocą wskaźnika *Rapid Change Index* (RCI). Uzyskane wyniki wskazują na wyraźne zróżnicowanie przestrzenne odpowiadające regionom klimatycznym Polski oraz na różnice pomiędzy dorzeczami Wisły i Odry. Szczególnie interesujące są obserwowane w sezonie wiosennym tendencje związane ze zmniejszaniem akumulacji śniegu, prowadzące do osłabienia naturalnej retencji i zwiększenia podatności zlewni na szybkie zmiany warunków hydroklimatycznych.

Integracja analiz propagacji suszy, spójności przestrzennej procesów hydroklimatycznych oraz oceny zdarzeń synergicznych pozwala zaproponować nowy paradygmat oceny zagrożeń klimatycznych oparty na analizie sekwencyjnych i współwystępujących ekstremów hydroklimatycznych. Uzyskane wyniki stanowią podstawę do regionalnej oceny ryzyka, aktualizacji charakterystyk hydrologicznych, planowania działań adaptacyjnych oraz integracji strategii ochrony przeciwpowodziowej i przeciwsuszowej w warunkach postępujących zmian klimatu.

INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA I TECHNOLOGIE W NOWOCZESNEJ HYDROTECHNICE

Krzysztof Radzicki

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: krzysiek.radzicki@gmail.com

Starzejąca się infrastruktura hydrotechniczna, ograniczone możliwości budżetowego udźwignięcia niezbędnych remontów oraz rosnące ryzyko ekstremalnych zjawisk klimatycznych wymuszają zmianę podejścia do projektowania, diagnostyki i utrzymania budowli piętrzących. Odpowiedzią na te wyzwania jest coraz szersze zastosowanie nowoczesnych i bardziej innowacyjnych technologii i metod inżynierskich – zarówno na etapie napraw i modernizacji, jak i w rozwiązaniach ograniczających skutki powodzi i suszy. W szerszym kontekście bardzo istotna staje się nowoczesna, zoptymalizowana metodyka eksploatacji budowli hydrotechnicznych oraz zarządzania zespołami takich obiektów.

Referat stanowi przegląd trzech obszarów, w których obecnie dokonuje się najbardziej istotny postęp: technologii materiałowych i konstrukcyjnych stosowanych w budowie oraz w naprawach i remontach, zaawansowanych metod modelowania numerycznego – hydraulicznego oraz ośrodka ciągłego (m.in. grunt, beton, stal), a także nowoczesnych systemów monitoringu stanu technicznego obiektów piętrzących. Przedstawione zostaną wybrane rozwiązania i doświadczenie firm i zespołów badawczych, również tych uczestniczących w konferencji, na tle wyzwań stojących przed współczesną, odporną na zmiany klimatu gospodarką wodną.

11:50	Przerwa kawowa razem ze zdjęciem „rodzinnym”	
12:10	PANEL DYSKUSYJNY	A0-3 DUŻA AULA
	MODERATOR prof. dr hab. inż. Elżbieta Nachlik Gospodarka wodna z perspektywy usuwania przeszkód w osiągnięciu postawionych celów	
12:50	Obiad	
13:50–16:10	HYDROTECHNIKA PROŚRODOWISKOWA	A1-1 DUŻA AULA
	MODERATOR dr hab. inż. Leszek Książek, prof. URK	

WPŁYW DYNAMIKI OPADÓW ATMOSFERYCZNYCH NA EFEKTYWNOŚĆ HYDROLOGICZNĄ BIORETENCJI

Ewa Burszta-Adamiak¹, Małgorzata Biniak-Pieróg²

¹ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Instytut Inżynierii Środowiska

² Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Katedra Kształtowania i Ochrony Środowiska

Kontakt: ewa.burszta-adamiak@upwr.edu.pl; malgorzata.biniak-pierog@upwr.edu.pl

Rozwój obszarów zurbanizowanych przyczynia się do lokalnych zmian w środowisku naturalnym, w tym wpływa na bilans wodny i procesy hydrologiczne. W wyniku przekształceń antropogenicznych zmienia się reżim powierzchniowego odpływu wód opadowych, czego konsekwencją mogą być lokalne podtopienia a nawet powodzie błyskawiczne. Aby przeciwdziałać tym zjawiskom, coraz częściej, jako wsparcie tradycyjnej infrastruktury odwodnieniowej, stosowane są w miastach systemy zielono-niebieskiej infrastruktury, zwane także systemami bioretencji lub rozwiązaniami opartymi na naturze (ang. *Nature-based Solutions*, NbS).

Pomimo zrealizowania dotychczas wielu projektów zielono-niebieskiej infrastruktury w Polsce wciąż brakuje kompleksowych badań w kierunku aspektów

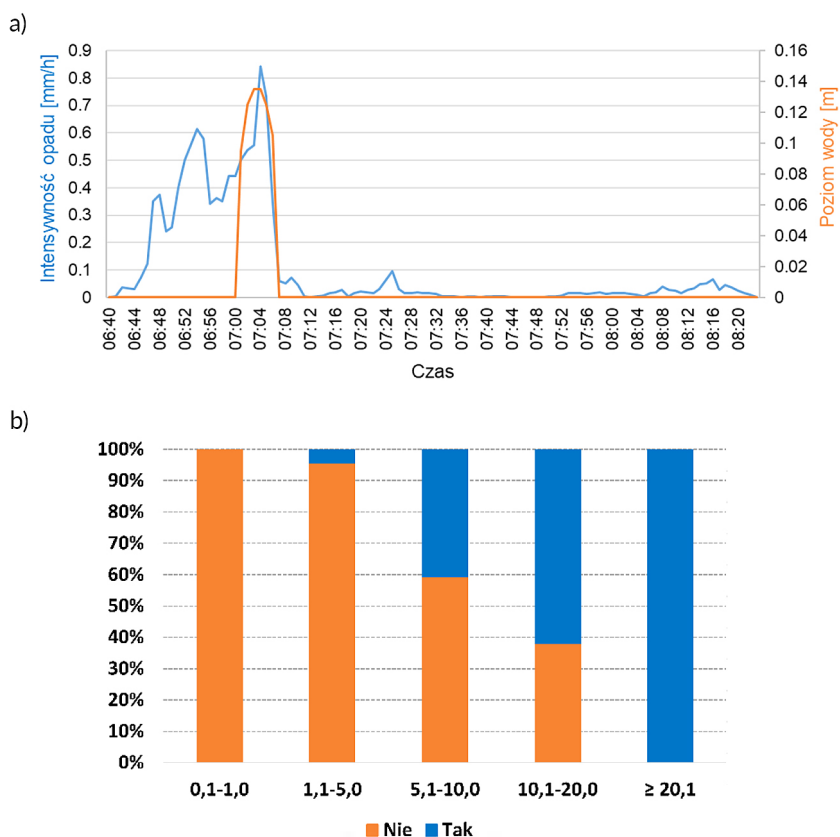
hydrologicznych, określających ich możliwości w gospodarowaniu wodami opadowymi w zależności od uwarunkowań zewnętrznych, w tym charakterystyki opadów.

W trakcie referatu zostaną przedstawione wyniki badań efektywności hydrologicznej ogrodu deszczowego, zlokalizowanego na terenie miejskim, w przechwytywaniu spływu wody deszczowej z dachu budynku. Wyniki pomiarów dotyczą zmienności poziomów wody zatrzymywanej w ogrodzie oraz czasu retencji, a także pomiarów wilgotności podłoża w zależności od warunków opadowych. Na ich podstawie stwierdzono, że pojemność ogrodu deszczowego w stosunku do objętości spływu wody deszczowej była wystarczająca. W efekcie wody opadowe bezpośrednio infiltrowały natychmiast do przepuszczalnych warstw podłoża lub po stosunkowo krótkim czasie retencji (kilka minut). Dla funkcjonowania ogrodów deszczowych w aspekcie hydrologicznym istotna jest przede wszystkim intensywność opadów, a tym samym dopływów. Opady o wysokości nieprzekraczającej 10 mm były w większości przypadków w pełni zagospodarowywane na miejscu opadu.

Wyniki badań mogą być przydatne na etapie planowania i realizacji przyszłych inwestycji z wykorzystaniem ogrodów deszczowych, które mają być zlokalizowane na obszarach o podobnych warunkach meteorologicznych.



Fot. 1. Lokalizacja stanowiska pomiarowego



Rys. 1. Funkcjonowanie ogrodu deszczowego: a) hydrogram odpływu, b) zagospodarowane odpływy w oparciu o kryterium retencji (Nie/Tak)

ODTWORZONE TARLISKA DLA RYB LITOFILNYCH JAKO OSTOJE BIORÓŻNORODNOŚCI

Karol Plesiński¹, Michał Bień²

¹ Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

² Okręg Polskiego Związku Wędkarskiego w Kielcach

Kontakt: karol.plesinski@urk.edu.pl

Praca przedstawia wyniki działań wdrożeniowych przeprowadzonych w dopływach rzeki Nidy, których celem było odtworzenie tarlisk dla ryb litofilnych, głównie pstrągów potokowych. Przed rozpoczęciem prac wykonano szczegółowe badania terenowe, obejmujące pomiary hydrodynamiczne oraz pobór i analizę osadów dennych, a także inwentaryzację gniazd tarłowych, odłowy ichtiologiczne oraz pobór prób makrozoobentosu. Pozwoliło to na precyzyjne określenie zarówno odpowiedniej granulacji, jak i ilości materiału żwirowego niezbędnego do odbudowy tarliska oraz poprawy warunków siedliskowych na analizowanym odcinku rzeki.

Po zakończeniu prac ponownie przeprowadzono monitoring hydrodynamiczny, granulometryczny i ekologiczny. Uzyskane wyniki wykazały, że zasilenie koryta rzeki materiałem żwirowym doprowadziło do poprawy warunków hydrodynamicznych na odcinku tarliskowym. W szczególności odnotowano wzrost prędkości przepływu wody, co ograniczyło akumulację piasku w osadach żwirowych i przyczyniło się do zmniejszenia stopnia zapiaszczenia materiału dennego.

Zmiany te spowodowały, że parametry siedliskowe tarliska stały się korzystniejsze dla rozrodu pstrąga potokowego. Poprawa struktury osadów dennych oraz warunków przepływu znalazła odzwierciedlenie w większej liczbie obserwowanych gniazd tarłowych po wykonaniu przedsięwzięcia oraz w zwiększonej skuteczności rozrodu. Wyniki monitoringu wskazują, że odtworzenie tarliska poprzez odpowiednio zaprojektowane zasilenie koryta materiałem żwirowym może być skutecznym narzędziem wspierającym naturalną reprodukcję ryb łososiowatych. Pomimo że przedsięwzięcie było ukierunkowane przede wszystkim na poprawę warunków rozrodczych pstrąga potokowego, z odtworzonego tarliska korzystały również inne gatunki ryb, co potwierdza szersze znaczenie tego typu działań dla poprawy funkcjonowania ekosystemu rzecznego.

WPŁYW MAŁYCH ZBIORNIKÓW ZAPOROWYCH NA ZMIANY PARAMETRÓW FIZYCZNO-CHEMICZNYCH I BIOLOGICZNYCH RZEK

Robert Czerniawski, Kamila Żołądkiewicz

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: kamila.zoladkiewicz@imgw.pl

Zbiorniki zaporowe mają wpływ na zmiany jakości wód w rzekach. W niektórych przypadkach zmiany te mogą mieć znaczenie pozytywne, w innych negatywne, rzadziej obojętne. Niniejszy referat przedstawia zmiany zachodzące pod wpływem zapór w małych rzekach. Wpływ ten zauważalny jest przy analizie danych fizykochemicznych i biologicznych głównie stężenia chlorofilu a. Duże znaczenie w zakresie tego wpływu ma charakter morfologiczny zbiornika oraz czas retencji wody w zbiorniku. Szczególnie ważne są tutaj wskaźniki świadczące o rozwinięciu linii brzegowej zbiornika zaporowego, które warto brać pod uwagę już przy pracach koncepcyjnych.

OCENA WPŁYWU NISKIEJ ZABUDOWY HYDROTECHNICZNEJ NA JAKOŚĆ SIEDLISK W RZEKACH GÓRSKICH

Joanna Korpak¹, Anna Lenar-Matyas¹, Weronika Majchrzak

¹ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: joanna.korpak@pk.edu.pl

Większość rzek w polskich Karpatach na długich odcinkach jest uregulowana za pomocą sekwencji stopni regulacyjnych, korygujących spadek dna. Wciąż mało znany jest ich wpływ na zmiany w morfodynamice koryta, chociaż wiadomo, że ograniczają ciągłość transportu sedymentu oraz stanowią barierę migracyjną dla organizmów wodnych. Oznacza to, że rzeki uregulowane w ten sposób nie mogą uzyskać dobrego stanu ekologicznego, który jest wymagany przez Ramową Dyrektywę Wodną. Celem badań było porównanie warunków hydromorfologicznych i ekohydraulicznych na odcinkach rzek górskich, na których zastosowano niską zabudowę poprzeczną różnego typu. Badano odcinki z typowymi betonowymi stopniami spadowymi, a także takie, na których zastosowano rozwiązania powszechnie traktowane jako proekologiczne, czyli rampy lub sztuczne bystrza. Według obowiązującej w Polsce metodyki monitorowania hydromorfologicznych elementów jakości wód płynących (metoda HIR), sztuczne bystrza należy traktować jako konstrukcje mające słabe oddziaływanie na środowisko. W pracy podjęto się weryfikacji tej tezy. Na wybranych odcinkach rzek przeprowadzono kartowanie geomorfologiczne oraz pomiary podstawowych parametrów hydraulicznych, mających wpływ na warunki bytowania organizmów wodnych. Zebrane dane posłużyły do modelowania jakości siedlisk z wykorzystaniem metody MesoHABSIM. Zwrócono uwagę, że w ocenie wpływu zabudowy poprzecznej na środowisko wodne powinno się uwzględniać nie tylko same konstrukcje pod kątem ich potencjalnych możliwości migracyjnych dla organizmów, ale również warunki siedliskowe pomiędzy poszczególnymi obiektami hydrotechnicznymi.

MODELOWANIE HYDROLOGICZNE TYPU OPAD-ODPŁYW JAKO NARZĘDZIE DO OCENY WARUNKÓW KSZTAŁTOWANIA SIĘ ODPŁYWU I SKUTECZNOŚCI NBS W ZLEWNI BIAŁEJ ŁĄDECKIEJ

Radosław Stodolak¹, Henryk Grzywna², Roksana Barska²

¹ Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Inżynierii Środowiska

² SWEKO Polska sp. z o.o.

Kontakt: radoslaw.stodolak@upwr.edu.pl

Praca dotyczy podejścia metodycznego do oceny wielkości spływu powierzchniowego z obszarów leśnych, generowanego przez opad o zadanym prawdopodobieństwie wystąpienia i rozkładzie czasowym. W opracowaniu wykorzystano narzędzia GIS w celu wyznaczenia ścieżek preferowanego odpływu oraz do oceny kumulowania się odpływu w węzłach hydrograficznych zamykających mikro-zlewnie. Za poligon doświadczalny posłużyła zlewnia rzeki Białej Łądeckiej, która była miejscem wystąpienia katastrofalnej powodzi we wrześniu 2024 roku.

Do osiągnięcia zamierzonych celów wykorzystano modelowanie typu opad-odpływ, przy czym do wyznaczenia opadu efektywnego posłużono się metodą NRCS-CN, opartą na parametrze CN będącym pochodną typu i rodzaju gleby, użytkowania terenu oraz początkowych warunków wilgotnościowych panujących na obszarze zlewni. Obliczony opad efektywny został następnie poddany transformacji w odpływ jednostkowy z mikro-zlewni w oparciu o conceptualny model Nasha, w którym każdą zlewnię traktuje się jako szereg liniowych zbiorników retencyjnych.

Dzięki tym kalkulacjom można było określić wielkość redukcji przepływu maksymalnego, opóźnienie czasowe w wystąpieniu kulminacji oraz objętość zretencjonowanej wody w funkcji czasu. Wszystkie te parametry zostały wykorzystane do hydrologicznej oceny skuteczności proponowanych rozwiązań z zakresu inżynierii leśnej, bazującej na rozwiązaniach bliskich naturze. Redukcja w objętości przepływu, wynikająca z działań podejmowanych na obszarze zlewni Białej Łądeckiej, jest utożsamiana z możliwościami retencji krajobrazowej lasu górskiego,

co w praktyce sprowadza się do przecięcia ścieżek spływu i rozpraszania skoncentrowanego odpływu po zboczach. Ma to także przełożenie na zdolność erozyjną strumienia i zapobiega nadmiernemu transportowi materiału skalnego do koryta właściwego cieku.

ASK-THE-FISH: OD DEMONSTRACJI PLANOWANIA RENATURYZACJI NA RZECIE ŚWIDER DO ZASTOSOWANIA METODYKI MesoHABSIM W PROJEKCIE LIFE FOR RIVERS

Piotr Parasiewicz¹, Katarzyna Suska²

¹ Pracownia Monitoringu i Modelowania Środowiska,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

² Instytut Rybactwa Śródlądowego im S. Sakowicza-PIB

Kontakt: Piotr_Parasiewicz@sggw.edu.pl

W referacie przedstawiono demonstracyjne zastosowanie metody *Ask-The-Fish* (ATF) do oceny wpływu prac utrzymaniowych i renaturyzacyjnych na siedliska ryb w rzece Świder. Na wybranym odcinku rzeki wykonano kartowanie jednostek hydromorfologicznych, oceniono przydatność siedlisk dla zespołów ryb oraz porównano scenariusze: stan zbliżony do naturalnego, standardowe prace utrzymaniowe, typowe działania renaturyzacyjne oraz wariant zoptymalizowany. Wyniki pokazały, że standardowe działania mogą prowadzić do pogorszenia jakości siedlisk, natomiast warianty zaplanowane na podstawie modelowania siedliskowego pozwalają dobrać rozwiązania znacznie skuteczniejsze ekologicznie. W analizie Świdra najlepszy scenariusz obejmował proste, technicznie możliwe działania, takie jak zwiększenie dostępności kryjówek i wykorzystanie deflektorów nurtu, co poprawiało warunki siedliskowe i zbliżało strukturę rzeki do stanu naturalnego.

Doświadczenia ze Świdra stanowią podstawę do rozwinięcia tej metodyki w projekcie *Life for Rivers* w dorzeczu Parsęty. W projekcie planuje się zastosowanie podejścia ATF do identyfikacji kluczowych płątów i węzłów siedliskowych, które pełnią funkcje tarłowe, narybkowe, refugialne i migracyjne dla docelowych zespołów ryb. Metodyka będzie wspierać wybór działań renaturyzacyjnych, takich jak odtwarzanie tarlisk, poprawa zróżnicowania morfologicznego koryta, budowa bystrzy, usuwanie lub łagodzenie barier migracyjnych oraz przywracanie połączeń z terenami zalewowymi i mokradłami.

W *Life for Rivers* zastosowanie metodyki ATF ma umożliwić przejście od pojedynczej oceny siedlisk do planowania działań w skali zlewni. Pozwoli to wskazać, które działania dają największy efekt ekologiczny w relacji do kosztów, wykonalności technicznej i odporności na zmiany klimatu. Podejście to wpisuje się w cele projektu obejmujące odtwarzanie ciągłości ekologicznej, odzyskiwanie siedlisk docelowej ichtiofauny, poprawę warunków rozrodu ryb i minogów oraz przygotowanie protokołów skalowania dla innych zlewni demonstracyjnych.

ROWY MELIORACYJNE W PROJEKCIE REWITALIZACJI SIEDLISKA ŁĘGOWEGO W MŁODZAWACH

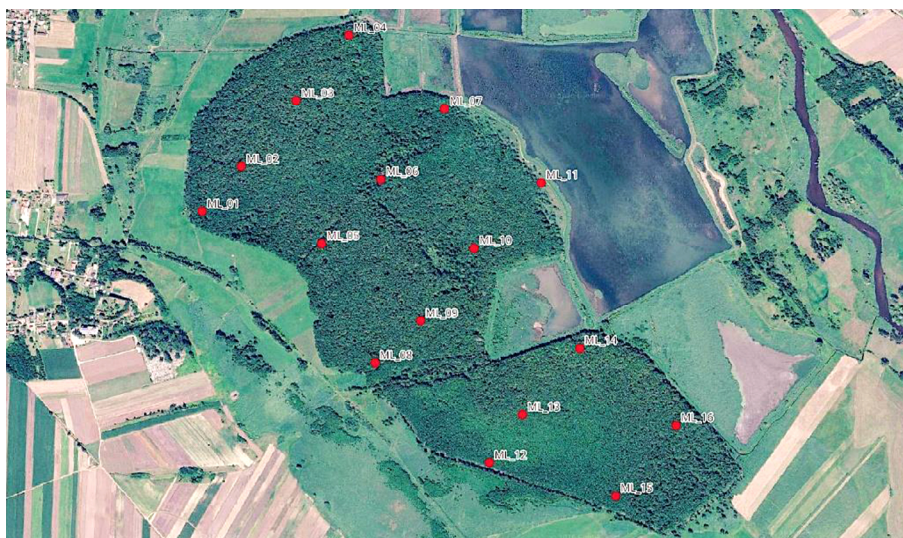
Andrzej Strużyński, Maciej Wyrębek, Leszek Książek, Szymon Wojak

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji

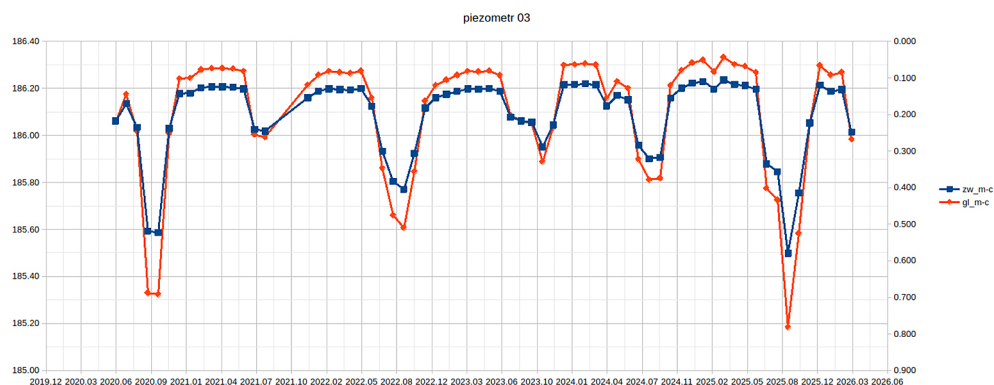
Kontakt: rmstruzy@cyf-kr.edu.pl

Przekształcenia antropogeniczne na terenach Europy i innych obszarów rozwoju tzw. cywilizacji zachodniej są rozległe i „wtopiły się” w środowisko. Także na obszarze Polski trudno jest dzisiaj zaobserwować pozostałości chociażby naturalnego biegu rzek czy fragmentów dolin rzecznych funkcjonujących w warunkach nieprzekształconych. Znakomitym przykładem siedliska powstałego na skutek działalności człowieka, które wrosło w krajobraz jest las łęgowy w Młodzawach. Zlokalizowany w dolinie Nidy powstał prawdopodobnie na przełomie XVIII i XIX wieku w efekcie naturalnych procesów lub, co jest bardziej prawdopodobne, celowej działalności człowieka, poszukującego obszarów do zalesienia. Wcześniej w obszarze tym występowały wylewy Nidy oraz znajdowały się obszary podmokłe, sprzyjające powstawaniu mąd rzecznych i torfowisk typu niskiego. Obecnie warstwy gleb piaszczystych, mąd rzecznych i gleb torfowych mieszają się, tworząc soczewki, w których uwięziona jest woda opadowa, spływająca ze zlewni cząstkowych i bijących tam źródeł. W takich warunkach nie mógł powstać las iglasty, lecz łęg opisywany jako *91E0. Ze względu na antropogeniczne pochodzenie lasu jest on siedliskiem nietypowym. Przyrodnicy dopatrują się w nim cech łęgów różnego typu, choć są zgodni co do opinii, że jest to siedlisko bardzo cenne. Szczególną uwagę przykuwają osobniki jesionu wyniosłego (łac. *Fraxinus excelsior*) oraz olszy czarnej (łac. *Alnus glutinosa*). Porastają one wprawdzie obszary podmokłe, ale do skiełkowania wymagają okresowego (latem) obniżenia wód gruntowych i zwiększonego napowietrzenia gleby. Ze względu na nadmierne uwilgotnienie gleby oraz istnienie gospodarstwa rybnego na wschodniej granicy lasu wokół jego powierzchni wykonano rowy odprowadzające nadmiar wody do Nidy. Dodatkowo, w przeszłości w lesie prowadzony był intensywny pozysk drewna. Istniały drogi leśne a wzdłuż nich niegłębokie rowy. Do dziś można znaleźć ślady, częściowo działającego, systemu rowków w różnych częściach lasu.

Celem wykonanych prac jest uzyskanie optymalnych warunków uwilgotnienia lasu poprzez udrożnienie istniejących rowów melioracyjnych wyposażonych w zastawki, dystrybuujących dostępne zasoby wodne. Określenie warunków uwilgotnienia lasu przed i po wykonaniu planowanej inwestycji zrealizowano za pomocą sieci piezometrów rozmieszczonych w zbliżonych odległościach (rys. 1). Dla przykładu przedstawiono zapis rejestratora zainstalowanego w studzience nr ML_03 (rys. 2). Dodatkowo wykonano modelowanie 2D doprowadzenia wody po śladzie odtworzonych rowów i jej dystrybucji w lesie z wykorzystaniem istniejących warunków terenowych.



Rys. 1. Układ piezometrów w lesie w Młodzawach



Rys. 2. Rejestracja głębokości i poziomu wody w studzience ML_03 w latach 2020–2026

Wyniki wizji lokalnych, pracy sieci piezometrycznej oraz modelowania hydraulicznego 2D stały się przyczynkiem do tworzenia koncepcji doprowadzenia i odprowadzenia wody z poszczególnych części lasu. Zaproponowano wykonanie rowów z zastawkami a realizacja części koncepcji wykonana została w 2025 roku. Dane pomiarowe uwiadcniają dużą dynamikę zmian uwilgotnienia lasu w latach 2020–2024 oraz pewien zasięg oddziaływania rowów wykonanych w części południowej lasu w okresie stabilizacji skarp (bezpośrednio po ich oczyszczeniu) i następnie etap pracy z piętrzeniem w obecnym sezonie wegetacyjnym (2026). Działania wykonane zostały w ramach projektu Life4Delta (LIFE17 NAT/PL/000018).

Strona projektu: <https://life4delta.pl/>

13:50-16:10	TECHNIKI POMIAROWE I NARZĘDZIA MODELOWE cz. 1	B1-1 MAŁA AULA
MODERATOR dr hab. inż. Tomisław Gołębiowski, prof. PK		

BIM W HYDROTECHNICE

Rafał Antoszewski

Antea Polska S.A.

Kontakt: Rafal.antoszewski@anteagroup.pl

„BIM w hydrotechnice” przedstawia *Building Information Modeling* (BIM) jako zintegrowane podejście do projektowania, koordynacji, analizy i eksploatacji obiektów hydrotechnicznych. BIM został zdefiniowany jako cyfrowa reprezentacja obiektu lub infrastruktury, łącząca geometrię 3D, dane techniczne i parametry użytkowe w jednym spójnym modelu informacyjnym. Wdrożenie BIM jest oparte na uznanych standardach zarządzania informacją, w szczególności BS EN ISO 19650, oraz na otwartych formatach wymiany danych, takich jak IFC rozwijanym przez buildingSMART. Takie podejście umożliwia współpracę między różnymi aplikacjami i uczestnikami procesu inwestycyjnego w całym cyklu życia obiektu.

Należy wyraźnie odróżnić tradycyjne podejście 2D od pracy w środowisku BIM/CDE. W modelu tradycyjnym dane są rozproszone, aktualizacje wykonywane ręcznie, a współpraca ma charakter sekwencyjny, co zwiększa ryzyko błędów i utrudnia zarządzanie projektem. W podejściu BIM informacje są zintegrowane, zmiany synchronizują się automatycznie, współpraca jest równoległa, a wykrywanie kolizji i kontrola spójności dokumentacji znacząco ograniczają ryzyko projektowe i wykonawcze.

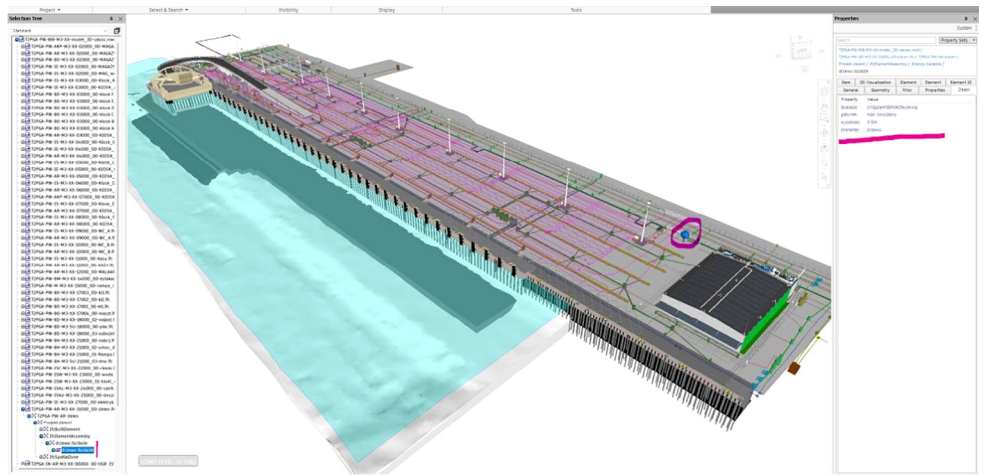
Tabela 1

BIM (CDE) vs tradycyjne podejście

Cecha	Podejście tradycyjne 2D	BIM 3D
Środowisko pracy	Rysunki 2D (płaskie DXF)	Model 3D (przestrzenny IFC)
Dane	Rozproszone pliki	Zintegrowana baza danych
Zmiana (poprawki)	Ręczna aktualizacja	Automatyczna synchronizacja
Współpraca	Sekwencyjna	Równoległa (wspólna przestrzeń robocza)
Błędy	Zwiększone ryzyko	Minimalizacja (automatyczne wykrywanie kolizji)
Zarządzanie projektem	Papierowy skoroszyt	Platforma CDE z automatycznym przeszukiwaniem zawartości plików

Istotnym elementem jest rozróżnienie między modelem BIM a modelowaniem obliczeniowym. Model BIM stanowi cyfrowe odwzorowanie obiektu i uporządkowany nośnik danych, natomiast modelowanie obejmuje odtwarzanie zjawisk fizycznych, takich jak analiza stateczności, osiadania czy obliczenia hydrauliczne. Oznacza to, że dobrze przygotowany model BIM staje się wiarygodnym wsadem do dalszych analiz inżynierskich.

Przedstawiono poziomy dojrzałości BIM oraz jego kolejne wymiary. Zwrócono uwagę, że projekty publiczne powinny osiągać co najmniej Level 2 BIM, natomiast rozwój podejścia prowadzi od rysunku CAD i integracji z GIS, przez



harmonogramowanie 4D i kosztorysowanie 5D, aż do wymiaru 7D, obejmującego kontrolę i eksploatację obiektu.

Najważniejszy przekaz biznesowy materiału dotyczy korzyści organizacyjnych i ekonomicznych. Wskazuje się, że BIM poprawia współpracę uczestników projektu/inwestycji, skraca czas projektowania/wykonawstwa, przyspiesza wymianę danych między branżami, wspiera automatyczną kontrolę kolizji oraz tworzy jednocyfrowe archiwum na potrzeby projektowania i budowy, utrzymania oraz nadzoru nad obiektem. W warstwie ekonomicznej materiał wskazuje m.in. na 20–25% oszczędności związanych z ograniczeniem błędów i przestojów na budowie, 10–15% przyspieszenia projektowania w fazie uzgodnień, 30% redukcji zmian na budowie oraz nawet 40% dokładniejszych szacunków kosztów i oszczędności realizacyjnych przy właściwym zarządzaniu informacją.

W części poświęconej eksploatacji zaakcentowano szczególne znaczenie BIM 7D dla obiektów hydrotechnicznych. Aktualny model może pełnić funkcję cyfrowego bliźniaka, zastępując tradycyjne archiwum i wspierając kontrolę okresową, wizualizację danych geologicznych i pomiarowych, planowanie remontów, aktualizację informacji po awariach oraz przygotowanie danych do dalszych analiz hydraulicznych i konstrukcyjnych.

Skuteczne wdrożenie BIM wymaga przezwyciężenia barier technicznych, biznesowych, organizacyjnych i edukacyjnych, w tym problemów interoperacyjności, kosztów licencji i szkoleń dla oprogramowania, zmian procesowych oraz niedoboru odpowiednio przygotowanej kadry. Mimo tych wyzwań ogólny wniosek jest jednoznaczny: BIM nie jest wyłącznie narzędziem projektowym, lecz strategiczną platformą zarządzania informacją o obiekcie hydrotechnicznym, przynoszącą największą wartość w fazie realizacji i wieloletniej eksploatacji.

Rekomenduje się, aby traktować BIM w hydrotechnice jako inwestycję w jakość danych, koordynację międzybranżową i długoterminowe utrzymanie majątku, a nie jedynie jako koszt przygotowania dokumentacji. Priorytetem powinno być budowanie modeli co najmniej na poziomie dojrzałości wymaganym dla projektów publicznych (Level 2) oraz rozwijanie ich w kierunku zastosowań eksploatacyjnych jako cyfrowego bliźniaka.

METODY GEODEZYJNEGO MONITOROWANIA OBIEKTÓW HYDROTECHNICZNYCH ORAZ INTERPRETACJA WYNIKÓW OBSERWACJI

Adrian Pilecki

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy,
Centrum Technicznej Kontroli Zapór

Kontakt: adrian.pilecki@imgw.pl

Geodezyjne monitorowanie obiektów hydrotechnicznych, czyli wyznaczanie przemieszczeń, definiuje się jako okresowe badania zmian położenia sieci punktów reprezentujących badany obiekt w stosunku do przyjętego układu odniesienia. Układ ten reprezentują najczęściej punkty położone poza hipotetyczną strefą oddziaływania obiektu.

Przemieszczenia wyznaczone w układzie odniesienia zidentyfikowanym jako stały określa się mianem przemieszczeń bezwzględnych.

Przemieszczenia wyznaczone w układzie o niekontrolowanej stałości (związanym najczęściej z obiektem) są definiowane jako przemieszczenia względne.

Pełna interpretacja zachowania się badanego obiektu powinna opierać się na wartościach przemieszczeń bezwzględnych.

Przemieszczenia są, obok zjawisk filtracyjnych, podstawowymi informacjami, jakie analizuje się i uwzględnia w procesie interpretacji i w ocenach stanu technicznego obiektów hydrotechnicznych.

Do wyznaczania przemieszczeń bezwzględnych wykorzystuje się najczęściej metody geodezyjne, które obejmują pomiary długości, kątów poziomych i pionowych, przewyższeń itp., wiążąc liczną sieć punktów kontrolowanych z punktami odniesienia. Dokładność wyznaczania przemieszczeń zależy od precyzji pomiarów, programu obserwacji oraz kształtu geometrycznego sieci i jej nasycenia potencjalnymi punktami odniesienia. Z powodów technologicznych pomiary przemieszczeń pionowych (ΔZ) wykonywane są niezależnie od pomiarów przemieszczeń w płaszczyźnie poziomej (ΔX , ΔY).

Ruchy pionowe obiektu wyznacza się porównując wyniki okresowych pomiarów przewyższeń w sieciach niwelacyjnych, obejmujących swym zasięgiem

repery odniesienia i repery kontrolowane. Najczęściej stosowaną metodą pomiarową jest geometryczna niwelacja precyzyjna.

Przemieszczenia poziome wyznacza się na podstawie okresowych pomiarów kątowych lub kątoowo-liniowych w sieciach składających się z punktów odniesienia (to najczęściej stanowiska obserwacyjne rozmieszczone w otoczeniu obiektu) oraz punktów kontrolowanych zastabilizowanych na budowli.

Pomiary magnetycznego reperu wglębnego (MRW) i magnetycznego piezoreperu wglębnego (MPRW) umożliwiają (po nawiązaniu niwelacyjnym do zewnętrznej sieci reperów) określenie osiadania podłoża i poszczególnych warstw gruntu korpusu w zaporach ziemnych podczas budowy i eksploatacji.

Do pomiaru przemieszczeń wzajemnych elementów budowli stosuje się szczylinomierze, do pomiaru przechyleń – wahadła, pochyłomierze (klinometry) i inklinometry.

Obok zjawisk filtracyjnych przemieszczenia są podstawowymi informacjami, jakie analizuje się i uwzględnia w procesie interpretacji i w ocenach stanu technicznego obiektów hydrotechnicznych.

Istotnym parametrem charakteryzującym poszczególne cykle pomiarowe jest średni błąd pomiaru (błąd pomiaru niwelacyjnego na jedno stanowisko niwelatora lub średni błąd pomiaru kątów, kierunków i długości). W trakcie interpretacji wyników pomiarów istotne jest porównanie wyznaczonych wielkości z dokładnością ich wyznaczenia.

Wyniki geodezyjnych pomiarów przemieszczeń powinny być jak najdokładniejsze, więc do tego typu prac geodezyjnych należy wykorzystywać wysokiej klasy instrumenty geodezyjne i stosować nowoczesne technologie pomiarów i obliczeń. Współczesne rozwiązania pozwalają na automatyzację pomiaru z rejestracją jego wyników, a także na budowę systemów wstępnie kontrolujących prawidłowość danych pomiarowych i umożliwiających transmisję danych w celu ich dalszej obróbki. Wyniki pomiarów, zarówno przemieszczeń bezwzględnych, jak i względnych, powinny być archiwizowane w bazach danych dostępnych dla zainteresowanych (osób, instytucji).

PRZYRZĄD PRZEZNACZONY DO POMIARU GRUBOŚCI MIĘKKIEGO OSADU DENNEGO W ZBIORNIKACH WODNYCH

Andrzej Wolak

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: andrzej.wolak@pk.edu.pl

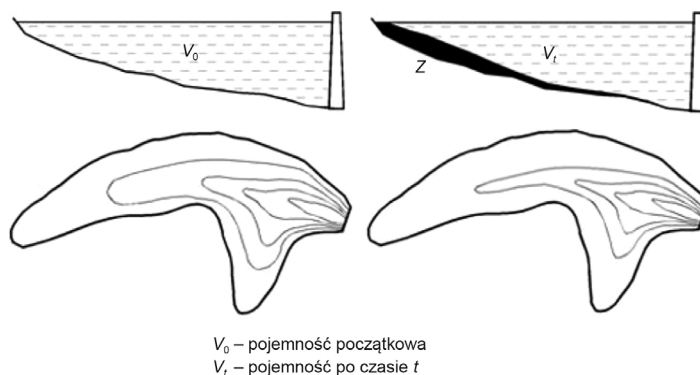
Stopniowe zamulanie i zmniejszanie się pojemności użytkowej zbiorników wodnych różnych wielkości jest znanym problemem w ich eksploatacji. Niektóre zbiorniki wielozadaniowe mogą utracić po kilkunastu latach znaczną część (nawet ponad 20%) swojej początkowej pojemności. Problemy związane z modelowaniem i prognozowaniem tego zjawiska są znane, nie do końca rozwiązane. Jedną z podstawowych kwestii jest wiarygodne ustalenie grubości osadów naniesionych do zbiornika wodnego.

Osady mogą być różne, o zróżnicowanej gęstości; od nieznacznie większej od gęstości wody, do w zasadzie twardego, zbitego materiału. Rozkład tych osadów w zbiorniku jest w dodatku niejednorodny. W szczególności strefy płytkie, w cofkowej jego części są zwykle pokrywane osadami w znacznie większym stopniu niż strefy głębokie, w pobliżu samego obiektu piętrzącego. W tych strefach głębokich całkowita ilość osadu może nie być w ogóle znacząca w porównaniu z ilością osadów zgromadzonych w strefach płytkich.

Szacowanie całkowitej ilości zgromadzonych osadów w zbiornikach prowadzone było wielokrotnie, na różnych obiektach. Można podzielić je na dwie zasadnicze grupy:

1. Metody obliczeniowe, polegające na wyznaczeniu kształtu czaszy zbiornika przed jej zalaniem na podstawie historycznych map, wyznaczenie kształtu na podstawie pomiarów hydrometrycznych po pewnym czasie jego eksploatacji, a następnie wykonanie mapy różnicowej, pokazującej gdzie nastąpiło zwiększenie masy osadów. Na tej podstawie szacuje się samą ich ilość.
2. Metody pośrednie, polegające na pomiarze czasu powrotu echa odbijającej się od dna zbiornika wiązki dźwiękowej, z zastosowaniem przyrządu zwanego echosondą. Różne częstotliwości emitowanego dźwięku odbijają się

od materiału o różnej gęstości – niskie częstotliwości, np. ok. 50 kHz, tzw. penetrujące, odbijają się od warstw gęstych zbitych, natomiast wysokie częstotliwości, np. 200 kHz, odbijają się od pierwszego kontaktu, czyli są odpowiednie dla pomiaru bardzo luźnego materiału.



Rys. 1. Szacowana objętość osadów Z jako różnica pojemności $V_0 - V_t$



Fot. 1. Aparatura do pomiarów batymetrycznych: a) głowica echosondy przy burcie łodzi, b) łódź – kuter pomiarowy, c) jednostka formatująca echosondy. Zestaw wykorzystywany do pomiarów na zbiorniku Goczałkowice w 2014 roku

Obie te grupy mają jednak zasadniczą wadę: konieczność kalibracji wyników, czyli ustalenia, jaka jest rzeczywista grubość osadu miękkiego (np. pomiędzy stosowanymi częstotliwościami pomiaru echosondą).

Dotychczas to zwykle zespoły nurków pracowały na dnie i pobierały ręcznie próbki osadów. Związane jest to niestety z wysokim kosztem prowadzenia tego rodzaju prac, bardzo małą liczbą miejsc poboru próbek do analizy oraz niebezpiecznym charakterem takiej pracy.

Drugim sposobem jest zastosowanie próbnika rurowego, np. typu KAJAK 100 cm i pobór nim osadów. Jednak próbniki tego rodzaju umożliwiają tylko pobór materiału o charakterze spoistym i nawet niewielka domieszka materiału ziarnistego uniemożliwia dokonanie pomiaru.

Ostatnim sposobem było pobieranie materiału z dna za pomocą koparki czerpakowej, co wiąże się z ograniczoną dostępnością zarówno maszyn, jak i miejsc poboru, poważnym naruszeniem naturalnego układu warstw próbek (pomieszanie, łącznie z osadem twardym) oraz bardzo wysokim kosztem takich robót (podobnie jak w przypadku nurków).

W celu optymalizacji pomiarów w naszym Instytucie skonstruowano oryginalny przyrząd pomiarowy, umożliwiający wiarygodne i łatwe ustalenie grubości osadu miękkiego.

Podstawowe parametry użytkowe przyrządu:

- maksymalna testowana głębokość wody: 10 m,
- maksymalna grubość osadów do 1 m (z możliwością zwiększenia w miarę potrzeby),
- maksymalny czas trwania pomiarów (warunkowany pojemnością zespołu baterii) do 8 h pracy.

Obecnie trwają prace związane z zastosowaniem przyrządu w różnych warunkach oraz z możliwym jego wykorzystaniem do innych celów, np. ustalania wielkości ziaren tworzących materiał denny bez konieczności jego ekstrakcji.

KALIBRACJA JEDNOWYMIAROWEGO MODELU SIECI KANALIZACYJNEJ W OPARCIU O STANDARDY CIWEM NA PRZYKŁADZIE MODELU NEWPORT (RHODE ISLAND, USA)

Przemysław Powroźnik

Jacobs

Miasto Newport położone jest na wyspie Aquidneck w stanie Rhode Island, na wschodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych. Pokrywa ono powierzchnię 30 km², a jego populacja wynosi ok. 25 000 osób. Newport charakteryzuje się m.in. sezonową turystyką, która kształtuje zróżnicowane w ciągu roku obciążenie sieci kanalizacyjnej oraz obecnością ośrodków wojskowych, co utrudnia dostęp do niektórych danych. Ścieki bytowe wraz z częścią wód opadowych odprowadzane są przez system kanalizacji ogólnospławnej, na który składa się ok. 2000 przewodów grawitacyjnych, 160 przewodów tłocznych, 19 przepompowni oraz oczyszczalnia ścieków, która podczas suchej pogody oczyszcza 30 000 m³ ścieków dziennie.

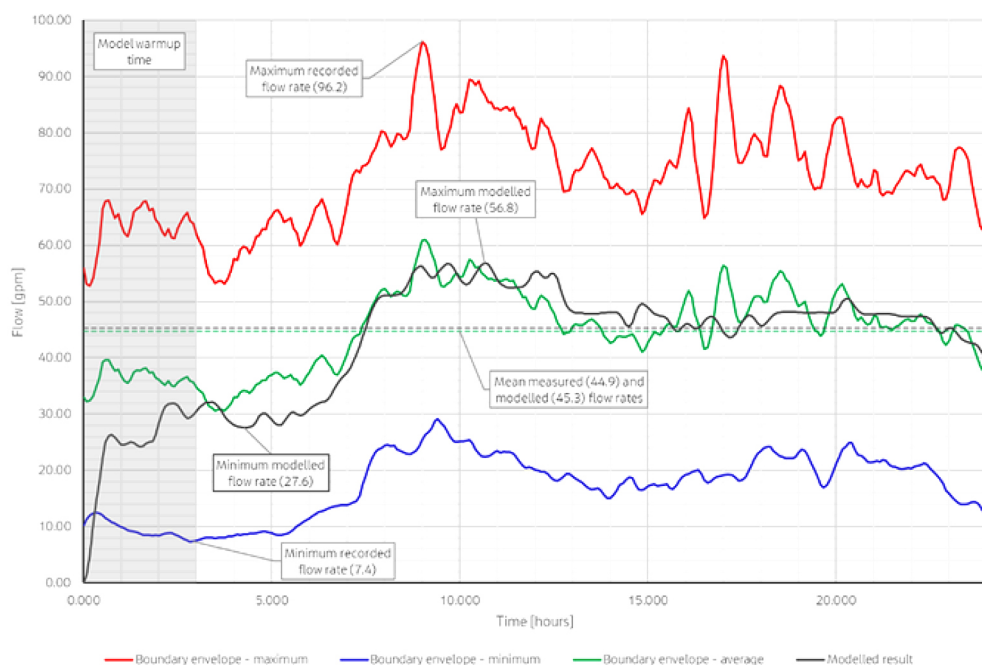
Jacobs (a wcześniej CH2M Hill) od lat współpracuje z miastem, zarządzając CSO LTCP (ang. *Combined Sewer Overflow Long-Term Control Plan*) – długofalowym programem, mającym na celu zmniejszenie rocznych objętości nieoczyszczonych ścieków zrzucanych do zatoki w wyniku przeciążenia systemu kanalizacyjnego. Głównym narzędziem wspierającym decyzje w ramach tego programu jest hydrauliczny model sieci kanalizacyjnej zbudowany w środowisku DHI MIKE.

W 2024 roku podjęto decyzję o aktualizacji i rekaliibracji modelu. Przeniesiono go z przestarzałego i wycofywanego z użytkowania oprogramowania MIKE Urban do nowego środowiska MIKE+. Parametry sieci kanalizacyjnej zaktualizowano na podstawie nowo dostępnej bazy danych. Rekaliibrację modelu oparto na serii pomiarów przepływu w sieci przeprowadzonej latem 2024 roku w 14 punktach pomiarowych. Decyzja o aktualizacji modelu była dodatkowo podyktowana planowaną modernizacją największej pompowni w systemie, która miała znacząco obniżyć objętość zrzutów nieoczyszczonych wód do zatoki. Głównym celem prac było wsparcie cyklicznego raportu wynikami symulacji hydraulicznych, które

dowodzą, że miasto Newport realizuje wyznaczone cele redukcji objętości zrzutów nieoczyszczonych wód do zatoki.

Kalibrację modelu oparto na metodyce CIWEM UDG (ang. *Chartered Institution of Water and Environmental Management, Urban Drainage Group*) – międzynarodowej organizacji zrzeszającej profesjonalistów i naukowców związanych z branżą wodną. CIWEM skupia swoją działalność na Wyspach Brytyjskich, gdzie jest jedną z wiodących instytucji wyznaczających standardy opracowań technicznych.

Kalibracja modelu na pogodę bezdeszczową bazuje na tzw. *Boundary Envelopes* (rys. 1). Są to statystycznie wyznaczone profile maksymalnego i minimalnego obserwowanego natężenia przepływu w ciągu dnia, pomiędzy którymi powinien znaleźć się wynik symulacji hydraulicznej.



Rys. 1. Przykładowy efekt kalibracji modelu na pogodę bezdeszczową

W kalibracji modelu na pogodę mokrą skupiono się na trzech największych zdarzeniach opadowych w okresie pomiarowym. Całkowite sumy opadów wynosiły od 30 do 96 mm a maksymalne natężenia od 25 do 67 mm/h. Model hydrauliczny kalibrowano poprzez dopasowanie parametrów zlewni, które z wykorzystaniem modelu NAM (duń. *Nedbør-Afstrømnings-Model*) opisują proces

transformacji opadu w odpływ. Podczas oceny wyników modelowania kierowano się szeregiem parametrów opisujących zdolność modelu do odtworzenia warunków przepływu w sieci, takich jak maksymalne natężenie przepływu i czas jego wystąpienia, całkowita objętość i kształt hydrogramu oraz współczynnik efektywności Nasha-Sutcliffe'a.

Dla trzech wybranych zdarzeń opadowych, w kluczowym punkcie na sieci uzyskano dopasowanie natężenia przepływu maksymalnego od -5 do -11% i dopasowanie objętości hydrogramu od -1% do $+6\%$. W trakcie jednego z powyższych zdarzeń opadowych doszło do przeciążenia sieci i zrzutu nieoczyszczonych wód do zatoki. Model poprawnie odzwierciedla to zjawisko, ale zaniża maksymalne natężenie przepływu podczas zrzutu o 17% ($4000 \text{ m}^3/\text{dzień}$).

Biorąc pod uwagę szereg wyzwań napotkanych podczas kalibracji modelu, które zostaną szczegółowo omówione podczas referatu, wynik ten został uznany za najlepszy możliwy do uzyskania przy obecnie dostępnych danych.

ZASTOSOWANIE TELEDETEKCJI W MONITORINGU OBIEKTÓW HYDROTECHNICZNYCH W CTKZ

Dagmara Wziątek, Tomasz Ryfa, Maciej Kuzioła

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy,
Centrum Technicznej Kontroli Zapór

Kontakt: dagmara.wziatek@imgw.pl

Monitoring stanu technicznego i bezpieczeństwa wałów przeciwpowodziowych oraz budowli piętrzących wodę stanowi jedno z podstawowych zadań Centrum Technicznej Kontroli Zapór (TKZ) IMGW-PIB. Od ponad 60 lat ocena stanu tych obiektów prowadzona jest z wykorzystaniem metod geofizycznych, geotechnicznych i geodezyjnych. W 2016 roku zakres badań rozszerzono o techniki teledetekcyjne, obejmujące lotniczy skaning laserowy (LiDAR) oraz zobrażenia optyczne. Analiza numerycznych modeli terenu oraz produktów ich przetworzeń umożliwia precyzyjną identyfikację anomalii morfologicznych, uszkodzeń korpusu wałów i zapór. Dzięki cyklicznemu prowadzeniu badań, realizowanych dla obwałowań w odstępach pięcioletnich, możliwa jest również ocena aktywności procesów erozyjnych, obejmująca określenie kierunku i wielkości przemieszczeń powierzchni terenu.

Badania nad metodyką analizy danych wykazały wysoką przydatność narzędzi GIS wykorzystywanych dotychczas głównie w analizach archeologicznych do detekcji subtelnych form terenowych związanych z degradacją obiektów hydrotechnicznych. Równolegle podjęto prace nad parametryzacją uszkodzeń z uwzględnieniem ich genezy oraz automatyzacją procesu ich identyfikacji. W 2025 roku program monitoringu wzbogacono o zobrażenia w kompozycji CIR (ang. *Color Infrared*), które umożliwiają ocenę oddarnienia, stanowiącego istotny wskaźnik uszkodzenia wałów przeciwpowodziowych. Integracja danych LiDAR i zobrażeń wielospektralnych stwarza nowe możliwości kompleksowej oceny stanu obiektów hydrotechnicznych, wspierając proces wczesnego wykrywania zagrożeń oraz planowania działań utrzymaniowych i remontowych.

TERMOMONITORING PRZECIEKÓW ORAZ EROZJI WEWNĘTRZNEJ ZAPÓR ZIEMNYCH I WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH

Krzysztof Radzicki

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: krzysiek.radzicki@gmail.com

Metoda termiczna jest rekomendowana przez Międzynarodową Komisję ds. Wielkich Zapór (skrót ang. ICOLD) jako narzędzie do wykrywania przecieków oraz erozji wewnętrznej w ziemnych budowlach piętrzących. Polska myśl techniczna odegrała istotną rolę w rozwoju tej metody. Wielopunktowy Czujnik Termiczny (MPointS) oraz rozwinięcie metody przekrojowego modelowania termohydraulicznego z zastosowaniem analizy wstecz należą do rozwiązań o uznanej, potwierdzonej wdrożeniami i publikacjami międzynarodowymi, pozycji w świecie.

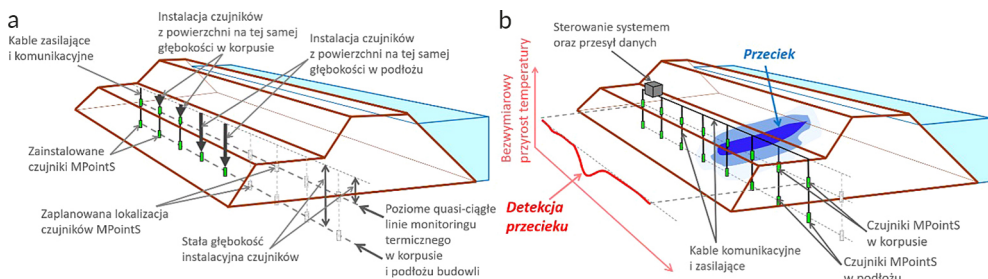
Znaczna część zapór ziemnych, wałów przeciwpowodziowych i wałów kanałów w Polsce i na świecie ma po kilkadziesiąt lat, a nasilona filtracja i powiązana z nią erozja wewnętrzna pozostają jedną z najczęstszych przyczyn awarii i katastrof takich obiektów. Wczesna i dokładna detekcja tych procesów pozwala nie tylko ograniczyć ryzyko, ale też zoptymalizować zakres i koszty remontów, unikając napraw wykonywanych „na wyrast”.

Metoda termiczna wykorzystuje sprzężony transport ciepła i wody w gruncie. W strefach nasilonej filtracji przepływająca woda transportuje ciepło (adwekcja), co powoduje charakterystyczne anomalie pola temperatury na tle otoczenia. W trybie aktywnym stosuje się czujnik zintegrowany z mikrogrzałką. Im większa prędkość filtracji, tym mniejszy przyrost temperatury podczas ogrzewania. Tryb aktywny umożliwia też szybkie określanie prędkości filtracji in situ w gruncie.

Przez dziesięciolecia jedynym czujnikiem liniowym umożliwiającym ciągły monitoring wzdłuż budowli był kabel światłowodowy. Jest to rozwiązanie efektywne przy budowie nowych obiektów, natomiast jego instalacja na obiektach istniejących – w wykopie lub pługiem kablowym – wiąże się z rozluźnieniem gruntu, które może samo stać się uprzywilejowaną drogą filtracji, a także z istotnymi kosztami. Ograniczenie to zniósła opracowana w Polsce technologia pasywno-

-aktywnego MPointS, wdrożona po raz pierwszy na świecie aplikacja w 2014 roku na istniejącej zaporze ziemnej Kozłowa Góra. Była to jednocześnie pierwsza w Polsce instalacja termomonitoringu procesów filtracyjno-erozyjnych.

Pojedyncze sensory MPointS wbija się bezwykopowo, pionowo z powierzchni, z rozstawem dobieranym indywidualnie do obiektu, tak by uzyskać quasi-ciągłą linię pomiarową. Kluczową zaletą jest brak rozluźnień gruntu powstających przy instalacji, możliwość zastosowania na dużych głębokościach bez użycia ciężkiego sprzętu oraz łatwość zastąpienia uszkodzonego sensora nowym. System najczęściej tworzą dwie linie (lub więcej) czujników na różnych głębokościach, zwykle w stopie powietrznej budowli, co pozwala na wczesne wykrycie procesów erozyjnych rozwijających się właśnie od tej strefy.



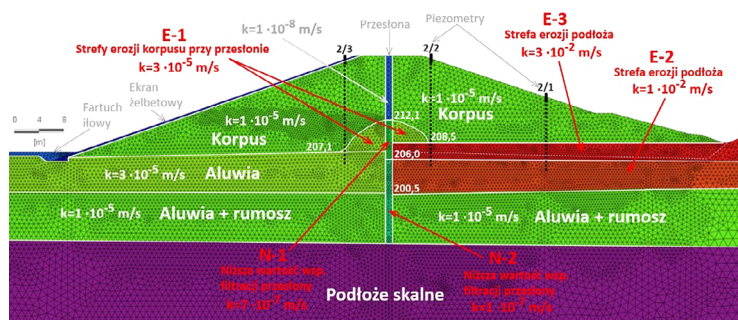
Rys. 1. Schemat instalacji systemu MPointS z dwoma liniami czujników (a) oraz jego zastosowania do quasi-liniowego monitorowania przecieków w korpusie i podłożu ziemnej budowli piętrzącej (b)

Skuteczność MPointS potwierdziły kolejne wdrożenia referencyjne. W 2014 roku na zaporze Kozłowa Góra (woj. śląskie), gdzie pojedyncza linia czujników na głębokości 2,5 m pozwoliła zidentyfikować dwie strefy nasilonej filtracji na odcinku prawobrzeżnym zapory. W 2017 roku na wale przeciwpowodziowym Wisły w Wawrzeńczycach – pierwszym w Polsce systemie termomonitoringu na wale, gdzie podczas wezbrania w 2019 roku wykryto strefę przecieku w podłożu i określono jej prędkość filtracji oraz w 2020 roku na wale Kanału Elbląskiego przy słuzie Całuny. Technologię zastosowano również za granicą – do monitoringu wału morskiego w Holandii (2018) oraz jednej z największych zapór ziemnych Europy Środkowej na Ukrainie (2021) – do wykrywania rozwoju tuneli erozyjnych w podłożu.

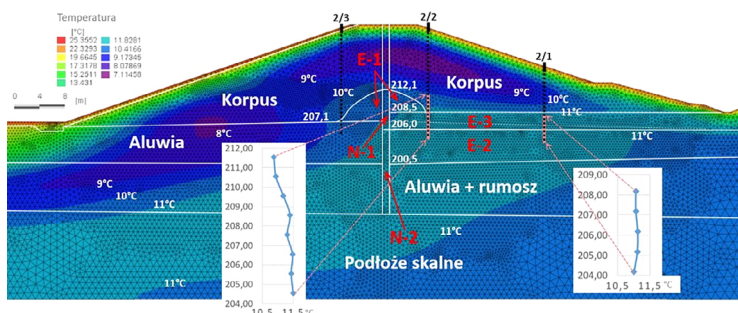
Drugim omawianym narzędziem jest przekrojowe modelowanie numeryczne termohydrauliczne z wykorzystaniem metody analizy wstecz. Kalibracja modeli filtracji wyłącznie na podstawie pomiarów piezometrycznych bywa niejednoznaczna, ponieważ różne warianty geologiczne mogą dawać zbliżony rozkład

zwierciadła wody, uniemożliwiając wskazanie wariantu rzeczywistego. Wykorzystanie pola temperatury jako dodatkowego wskaźnika, ze względu na jego dużą czułość na lokalne zmiany prędkości filtracji, pozwala istotnie zwiększyć wiarygodność kalibracji modelu hydrogeologicznego, w tym dokładną lokalizację nieszczelności elementów szczelnych oraz stref erozji wewnętrznej.

Zastosowanie tej metody na przekroju zapory ziemnej Chańcza (woj. świętokrzyskie) pozwoliło – po zainstalowaniu czujników profili temperatury i ciśnienia w piezometrach oraz wykonaniu wieloiteracyjnej kalibracji modelu MES – zidentyfikować rozległą strefę obniżonego współczynnika filtracji o prawdopodobnie sufozyjnej genezie, z rozróżnieniem dwóch podstref o różnych parametrach, których wykrycie nie byłoby możliwe przy kalibracji opartej wyłącznie na polu hydraulicznym. Metodę zastosowano również do analizy zapory Kozłowa Góra oraz jednej z dużych zapór ziemnych na Ukrainie, w obu przypadkach potwierdzając obecność stref erozyjnych.



Rys. 2. Rozkład skalibrowanego układu wartości współczynnika filtracji w modelowanym przekroju z interpretacją procesów



Rys. 3. Pole temperatury w modelowanym przekroju w porównaniu do wartości pionowych profili temperatury zmierzonych w piezometrach dla tej samej chwili czasowej w dniu 02.07.2022

Podsumowując, rozwinięte w Polsce narzędzia – MPointS oraz termohydrauliczne modelowanie numeryczne – uzupełniają istotne luki w dotychczasowej metodyce badania procesów filtracyjno-erozyjnych, umożliwiając zarówno bezpieczną instalację monitoringu na obiektach istniejących, jak i wiarygodną, ilościową ocenę stanu budowli na etapie projektowania remontu.

MODEL HYDRODYNAMICZNY ZBIORNIKA WŁOCŁAWSKIEGO

Magdalena Tutro, Paweł Hachaj

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: magdalena.tutro@pk.edu.pl

Zbiornik Włocławski, o powierzchni 75 km² i długości ok. 57 km, jest pod względem powierzchni największym zbiornikiem zaporowym w Polsce. Mimo strategicznego znaczenia dla krajowej gospodarki wodnej i energetycznej obiekt ten nie posiadał dotąd dwuwymiarowego modelu hydrodynamicznego skalibrowanego na rzeczywistych danych terenowych. Dotychczasowe podejścia opierały się na modelach jednowymiarowych lub uśrednionych wartościach prędkości, bez uwzględnienia wpływu warunków meteorologicznych. Niniejsza praca wypełnia tę lukę, prezentując opracowanie, kalibrację i walidację dwuwymiarowego modelu hydrodynamicznego zbiornika.

Model numeryczny zbudowano w programie SMS (ang. *Surface Modeling System*), używając modelu hydraulicznego ADH opracowanego przez USACE ERDC. Model rozwiązuje równania przepływu płytkiej wody (fr. *Saint-Venant*) metodą elementów skończonych. Siatka obliczeniowa jest automatycznie zagęszczana tam, gdzie prędkość wody zmienia się gwałtownie.

Geometrię zbiornika odtworzono na podstawie pomiarów batymetrycznych z 2012 roku, wykonanych echosondą jednowiązkową Teledyne ODOM EA440 z precyzyjnym odbiornikiem GPS Trimble 5800. Warunki brzegowe modelu ustalono na podstawie danych hydrologicznych z posterunku wodowskazowego Kępa Polska (IMGW-PIB) oraz rzędnych piętrzenia wody na zaporze we Włocławku.

Kalibrację modelu oparto na pomiarach wykonanych przepływomierzem akustycznym ADCP, zebranych w ośmiu sesjach pomiarowych w latach 2003–2005 (łącznie 208 pionów pomiarowych). Pomiary obejmowały szeroki zakres warunków hydrologicznych – od niskich przepływów niżówkowych (240 m³/s) po wysokie przepływy wezbraniowe (2320 m³/s).

Kalibrację przeprowadzono w trzech etapach:

1. Kalibracja podstawowa – dobrano optymalny współczynnik szorstkości dna (współczynnik Manninga) i skorygowano natężenie przepływu, bez uwzględnienia wpływu wiatru.
2. Kalibracja z uwzględnieniem wiatru – wprowadzono przestrzennie zmienne pole wiatru (program WindNinja, dane IMGW-PIB) i obliczono jego oddziaływanie na powierzchnię wody metodą naprężeń wiatrowych Teetera.
3. Symulacje podlodowe – zbadano wrażliwość modelu na parametry pokrywy lodowej (grubość i szorstkość lodu).

Zgodność wyników modelu z pomiarami oceniano za pomocą trzech wskaźników błędu prędkości przepływu: ME, MAE i RMSE.

Istotnym wyzwaniem metodycznym okazała się niepewność wartości natężenia przepływu wyznaczanych metodą krzywej konsumpcyjnej, która wykazywała systematyczne niedoszacowanie przepływów. Wymagało to wprowadzenia korekt Q w zakresie od -10% do $+40\%$, zależnie od serii. Wyniki kalibracji podstawowej zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

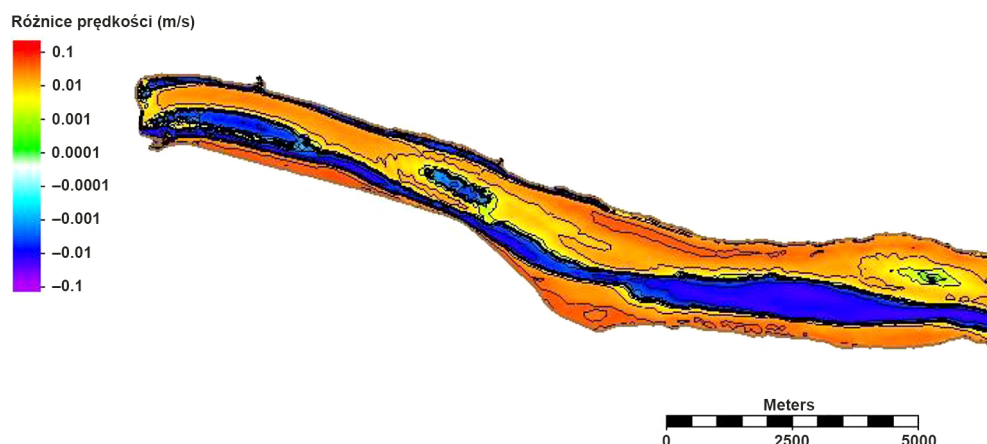
Wyniki kalibracji podstawowej modelu AdH dla ośmiu serii pomiarowych ADCP

Seria	Q [m ³ /s]	Kor. Q [%]	n [s · m ^{-1/3}]	ME [m/s]	MAE [m/s]	RMSE [m/s]
S1	380	+20	0,035	-0,016	0,033	0,043
S2	520	+15	0,040	-0,005	0,033	0,052
S3	2320	0	0,030	+0,046	0,082	0,152
S4	240	+20	0,035	-0,019	0,030	0,039
S5	820	+5	0,030	-0,012	0,024	0,040
S6	450	-10	0,040	-0,007	0,022	0,036
S7	270	+40	0,045	-0,004	0,015	0,022
S8	420	+5	0,035	-0,016	0,033	0,047
Wartości uśrednione		+11,875	0,036	-0,004	0,032	0,054

Uwzględnienie wiatru w kalibracji rozszerzonej wyraźnie poprawiło wyniki: średni błąd RMSE prędkości spadł z ok. 0,054 m/s do 0,038 m/s, a wymagane korekty przepływu zmniejszyły się średnio o ok. 3,75 punktu procentowego. Wpływ wiatru był szczególnie widoczny w jeziornej części zbiornika (rejon zapory), gdzie niskie prędkości przepływu są silniej zakłócane przez naprężenia wywołane wiatrem (rys. 1). Symulacje podlodowe wykazały, że pokrywa lodowa istotnie modyfikuje profil prędkości – zmniejsza przekrój czynny przepływu

i generuje dodatkowe naprężenia ścinające na granicy woda-lód. Prowadzi to do przegrupowania stref przepływu w stosunku do warunków swobodnego lustra wody.

Opracowany model stanowi pierwsze dwuwymiarowe narzędzie hydrodynamiczne dla Zbiornika Włocławskiego skalibrowane na rzeczywistych danych ADCP. Metodyka łącząca pomiary profilometryczne z modelem 2D, uwzględniającym meteorologię i zjawiska lodowe w jednym środowisku obliczeniowym, może być replikowana dla kolejnych stopni planowanej Kaskady Dolnej Wisły, w tym rozważanego stopnia Siarzewo. Skalibrowany model umożliwia prowadzenie symulacji scenariuszowych obejmujących różne reżimy przepływu oraz warunki atmosferyczne, stanowiąc narzędzie wspomagania decyzji w zarządzaniu Zbiornikiem Włocławskim.



Rys. 1. Różnica prędkości przepływu: symulacja z wiatrem minus symulacja bez wiatru ($Q = 240 \text{ m}^3/\text{s}$, $v = 5,5 \text{ m/s}$, kierunek NW) – strefa jeziorna Zbiornika Włocławskiego. Przy wartościach dodatnich wiatr przyspiesza przepływ, przy ujemnych – spowalnia

16:10–16:50	SESJA POSTEROWA
	ABSTRAKTY POSTERÓW

NIEDOSTATEK WODY OPADOWEJ W DORZECZU GÓRNEJ WISŁY W LATACH 2001–2023

Marta Cebulka, Piotr Rybiński

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: piotr.rybinski@student.pk.edu.pl

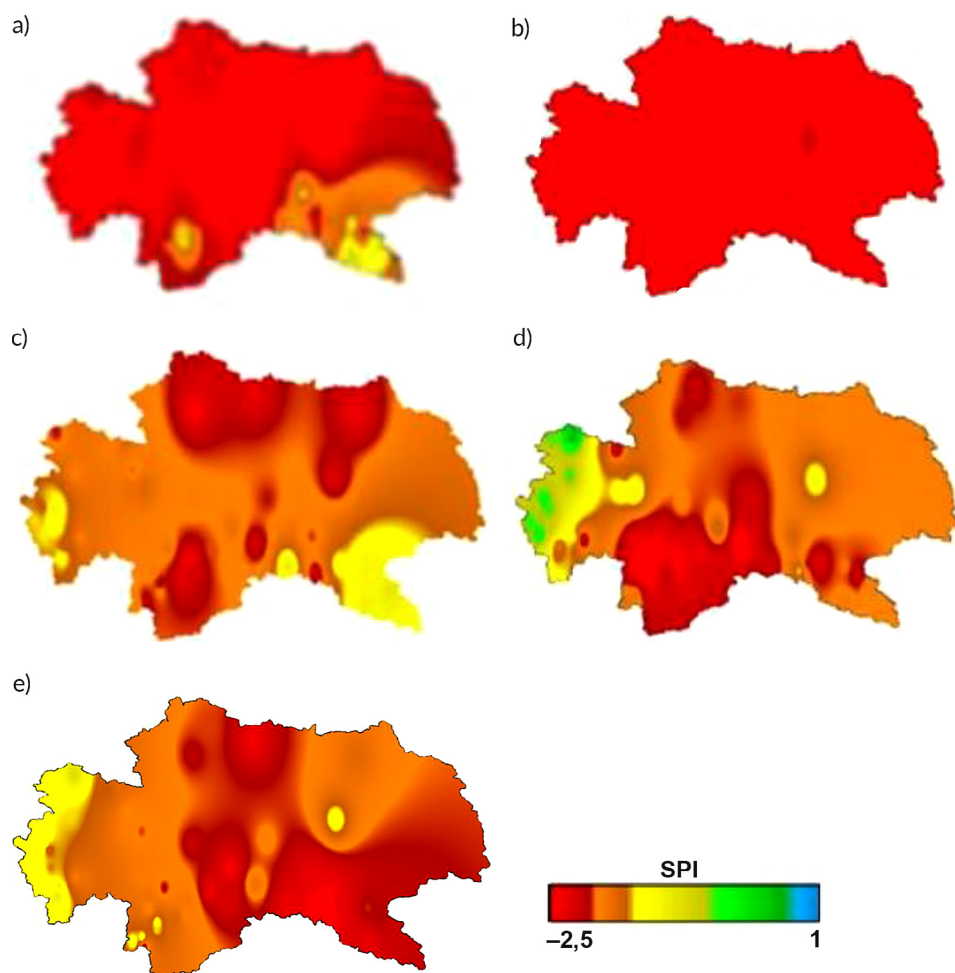
Susza jest jednym z najpoważniejszych problemów współczesnego świata, negatywnie wpływającym zarówno na ekosystemy, jak i życie ludzi. Zjawisko to charakteryzuje się długotrwałym okresem niewystarczających opadów atmosferycznych lub ich ilością znacznie niższą od średniej wieloletniej.

W pracy dokonano oceny okresów z deficytem opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej Wisły poczynawszy od 2001 roku. W tym celu uwzględniono ogólnie stosowany wskaźnik standaryzowanego opadu (SPI). Podstawę stanowiły miesięczne i roczne sumy opadów atmosferycznych stacji meteorologicznych zlokalizowanych na obszarze badań. Kompletne dane z 50 stacji pozyskano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB). Dla każdej stacji, każdego miesiąca i roku zostały policzone wartości SPI, kwalifikując okres jako skrajnie suchy, bardzo suchy, suchy lub bez oznak suszy. Na podstawie tych obliczeń wykonano rozkłady przestrzenne wybranych okresów charakteryzujących się deficytem opadów atmosferycznych.

Wykonane rozkłady przestrzenne zostały opracowane w programie QGIS. Do stworzenia takich rozkładów uwzględniono współrzędne geograficzne wszystkich stacji, następnie wykorzystując funkcję programu QGIS opracowano rozkład przestrzenny w dorzeczu górnej Wisły dla danego okresu i wskaźnika SPI.

Na obszarze badań miesiącem skrajnie suchym, tj. dla którego wskaźnik $SPI \leq -2,0$, był listopad 2011 roku (rys. 1b). Ponadto duża liczba stacji – 37 z wartościami wskaźnika na poziomie skrajnie suchym wystąpiła również w kwietniu

2009 roku (rys. 1a). Natomiast w grudniu 2004, lipcu 2007 i marcu 2011 roku (rys. 1c) liczba stacji ze wskaźnikiem $SPI \leq -2,0$ przekroczyła 20. Zdecydowanie więcej dostrzeżono miesięcy bardzo suchych, tj. takich, dla których wartość SPI wynosi od $-2,0$ do $-1,5$. Blisko połowę obszaru badań sklasyfikowano jako bardzo suchy w grudniu 2004, w październiku 2005, we wrześniu 2011 (rys. 1d) oraz w maju 2022 roku (rys. 1e). Częstość wystąpienia miesięcy suchych, tj. o SPI od $-1,5$ do $-0,5$ na obszarze badań była największa. W okresie badań w każdym miesiącu dostrzeżono co najmniej 4 przypadki dla których dany miesiąc



Rys. 1. Rozkład okresów suchych o różnym nasileniu suszy według SPI w dorzeczu górnej Wisły: a) kwiecień 2009, b) listopad 2011, c) marzec 2011, d) wrzesień 2011, e) maj 2022

suchy wystąpił w co najmniej 20 stacjach, np. w styczniu 2002, 2006, 2009, 2011, 2014, 2016, 2017, 2018 i 2020. Stacje z największą liczbą miesięcy skrajnie suchych według SPI to Gorlice oraz Łabowa. Najczęściej miesiące skrajnie suche w analizowanym wieloleciu występowały w styczniu, kwietniu, czerwcu, lipcu, wrześniu oraz październiku, natomiast najrzadziej w marcu oraz maju. W latach 2011, 2013, 2015 występowanie miesięcy skrajnie suchych było największe, natomiast w latach 2012, 2014, 2016 najmniejsze. Lata, w których najczęściej występowały miesiące skrajnie suche to 2011, 2013 oraz 2015. Na uwagę zasługują też lata skrajnie suche, szczególnie 2003 i 2015, w których poniżej 10% stacji nie zanotowało deficytów opadów, a w 90% stacji lata te uznano za suche o różnym nasileniu suszy.

MODELOWANIE HYDRODYNAMICZNE W WARUNKACH NIEDOSTATKU DANYCH

Paweł S. Hachaj

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: pawel.hachaj@pk.edu.pl

Przy dwu- i trójwymiarowym modelowaniu hydrodynamicznym rzeczywistych obiektów infrastruktury hydrotechnicznej należy uwzględnić szereg czynników zewnętrznych, które z punktu widzenia modelu mogą być jego parametrami, warunkami brzegowymi bądź warunkami początkowymi. Konkretny czynnik może też być różnie interpretowany przez modele, np. dla jednego będąc parametrem, dla innego warunkiem. Niektóre modele mogą wymagać przyjęcia stałości danego czynnika, inne dopuszczać jego zmienność. Przykładowo przy modelowaniu przepływów w zbiornikach zaporowych należy uwzględnić:

- kształt czaszy zbiornika,
- poziom zwierciadła wody,
- wartości wydatku dopływów i odpływów zbiornika.

Ponadto, w zależności od konkretnych potrzeb, można brać pod uwagę takie czynniki jak:

- szorstkość czaszy zbiornika (i jej przestrzenna zmienność),
- parametry fizykochemiczne wody – gęstość, lepkość, zasolenie, natlenienie, temperatura (i ich zmienność w czasie i przestrzeni),
- lokalny opad i parowanie powierzchniowe,
- interakcja z wodami gruntowymi,
- kierunek i prędkość wiatru,
- obecność, grubość i szorstkość pokrywy lodowej,
- lokalne zakłócenia.

Wynikiem działania modelu hydrodynamicznego jest pole prędkości wody. W zależności od modelu może być ono dwu- bądź trójwymiarowe. Polu temu mogą towarzyszyć dodatkowe dane wyjściowe modelu, np. dotyczące temperatury wody, jej falowania itp.

Aby model był uznany za dający poprawne i wiarygodne wyniki, należy go skalibrować. Wskazane jest też przeprowadzenie walidacji. W przypadku kalibracji i walidacji numerycznych modeli hydrodynamicznych przepływu w zbiornikach zaporowych pojawiają się poważne trudności:

- niepewność interpretacyjna, zwłaszcza w przypadku modeli dwuwymiarowych, gdzie nie jest oczywiste jak uśrednione w planie prędkości modelowe przełożyć na prędkości rzeczywiste,
- niemożliwość pomierzenia dokładnych wartości wielkości fizycznych odpowiadających zmiennym wejściowym modelu dla całego rozpatrywanego obszaru, co prowadzi do sytuacji typu „śmieci na wejściu – śmieci na wyjściu”,
- nieznajomość prawdziwego pola prędkości w akwenu – przy bardzo niskich prędkościach wody, a także przy złożonym kształcie sztucznych zbiorników wodnych pomiary rzeczywistego pola prędkości są niezmiernie trudne,
- występowanie zjawisk nieliniowych, w tym zjawisk związanych z pamięcią fluwialną, które nie są odzwierciedlone w równaniach modeli.

We współczesnej fizyce badanie zjawisk przebiegających według schematu: *niepewne dane wejściowe* → *proces funkcjonujący jako „czarna skrzynka”* → *niepewne dane wyjściowe*, nie należy do rzadkości. Naturalnym krokiem wydaje się więc poszukiwanie odpowiednich pojęć oraz terminologii w tych obszarach nauki, które na co dzień zajmują się problemami tego typu. Możliwe jest przy tym wykorzystanie istniejących koncepcji z zachowaniem ich ogólnego znaczenia, z jednoczesnym dostosowaniem szczegółów do specyfiki nowej dziedziny zastosowania.

Dziedziną, w której niepewność i nieoznaczoność stanowią element fundamentalny jest mechanika kwantowa. Koncentruje się ona na opisie zjawisk zachodzących w mikroskali, których nie można wyjaśnić w ramach mechaniki klasycznej. Dysponuje więc aparatem pojęciowym szczególnie przydatnym do analizy procesów, w których kluczową rolę odgrywają probabilistyka oraz niepewność. Niektóre z używanych tam pojęć można zaadaptować, tak aby mogły zostać wykorzystane przy budowie modelu opisującego hydrodynamikę zbiorników retencyjnych.

Poniżej przedstawiono odpowiednie terminy wraz z ich interpretacją w kontekście hydrodynamiki przepływów o swobodnej powierzchni. Należy tu jednak wyraźnie zaznaczyć, że mają one charakter analogii, a nie ścisłych odpowiedników pojęć funkcjonujących w mechanice kwantowej.

- Stan obiektu: cała faktycznie dostępna wiedza na temat wartości zmiennych charakteryzujących obiekt.
- Obserwablą: zmienna przynależąca do stanu, której wartość jest znana.

- Parametr stanu: zmienna zewnętrzna wpływająca na stan, której wartość jest znana.
- Zmienna ukryta: cecha obiektu bądź jego otoczenia, której wartość nie jest znana.
- Funkcja stanu: odwzorowanie matematyczne obiektu; argumentami są parametry stanu, wartościami zbioru obserwabli z przypisanymi im prawdopodobieństwami zaistnienia.
- Przejście: zmiana stanu obiektu na skutek zmiany któregoś parametru stanu (przejście wymuszone) bądź którejś zmiennej ukrytej (przejście spontaniczne). Ciąg przejść ma charakter procesu Markowa (bez pamięci).

Dzięki zastosowaniu takiego przyporządkowania możliwe jest użycie istniejących modeli numerycznych do symulowania scenariuszy hydrodynamicznych, rozumianych tutaj jako ciągi kolejnych stanów hydrodynamicznych obiektu. Jest to wykonalne zarówno w perspektywie długo- jak i krótkookresowej w oparciu o dane rzeczywiste, które często mają charakter fragmentaryczny i/lub jakościowy (kategoryzacyjny). Niezależnie od ich rodzaju i przeznaczenia, scenariusze hydrodynamiczne są końcowym produktem opisywanej metodyki. Mogą one stanowić bazę dla kolejnych modeli – np. biochemicznych – które można uruchamiać oddzielnie dla kolejnych stanów konstytuujących dany scenariusz, z zachowaniem wyników obliczeń dla danego stanu jako punktu wyjścia dla stanu następującego bezpośrednio po nim. Istotne jest tu przeniesienie zasadniczej trudności modelowania w inne obszary. Przestaje nią być znalezienie uniwersalnego sposobu na odtworzenie zjawisk, a staje się nią zagadnienie właściwego rozbicia problemu na części składowe, które mogą być analizowane autonomicznie. To drugie jest zazwyczaj znacznie łatwiejsze.

Jak dotąd zaprezentowana metodyka została skutecznie zaimplementowana dla trzech Zbiorników zaporowych: Dobczyckiego (zbiornik górski), Goczałkowickiego (zbiornik nizinny ze zlewnią górską) oraz Włocławskiego (nizinny zbiornik rzeczny).

WOŁONTARIAT NAUKOWY JAKO DODATKOWE ŹRÓDŁO DANYCH DLA GOSPODARKI WODNEJ

Paweł S. Hachaj

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: pawel.hachaj@pk.edu.pl

Koncepcja *citizen science* – metody prowadzenia prac naukowych, w której profesjonalnym badaczom pomagają wolontariusze amatorzy – jest stosunkowo nowa. Po polsku nazywana ona bywa wolontariatem naukowym, choć częściej, nawet w opracowaniach polskich, używana jest nazwa angielska.

Choć sam koncept jest nowy, można go też uznać za pewnego rodzaju powrót do korzeni: dawni uczeni byli wszak amatorami. Zawodowym naukowcem nie był ani Newton, ani Franklin, ani też Darwin, a to tylko kilku najbardziej znanych uczonych.

Masowe uczestnictwo „profanów” w badaniach naukowych stało się możliwe dzięki postępowi technologicznemu w ostatnich dekadach. Dostęp do komputerów, systemów nawigacji satelitarnej czy przenośnych urządzeń do transferu danych jest obecnie powszechny. Pierwsze telefony z dostępem do internetu pojawiły się 1996 roku, system nawigacji GPS został udostępniony dla użytkowników cywilnych w maju 2000 roku. Spowodowało to otwarcie nowych horyzontów dla miłośników nauki, którzy mogli aktywnie włączyć się w badania prowadzone w dziedzinie, która ich interesowała, zamiast jedynie biernie czytać o jej rozwoju.

Pierwsze ogólnosiękatowe projekty angażujące ochotników w rozwój nauki to: *Seti@Home* (1999), *OpenStreetMap* (2004), *Galaxy Zoo* (2007) czy *iNaturalist* (2008). Zarówno te, jak i wiele innych lokalnych projektów pozwoliło wypracować właściwy *modus operandi* dla współpracy pomiędzy naukowcami, praktykami i wolontariuszami. Dzięki nim stało się też możliwe skuteczne mitygowanie ryzyka związanego z dopuszczeniem udziału amatorów do profesjonalnych prac. Wśród czynników ryzyka, które udało się zidentyfikować i ograniczyć do pomijalnego poziomu były m.in. niespójność dostarczanych danych, „wypalenie” uczestników czy sabotaż projektu przez wolontariuszy.

Prowadzone projekty wolontariatu naukowego wykazały istnienie licznej grupy amatorów skłonnych spędzać swój wolny czas pomagając nauce i/lub środowisku bez wynagrodzenia – dla własnej satysfakcji. Osobami takimi może kierować chęć przeżycia czegoś nowego (przygody), pożytecznego spędzenia wolnego czasu, poszerzenia swoich horyzontów, pokonania nudy, zdrowego współzawodnictwa itp.

Ze strony profesjonalnego badacza-praktyka niezbędne jest uświadomienie sobie tych motywacji przed rozpoczęciem prac. Już na etapie wczesnego planowania należy uwzględnić wolontariuszy jako jeden z zasobów takiego projektu. Jak przedstawiono na rys. 1, zasoby projektu badawczego można przypisać do jednej z trzech kategorii:

- zasoby materialne, których pozyskanie i/lub zużycie stanowi wydatek finansowy – koszt,
- zasoby materialne i niematerialne, których wykorzystanie wymaga czasu,
- zasoby intelektualne, takie jak: pomysł, innowacja, know-how, których użycie pozwala na zaoszczędzenie dwóch pierwszych typów zasobów.



Rys. 1. Zaangażowanie zasobów w realizację projektu

Inicjator projektu wykonywanego przede wszystkim własnymi siłami znajdzie się w pobliżu dolnej krawędzi trójkąta. Wykorzystanie pomysłu i pieniędzy będzie zapewne konieczne, jednak to własny czas jest zasobem, który w takim wypadku przeważa.

Z kolei planując prace, których dużą część stanowią zlecenia dla profesjonalistów, nie sposób uniknąć znaczącego wydatku pieniężnego. Przecież esencją wszelkiej działalności zawodowej jest odpłatność za wykonaną usługę. Zużycie

zasobów takich projektów znajdować się będzie na diagramie w pobliżu prawej krawędzi trójkąta.

Jeśli zaś zakładamy wykorzystanie *citizen science*, wtedy istotną rolę zaczyna odgrywać właściwy pomysł, by potencjalnych wolontariuszy przyciągnąć, a następnie utrzymać ich w projekcie. Należy przy tym przydzielać im takie zadania, które nie przekroczą możliwości pozytywnie nastawionych amatorów. Powoduje to alokację zasobów w pobliżu lewego boku trójkąta.

Przykładem zastosowania wolontariatu naukowego w inżynierii i gospodarce wodnej był projekt „Jakość Wody”, realizowany w Instytucie Inżynierii i Gospodarki Wodnej PK w latach 2013–2018. Wolontariusze zbierali dane obserwacyjne i pobierali próbki wody i osadu dla Zbiorników Dobczyce, Rożnów i Czorsztyn. Dane zebrane przez uczestników projektu okazały się bogate i niespodziewanie spójne. Możliwe było zatem uzyskanie dzięki nim dobrego obrazu dynamiki warstwy powierzchniowej zbiorników w dniu przeprowadzenia pomiarów. Również analiza pobranych przez uczestników próbek wody i osadu dostarczyła wartościowych danych będących podstawą późniejszych publikacji.

O odbiorze sesji badawczych przez samych wolontariuszy świadczą wpisy, jakie umieszczali oni po poszczególnych spotkaniach na portalu internetowym. Najczęściej pojawiające się w nich motywy to: radość z robienia czegoś nowego, a przy tym pomocnego; wrażenie zdobycia „nowego spojrzenia” na akweny; przyjemność czerpana ze spędzenia czasu w malowniczym miejscu; satysfakcja z pokonywania trudności; niepewność, czy sprostano się wyzwaniu.

Podsumowując, wykorzystanie wolontariatu jako dodatkowego źródła danych jest metodą generującą niskie koszty własne, a przy tym dostarczającą dobrej jakości danych. Główną przeszkodą w jej stosowaniu jest obecnie konieczność przełamania lodów – wykazania, że taka współpraca może być korzystna dla wszystkich zaangażowanych w nią stron. Okolice zbiorników zaporowych (ale także jezior i rzek!) będąc atrakcyjnymi celami dla turystów, stanowią bardzo dobre miejsca dla rozwoju wolontariatu naukowego. Podmiotami, dla których *citizen science* może być pomocny są choćby gminy i powiaty, na terenie których znajdują się akweny, jak również organa zarządzające i nadzorujące pracę obiektów hydrotechnicznych.

TRENDY HYDROKLIMATYCZNE W KONTEKŚCIE MIEJSKIM

Mariola Kędra

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: mariola.kedra@pk.edu.pl

Zmiany w warunkach klimatycznych i ich następstwa, w tym dłuższe okresy suszy i powodzi, wymagają stałego monitorowania sytuacji hydroklimatycznej. W kontekście tych zmian, szczególnie istotne są rzeki, których zasoby zapewniają bezpośrednie zaopatrzenie dużych skupisk ludności w wodę.

W pracy porównano warunki hydroklimatyczne dla rzeki wyżynnej i górskiej, z których woda pobierana jest do zaopatrzenia miasta Krakowa i sąsiednich gmin. Celem badań była ocena potencjalnych trendów w ciągach rocznych i miesięcznych: temperatur powietrza, sum opadu oraz natężenia przepływu w badanych zlewniach w okresie 50 lat (1971–2020). Do zbadania istnienia trendu monotonicznego zastosowano test Manna-Kendalla, ponieważ nie wymaga on spełnienia założenia o normalności rozkładu.

Zastosowano analizę trendów zarówno do danych oryginalnych, jak i sygnału pozostałego po oddzieleniu składowych oscylacyjnych metodą EMD (ang. *Empirical Mode Decomposition*). Otrzymane wyniki wskazują na tendencję wzrostową w ciągach rocznych temperatury powietrza i opadów, natomiast kontrastujące wyniki uzyskano dla natężenia przepływu rzeki wyżynnej (trend malejący) i rzeki górskiej (trend rosnący). Kierunek i intensywność wykrytych trendów dla ciągów z poszczególnych miesięcy roku zależy od konkretnego miesiąca.

ASSESSMENT OF BED PROTECTION EFFECTIVENESS IN REDUCING LOCAL SCOUR

Marta Kiraga¹, Věra Hubáčiková²

¹ Department of Hydrotechnics, Technology and Works Organization,
Institute of Civil Engineering, Warsaw University of Life Sciences – SGGW

² Department of Applied and Landscape Ecology, Faculty of AgriSciences,
Mendel University in Brno

Kontakt: marta_kiraga@sggw.edu.pl

The development of water management infrastructure requires the construction and modernization of hydraulic structures such as weirs and river training works. The introduction of such structures into river channels inevitably alters natural hydrodynamic flow conditions. As a consequence, flow concentration and increased velocity fluctuations occur in the downstream reach, intensifying erosion processes. Local scour holes may develop downstream of hydraulic structures, posing a significant threat to the stability and safe operation of the structure foundation (Fig. 1).

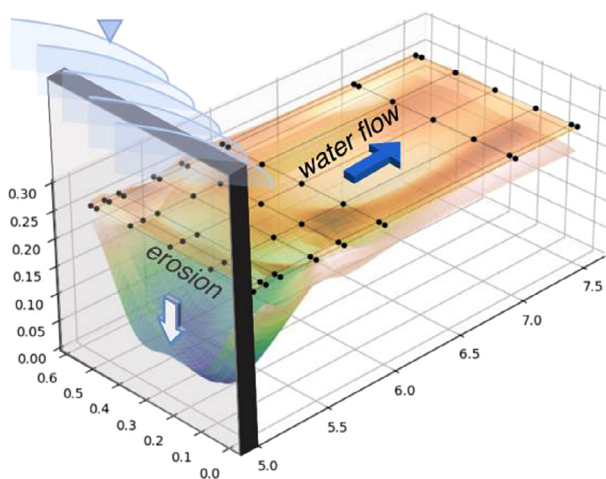


Fig. 1. Mechanism of local scour formation downstream of a weir

The aim of the study is to perform a quantitative and qualitative assessment of selected bed protection methods applied downstream of a weir in terms of their effectiveness in reducing local scour depth. The analysis is based on hydraulic laboratory investigations.

The experimental studies were conducted in the Prof. Armand Żbikowski Hydraulic Laboratory at the Warsaw University of Life Sciences (SGGW). The research program consisted of 55 measurement series carried out under controlled laboratory conditions. A rectangular flume with a width of $W = 0.58$ m operating in a closed-loop water circulation system was used. During the experiments, constant discharge and controlled flow depth were maintained under subcritical flow conditions corresponding to a Froude number $Fr < 1$. Each measurement series lasted from 8 to 10.5 hours, allowing the asymptotic equilibrium state of scour development to be reached. The primary measured parameter was the maximum local scour depth, recorded using a bed profiler.

For comparative purposes, the experiment was divided into two geometric-structural configurations. Variant I (Fig. 2) represented the reference case without downstream bed protection, allowing unrestricted development of erosion processes and local scour formation downstream of the weir. Variant II (Fig. 3) involved the application of riprap protection in the downstream reach in order to reduce erosion intensity through stabilization of the outflow zone. The comparison of both variants enabled the assessment of riprap effectiveness in limiting local scour development and bed morphology changes.



Fig. 2. Variant I – unprotected bed



Fig. 3. Variant II – downstream reach protected with riprap

The conducted studies demonstrated a significant influence of riprap protection on erosion processes downstream of the weir. In the unprotected configuration, intensive scour development and greater bed morphology dynamics were observed. The application of riprap reduced the maximum scour depth and stabilized the downstream flow zone. The results confirm that properly designed bed protection measures can effectively mitigate local scour processes and improve the operational safety of hydraulic structures.

ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA NARZĘDZIA NUMERYCZNEGO W WYMIAROWANIU BYSTRZA

Paweł Koliński¹, Leszek Lewicki², Marta Łapuszek²

¹ AECOM Polska Sp. z o.o.

² Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: marta.lapuszek@pk.edu.pl

Tradycyjne stopnie betonowe, dawniej powszechnie stosowane w celu stabilizacji dna cieku i ograniczenia procesów erozyjnych, pomimo swojej skuteczności konstrukcyjnej, powodują szereg niekorzystnych oddziaływań hydraulicznych, morfologicznych, a także ekologicznych związanych z utrzymaniem migracji organizmów wodnych w rzekach i potokach. Od wielu lat klasyczne stopnie betonowe spadowe zastępowane są bystrzami o zwiększonej szorstkości. Są to konstrukcje, które pod warunkiem odpowiedniego zaprojektowania i wykonania, mogą zapewnić utrzymanie wymaganego poziomu piętrzenia przy jednoczesnym zapewnieniu drogi migracji organizmom wodnym. Badania dotyczyły oceny przydatności modelowania numerycznego w analizie pracy hydraulicznej projektowanego bystrza. Porównano wyniki uzyskane metodą analityczną z wynikami modelowania dwuwymiarowego wykonanego w programie HEC-RAS. Analiza ta pozwoliła określić, w jakim zakresie model 2D może wspomagać proces wymiarowania konstrukcji kamiennej oraz jakie ograniczenia wiążą się z jego zastosowaniem. Badania przeprowadzono dla projektowanego bystrza o zwiększonej szorstkości zlokalizowanego poniżej konstrukcji mostu na potoku Krzyworzeka w miejscowości Czaśław.

Obliczenia analityczne okazały się przydatne na etapie wstępnego wymiarowania konstrukcji. Pozwoliły w nieskomplikowany i uporządkowany sposób określić podstawowe parametry hydrauliczne, jednak ze względu na uśredniony charakter nie umożliwiły dokonania oceny lokalnych zmian przepływu pomiędzy głazami. Modelowanie 2D w programie HEC-RAS pozwoliło rozszerzyć analizę o przestrzenny układ przepływu na projektowanej pochylni bystrza. Model uproszczony umożliwił ocenę ogólnej pracy hydraulicznej konstrukcji, natomiast model z fizycznie odwzorowanymi głazami pozwolił wskazać lokalne przewężenia strugi i miejsca zwiększonej prędkości przepływu. Wyniki modelu z fizycznie

odwzorowanymi głazami wykazały, że przepływ w obrębie bystrza ma charakter lokalnie zróżnicowany. Woda nie przemieszcza się równomiernie po całej szerokości bystrza, lecz koncentruje się w przestrzeniach pomiędzy głazami. Zjawisko to powoduje miejscowy wzrost prędkości i wskazuje strefy największego obciążenia hydraulicznego konstrukcji. Dla przepływu nienaruszalnego Q_n uzyskano korzystne warunki przepływu pomiędzy głazami. Zachowanie przejść pomiędzy głazami może sprzyjać utrzymaniu ciągłości przepływu oraz migracji organizmów wodnych. Dla przepływów $Q_{10\%}$, $Q_{5\%}$ i $Q_{1\%}$ model z głazami wskazał wyraźne lokalne wzrosty prędkości, co zinterpretowano jako maksymalne prędkości lokalne, a nie jako prędkości średnie dla całego przekroju.

Porównanie zastosowanych metod wykazało, że największa zgodność z metodą analityczną nie musi oznaczać najlepszego odwzorowania rzeczywistej pracy bystrza. Model uproszczony daje wyniki bardziej uśrednione, natomiast model z fizycznie odwzorowanymi głazami lepiej pokazuje lokalny charakter przepływu przez konstrukcję kamienną. Modelowanie numeryczne 2D można uznać za przydatne narzędzie wspomagające projektowanie bystrzy kamiennych. Pozwala ono lepiej rozpoznać układ przepływu, porównać warianty odwzorowania konstrukcji oraz wskazać miejsca potencjalnie zwiększonego obciążenia hydraulicznego. Jednak wyniki modelowania 2D należy interpretować mając na uwadze jego ograniczenia. Rzeczywisty przepływ w rejonie głazów może mieć lokalnie charakter trójwymiarowy, obejmujący zawirowania, opływ przeszkód i zmiany kierunku strugi. Model dwuwymiarowy nie odwzorowuje tych zjawisk w pełni, dlatego powinien być traktowany jako narzędzie wspomagające wymiarowanie konstrukcji, a nie zastępujące ocenę inżynierską. Ostateczna ocena pracy projek-

a

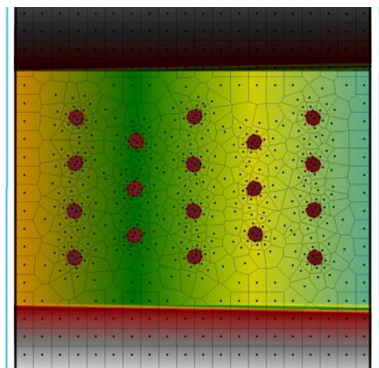


b

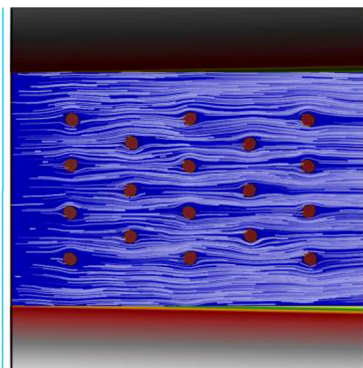


Fot. 1a) Obiekt mostowy w analizowanym odcinku Krzyworzeki, z widocznym odkładającym się poniżej rumoszem, b) zniszczony stopień betonowy poniżej mostu

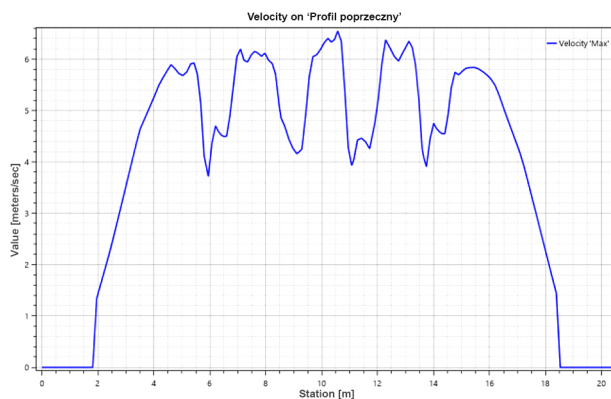
towanego bystrza powinna opierać się na łącznej interpretacji wyników obliczeń analitycznych i modelowania numerycznego oraz jeśli to możliwe na analizie zbudowanego modelu fizycznego.



Rys. 1. Siatka obliczeniowa modelu z fizycznie odwzorowanymi głazami – metoda C



Rys. 2. Widok z góry przepływu dla Q_n w modelu z fizycznie odwzorowanymi głazami – metoda C



Rys. 3. Rozkład prędkości lokalnych w przekroju poprzecznym modelu z głazami dla przepływu $Q_{5\%}$ – metoda C

APLIKACJA *HYDROLITH* JAKO NARZĘDZIE WSPOMAGAJĄCE OBLICZENIA HYDROLOGICZNE W INŻYNIERII WODNEJ

Michał Łatka

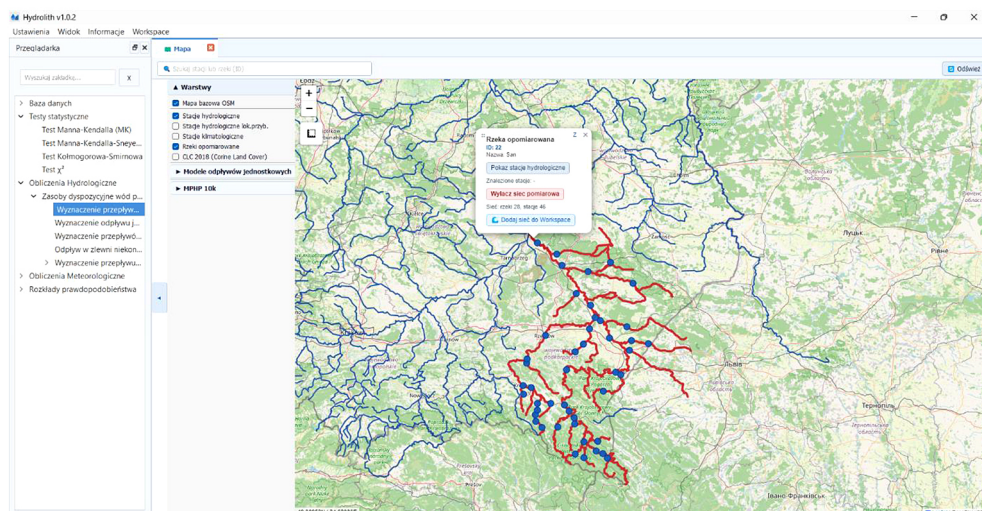
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Kontakt: michal.latka@student.urk.edu.pl

Dynamiczny rozwój modeli sztucznej inteligencji stwarza fundamenty do budowy autorskich, niskonakładowych aplikacji, służących automatyzacji i standaryzacji procesów obliczeniowych. Niniejszy poster prezentuje rozwój autorskiego systemu *Hydrolith* – cyfrowego środowiska, integrującego bazy danych hydrologicznych i meteorologicznych IMGW-PIB w Warszawie.

Głównym celem prezentacji jest przedstawienie aplikacji desktopowej *Hydrolith*, służącej do optymalizacji i automatyzacji procesów analizy wieloletnich ciągów danych hydrologicznych. Narzędzie to ma za zadanie wspierać działania w zakresie szybkiego, cyfrowego wyznaczania przepływów charakterystycznych głównych i okresowych oraz przepływów o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia. Gospodarowanie zasobami wodnymi wymaga przetwarzania ogromnych baz danych pomiarowych, co przy wykorzystaniu tradycyjnych metod jest procesem czasochłonnym i podatnym na błędy ludzkie. Odpowiedzią na te wyzwania jest stworzone oprogramowanie, które napisano w języku Python i wyposażono w moduły pozwalające na szybką integrację z publicznie udostępnianymi bazami danych IMGW-PIB, obsługującymi informacje z ponad 1200 stacji wodowskazowych. Kluczowym założeniem przy projektowaniu architektury systemu było oparcie go o lokalną bazę danych, co uniezależnia procesy obliczeniowe od stałego dostępu do Internetu. Aplikacja pomyślnie standaryzuje procedury obliczeniowe stosowane w inżynierii wodnej, automatyzując procesy filtracji i weryfikacji ciągłości danych, a także analizę zasobów dyspozycyjnych, w tym obliczanie odpływu jednostkowego i wyznaczanie przepływu nienaruszalnego metodą Haliny Kostrzewy. Ponadto program realizuje zaawansowane funkcje statystyki hydrologicznej, obejmujące badanie jednorodności serii pomiarowej testem Manna-Kendalla-Sneyersa (MKS) oraz estymację parametrów rozkładu

Pearsona III typu wraz z testami zgodności Kołmogorowa i χ^2 . Działanie programu poddano weryfikacji na danych pomiarowych z wielolecia 1995–2024 dla stacji Zatwarnica na rzece San oraz Nowy Targ-Kowaniec na rzece Dunajec, zestawiając uzyskane wyniki z obliczeniami przeprowadzonymi tradycyjną metodą w arkuszu MS Excel. Przeprowadzona analiza porównawcza wykazała pełną zgodność wyników, udowadniając poprawność zaimplementowanych algorytmów. Zaobserwowane minimalne różnice wynikały wyłącznie z odmiennej precyzji operacji zmienoprzecinkowych w poszczególnych środowiskach informatycznych. W efekcie powstało w pełni funkcjonalne, wiarygodne narzędzie, które eliminuje ryzyko błędów ludzkich podczas manualnego przetwarzania danych i znacząco skraca czas wyznaczania charakterystyk hydrologicznych, stanowiąc stabilną alternatywę dla dotychczasowych metod analizy.



Rys. 1. Interfejs aplikacji

WYKORZYSTANIE ZAAWANSOWANYCH ANALIZ NMT W NARZĘDZIU SCALGO LIVE

Natalia Mączka

Politechnika Krakowska, Szkoła Doktorska

Kontakt: natalia.maczka@doktorant.pk.edu.pl

Realizacja zadań gospodarki wodnej staje się znacznie szybsza i efektywniejsza dzięki użyciu odpowiednich narzędzi. Platforma Scalgo Live stanowi ważną technologię wspierającą te działania.

W oparciu o wysokorozdzielczy numeryczny model terenu (NMT 1 m) przeprowadzono identyfikację procesów związanych z obiegiem i retencją wody w zlewni. Do tego celu wykorzystano warstwy analityczne w interaktywnych obszarach roboczych (ang. *Workspaces*). Za pomocą mapy depresji (ang. *Depression Map*) precyzyjnie wyznaczono objętość i powierzchnię obszarów bezodpływowych. Moduł *Depression-Free Flow* pozwolił na określenie ścieżek spływu powierzchniowego oraz maksymalnego zasięgu zlewni. Ocenę potencjalnego gromadzenia się wody dla wybranych zjawisk opadowych przeprowadzono z wykorzystaniem map powodzi błyskawicznych (ang. *Flash Flood Mapping*). Ponadto zastosowano narzędzie profilu terenu, które umożliwiło szczegółowe rozpoznanie topografii w problematycznych obszarach.

Wykonane analizy potwierdzają, że Scalgo Live jest intuicyjnym narzędziem wizualizacyjnym wspomagającym decyzje projektowe.

ADAPTACJA DO ZMIAN KLIMATU A KSZTAŁTOWANIE PRZESTRZENI PUBLICZNEJ W MIASTACH EUROPEJSKICH

Matylda Wdowiarz-Bilska¹, Jakub Błachut¹, Marta Łapuszek²

¹ Politechnika Krakowska, Wydział Architektury, Katedra Planowania Przestrzennego
Projektowania Urbanistycznego i Ruralistycznego

² Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra
Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: marta.lapuszek@pk.edu.pl

Adaptacja do zmian klimatu stanowi jeden z kierunków ogólnoświatowej polityki klimatycznej podjętej na Szczycie Ziemi w Rio de Janeiro w 1992 roku, w formie Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu (UNFCCC). Jej wejście w życie w 1994 roku zapoczątkowało dyskusje i działania na rzecz dostosowania struktur miejskich do zmian klimatu, których istotne skonkretyzowanie nastąpiło w 2010 roku podczas COP16 w Cancun. Zobowiązanie państw do prowadzenia polityki adaptacyjnej zaowocowało w krajach Unii Europejskiej przyjęciem odpowiednich dokumentów strategicznych i rozpoczęciem działań na rzecz proklimatycznych inwestycji w miastach. Wyrazem tych działań w Polsce było przyjęcie w roku 2013 „Strategicznego planu adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030”, który uznał za kluczowe działanie kształtowanie miejskiej polityki przestrzennej uwzględniającej zmiany klimatu. W efekcie opracowano Miejskie Plany Adaptacji (MPA) dla 44 miast, w tym Krakowa. Dodatkowo nowelizacja ustawy Prawo ochrony środowiska z roku 2024 nałożyła obowiązek opracowania MPA do 2028 roku w miastach liczących co najmniej 20 000 mieszkańców.

Celem posteru jest przegląd rozwiązań stosowanych w przestrzeniach publicznych miast europejskich zwiększających ich odporność na zmiany klimatu. Rozwiązania te mogą stanowić punkt wyjścia do dyskusji o kształtowaniu przestrzeni publicznej Krakowa w kontekście polityki adaptacji. Przedstawione rozwiązania zostały zebrane przez autorów w ramach badań terenowych i poddane analizie pod kątem ich zalet, możliwości zastosowania, potencjalnych zagrożeń oraz czasu funkcjonowania. Przedstawione przykłady obejmują przestrzenie

publiczne w Krakowie, Bydgoszczy, Wiedniu i Lyonie. Dotyczą one rozwiązań lokalnych, punktowych interwencji w przestrzeni miasta. Poster prezentuje wizualne efekty zastosowanych rozwiązań, ilustrując ich wpływ na funkcjonowanie przestrzeni publicznych.

W Krakowie analizowane rozwiązania koncentrują się głównie na zwiększeniu retencji wód opadowych w przestrzeniach publicznych. W Bydgoszczy szczególną rolę odgrywa wykorzystanie potencjału terenów nadrzecznych oraz systemów retencji i zazieleniania przestrzeni śródmiejskiej. W Wiedniu wdrażane są zaawansowane rozwiązania zacieniające, służące zwiększeniu komfortu termicznego oraz podnoszące poziom retencji wód opadowych. W Lyonie obserwuje się rozwój rozwiązań odporności opartej na naturze, w tym intensywne zazielenianie i odtwarzanie funkcji retencyjnych przestrzeni miejskich.

W ramach przeprowadzonych badań stwierdzono, że działania obejmujące rozwiązania błękitno-zielonej infrastruktury, zazieleniania, zacieniania i ochładzania powietrza stanowią istotny element współczesnego projektowania przestrzeni miejskiej. Rozwiązania te, oprócz funkcji adaptacyjnych, wpływają pozytywnie



Fot. 1. Roślinność hydrofilna w otoczeniu Wyspy Młyńskiej w Bydgoszczy



Fot. 2. Wprowadzenie zieleni wysokiej i niskiej na Placu Św. Elżbiety w Wiedniu

na dobrostan użytkowników przestrzeni publicznych. Zidentyfikowane rozwiązania wskazują, że skuteczną adaptację można wprowadzać w sposób skalowalny, elastyczny i etapowy. Kluczowe znaczenie ma ich dostosowanie do lokalnych uwarunkowań środowiskowych i intensywności występowania negatywnych zjawisk klimatycznych. Działania te powinny być traktowane jako integralny element polityki przestrzennej, a nie wyłącznie interwencje punktowe. Istotne jest, by równolegle w warunkach polskich rozwiązania strategiczne znalazły odzwierciedlenie w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego.

WYZWANIA DLA OPERATORÓW W ZAKRESIE CYBERBEZPIECZEŃSTWA I BEZPIECZEŃSTWA KRYZYSOWEGO GOSPODARKI WODNO-ŚCIEKOWEJ – PRZYKŁAD ODPOWIEDZI ZAKŁADU GOSPODARKI KOMUNALNEJ W WIELICZCE SP. Z O.O.

Ewa Wysowska^{1,2}, Karolina Marzec-Oleksik²

¹ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Technologii Środowiskowych, Zakład Gospodarki Komunalnej
w Wieliczce sp. z o.o.

² Zakład Gospodarki Komunalnej w Wieliczce sp. z o.o.

Kontakt: ewysowska@zgk.wieliczka.eu

Operatorzy infrastruktury krytycznej, do jakiej należą systemy wodociągowo-kanalizacyjne, stoją przed wieloma wyzwaniami związanymi zarówno z dynamiczną sytuacją zewnętrzną, jak i zmieniającymi się przepisami prawa w zakresie bezpieczeństwa. W szczególności ustawa o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i odbiorze ścieków, ustawa o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa, ustawa o ochronie ludności i obronie cywilnej oraz ustawa o zarządzaniu kryzysowym generują znaczące wymogi dla przedsiębiorstw wod.-kan.

Nowa nomenklatura wskazuje na podejście oparte na ryzyku niezależnie od obszaru zarządzania operacyjnego bezpieczeństwem dostaw wody. Ponadto wymogi skupiają się na zapewnieniu ciągłości działania na wypadek zdarzeń kryzysowych i w warunkach nadzwyczajnych. Odpowiedź operatorów na wskazane wytyczne powinna obejmować kompleksowe podejście nie tylko w kontekście bezpieczeństwa fizycznego, ale i cybernetycznego świadczonych usług w oparciu o najnowsze dostępne techniki i rozwiązania.

W wystąpieniu przedstawiono kluczowe wymogi prawne, którym obecnie podlegają operatorzy oraz przygotowania Zakładu Gospodarki Komunalnej w Wieliczce do realizacji wskazanych wyzwań na podstawie realizowanego projektu *Transformacja cyfrowa i wzrost cyberbezpieczeństwa Zakładu Gospodarki Komunalnej w Wieliczce sp. z o.o. poprzez wdrożenie zaawansowanych technologii*

cyfrowych oraz rozwój infrastruktury ICT w ramach programu *Pożyczka na cyfryzację* ze środków Krajowego Planu Odbudowy (KPO). Głównym celem wskazanego projektu jest przede wszystkim kompleksowa odpowiedź przedsiębiorstwa na zmieniające się otoczenie i budowa zintegrowanej architektury stosowanych technologii odpornych na zagrożenia i zapewniających ciągłość świadczonych usług, również na wypadek sytuacji kryzysowych.

16:50–18:50	HYDROENERGETYKA	A1-2 DUŻA AULA
MODERATOR dr hab. inż. Bernard Twaróg, prof. PK		

TURBINA KAPLANA PRACUJĄCA ZE ZMIENNĄ PRĘDKOŚCIĄ OBROTOWĄ DLA NISKOSPADOWYCH ELEKTROWNI PRZEPŁYWOWYCH

Sławomir Grądziel¹, Dariusz Borkowski², Damian Liszka²

¹ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki

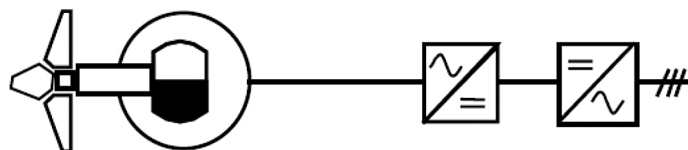
² Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej

Kontakt: slawomir.gradziel@pk.edu.pl

Hydroenergetyka to istotne źródło generacji energii elektrycznej w Europie. Stanowi drugie po energetyce wiatrowej odnawialne źródło z roczną produkcją sięgającą 300 TWh w 2023 roku. Elektrownie wodne przepływowe niskospadowe są niezmiennie atrakcyjnym rozwiązaniem z uwagi na wciąż duży potencjał lokalizacji oraz relatywnie niskie koszty inwestycyjne. Szacuje się, że ilość wyprodukowanej energii z małych elektrowni wodnych może zostać zwiększona w Europie o dodatkowe 10 TWh/rok w istniejących infrastrukturach, np. w sieciach dystrybucji wody, przy istniejących niskich poziomach wody (np. kołach wodnych w młynach wodnych) i w oczyszczalniach ścieków. Należy również zaznaczyć, że średni wiek obiektów hydroenergetycznych w Europie wynosi 45 lat, co stwarza konieczność modernizacji. Oszacowano, że zastosowanie nowoczesnych rozwiązań układów generacji bez zwiększenia zainstalowanej mocy może zwiększyć produkcję tych obiektów o ok. 10%.

W referacie zaprezentowano rozwiązanie dedykowane dla niskospadowych elektrowni przepływowych bazujące na turbinie Kaplana (rys. 1). Zastosowanie wysokosprawnego i niskoobrotowego generatora synchronicznego z magnesami trwałymi umożliwiło eliminację przekładni mechanicznej. Energia generatora oddawana jest do systemu elektroenergetycznego przez przekształtnik energo-

elektroniczny. Daje to dodatkowo możliwość pracy turbiny ze zmienną prędkością obrotową dopasowaną do aktualnych warunków hydrologicznych. Dzięki temu można uzyskiwać większe sprawności przy zmianach spadów czy przełyku turbiny w szerokim zakresie.



Rys. 1. Struktura hydrozespołu

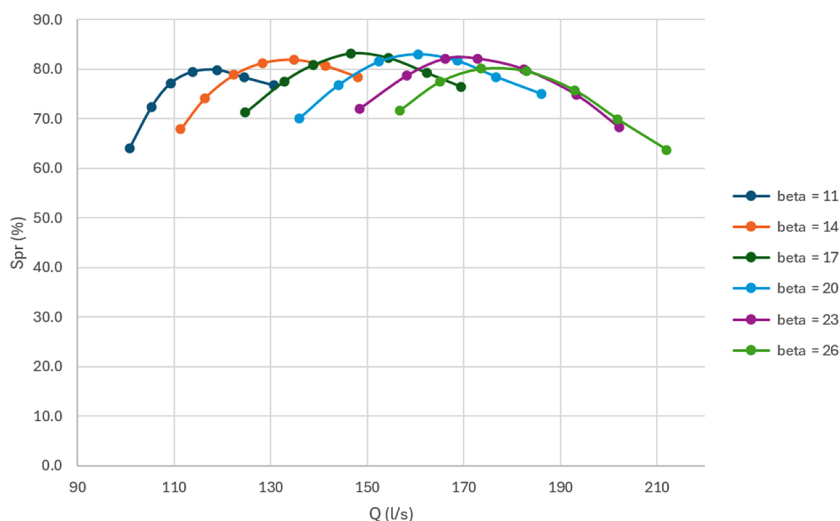
W ramach badań zaprojektowano i wykonano turbinę Kaplana o średnicy 273 mm, przełyku 160 l/s, prędkości obrotowej 850 obr./min oraz spadzie 2 m. Większość elementów turbiny wykonano w technologii druku 3D. Zastosowano generator synchroniczny z magnesami trwałymi o 6 parach biegunów i sprawności znamionowej 95%.

Tak przygotowany hydrozespół został przebadany na stanowisku laboratoryjnym wyposażonym w zbiornik o pojemności 12 m³ i kanał otwarty. Maksymalna wydajność strumienia objętościowego stanowiska to 300 l/s.



Fot. 1. Stanowisko badawcze hydrozespołu

W wyniku przeprowadzonych badań energetycznych hydrozespołu uzyskano sprawność turbiny modelowej na poziomie 83% (rys. 2), co odpowiada 87% sprawności dla turbiny prototypowej o średnicy 1 m.



Rys. 2. Charakterystyka turbiny Kaplana dla stałego kąta kierownicy (50°) oraz wybranych wartości kątów wirnika (β)

Uwzględniając dodatkowo sprawność generatora prototypowego wynoszącą 97% oraz przekształtnika na takim samym poziomie, można uzyskać sprawność całego hydrozespołu wynoszącą 82%. Kluczową zaletą tego typu układu, dzięki zmiennej prędkości obrotowej, jest szeroki zakres pracy oraz ograniczone straty sprawności przy zmianach spadu i przepływu turbiny.

NOWE KIERUNKI ROZWOJU HYDROENERGETYKI W POLSCE – OD MODERNIZACJI ISTNIEJĄCYCH OBIEKTÓW DO NOWYCH MODELI WYKORZYSTANIA POTENCJAŁU ENERGETYCZNEGO WÓD

Łukasz Kalina

IOZE hydro

Kontakt: lukasz.kalina@ioze.pl

Hydroenergetyka pozostaje jednym z najbardziej stabilnych i przewidywalnych odnawialnych źródeł energii. Pomimo niewielkiego udziału w krajowym miksie energetycznym, pełni funkcję wykraczającą poza samą produkcję energii elektrycznej. Elektrownie wodne zapewniają regulacyjność systemu elektroenergetycznego, dostarczają mocy w sposób przewidywalny oraz dzięki wirującym masom generatorów zwiększają stabilność pracy sieci, która wraz z dynamicznym rozwojem źródeł fotowoltaicznych i wiatrowych staje się coraz bardziej wymagająca.

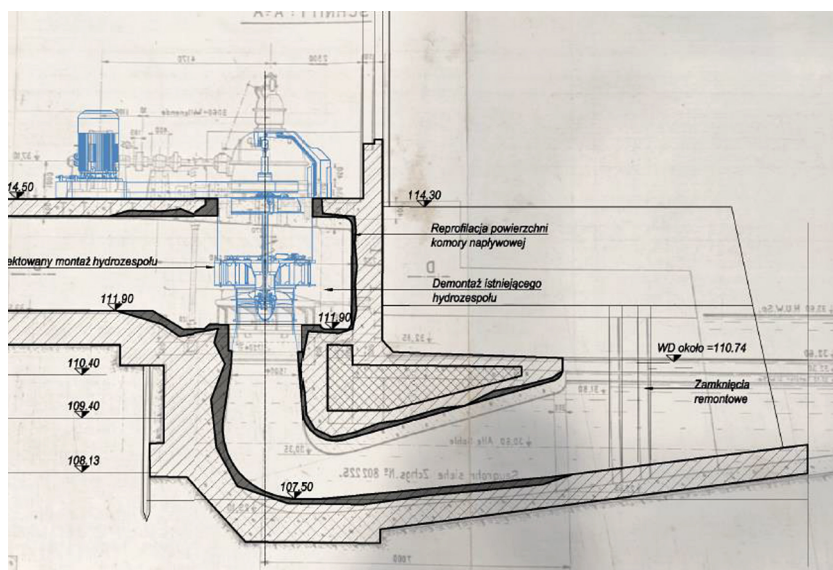
Jednocześnie znaczna część technicznego potencjału hydroenergetycznego w Polsce pozostaje niewykorzystana. Współczesny rozwój sektora nie powinien opierać się wyłącznie na budowie nowych stopni wodnych, ale przede wszystkim na efektywnym wykorzystaniu istniejącej infrastruktury hydrotechnicznej oraz wdrażaniu nowych technologii umożliwiających opłacalną realizację projektów o niewielkich spadach i przepływach.

Referat przedstawia aktualny obraz polskiej hydroenergetyki oraz najważniejsze kierunki jej rozwoju w oparciu o doświadczenia projektowe autora. Poszczególne zagadnienia zostaną zaprezentowane w formie krótkich studiów przypadków obrazujących praktyczne możliwości zwiększenia produkcji energii z istniejących zasobów wodnych.

Pierwszym omawianym kierunkiem będzie wykorzystanie istniejącej infrastruktury hydrotechnicznej do produkcji energii. Na przykładzie Zespołu Elektrowni Wodnych Niedzica S.A. przedstawione zostanie wykorzystanie upustów dennych do zabudowy turbin wodnych bez konieczności realizacji nowych obiektów piętrzących. Rozwiązania tego typu pozwalają zwiększyć produkcję energii

przy stosunkowo niewielkich nakładach inwestycyjnych, z wykorzystaniem istniejących elementów infrastruktury.

Drugim obszarem będą modernizacje i repoweringi istniejących elektrowni wodnych. W wielu obiektach zastosowanie nowoczesnych turbin, automatyki oraz optymalizacja układów hydraulicznych umożliwiają znaczące zwiększenie produkcji energii oraz sprawności całego układu. Zaprezentowany zostanie przykład modernizacji elektrowni pokazujący, że odpowiednio przygotowany repowering może stanowić ekonomicznie uzasadnioną alternatywę wobec budowy nowych instalacji.



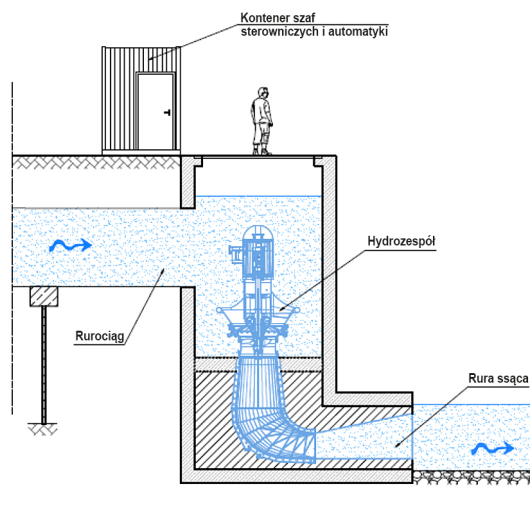
Rys. 1. Przekrój przez MEW obrazujący instalację nowego hydrozespołu w miejsce starego

Kolejnym zagadnieniem będzie analiza potencjału lokalizacji wskazanych przez Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie jako możliwych do wykorzystania energetycznego. Sama identyfikacja lokalizacji stanowi jedynie pierwszy etap procesu inwestycyjnego. Kluczowe znaczenie ma wykonanie szczegółowych analiz hydrologicznych, zmienności spadów oraz właściwy dobór technologii, który umożliwi osiągnięcie wymaganej efektywności ekonomicznej. Szczególne wyzwanie stanowią liczne projekty małej skali, gdzie rentowność inwestycji zależy przede wszystkim od ograniczenia kosztów budowy i optymalnego dopasowania urządzeń.

W ostatniej części przedstawione zostaną przykłady nowych technologii przeznaczonych dla niskospadowej hydroenergetyki. Zaprezentowane zostaną dwa

komplementarne rozwiązania: turbina Rivus, przeznaczona dla lokalizacji o niewielkich przepływach, oraz Flumen, dedykowana obiektom o bardzo małych spadach i dużych przepływach.

Jako przykład zastosowania technologii Rivus zaprezentowana zostanie inwestycja wykorzystująca wodę odprowadzaną z elektrowni konwencjonalnej, gdzie dzięki wykorzystaniu istniejącej infrastruktury możliwe jest znaczące ograniczenie kosztów inwestycyjnych.



Rys. 2. Przekrój przez MEW z zatapialnym hydrozespołem Rivus

Z kolei rozwiązanie Flumen zostanie omówione na przykładzie analiz prowadzonych dla lokalizacji na Noteci, gdzie przez wiele lat bardzo niskie spadki uniemożliwiały ekonomiczne wykorzystanie potencjału energetycznego rzeki.

Referat zakończy podsumowanie wskazujące, że przyszłość polskiej hydroenergetyki będzie w coraz większym stopniu opierać się na modernizacji istniejących obiektów, wykorzystaniu infrastruktury już funkcjonującej oraz wdrażaniu nowych technologii dedykowanych małym i bardzo niskospadowym lokalizacjom. Rozwiązania te mogą znacząco zwiększyć krajową produkcję stabilnej energii odnawialnej przy ograniczonej ingerencji w środowisko i racjonalnych nakładach inwestycyjnych.

OCHRONA POWIERZCHNI PRZED EROZJĄ KAWITACYJNĄ

Roman Masek

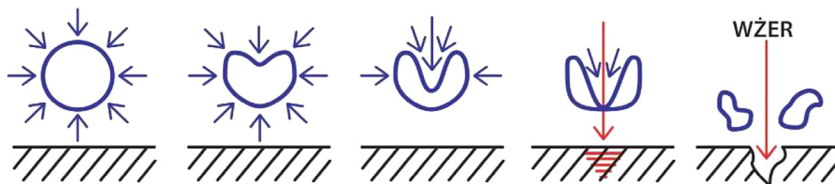
Belse Sp. z o.o.

Badania przeprowadzone we współpracy z Politechniką Gdańską,
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa

Kontakt: rmasek@belse.com.pl

Kawitacja to powtarzalny cykl powstawania, rozrostu i gwałtownego zaniku (implozji) pęcherzyków parowo-gazowych, zachodzący w cieczy wszędzie tam, gdzie ciśnienie statyczne spada poniżej ciśnienia pary nasyconej – przy lokalnym wzroście prędkości strugi, w zwężeniach kanałów lub w polu akustycznym. Zjawisko to jest jednym z najgroźniejszych mechanizmów niszczenia powierzchni w maszynach przepływowych. Implozja pęcherzyka w pobliżu ścianki wytwarza strugę kumulacyjną uderzającą w materiał z prędkością rzędu 100–500 m/s, a chwilowe ciśnienia sięgają od kilkuset do kilku tysięcy megapaskali – powyżej granicy plastyczności większości stali i stopów konstrukcyjnych. Skutkiem jest stopniowe wykruszanie warstwy wierzchniej, czyli erozja kawitacyjna, której często towarzyszą procesy korozyjne wzajemnie się dynamizujące.

Erozja kawitacyjna zagraża integralności wirników i korpusów pomp, łopat turbin wodnych oraz sterów i śrub okrętowych, prowadząc do powstawania charakterystycznych wżerów, spadku sprawności i skrócenia czasu eksploatacji urządzeń. Skuteczne przeciwdziałanie temu zużyciu – przez dobór materiału powierzchni lub powłoki ochronnej – ma więc bezpośrednie znaczenie dla niezawodności obiektów hydroenergetycznych, hydrotechnicznych i okrętowych.



Rys. 1. Przebieg zapadania się pęcherzyka z implozją w końcowej fazie procesu

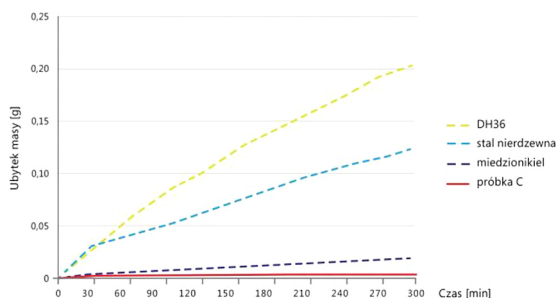
Celem referatu jest przedstawienie wyników badań porównawczych odporności na erozję kawitacyjną materiałów konstrukcyjnych oraz polimerowych powłok kompozytowych, a także doświadczeń z ich zastosowania w ochronie eksploatowanych urządzeń. Badania prowadzono na trzech niezależnych stanowiskach, w warunkach kawitacji przepływowej oraz wywołanej ultradźwiękami.

Na stanowisku przepływowym (laboratorium maszyn przepływowych VOITH Turbo Sp. z o.o.) określano czas do wystąpienia pierwszych ubytków erozyjnych na powierzchni próbki. Dla stali stopowej z dodatkiem chromu i niklu (Cr-Ni 134 Turbine Alloy) pierwsze ubytki pojawiły się po ok. 470 h, podczas gdy na próbce z kompozytu Belzona®2141 nie zaobserwowano ubytków nawet po 500 h testu w tych samych warunkach.

W laboratorium Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Okrętownictwa Politechniki Gdańskiej kawitację wywoływano ultradźwiękowo (częstotliwość 20 kHz) w naczyniu bez przepływu cieczy, w warunkach odwzorowujących środowisko technik wiertniczych. Porównywano m.in. stal P110 oraz kompozyty Belzona®5831, Belzona®1321 i Belzona®2141, wyznaczając krzywe ubytku masy w funkcji czasu ekspozycji – im wyższy ubytek, tym niższa wytrzymałość erozyjna materiału. Odporność kompozytu Belzona®2141 była wyższa niż stali P110, a także wyższa niż stopów metali ciągliwych stosowanych w okrętownictwie i hydrotechnice ze względu na ich dobrą odporność na kawitację i korozję.



Rys. 2. Stanowisko do badań materiałów w kawitacji wywołanej ultradźwiękami



Rys. 3. Krzywe erozji dla stopów metalowych i kompozytu Belzona®2141 (próbka C) po 5 h ekspozycji w środowisku kawitacyjnym

Trzecią serię prób wykonano na stanowisku City University w Londynie, gdzie czas ekspozycji w kawitacji wynosił 5 h. Obok stopu Cu-Ni i kompozytu Belzona®2141 (próbka C) badano stal okrętową DH36 oraz klasyczną stal nierdzewną. Kompozyt polimerowy wykazał najmniejszy ubytek masy spośród badanych materiałów.

Wyniki wszystkich trzech serii badań są spójne: giętkie kompozyty polimerowe, mimo wielokrotnie niższego modułu sprężystości, wykazują wyższą odporność na erozję kawitacyjną niż sztywne stopy metali. Zdolność powłoki do tłumienia energii uderzeń hydrodynamicznych okazuje się istotniejsza niż sama twardość materiału. Obserwacje laboratoryjne znajdują potwierdzenie w zastosowaniach przemysłowych – w hydroenergetyce, hydrotechnice i okrętownictwie – gdzie systemy naprawczo-ochronne, oparte na kompozytach (np. Belzona®1221/2141), służą do wypełniania wżerów i zabezpieczania sterów, śrub okrętowych, łopat turbin wodnych oraz wirników i korpusów pomp, w niektórych przypadkach kilkukrotnie wydłużając trwałość tych powierzchni.



Fot. 1. Wżery kawitacyjne w warstwie wierzchniej korpusu pompy



Fot. 2. Łopata turbiny wodnej z powłoką hydrofobową Belzona®1341 oraz zabezpieczeniem przeciwkawitacyjnym Belzona®2141

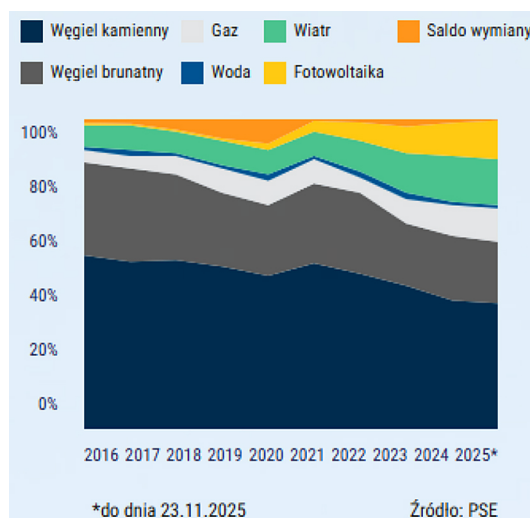
ZNACZENIE HYDROTECHNIKI W ZABEZPIECZENIU ENERGETYCZNYM KRAJU

Katarzyna Antoszevska, Tomasz Ryfa, Maciej Kuzioła

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy,
Centrum Technicznej Kontroli Zapór

Kontakt: katarzyna.antoszevska@imgw.pl

Współczesny świat jest całkowicie zależny od stałych dostaw energii elektrycznej. Przez dziesięciolecia produkcja energii w Polsce pochodziła głównie z tradycyjnych elektrowni węglowych. Obecnie system elektroenergetyczny opiera się na zdwersyfikowanym miksie energetycznym, w którym kluczową rolę zaczynają odgrywać odnawialne źródła energii (OZE). Na poniższej grafice zobrazowano strukturę krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną brutto.



Rys. 1. Struktura pokrycia krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną brutto

W dobie transformacji energetycznej, zmian klimatycznych oraz konieczności redukcji emisji gazów cieplarnianych hydroenergetyka stanowi kluczowy element stabilności Krajowego Systemu Elektroenergetycznego.

Elektrownie szczytowo-pompowe są obecnie jedyną w pełni dojrzałą i efektywną technologią wielkoskalowego magazynowania energii elektrycznej. Pozwalają na bilansowanie nadwyżek z niesterowalnych źródeł, takich jak farmy wiatrowe i fotowoltaika. Turbiny wodne potrafią zmienić swoją moc od zera do maksimum w ciągu kilkadziesiąt sekund. Ta niezwykła elastyczność pozwala operatorom systemu natychmiast reagować na nagłe awarie innych elektrowni lub niespodziewane skoki napięcia w sieci. Ich najbardziej krytyczną funkcją jest jednak udział w procedurze tzw. blackstartu. Jako nieliczne źródła w systemie, elektrownie wodne posiadają zdolność do tzw. samostartu. W przypadku katastrofalnej awarii, czyli całkowitego zaniku napięcia w sieci (blackoutu), elektrownie wodne wykorzystując grawitacyjny spływ wody, generują pierwszy prąd. Następnie powstały impuls przekazywany jest pustym torem rozruchowym w kierunku elektrowni konwencjonalnej w celu jej uruchomienia a następnie stopniową odbudowę całego systemu zasilania kraju.

ODBUDOWA ZASOBÓW WODNYCH WSCHODNIEJ WIELKOPOLSKI JAKO ELEMENT TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ I BEZPIECZEŃSTWA HYDROENERGETYCZNEGO

**Tomasz Kałuża, Mateusz Hämmerling, Ireneusz Laks,
Jolanta Kanclerz, Ewelina Janicka-Kubiak, Stanisław Zaborowski**

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Kontakt: tomasz.kaluza@up.poznan.pl

Transformacja energetyczna wymaga nie tylko zmiany technologii wytwarzania energii, lecz także zapewnienia stabilnego dostępu do zasobów wodnych. Woda pozostaje kluczowym czynnikiem funkcjonowania hydroenergetyki, elektrowni ciepłych, systemów chłodzenia oraz wielofunkcyjnych zbiorników retencyjnych. W warunkach nasilających się skutków zmiany klimatu, wydłużania okresów niżówkowych i rosnącej konkurencji o wodę, szczególnego znaczenia nabiera odbudowa zasobów wodnych w regionach silnie przekształconych przez działalność energetyczną i górniczą. Jednym z takich obszarów jest wschodnia Wielkopolska, w tym zagłębie konińsko-tureckie, gdzie wieloletnia działalność odkrywkowych kopalni węgla brunatnego, działalność elektrowni oraz presja rolnicza doprowadziły do istotnych zmian stosunków wodnych.

Celem referatu jest przedstawienie roli hydrotechniki w odbudowie zasobów wodnych wschodniej Wielkopolski oraz wskazanie znaczenia tych działań dla odpornej transformacji energetycznej. Analiza została oparta na przykładach dotyczących zmian przepływów w dorzeczu Warty, funkcjonowania zbiornika i elektrowni wodnej Jeziorsko oraz transformacji Elektrowni Adamów w warunkach deficytu wody. Przedstawione przypadki pokazują, że współczesna gospodarka wodna w sektorze energetycznym nie może być ograniczana wyłącznie do zaopatrzenia obiektów przemysłowych w wodę. Powinna obejmować również retencję, ochronę ekosystemów zależnych od wód, ograniczanie skutków suszy oraz adaptacyjne zarządzanie infrastrukturą hydrotechniczną.

Analizy wieloletnich przepływów na badanym obszarze wykazały, że najbardziej zauważalne zmiany dotyczą przepływów niskich, co z punktu widzenia energetyki może ograniczać efektywność pracy elektrowni przepływowych i elektrowni konwencjonalnych. Oznacza to m.in., że przyszłość hydroenergetyki w regionie zależy nie tylko od modernizacji urządzeń, lecz także od poprawy warunków retencyjnych i zwiększenia odporności zlewni na suszę.

Szczególnym przykładem obiektu o znaczeniu przeciwpowodziowym, energetycznym, retencyjnym i środowiskowym jest zbiornik Jeziorsko. Wyniki analiz dla układu Warta–Jeziorsko wskazują na istotne zmiany hydrometeorologiczne funkcjonowania tego układu. Dotyczy to m.in. skrócenia czasu zalegania pokrywy śnieżnej oraz nasilenie suszy hydrologicznej, przejawiające się wzrostem liczby dni z przepływami poniżej SNQ, szczególnie po 2015 roku. Produkcja energii w elektrowni wodnej Jeziorsko charakteryzuje się dużą zmiennością i wykazuje trend spadkowy. Wskazuje to na potrzebę adaptacyjnego zarządzania zbiornikiem, w którym cele energetyczne muszą być bilansowane z ochroną przeciwpowodziową, potrzebami środowiskowymi i retencją suszową.

Drugim ważnym przykładem jest rejon Elektrowni Adamów i zlewnia Kiełbaski Dużej, gdzie transformacja sektora energetycznego odbywa się w warunkach silnej presji wodnej. Zastąpienie bloków węglowych nowoczesnymi blokami gazowo-parowymi może ograniczyć zapotrzebowanie na wodę i zmniejszyć presję środowiskową. Jednak sama zmiana technologii nie rozwiązuje problemu deficytu wody. Konieczne jest równoległe wdrażanie działań hydrotechnicznych i renaturyzacyjnych, takich jak odbudowa układu hydrograficznego Kiełbaski Dużej i Teleszyny, racjonalne wykorzystanie przerzutów wody oraz zagospodarowanie zbiorników poeksploatacyjnych jako elementów nowego systemu retencji.

Odbudowa zasobów wodnych wschodniej Wielkopolski powinna być więc rozumiana jako proces łączący transformację energetyczną, rekultywację terenów pogórnich, rozwój retencji, ochronę obszarów Natura 2000 oraz zwiększanie bezpieczeństwa hydroenergetycznego. Planowane i rozważane działania, w tym wykorzystanie dawnych wyrobisk jako zbiorników retencyjnych, mogą istotnie zwiększyć potencjał wodny regionu, a jednocześnie ograniczyć skutki długotrwałych niżówek. Wymaga to jednak zintegrowanego zarządzania na poziomie zlewni, opartego na danych hydrologicznych, modelowaniu, prognozowaniu i bieżącej optymalizacji pracy obiektów hydrotechnicznych.

Wyniki badań wykazały, że hydrotechnika powinna być traktowana jako jeden z fundamentów transformacji energetycznej. Jej rola nie ogranicza się do budowy i eksploatacji elektrowni wodnych, ale obejmuje także tworzenie warunków dla stabilnego funkcjonowania całego sektora energetycznego w warunkach

zmiennej dostępności wody. Przykład wschodniej Wielkopolski pokazuje, że odbudowa zasobów wodnych może stać się jednocześnie narzędziem adaptacji do zmiany klimatu, poprawy bezpieczeństwa energetycznego, zwiększenia retencji i odtworzenia zdegradowanych ekosystemów wodnych.

ELEKTROWNIE SZCZYTOWO-POMPOWE WYZWANIEM WSPÓŁCZESNEJ HYDROTECHNIKI

Kamil Jabłoński, Agata Lethel, Julia Sapryk

Energoprojekt-Warszawa SA

Kontakt: kjablonski@energoprojekt.pl

Rozwój hydrotechniki jako dziedziny inżynierii od lat był i pozostaje w ścisłym związku z celami, jakie stawia się gospodarce wodnej. W trakcie odbywającej się transformacji energetycznej związanej z rozwojem odnawialnych źródeł energii cechujących się niestabilnością, na całym świecie, w tym także w Polsce coraz częściej poruszany jest temat elektrowni szczytowo-pompowych (ESP) jako doskonałych wielkoskalowych magazynów energii. W tej sytuacji wśród wielu wyzwań współczesnej hydrotechniki to właśnie budowa elektrowni szczytowo-pompowych może okazać się tą najpilniejszą.

Spółki energetyczne wracają do koncepcji ESP z lat 70. ubiegłego wieku. Poszukują również nowych lokalizacji w zgodzie z obowiązującymi wymogami środowiskowymi. Ciekawym zagadnieniem jest również wykorzystanie terenów powyrobiskowych dla ESP.

Budowa ESP niesie ze sobą szereg zagadnień na poziomie projektowym i wykonawczym, wymagających szczególnie wysokich kompetencji i doświadczenia specjalistów z wielu dziedzin. Obecnie mamy do czynienia głównie z modernizacjami istniejących obiektów, ale na rynku pojawia się coraz więcej zleceń, których celem jest ponowna analiza techniczno-ekonomiczna nowych ESP. W 2023 roku uchwalono specustawę wspomagającą budowę ESP (Ustawa z dnia 14 kwietnia 2023 r. o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie elektrowni szczytowo-pompowych oraz inwestycji towarzyszących). Czy hydroenergetyczne inwestycje spowodowane potrzebą magazynowania energii ożywią hydrotechnikę?

W opracowaniu dokonano przeglądu tematu elektrowni szczytowo-pompowych w Polsce poczynawszy od przeglądu studiów i koncepcji z lat 60., 70. XX wieku, poprzez obecne plany budowy nowych ESP, aż po ocenę perspektyw, potencjału inżynierskiego oraz wyzwań stojących przed współczesnymi hydrotechnikami w kontekście ESP.

16:50-18:50	TECHNIKI POMIAROWE I NARZĘDZIA MODELOWE cz. 2	B1-2 MAŁA AULA
MODERATOR prof. dr hab. inż. Paweł Popielski		

MODELOWANIE DWUWYMIAROWEGO POLA PRZEPŁYWU W KORYCIE O ZŁOŻONEJ GEOMETRII NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH ODCINKÓW RZEKI WISŁY

Tomasz Siuta

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

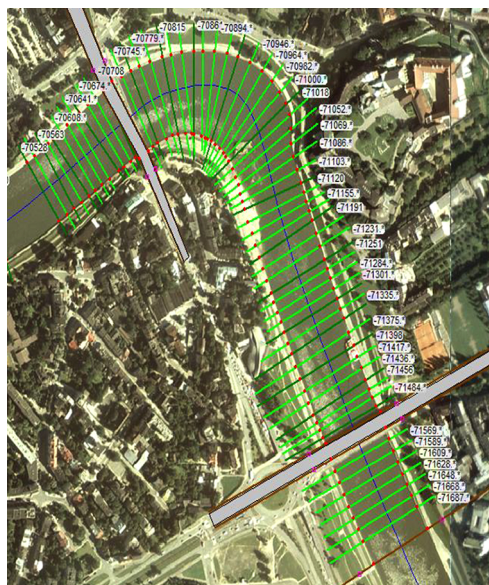
Kontakt: tomasz.siuta@pk.edu.pl

Celem referatu jest prezentacja możliwości pogłębionej analizy dynamiki przepływu w warunkach przejścia kulminacji fali powodziowej, z uwzględnieniem złożonej geometrii koryta rzeki zarówno w przekroju, jak i w planie (znaczące zmiany kierunku przepływu). Do realizacji tego celu wybrano dwa odcinki rzeki górnej Wisły: pierwszy to zakole w Krakowie pomiędzy km 70528 a 71687 (rys. 1), drugi to około dziesięciokilometrowy odcinek rzeki Wisły biegnący przez Sandomierz pomiędzy km 213+324 a 223+456 (rys. 2). W obu przypadkach analizowano przepływ kulminacyjny wielkiej wody stuletniej, która pojawiła się w maju 2010 roku.

Dwuwymiarowe pole przepływu dla wspomnianych odcinków badawczych uzyskano na podstawie wyników numerycznego rozwiązania dwuwymiarowego modelu wody płytkiej (równania Saint-Venanta) za pomocą programu Hydro_as_2D zintegrowanego ze środowiskiem SMS (ang. *Surface Water Modeling System*). Obliczenia przeprowadzono dla warunków przepływu ustalonego przyjmując w przekrojach wejściowych (najwyżej położonych) analizowanych odcinków rzeki Wisły wartości oszacowanego natężenia przepływu kulminacyjnego wielkiej wody z 2010 roku. Wartości przyjętych natężeń przepływu są porównywalne z wartościami określonymi dla wody stuletniej ($Q_{1\%}$). Dolny warunek

brzegowy ma postać krzywej przepływu wygenerowanej dla przekrojów wyjściowych modelu 2D za pomocą wcześniej opracowanego modelu jednowymiarowego odcinka górnej Wisły po przekrój z wodowskazem w Zawichoście.

Analiza wyników modelowania dla odcinka pierwszego (w Krakowie) pozwoliła m.in. wskazać obszary w obrębie lewego i prawego bulwaru niskiego potencjalnie narażone na erozję. Pierwszy z nich to obszar poniżej Mostu Dębnickiego leżący na łuku wewnętrznym bulwaru niskiego pomiędzy przekrojami w km 70708 i 70779 (rys. 1). Drugi to obszar znajdujący się na odcinku lewobrzeżnego koryta głównego poniżej przekroju w km 71086. W obu tych obszarach udokumentowano istotne zniszczenia i podmycia bulwaru niskiego oraz lewobrzeżnego muru stanowiącego umocnienie koryta głównego Wisły. Ponadto wyniki modelowania przepływu 2D pozwoliły na wyznaczenie poprzecznego spadku zwierciadła w rezultacie działania siły odśrodkowej na obszarze zakola Wisły pomiędzy przekrojami w km 70708 i 71086 (rys. 1). Oszacowana różnica rzędnej zwierciadła na przeciwnych brzegach (w obrębie zakola) sięgała ok. 0,4 m. Ponadto wyniki modelowania wykazały zmienność wartości spadku poprzecznego zwierciadła w efekcie złożonej dynamiki przepływu na odcinku koryta wielodzielnego o dużym koncie zmiany kierunku przepływu (ponad 90°). Zmienność tego spadku może mieć potencjalnie wpływ na erozję koryta głównego w obszarze zakola



Rys. 1. Modelowany odcinek Wisły
w Krakowie



Rys. 2. Modelowany odcinek Wisły
w Sandomierzu

w odsuniętym na zewnątrz nurcie rzeki Wisły, co również zostało odnotowane w trakcie pomiarów batometrycznych koryta głównego analizowanego odcinka rzeki Wisły (lokalne wyboje w dnie sięgające ok. 10 m głębokości).

Analiza wyników modelowania przepływu dla odcinka rzeki Wisły w okolicy Sandomierza (rys. 2) miała głównie na celu ocenę wpływu roślinności wysokiej (gęste krzewy, skupiska drzew) na układ zwierciadła w czasie przejścia wielkiej wody w maju 2010 roku. Wyniki modelowania wskazywały na możliwość potencjalnego obniżenia zwierciadła wielkiej wody pomiędzy przekrojem p. 69 a p. 71 (rys. 2), sięgającym 0,5 m na skutek usunięcia z obszarów teras roślinności wysokiej o dużym zagęszczeniu. Kolejnym celem przeprowadzonego badania była ocena wpływu zmienności kierunku osi koryta głównego w relacji do osi całego koryta wraz z terasami na zmienność w planie pola prędkości i naprężenia ścinającego. Zmiana kierunku przepływu prowadziła do lokalnego podniesienia poziomu zwierciadła wody i znacznego wzrostu wartości naprężenia ścinającego.

Podsumowując, wnioski wynikające z przeprowadzonych analiz dotyczą po pierwsze możliwości wyznaczenia obszarów newralgicznych z uwagi na potencjalną działalność erozyjną lub sufozję w obrębie badanych odcinków bulwarów wiślanych (np. obszar Mostu Dębnickiego), co może stanowić rekomendację do zastosowania odpowiednich środków technicznych zabezpieczających wyznaczone obszary i zabudowę mostową. Po drugie – możliwości uwzględnienia w modernizacji lub projektach obwałowań efektów podniesienia zwierciadła wody wzdłuż łuku zewnętrznego zakola rzeki w czasie przejścia dużych wezbrań. Po trzecie – możliwości uwzględnienia lokalnego przesunięcia linii nurtu w kierunku łuku zewnętrznego zakola rzeki (możliwość erozji w korycie głównym w następstwie wtórnych przepływów helikoidalnych). Po czwarte – możliwości oceny wpływu porostu roślinności wysokiej na obszarach teras zalewowych na lokalne podniesienie poziomu zwierciadła wody w czasie przejścia wielkiej wody.

MODELOWANIE OBIEKTÓW KUBATUROWYCH W PROGRAMIE HEC-RAS JAKO NARZĘDZIE WSPARCIA PROJEKTANTA

Tomasz Wilk

Arcadis Polska

Kontakt: tomasz.wilk@arcadis.com

Modelowanie obiektów kubaturowych w programie HEC-RAS jako narzędzie wsparcia projektanta przedstawiono na przykładzie projektu przeciwpowodziowego zrealizowanego dla Banku Światowego. Projekt obejmował budowę polderów na Wiśle powyżej Krakowa oraz budowę zbiorników przeciwpowodziowych na dopływach Małej Wisły, tj. na rzekach Pszczynce i Gostyni.

W procesie prac projektowych można wskazać trzy etapy, w których modelowanie hydrauliczne stanowi narzędzie wspierające pracę projektanta:

1. Stan obecny (wariant 0)

Model hydrauliczny umożliwia wiarygodne odwzorowanie stanu obecnego. Analiza wyników wariantu 0, takich jak zasięg stref zalewowych, poziom wody czy prędkości przepływu, stanowi źródło wiedzy dla projektanta. HEC-RAS, poprzez wizualizację wyników w RAS Mapper, pozwala wychwycić miejsca wymagające specjalnego zabezpieczenia lub wpływające na skuteczność planowanych działań. Przykładem jest model rzeki Pszczynki, który wykazał duży odpływ wody z koryta rzeki na odcinku poniżej planowanego zbiornika i zalanie niezagospodarowanej doliny Kanału Branickiego, co zostało uwzględnione w analizie kosztów i korzyści budowy zbiornika.

2. Implementacja i optymalizacja działań przeciwpowodziowych (warianty inwestycyjne)

Implementacja obiektów przeciwpowodziowych w modelu hydraulicznym pozwala sprawdzić funkcjonowanie obiektu przy wstępnych założeniach projektanta oraz poprzez iteracyjne symulacje zoptymalizować wymiary urządzeń. Tabela 1 przedstawia iteracyjny dobór wymiarów upustu dennego dla zbiornika Gostyni. Wyniki modelowania wykazały, że światło o wy-

miarach $1 \times 0,65$ m jest optymalnym rozwiązaniem, pozwalającym uzyskać największą redukcję przepływu przy jednoczesnej kontroli poziomu wody w zbiorniku, bez przekroczenia maksymalnego poziomu piętrzenia (Max PP).

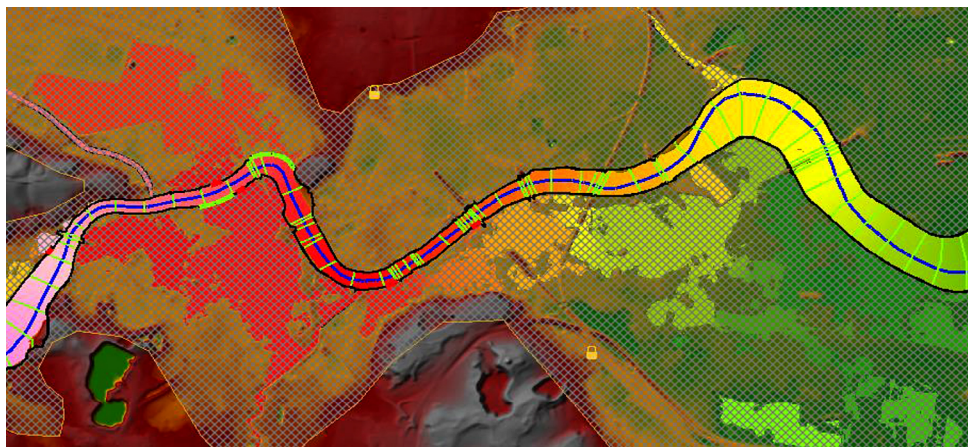
Tabela 1

Dobór światła upustu dennego – zbiornik Gostyń

Wymiary upustu dennego [m]	Łączny wydatek urządzeń upustowo-przelewowych [m ³ /s]	Redukcja przepływu [m ³ /s]	Redukcja przepływu [%]	Poziom wody na zbiorniku [m n.p.m.]
1 × 1	11,54	15,76	58	247,68
1 × 0,8	8,60	18,7	68	248,10
1 × 0,65	7,80	19,5	71	248,31
1 × 0,5	8,80	18,5	68	248,44

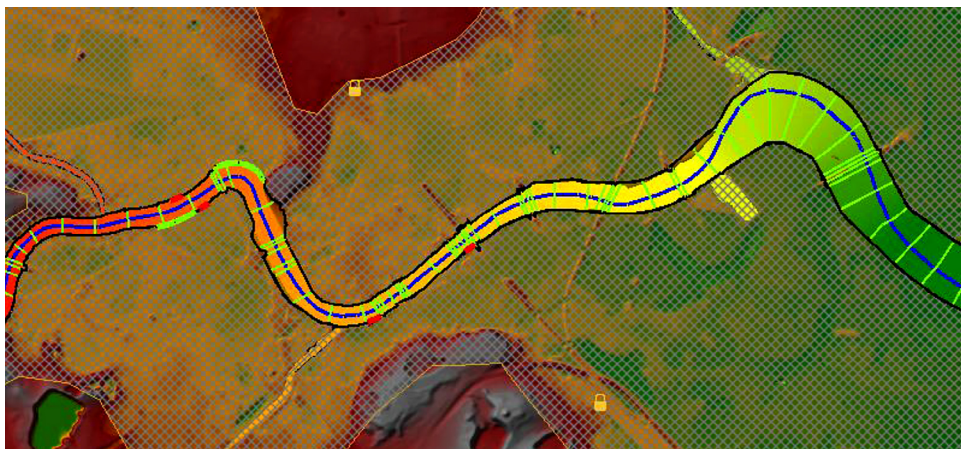
3. Analiza efektywności (proces decyzyjny)

Modelowanie pozwala ocenić efektywność działań przeciwpowodziowych na całej długości rzeki poniżej lokalizacji obiektu oraz wskazać wariant optymalny. Ocena efektywności odnosi się do dwóch kluczowych elementów: redukcji obszarów zagrożenia powodziowego oraz obniżenia poziomu wody w międzywalu. Rysunki 1 i 2 obrazują efektywność pracy projektowanych polderów na Wiśle w postaci redukcji zalewów w Krakowie wywołanych awarią murów przeciwpowodziowych. Praca polderów pozwala



Rys. 1. Strefa zalewowa $Q_{\max 1\%}$ w Krakowie w wyniku awarii murów przeciwpowodziowych – wariant 0

zredukować $Q_{\max 1\%}$ do bezpiecznego poziomu, niezagrożającego stabilności murów – strefa zalewowa mieści się w międzywalu Wisły.



Rys. 2. Strefa zalewowa $Q_{\max 1\%}$ w Krakowie w wyniku awarii murów przeciwpowodziowych – wariant z polderami

GEOFIZYCZNE BADANIA I MONITORING BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH I ICH PODŁOŻA

Tomisław Gołębiowski, Michał Ćwiklik

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: tomislaw.golebiowski@pk.edu.pl

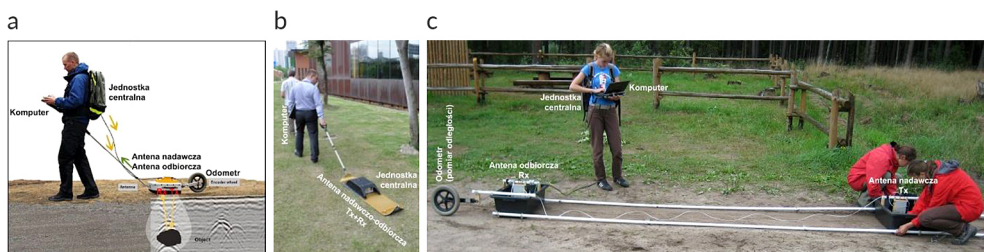
Metody geofizyczne od lat są stosowane z powodzeniem do nieinwazyjnego badania obiektów hydrotechnicznych i ich podłoża oraz do monitoringu czasowego procesów zachodzących w obiektach/podłożu. Z szerokiej gamy metod geofizycznych, w hydrotechnice stosuje się obecnie kilka, wybranych metod, tj. metodę georadarową GPR (ang. *Ground Penetrating Radar*), tomografię elektrooporową ERT (ang. *Electrical Resistivity Tomography*) oraz konduktometrię GCM (ang. *Ground Conductivity Meter*). Uzupełniającą prowadzi się badania technikami sejsmicznymi i przy pomocy metody CCR (ang. *Capacitively-Coupled Resistivity*).

Rozwijane i stosowane od wielu lat w Katedrze Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej metody geofizyczne są ukierunkowane na rozwiązywanie problemów pojawiających się w szeroko rozumianych zagadnieniach wodnych, związanych głównie z bezpieczeństwem technicznym i funkcjonalnym istniejących obiektów hydrotechnicznych a w zakresie projektowym – rozpoznaniem warunków ich posadowienia.

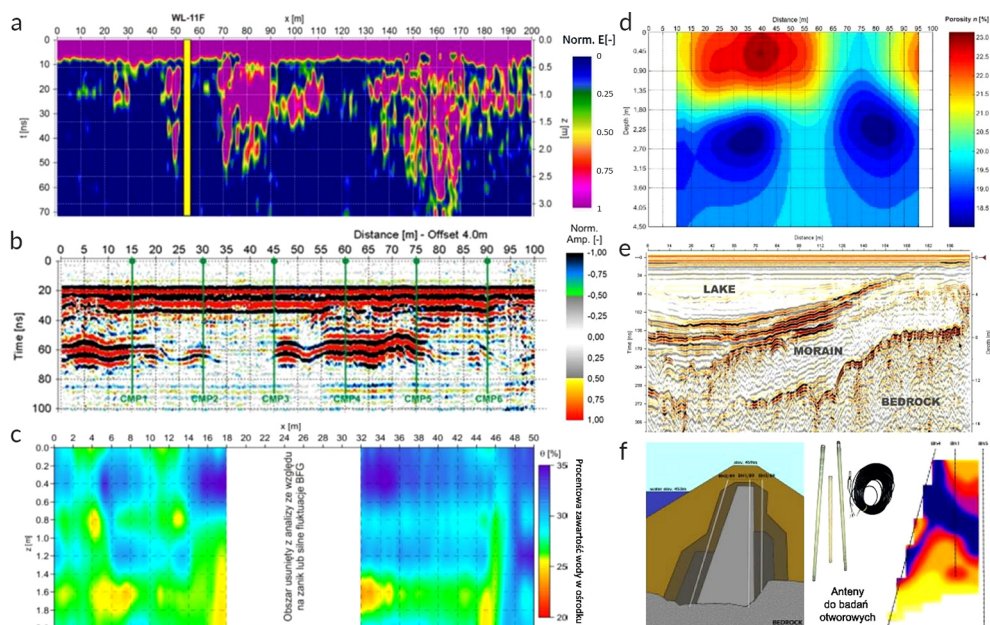
Przedmiotem referatu są wyniki prac badawczo-rozwojowych w zakresie metody georadarowej GPR.

Typowy georadar (rys. 1a) składa się z anteny nadawczej (Tx) i odbiorczej (Rx) zamontowanych w jednej ekranowanej obudowie (rzadziej stosuje się anteny nieekranowane), jednostki centralnej, laptopa/tabletu/smartfona oraz urządzenia do pozycjonowania pomiaru (np. GPS, odometr). Standardową techniką pomiarową w metodzie georadarowej, stosowaną przez większość firm geofizycznych, jest krótko-/zero-offsetowe profilowanie refleksyjne. Badanie krótko-/offsetowe polega na przemieszczaniu wzdłuż profilu pomiarowego układu anten, które oddalone są od siebie o stałą i małą odległość (offset) – rys. 1a. Czasami stosuje się jedną antenę nadawczo-odbiorczą (rys. 1b), a taki pomiar nazywany jest zero-offsetowym. Antena nadawcza emituje w głąb badanego ośrodka falę

elektromagnetyczną, która po odbiciu rejestrowana jest przez antenę odbiorczą, a uzyskany obraz nazywany jest radargramem. Badania zero-/krótko-offsetowe są tanie, szybkie, jednoosobowe i nie wymagają zaawansowanego przetwarzania oraz wizualizacji, a ich interpretacja jest relatywnie prosta. Niestety ich ogrom-



Rys. 1a) Georadar z antenami Tx i Rx zintegrowanymi w obudowie ekranowanej (www.guidelinegeo.com), b) georadar z pojedynczą anteną nadawczo-odbiorczą Tx+Rx (www.radsys.lv), c) georadar z rozseparowanymi antenami Tx i Rx (konstrukcja własna)



Rys. 2. Radargram z krótko-offsetowego (a) i szeroko-offsetowego (b) badania refleksyjnego wiatu, c) wilgotność ośrodka wyznaczona z badań przy użyciu bezpośredniej fali gruntowej DGW, d) porowatość wiatu wyznaczona z badań prędkościowych CMP, e) radargram z krótko-offsetowego profilowania osadów dennych wykonanego z powierzchni jeziora, f) wyniki badań tomograficznych

nym ograniczeniem jest możliwość rozwiązywania jedynie prostych problemów z zakresu hydrotechniki.

Rozwój metody GPR w zakresie pomiarów kontrolnych budowli hydrotechnicznych i ich podłoża ukierunkowano na:

- a) przetwarzanie cyfrowych sygnałów i obrazów,
- b) komputerowe techniki wizualizacyjne,
- c) symulacje komputerowe,
- d) interpretację radargramów z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, uczenia maszynowego i innych technik informatycznych.

Prezentowane wyniki dotyczą badań przeprowadzonych przez autorów georadarem z rozseparowanymi antenami (rys. 1c), w powiązaniu z wynikami literaturowymi, w celu przedstawienia wzrostu możliwości detekcyjnych metody GPR poprzez zastosowanie niestandardowych technik pomiarowych (rys. 2), takich jak:

- krótko-/zero-offsetowe pomiary z drona i na wodzie,
- szeroko-offsetowe pomiary refleksyjne na lądzie/wodzie,
- pomiary refrakcyjne,
- badania prędkościowe – WARR, CMP, DGW,
- badania przy różnej polaryzacji fal elektromagnetycznych,
- badania otworowe: tomografia, profilowanie, VRP.

TOMOGRAFIA ELEKTROOPOROWA ERT W BADANIACH ZBIORNIKÓW WODNYCH

Michał Ćwiklik, Tomisław Gołębiowski

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: michal.cwiklik@pk.edu.pl

Tomografia elektrooporowa ERT (ang. *Electrical Resistivity Tomography*) jest dziś jednym z najskuteczniejszych narzędzi w rozwiązywaniu problemów inżynierskich i środowiskowych. Metoda znajduje zastosowanie m.in. w hydrotechnice, geologii inżynierskiej, hydrogeologii, geotechnice, ochronie środowiska, górnictwie oraz w archeologii. Od strony technicznej pomiar ERT polega na wprowadzaniu prądu do ośrodka przez parę elektrod prądowych i pomiarze różnic potencjału na elektrodach potencjałowych. Następnie wyniki pomiaru poddawane są procesowi inwersji z użyciem specjalistycznego oprogramowania, co pozwala odtworzyć rozkład oporności elektrycznej w badanym ośrodku i stworzyć przekrój oporności, interpretowany następnie kontekstowo.

Na lądzie metoda ta od lat jest stosowana z powodzeniem do nieinwazyjnego rozpoznania budowli hydrotechnicznych i ich podłoża, badania wałów przeciwpowodziowych i zapór, lokalizacji stref rozluźnień i przecieków, rozpoznania budowy geologicznej i poziomów wodonośnych, a także do monitoringu czasowego procesów zachodzących w ośrodku gruntowym.

Możliwości zastosowania metody ERT nie kończą się jednak na tego typu pomiarach. Coraz częściej badania ERT prowadzone są bezpośrednio na wodzie: na rzekach, jeziorach i zbiornikach retencyjnych, a nawet na morzu. W literaturze anglojęzycznej pomiary te określa się jako *Waterborne ERT*, *Underwater ERT* lub *Continuous Resistivity Profiling CRP*.

W Katedrze Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej PK od wielu lat stosuje się metody geofizyczne do rozwiązywania problemów pojawiających się w szeroko rozumianych zagadnieniach wodnych, a obecnie autorzy rozwijają metodykę pomiarów ERT prowadzonych na akwenach śródlądowych (jeziorach, rzekach i zbiornikach retencyjnych). W badaniach na zbiornikach słodkowodnych ERT wykorzystuje się przede wszystkim do rozpoznania miąższości i struktury osadów

dennych, geometrii podłoża skalnego, lokalizacji stref przecieków oraz stref wymiany wód powierzchniowych z podziemnymi. Stosunkowo wysoka oporność wody słodkiej (zwykle kilkadziesiąt do kilkuset Ωm) zapewnia tu znacznie lepszą penetrację i rozdzielczość niż w środowisku morskim, gdzie silnie przewodząca woda (rzędu dziesiątych części Ωm) przejmuje większość prądu i ogranicza głębokość rozpoznania.

W zależności od skali badań, głębokości akwenu i wymaganej rozdzielczości stosuje się kilka wariantów pomiarowych. Profilowanie ciągłe z łodzi (CRP) z holowanym kablem z elektrodami pływającymi pozwala szybko pokryć duże powierzchnie płytkich jezior i zbiorników. Stacjonarny kabel denny zapewnia stabilniejsze dane, a wariant z elektrodami opuszczanymi do dna z kabla pływającego sprawdza się w głębszych jeziorach, gdzie ogranicza dominację warstwy wody, szczególnie w układzie dipol-dipol. W rzekach ERT służy do rozpoznania strefy hyporeicznej, połączeń wód powierzchniowych i podziemnych oraz geometrii osadów korytowych.

Szczególnie perspektywiczne są pomiary hybrydowe, w których jeden profil przechodzi przez ląd, strefę brzegową i akwen. Część elektrod jest wówczas wbita w grunt, a część położona na dnie zbiornika, co pozwala wykonać ciągły profil przez granicę środowisk, takich jak przez przyczółki mostowe, brzegi rzek i jezior, korony i podstawy zapór, wały oraz strefy litoralne. Wymaga to wspólnego modelu topografii i batymetrii, ale przełamuje sztuczny podział między geofizyką lądową i wodną, a wspólna inwersja zapewnia spójność interpretacji struktur przecinających linię brzegową.

Pomiary wodne ERT wymagają nie tylko miernika i elektrod, ale i całego systemu akwizycji. Niezbędnymi elementami są:

- miernik wielokanałowy,
- kabel morski/denny z elektrodami grafitowymi, stalowymi lub nierdzewnymi – pływający, holowany, denny lub mieszany ląd-woda,
- łódź, ponton lub pływaki utrzymujące linię profilu i stałą prędkość holowania,
- system pozycjonowania GPS/GNSS/RTK do georeferencji danych,
- echosonda do pomiaru batymetrii i grubości warstwy wody,
- sonda CTD (przewodność i temperatura wody) do określenia oporności wody jako parametru inwersji,
- oprogramowanie inwersyjne (np. Res2DInv).

Największym wyzwaniem metody pozostaje przewodząca warstwa wody, która kanalizuje prąd i zmniejsza czułość na struktury pod dnem, a także dryf holowanego kabla i niejednoznaczność interpretacji oporności. Kluczowe jest więc

dokładne modelowanie batymetrii i oporności wody oraz walidacja wyników danymi niezależnymi (sonar, rdzenie, sondowania, pomiary hydrologiczne).

W referacie autorzy zaprezentują możliwości, jakie daje zastosowanie metody ERT głównie na akwenach śródlądowych. Pomiary na wodzie pozwalają bowiem na:

- nieinwazyjne, szybkie i ciągłe pokrycie profili niedostępnych dla klasycznej ERT lądowej,
- obrazowanie miąższości i struktury osadów dennych jezior, rzek i zbiorników retencyjnych oraz rozpoznanie stref wymiany wód powierzchniowych z podziemnymi i stref hyporeicznych w rzekach,
- wczesną detekcję przecieków przez dno i uszkodzeń geomembran w zbiornikach zaporowych, zanim pojawią się objawy na powierzchni,
- ciągłe obrazowanie struktur w układach hybrydowych łąd–woda, jako jednej domeny pomiarowej zaporą–zbiornik–łąd, oraz monitoring czasowy procesów zachodzących w osadach i podłożu zbiorników wodnych.

Z technicznego punktu widzenia sukces pomiaru zależy nie tyle od samej aparatury elektrooporowej, co od: stabilnej geometrii kabla, dokładnej pozycji, batymetrii, pomiaru oporności wody, kontroli jakości danych i poprawnej inwersji danych. ERT w wariancie wodnym nie należy traktować jako standardowy pomiar w ośrodku o niskiej oporności, lecz jako odrębne podejście pomiarowe, które tylko z pozoru jest tą samą metodą co ERT lądowa. Obecność warstwy wody zmienia fizykę pomiaru, geometrię układu i sposób inwersji na tyle, że w praktyce mamy do czynienia niemal z osobną metodą geofizyczną.

TOPOGRAPHIC DIFFERENCING W OKREŚLENIU ZAŁADOWANIA CZASZY ZBIORNIKA RETENCYJNEGO Z WYKORZYSTANIEM ARCHIWALNYCH OPRACOWAŃ KARTOGRAFICZNYCH I NOWOCZESNYCH METOD POMIAROWYCH

Beata Baziak, Marek Bodziony, Cezary Toś, Anna Szafarczyk

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakty: beata.baziak@pk.edu.pl; marek.bodziony@pk.edu.pl;
cezary.tos@pk.edu.pl; anna.szafarczyk@pk.edu.pl

Celem pracy była ocena załadowania czaszy zbiornika zaporowego Klimkówka z wykorzystaniem analizy różnic cyfrowych modeli wysokości (ang. *Topographic Differencing*, TD) utworzonych dla dwóch okresów: sprzed napełnienia zbiornika oraz po 30 latach jego eksploatacji. Model archiwalny opracowano na podstawie zeskanowanej i skalibrowanej analogowej mapy sytuacyjno-wysokościowej w skali 1 : 5000, poddanej wektoryzacji warstw i punktów wysokościowych. Model aktualny uzyskano z integracji fotogrametrii z UAV (ortofotomapa GSD 0,03 m, DEM 0,1 m) oraz pomiarów batymetrycznych echosondą dwuczęstotliwościową pozycjonowaną GNSS. Szczegółowo przeanalizowano dokładność obu modeli, uwzględniając błędy kartometryczne, skurcz mapy, proces skanowania i kalibracji oraz niejednorodną dokładność archiwalnych danych wysokościowych. Na podstawie różnicy DEM oszacowano objętość załadowania na 222 951 m³, co odpowiada ok. 0,5% pojemności początkowej zbiornika i mieści się w granicach błędu pomiarowego, przez co wynik uznano za niewiarygodny. Szczegółowa analiza wybranych przekrojów poprzecznych wykazała lokalne procesy akumulacji w strefie cofki oraz erozji stoków, jednak nie pozwoliła na rzetelną ocenę załadowania całej czaszy. Autorzy wnioskują, że wiarygodne zastosowanie metody TD wymaga porównania dwóch modeli wykonanych w zbliżonej, wysokiej dokładności (np. UAV + batymetria), natomiast analogowe materiały kartograficzne z lat 70. XX wieku często nie spełniają współczesnych wymogów dokładności niezbędnych dla tego typu analiz.

ROLA CZŁOWIEKA W POZYSKANIU I PRZETWARZANIU DANYCH PRZESTRZENNYCH WOBEC DYNAMICZNEGO ROZWOJU AUTOMATYZACJI POMIARÓW NA WYBRANYCH PRZYKŁADACH PROJEKTÓW HYDROTECHNICZNYCH

Leszek Balcarczyk¹, Dariusz Niemirski²

¹ 3D FORMAT sp. z o.o.

² INWDAR-PROJEKT

Rozwój geodezyjnych metod pomiarowych następuje w ostatnich latach niezwykle dynamicznie. Fotogrametria niskopułapowa, lotniczy skanowanie laserowe czy zautomatyzowane pomiary batymetryczne z wykorzystaniem tzw. dronów to techniki, które stopniowo stają się podstawą pozyskania danych przestrzennych w terenie. Z kolei pojęcia wyników pomiarów, takie jak ortofotomapa, numeryczny model terenu czy chmura punktów 3D, to produkty coraz bardziej powszechne. Czy dostępność i łatwość wykonania pomiarów przy jednoczesnej coraz większej automatyzacji przetwarzania tych danych oznacza ograniczenie roli człowieka w procesie właściwej inwentaryzacji obiektu hydrotechnicznego? Doświadczenie wskazuje, że staje się to bezsprzecznym faktem.

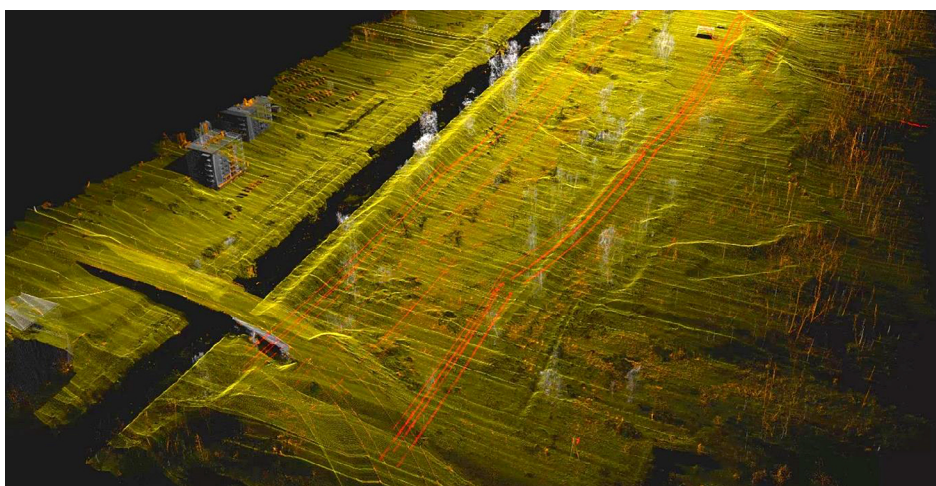
Bezinnwazyjne, geodezyjne techniki pomiarowe pozwalają na tworzenie zaawansowanych trójwymiarowych, szczegółowych inwentaryzacji wymiarowych i obrazowych w postaci modeli istniejącego obiektu budowlanego. Dostarczają one odpowiednio większą ilość danych na potrzeby realizacji procesu projektowania remontów i napraw oraz pozyskania informacji i danych do analiz porównawczych zmian jego geometrii w czasie, powodowanych procesami erozyjnymi lub wpływem oddziaływań zewnętrznych, oraz mających znaczenie dla stateczności budowli procesów geologicznych. Z kolei metoda geofizyczna – tomografia elektrooporowa – to reprezentatywny sposób tworzenia ciągłego modelu warunków gruntowych w badanym obszarze, dającego podstawy precyzyjnej analizy lokalizacji dyslokacji oraz stref wątpliwych w ośrodku pod kątem typowania lokalizacji badań w ramach diagnostyki szczegółowej ze względu na akwizycję danych do projektowania oraz oceny stanu i bezpieczeństwa funkcjonowania danego obiektu budowlanego.



Fot. 1. Dron Acecore Zoe wyposażony w LiDAR Riegl miniVUX-3 oraz aparat pełnoklatkowy przed startem na obwałowaniu zbiornika górnego Elektrowni Szczytowo-Pompowej Porąbka-Żar

Referat w sposób przekrojowy przedstawi zastosowanie nowoczesnych metod pomiarowych oraz badawczych z zakresu geodezji i geofizyki na praktycznych przykładach w diagnostyce konstrukcji ziemnych i podłoża gruntowego:

- a) lotniczy skaning laserowy LiDAR i fotogrametria korpusu wału przeciwpowodziowego Domaszków–Tarchalice oraz lewostronnych wałów rzeki Opawy w miejscowości Bliszczycze,



Rys. 1. Sklasyfikowana, szczegółowa chmura punktów 3D w rejonie rzeki i wałów przeciwpowodziowych

- b) badania geofizyczne budowli ziemnych oraz podłoża gruntowego z zastosowaniem metody tomografii elektrooporowej ERT Domaszków–Tarchalicy oraz lewostronnych wałów rzeki Opawy w miejscowości Bliszczycze,
- c) pomiary batymetryczne z wykorzystaniem bezzałogowej łodzi wyposażonej w sondę jednowiązkową w celu badania zmienności układu dna koryt rzek i czasz zbiorników wodnych o stałym piętrzeniu na przykładzie realizacji naprawy budowli w przekroju kalibrującym koryta rzeki Odry na wysokości Polderu Buków.

Wykorzystanie aktualnych zdobyczy wiedzy w zakresie pomiarów jest w pełni uzasadnione. Oznacza ono odpowiednio dużą (dostosowaną do specyfiki obiektu i potrzeb realizacji procesu projektowania lub oceny stanu technicznego) ilość reprezentatywnych danych pozyskanych szybko, dokładnie i bezpiecznie. Poprawna realizacja tych czynności wymaga jednak odpowiedniego przygotowania i wiedzy człowieka operującego w 4 zasadniczych etapach, mianowicie:

- 1) pozyskania danych w terenie odpowiednio dobraną techniką pomiarową,
- 2) przetworzenia danych z zachowaniem i zapewnieniem wysokiej dokładności i jakości modeli przestrzennych,
- 3) interpretacji danych przez eksperta z zakresu hydrotechniki,
- 4) udostępnienia klientowi danych wynikowych w jak najszerszym i zaawansowanym zakresie przy jednoczesnym zapewnieniu możliwości wykorzystania danych przez odbiorcę docelowego.

Pierwszy z tych etapów wymaga przede wszystkim odpowiedniego sprzętu, etap drugi i czwarty – zwykle również odpowiedniego oprogramowania. Każdy z nich wymaga jednak wiedzy eksperckiej, która musi być podstawą podejmowanych działań w realizowanym projekcie. Odpowiednia wiedza techniczna, znajomość specyfiki budowy i pracy danego obiektu lub obszaru terenu i zdobyte doświadczenie praktyczne pozwalają na coraz lepsze i efektywniejsze wykorzystanie ogromnego potencjału danych przestrzennych pozyskiwanych na potrzeby zarówno projektów, jak i opracowań eksperckich, w tym także z zakresu hydrotechniki. Aby ten potencjał wydobyć niezbędny jest człowiek – przeszkolony oraz wyposażony we właściwe narzędzia.

18:50	PANEL DYSKUSYJNY	A1-3 DUŻA AULA
	Moderator PGE/przedstawiciel Tauron	
	Hydroenergetyka	
18:50	PANEL DYSKUSYJNY	B1-3 MAŁA AULA
	Moderator prof. dr hab. inż. Robert Czerniawski	
	Hydrotechnika środowiskowa	

	BANKIET
20:30	Restauracja Avangarda, ul. Zybkiewicza 1, Kraków

DZIEŃ 2 – 16.09.2026		
09:00–10:30	HYDROTECHNIKA I BUDOWNICTWO WODNE 1	A2-1 DUŻA AULA
MODERATOR dr hab. inż. Andrzej Truty, prof. PK		

ZAWIESINY TWARDNIEJĄCE NA BAZIE ODPADÓW POPROCESOWYCH JAKO MATERIAŁY USZCZELNIAJĄCE OBIEKTY HYDROTECHNICZNE

Paweł Falaciński

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska,
Zakład Budownictwa Wodnego i Hydrauliki

Kontakt: pawel.falacinski@pw.edu.pl

Jednym z najczęściej stosowanych materiałów do uszczelnień budowli piętrzących są zawiesiny twardniejące, które znalazły szerokie zastosowanie m.in. w przesłonach przeciwfiltacyjnych.

W zawiesinach twardniejących od lat stosuje się uboczne produkty spalania węgla, osadów ściekowych, a w ostatnich latach podjęto próby zaimplementowania w składzie zawiesin nowych rodzajów odpadów poprocesowych, takich jak np. popioły z termicznego przekształcania odpadów komunalnych.

W ostatnich 10 latach ok. 25% wszystkich odpadów komunalnych w Polsce zostało poddanych procesowi termicznego przekształcania. W związku z tym ilość tych rodzajów popiołów jest znaczna. Ze względu na ich specyficzne właściwości trudno jest wykorzystać ten rodzaj odpadów w ramach technologii betonu. Stosowanie materiałów odpadowych w korzystny sposób wpływa na obniżenie śladu węglowego zawiesin, ale może mieć negatywny wpływ na właściwości zawiesin oraz inne aspekty środowiska, np. wody gruntowe. W wyniku kontaktu przesłon przeciwfiltacyjnych z wodami gruntowymi może dojść do ich zanieczyszczenia substancjami znajdującymi się w wykorzystanych odpadach. W referacie podjęto

próbę określenia wpływu wybranych odpadów poprocesowych na podstawowe (zarówno technologiczne, jak i użytkowe) właściwości zawiesin twardniejących oraz poziomu uwalniania z nich metali ciężkich pochodzących z wykorzystanych materiałów odpadowych. Na bazie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że przy spełnieniu założonych kryteriów środowiskowych możliwe jest wykonanie zawiesin twardniejących na bazie odpadów poprocesowych powstałych z termicznego przekształcania odpadów komunalnych o pożądanych właściwościach technologicznych i użytkowych.

NAPRAWY KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH I ZIEMNYCH OBIEKTÓW HYDROTECHNICZNYCH

Adam Gonera, Darosław Demski

MC-Bauchemie Sp. z o.o.

Kontakt: adam.gonera@mc-bauchemie.pl

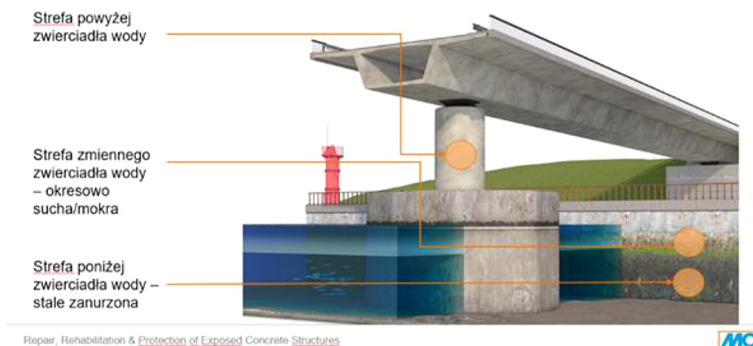
Obiekty hydrotechniczne – od małych jazów po zapory, śluzy i elektrownie wodne – to w większości konstrukcje żelbetowe i ziemne narażone na intensywne oddziaływania korozyjne i erozyjne. W betonie zachodzą m.in. karbonatyzacja, wnikanie wody wraz z chlorkami i siarczanami, ługowanie oraz przemarzanie, czemu towarzyszą obciążenia mechaniczne i parcie wody. Skutkuje to rysami i pęknięciami, odspojeniami otuliny oraz korozją zbrojenia. Strategiczna rola tych obiektów w ochronie przeciwpowodziowej, gospodarce wodnej i produkcji energii sprawia, że ich utrzymanie wymaga systematycznych i trafnie dobranych prac naprawczych.

Celem referatu jest uporządkowanie kryteriów doboru rozwiązań naprawczych dla konstrukcji żelbetowych i ziemnych obiektów hydrotechnicznych oraz wskazanie zależności między warunkami ekspozycji a technologią naprawy. Punktem odniesienia jest norma PN-EN 1504 wraz z wytycznymi uzupełniającymi (m.in. ZTV-W LB 219), porządkującymi proces od przygotowania podłoża, przez naprawę konstrukcyjną i iniekcję, po ochronę powierzchniową i kontrolę jakości.

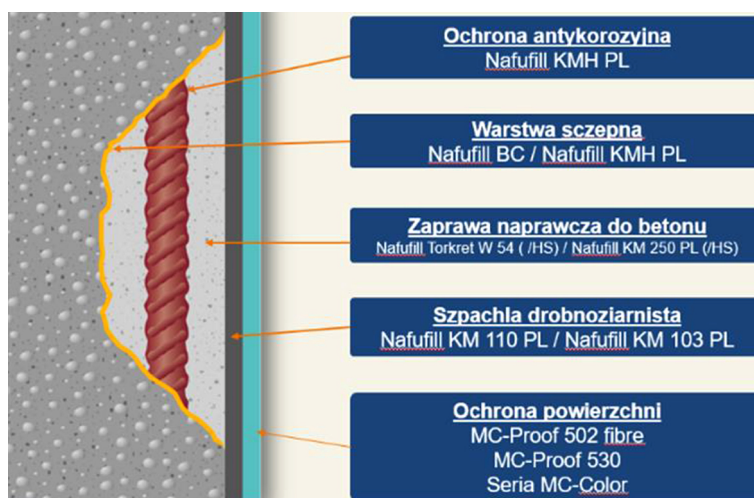
Punktem wyjścia jest podział obiektu na trzy strefy zagrożenia korozyjnego: powyżej zwierciadła wody, w strefie zmiennego lustra wody (rozbryzgu) oraz w strefie podwodnej. Każda z nich narzuca odmienne wymagania wobec materiałów – od odporności na UV i karbonatyzację, przez najwyższą odporność na cykle mokro-sucho i przemarzanie w strefie rozbryzgu, po szczelność i zdolność wiązania pod wodą poniżej lustra (rys. 1).

Jeśli chodzi o warstwę technologiczną, referat omawia kolejne etapy naprawy. Uszczelnianie rys i przerw roboczych realizowane jest metodą iniekcji, z doбором żywicy do zadania: hydrostrukturalnej i poliuretanowej do elastycznego uszczelnienia rys (już od rozwartości ok. 0,1 mm), a epoksydowej tam, gdzie konieczne jest przywrócenie nośności elementu. Naprawę ubytków prowadzi się zaprawami mineralnymi w klasie R4 wg PN-EN 1504-3 oraz torkretem, w wersjach

odpornych na siarczany (HS), z doborem według klas ekspozycji PN-EN 206-1 oraz XW 1-2 według ZTV-W LB 219.

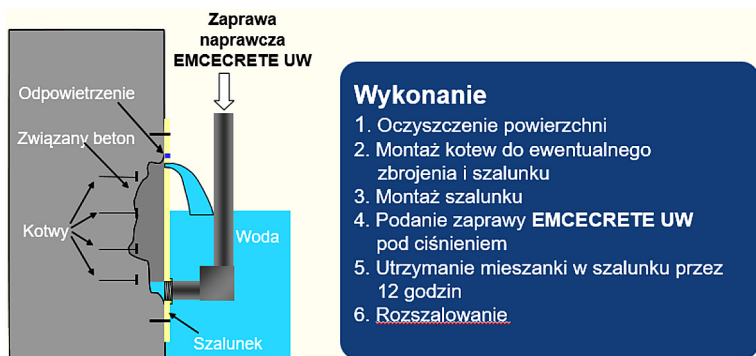


Rys. 1. Strefy zagrożenia korozyjnego obiektu hydrotechnicznego i przyporządkowanie technologii naprawczych



Rys. 2. Schemat aplikacji materiałów naprawczych oraz powłok ochronnych

Odrębnym zagadnieniem są naprawy podwodne wykonywane bez obniżania lustra wody. Zaprawa podawana przez otwór zalewowy w szalunku wypiera wodę, nie ulega wymywaniu i wiąże pod wodą, trwale wypełniając ubytek. Etap ochrony powierzchniowej obejmuje powłoki pełniące funkcję hydroizolacji odpornej na ciśnienie wody dodatnie i ujemne, mostkujące rysy statyczne i dynamiczne (również w temperaturach ujemnych) oraz ograniczające penetrację chlorów w klasach XS3 i XD3.



Rys. 3. Schemat stosowania zaprawy EMCEKRETE UW do trudnych podwodnych napraw konstrukcji hydrotechnicznych

Znaczną część krajowych obiektów hydrotechnicznych stanowią konstrukcje ziemne (zapory, wały), w których dominują procesy erozyjne, osiadanie i wymywanie gruntu. Dla nich przedstawiono bezwykopowe wzmocnianie metodą iniekcji polimerowych: żywica wprowadzana pod niewielkim ciśnieniem wypiera wodę i powietrze z porów oraz kawern, wypełnia pustki i wiąże się ze szkieletem gruntowym, tworząc zwarty kompozyt gruntowo-żywiczny. Technologię stosuje się m.in. do stabilizacji skarp, rdzeni wodoszczelnych zapór i podbudowy dróg dojazdowych, szczególnie w warunkach utrudnionego dojazdu ciężkiego sprzętu.

Referat kładzie nacisk na praktyczne powiązanie klas ekspozycji i wymagań normowych z konkretnymi grupami materiałów oraz na rolę prawidłowego przygotowania podłoża. Omawiane rozwiązania należą do portfolio firmy MC-Bauchemie, która prowadzi m.in. szkolenia technologiczne dla projektantów, eksploataatorów obiektów hydrotechnicznych i wykonawców. Uczestnicy otrzymują uporządkowany przegląd metod napraw obiektów żelbetowych i ziemnych, przydatny przy doborze systemów do specyfiki danego obiektu.

ZASTOSOWANIE HYBRYDOWEJ PRZESŁONY PRZECIWFILTRACYJNEJ (HPP) W REMONTACH OBIEKTÓW HYDROTECHNICZNYCH PRZY UTRZYMANYM PIĘTRZENIU WODY

Michał Sołtysik, Robert Sołtysik

Soley sp. z o.o.

Kontakt: m.soltysik@soley.pl

Referat przedstawia ideę, podstawowe założenia technologiczne, parametry oraz sposób wykonania Hybrydowej Przesłony Przeciwfiltracyjnej (HPP), stanowiącej innowacyjną metodę uszczelniania zapór czołowych, zapór bocznych oraz wałów obiektów stale piętrzących wodę. Kluczową cechą omawianego rozwiązania jest możliwość prowadzenia robót bez konieczności opróżniania zbiornika na czas wykonywania przesłony.

W pierwszej części referatu omówione zostaną wybrane technologie stosowane obecnie przy wykonywaniu przesłon przeciwfiltracyjnych w budownictwie hydrotechnicznym, ze wskazaniem ich podstawowych zalet, ograniczeń oraz warunków stosowania. Następnie szerzej zaprezentowana zostanie technologia CDMM, określana również jako trenczmiksing, polegająca na ciągłym wgłębnym mieszaniu gruntu z zawiesiną cementowo-bentonitową. Na tym tle przedstawiono zostanie jej modyfikacja w postaci HPP.

Technologia HPP polega na instalowaniu grodzic PVC, wyposażonych w dodatkową uszczelkę, w świeżej mieszance gruntobetonowej powstałej w procesie mieszania gruntu z zawiesiną cementowo-bentonitową. W efekcie powstaje układ kompozytowy, łączący właściwości przesłony gruntobetonowej z dodatkową barierą w postaci szczelnych grodzic. Rozwiązanie to pozwala uzyskać bardzo niski współczynnik filtracji, na poziomie $k \leq 10^{-11}$ m/s, nieosiągalny dla wielu tradycyjnych technologii przesłon przeciwfiltracyjnych. Parametr ten został potwierdzony badaniami przeprowadzonymi w Instytucie Technologiczno-Przyrodniczym w Falentach oraz odpowiednią Krajową Oceną Techniczną.

Szczególnie istotną zaletą HPP jest jej odporność na przebicie hydrauliczne w trakcie instalacji na obiektach, na których podczas remontu utrzymywane jest

piętrzenie wody. W przypadku innych rozwiązań, takich jak przestony wykonywane metodą wgłębnego mieszania gruntu lub przestony kopane wypełniane zawiesiną tężącą, ryzyko przebić hydraulicznych może pojawić się w fazie początku wiązania spoiwa, zwłaszcza przy działaniu parcia wody wynikającego z różnicy poziomów między górnym i dolnym stanowiskiem obiektu hydrotechnicznego.

Referat obejmie również opis realizacji HPP o głębokości 16 m, wykonanej jesienią 2025 roku na zbiorniku Cedzyna pod Kielcami. Przykład ten posłuży do omówienia praktycznych aspektów prowadzenia robót, warunków wykonawczych oraz najważniejszych parametrów uzyskanych podczas zastosowania technologii HPP w warunkach czynnego obiektu hydrotechnicznego.



Fot. 1. Realizacja HPP na zbiorniku Cedzyna pod Kielcami, październik 2025

09:00-10:30	ZAPOBIEGANIE POWODZI I SUSZY 1	B2-1 MAŁA AULA
MODERATOR dr hab. inż. Karol Plesiński, prof. URK		

REGIONALIZACJA PRZEPŁYWÓW NISKICH JAKO NARZĘDZIE WSPOMAGAJĄCE PROJEKTOWANIE I ZARZĄDZANIE GOSPODAROWANIEM WODĄ W ZLEWNIACH

Katarzyna Baran-Gurgul¹, Andrzej Wałęga²

¹ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

² Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji,
Katedra Inżynierii Sanitarnej i Gospodarki Wodnej

Kontakt: katarzyna.baran-gurgul@pk.edu.pl

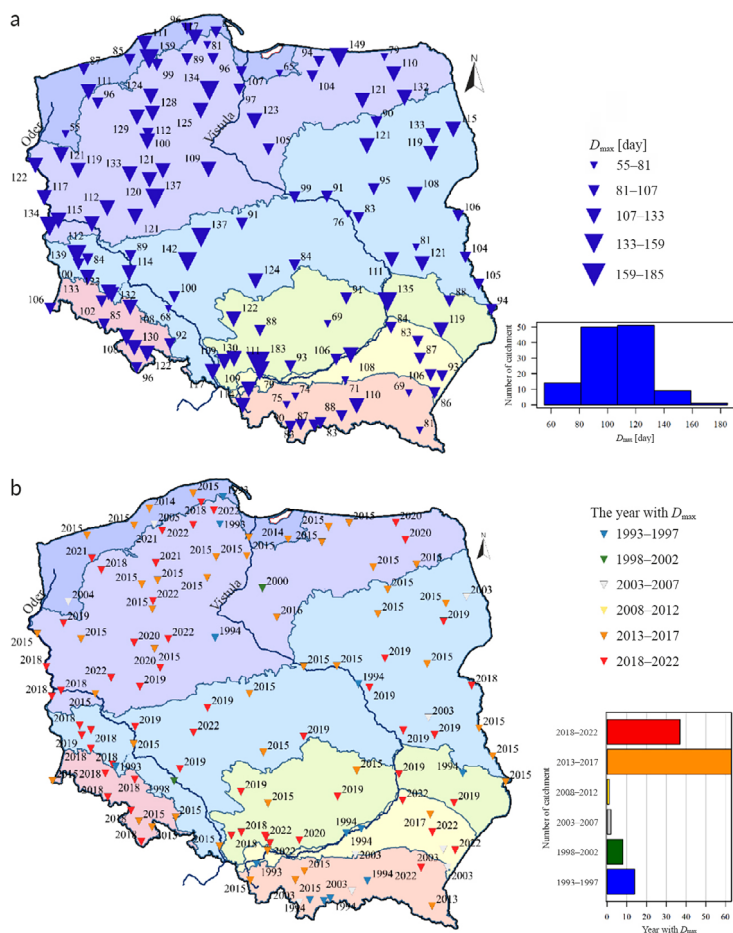
Praca przedstawia analizę zmienności przestrzenno-czasowej letnich susz hydrologicznych w Polsce w latach 1993–2022, z uwzględnieniem 7 regionów fizycznogeograficznych. Badania oparto na danych z 52 stacji meteorologicznych oraz 125 wodowskazów, wykorzystując wskaźnik SRI oraz liczbę dni z niżówką rzeczną definiowanych przepływem granicznym $Q_{90\%}$.

Wyniki wskazują na wyraźne zróżnicowanie regionalne przebiegu susz hydrologicznych. Największą intensywność oraz najdłuższe okresy przepływów niskich obserwuje się w regionach nizinnych Polski północnej i centralnej, natomiast obszary górskie cechują się większą stabilnością odpływu dzięki wyższym opadom i niższej ewapotranspiracji. We wszystkich regionach stwierdzono istotny wzrost temperatury powietrza, prowadzący do zwiększenia ewapotranspiracji, przy jednoczesnym braku jednoznacznych trendów opadowych. W efekcie obserwuje się nasilanie deficytu wodnego oraz wydłużanie okresów niżówkowych, szczególnie po 2015 roku (rys. 1).

Uzyskane wyniki mają istotne znaczenie dla nowoczesnej hydrotechniki i gospodarki wodnej. Przepływy niskie stanowią kluczowy parametr w projektowaniu i regulacji koryt rzecznych, wymiarowaniu budowli hydrotechnicznych oraz

określaniu przepływów środowiskowych. Ich rosnąca zmienność i wydłużający się czas trwania wymagają uwzględnienia w procesie projektowym oraz eksploatacji infrastruktury wodnej.

Wyniki wskazują na konieczność zwiększania zdolności retencyjnych zlewni, wdrażania rozwiązań opartych na naturze oraz dostosowania strategii zarządzania zasobami wodnymi do warunków zmian klimatu. Regionalizacja susz hydrologicznych może stanowić podstawę do optymalizacji działań hydrotechnicznych oraz zwiększenia odporności systemów wodnych na ekstremalne zjawiska hydrologiczne.



Rys. 1. Najwyższa roczna liczba dni z niżówką rzeczną w okresie 1993–2022: a) wraz z informacją o roku, w którym ta największa liczba wystąpiła, b) na tle regionów fizycznogeograficznych w Polsce

SPOŁECZNA WIEDZA NA TEMAT POWODZI – SPOSTRZEŻENIA NA BAZIE ANKIETYZACJI

Karolina Łach, Katarzyna Baran-Gurgul

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: karolina.lach@pk.edu.pl

Postępujące zmiany klimatyczne oraz rosnąca częstotliwość zjawisk ekstremalnych, w tym powodzi, wskazują na konieczność wzmacniania odporności społecznej poprzez rozwój wiedzy, świadomości zagrożeń oraz gotowości do podejmowania działań prewencyjnych i adaptacyjnych. Szczególne znaczenie ma poziom świadomości osób kształcących się na kierunkach technicznych związanych z gospodarką wodną i ochroną środowiska, które w przyszłości będą współtworzyć systemy zarządzania ryzykiem powodziowym.

Celem referatu jest ocena poziomu wiedzy studentów Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki PK w zakresie zmian klimatycznych oraz zagrożeń powodziowych, a także identyfikacja czynników wpływających na percepcję ryzyka i gotowość do podejmowania działań ochronnych. Badania przeprowadzono metodą ankiety, analizując zarówno wiedzę ogólną dotyczącą zmian klimatu, jak i wiedzę szczegółową, odnoszącą się do zagrożeń powodziowych, lokalnej infrastruktury ochronnej, procedur ewakuacyjnych oraz postaw społecznych wobec sytuacji kryzysowych.

Uzyskane wyniki wskazują na bardzo wysoki poziom świadomości klimatycznej respondentów – ponad 88% studentów uznaje zmiany klimatyczne za poważny problem, więcej niż 92% deklaruje znajomość ich przyczyn. Jednocześnie 80% badanych dostrzega potrzebę podejmowania indywidualnych działań ograniczających negatywne skutki zmian klimatycznych. Wyniki te potwierdzają wysoki poziom wiedzy ogólnej i wpisują się w obserwowany globalnie trend wysokiej świadomości klimatycznej młodego pokolenia.

W zakresie zagadnień powodziowych ujawniono jednak wyraźną rozbieżność pomiędzy wiedzą teoretyczną a percepcją osobistego zagrożenia. Blisko połowa respondentów nie postrzega swojego miejsca zamieszkania jako realnie zagrożonego powodzią, mimo że jednocześnie deklaruje znajomość podstawo-

wych zasad postępowania w sytuacji kryzysowej. Stosunkowo wysoki odsetek odpowiedzi niezdecydowanych, dotyczących lokalnej infrastruktury przeciwpowodziowej i zmian w jej zakresie, wskazuje na ograniczoną wiedzę studentów w zakresie praktycznych aspektów ochrony przeciwpowodziowej.

Na szczególną uwagę zasługuje wysoka deklarowana gotowość do działań solidarnościowych. Wśród respondentów 80% wyraziło chęć udziału w działaniach pomocowych podczas powodzi. Wyniki wskazują także, że doświadczenie powodzi z 2024 roku istotnie zwiększa poczucie zagrożenia oraz świadomość znaczenia infrastruktury ochronnej, podczas gdy sama bliskość miejsca zamieszkania względem cieków lub zbiorników wodnych nie wpływa istotnie na ocenę ryzyka. Istotne różnice odnotowano również w zależności od miejsca zamieszkania. Mieszkańcy obszarów miejskich częściej wskazywali znaczenie systemów ostrzegania, natomiast mieszkańcy terenów wiejskich rolę infrastruktury technicznej.

Analiza potwierdza dominującą rolę mediów jako źródła wiedzy o zmianach klimatu, ale ich wpływ dotyczy głównie budowania świadomości ogólnej, nie zaś praktycznej wiedzy związanej z przygotowaniem na zagrożenia powodziowe. Uzyskane wyniki wskazują na potrzebę wzmocnienia edukacji akademickiej komponentem praktycznym, obejmującym procedury reagowania kryzysowego, analizę rzeczywistych zdarzeń oraz systemowe podejście do ochrony przeciwpowodziowej, uwzględniające nie tylko rozwiązania infrastrukturalne, lecz także działania adaptacyjne i budowanie odporności społecznej.

Referat podejmuje również próbę porównania wyników z badaniami prowadzonymi wśród społeczności bezpośrednio dotkniętych powodzią w Kotlinie Kłodzkiej w 2024 roku, co pozwala na ocenę wpływu doświadczenia rzeczywistego zagrożenia na poziom świadomości i postawy społeczne wobec ryzyka hydrologicznego.

OCENA PODATNOŚCI POWODZIOWEJ Z WYKORZYSTANIEM ENTROPII, CHARAKTERYSTYK OGONOWYCH ORAZ WIELOSKALOWYCH EKSTREMALNYCH ZALEŻNOŚCI OPAD-ODPŁYW

Bernard Twaróg

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: btwarog@pk.edu.pl

W pracy zaproponowano nowy wskaźnik podatności powodziowej FSI (ang. *Flood Susceptibility Index*), oparty na teorii informacji oraz analizie kopulowej zależności pomiędzy ekstremalnymi opadami zlewniowymi i przepływami rzecznyymi. Wskaźnik zdefiniowano jako funkcję współczynnika zależności ogonowej, znormalizowanej informacji wzajemnej oraz warunkowego prawdopodobieństwa przekroczenia przepływu ekstremalnego podczas występowania ekstremalnych opadów.

Analizę przeprowadzono dla wybranych zlewni rzeki Raby, wykorzystując dobowe przepływy IMGW oraz zlewniowe sumy opadu wyznaczone na podstawie danych gridowych. Zależności pomiędzy ekstremami opadowymi i przepływami modelowano z wykorzystaniem kopuli Gumbela oraz rozkładów ekstremalnych EVT, co umożliwiło analizę współwystępowania zdarzeń ekstremalnych oraz ocenę synchronizacji procesów opad-odpływ.

Uzyskane wyniki wykazały, że najwyższe wartości wskaźnika FSI występują najczęściej dla kilkudniowych akumulacji opadu, co wskazuje na istotną rolę wcześniejszego uwilgotnienia zlewni oraz kumulacji opadu w procesie generacji wezbrań. Jednocześnie dla krótkich akumulacji jednodniowych obserwowano szybką reakcję hydrologiczną, charakterystyczną dla mniejszych i bardziej dynamicznych zlewni, natomiast dla dłuższych okresów akumulacji opadu odnotowano spadek wartości wskaźnika, sugerujący osłabienie bezpośredniego związku z mechanizmem formowania fal wezbraniowych.

Zaproponowany wskaźnik integruje trzy kluczowe aspekty zagrożenia powodziowego: siłę zależności statystycznej, synchronizację ekstremów oraz prawdopodobieństwo współwystępowania zdarzeń. Dzięki uwzględnieniu zależności ogonowych oraz różnych skal czasowych akumulacji opadu, FSI umożliwia identyfikację charakterystycznego czasu odpowiedzi hydrologicznej zlewni oraz ocenę jej podatności na wezbrania.

Istotną cechą wskaźnika jest również jego potencjał prognostyczny. Ponieważ opad stanowi sygnał wymuszający, a przepływ odpowiedź hydrologiczną zlewni, warunkowe prawdopodobieństwo przekroczenia przepływu ekstremalnego przy wystąpieniu intensywnych opadów można interpretować jako probabilistyczną miarę możliwości wystąpienia wezbrania po zaobserwowaniu ekstremalnego opadu. Oznacza to, że wskaźnik FSI może stanowić podstawę probabilistycznych systemów wczesnego ostrzegania przed powodzią. W przeciwieństwie do klasycznych metod opartych, wyłącznie na progach opadowych lub deterministycznych modelach opad-odpływ, proponowane podejście uwzględnia nieliniowość procesów hydrologicznych, ekstremalne sprzężenie opad-odpływ oraz pamięć zlewni, zachowując jednocześnie relatywnie niewielkie wymagania dotyczące danych wejściowych.

ZBIORNIK KLIMKÓWKA W WARUNKACH SUSZY HYDROLOGICZNEJ – WYZWANIA GOSPODAROWANIA ZASOBAMI WODNYMI

Anna Szafarczyk, Beata Baziak, Marek Bodziony, Cezary Toś

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: marek.bodziony@pk.edu.pl

Postępujące zmiany klimatu powodują coraz większą niestabilność warunków hydrologicznych, przejawiającą się wzrostem częstotliwości i intensywności okresów suszy. Wydłużające się okresy bezopadowe oraz nierównomierny rozkład opadów wpływają na zmniejszenie zasobów wodnych, pogarszając możliwości ich racjonalnego wykorzystania. Szczególnie widoczne jest to w przypadku zbiorników retencyjnych, których rola w zapewnieniu bezpieczeństwa wodnego stale rośnie. Przykładem jest zbiornik Klimkówka, którego podstawowe funkcje obejmują: produkcję energii elektrycznej, ochronę przeciwpowodziową, zapewnienie przepływów nienaruszalnych poniżej zapory oraz wykorzystanie rekreacyjne. Na podstawie charakterystyki pracy zbiornika, ze szczególnym uwzględnieniem warunków zasilania, zmienności retencji oraz sposobów wykorzystania zgromadzonej wody, dokonano analizy wpływu opadów atmosferycznych na jego funkcjonowanie zarówno w warunkach naturalnych, jak i podczas okresów deficytu wodnego. Szczególną uwagę zwrócono na skutki nadmiernego opróżniania



Rys. 1. Napełnienie zbiornika Klimkówka w latach 2014–2025 wraz z poziomami piętrzenia wody w zbiorniku

zbiornika w czasie suszy hydrologicznej, prowadzące do pogorszenia warunków środowiskowych, ograniczenia możliwości realizacji funkcji gospodarczych oraz obniżenia walorów rekreacyjnych. Wyniki przeprowadzonej analizy wskazują na istotne znaczenie racjonalnego gospodarowania zasobami wodnymi zbiornika Klimkówka, zwłaszcza w kontekście nasilających się zjawisk suszy i rosnącej presji klimatycznej.

Tabela 1

Liczba dni w roku o napełnieniu zbiornika Klimkówka poniżej danego poziomu piętrzenia

Poziom piętrzenia	Rok											
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Normalny (NPP) 395,0 m n.p.m	349	340	279	260	332	364	323	286	309	302	265	365
50% napełnienia zbiornika 388,0 m n.p.m.	0	111	47	0	114	161	50	0	147	17	143	341
Niżówka 380,0 m n.p.m	0	0	0	0	37	0	0	0	9	0	60	87
Minimalny (minPP) 375,1 m n.p.m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

10:30 Przerwa kawowa

11:00-12:20	HYDROTECHNIKA I BUDOWNICTWO A2-2 DUŻA AULA WODNE 2
	MODERATOR dr inż. Krzysztof Radzicki

ZASTOSOWANIE PODEJŚĆ PROBABILISTYCZNYCH W ANALIZIE WSPÓŁPRACY KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH Z PODŁOŻEM GRUNTOWYM

Andrzej Truty

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu,
Katedra Geotechniki i Wytrzymałości Materiałów

Kontakt: andrzej.truty@pk.edu.pl

Budownictwo hydrotechniczne należy do tych obszarów inżynierii, w których zagadnienia geotechniczne mają szczególne znaczenie dla oceny bezpieczeństwa i użyteczności obiektów. W praktyce projektowej kluczową rolę odgrywają nie tylko stany graniczne związane ze statecznością, wyporem oraz przepływem wód gruntowych, ale i stany graniczne użyteczności, determinowane głównie przez przemieszczenia konstrukcji i podłoża. Współczesna analiza tych zagadnień coraz częściej opiera się na nieliniowym modelowaniu MES 2D/3D, obejmującym sprzężenie deformacji i przepływu, a w przypadku budowli ziemnych również wpływ częściowego nasycenia.

W analizach stateczności nadal powszechnie stosowane są proste modele sprężysto-plastyczne typu Mohra-Coulomba, jednak w zagadnieniach, w których istotna jest wiarygodna predykcja przemieszczeń, ich możliwości są ograniczone. Z tego względu w praktyce geotechnicznej coraz większe znaczenie zyskały modele z rodziny *Hardening Soil*, w tym wersje uwzględniające zakres małych odkształceń. Do najnowszych rozwinięć tej klasy modeli należą HS-Brick w wersji izotropowej oraz AHS-Brick, uwzględniający anizotropię sztywności wrodzonej. Modele te są obecnie szeroko stosowane w analizach interakcji konstrukcji z podłożem, najczęściej w ramach podejścia obliczeniowego DA2 według EC7, w którym obliczenia prowadzi się na parametrach charakterystycznych, a efekty

oddziaływań skaluje częściowymi współczynnikami obciążenia. Odmienne traktowane są analizy stateczności, wykonywane zwykle zgodnie z podejściem DA3, w którym redukcji podlegają parametry wytrzymałościowe gruntu.

Połączenie zaawansowanych modeli konstytutywnych z normowymi podejściami obliczeniowymi nie jest jednak oczywiste. W modelach z rodziny *Hardening Soil* procesy plastyczne, w tym te odpowiedzialne za generację ciśnień wody w porach, mogą rozwijać się przed osiągnięciem klasycznych obwiedni wytrzymałości Mohra-Coulomba lub Rankine'a. Powoduje to, że mechaniczne przeniesienie koncepcji redukcji parametrów wytrzymałościowych, charakterystycznej dla podejścia DA3, na tego typu modele rodzi istotne pytania interpretacyjne i fizyczne. Problem ten jest szczególnie widoczny w zagadnieniach hydrotechnicznych, w których bezpieczeństwo konstrukcji zależy jednocześnie od odpowiedzi mechanicznej podłoża, warunków filtracji, historii obciążenia oraz niepewności rozpoznania geotechnicznego.

W tym kontekście istotnego znaczenia nabierają podejścia probabilistyczne, szerzej dopuszczane również w nowej generacji Eurokodu 7. Ich zasadniczą przewagą nad klasycznymi procedurami deterministycznymi jest możliwość jawnego wartościowania niepewności oraz bezpośredniego powiązania odpowiedzi konstrukcji z prawdopodobieństwem wystąpienia stanu awaryjnego. Niepewność parametrów podłoża może być opisywana zarówno za pomocą zmiennych losowych, jak i pól losowych, przy czym wybór właściwego opisu zależy m.in. od relacji pomiędzy miąższością warstw gruntu a skalą fluktuacji parametrów, zwłaszcza w kierunku pionowym. W tym zakresie szczególnie użytecznym źródłem informacji są sondowania CPTU, pozwalające na identyfikację charakterystycznych skal zmienności parametrów podłoża.

Bezpośrednie stosowanie symulacji MES w analizach probabilistycznych jest jednak zwykle nieefektywne obliczeniowo, zwłaszcza w modelach trójwymiarowych oraz w przypadku konieczności estymacji małych prawdopodobieństw awarii. Z tego względu coraz większą rolę odgrywają modele zastępcze, takie jak metamodelowanie metodami PCE, PCK lub krigingu. Pozwalają one, po wykonaniu ograniczonej liczby analiz MES, na przeprowadzenie bardzo dużej liczby realizacji obliczeniowych, a tym samym na ocenę wrażliwości odpowiedzi konstrukcji oraz oszacowanie prawdopodobieństwa osiągnięcia stanów granicznych. Metamodelowanie znajduje również zastosowanie w zagadnieniach optymalizacji, w których funkcja celu może być wyznaczana nie bezpośrednio na podstawie kosztownych symulacji MES, lecz za pomocą wcześniej wytrenowanego modelu zastępczego.

Szczególnie obiecującym kierunkiem zastosowań probabilistycznych w hydrotechnice jest połączenie metamodelowania z danymi z monitoringu obiektów. Informacje pozyskiwane w trakcie budowy, eksploatacji lub remontu konstrukcji mogą być wykorzystane w ramach analizy Bayesowskiej do aktualizacji pierwotnych rozkładów prawdopodobieństwa wybranych parametrów. Uzyskane w ten sposób rozkłady a posteriori pozwalają na ponowną predykcję odpowiedzi konstrukcji i bieżącą ocenę prawdopodobieństwa wystąpienia stanu awaryjnego. Wobec licznych źródeł niepewności, szczególnie w przypadku słabo rozpoznanego podłoża fliszowego oraz gruntów tworzących korpusy budowli ziemnych, podejścia probabilistyczne stanowią naturalne rozszerzenie klasycznych metod oceny bezpieczeństwa obiektów hydrotechnicznych.

STUDIUM PRZYPADKU – KONCEPCJA BUDOWY UKŁADU ZBIORNIKÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH Z FUNKCJĄ PRZERZUTU WODY Z GÓRNEGO ZBIORNIKA DO ZBIORNIKA DOLNEGO USYTUOWANEGO W SĄSIEDNIEJ DOLINIE NA PRZYKŁADZIE PLANOWANEJ PARY ZBIORNIKÓW STÓJKÓW-RUDAWKA W ZLEWNI BIAŁEJ ŁĄDECKIEJ

Borys Bednarek, Hubert Bober, Henryk Kukuła, Mikołaj Urbaniak

Sweco Polska sp. z o.o.

Kontakt: Borys.Bednarek@sweco.pl

Idea koncepcji dla budowy pary zbiorników Stójków-Rudawka początkowo została zaprezentowana jako propozycja społeczna po powodzi w 2024 roku, w celu przyszłej ochrony miasta Łądek Zdrój i terenów położonych poniżej wzdłuż rzeki Biała Łądecka. W 2025 roku koncepcja ta została włączona do opracowanego przez PGW Wody Polskie „Studium Redukcji Ryzyka Powodziowego w zlewni Nysy Kłodzkiej”.

W ramach prezentacji przedstawione zostaną zagadnienia związane z wyborem lokalizacji i wymiarowaniem parametrów technicznych obu zbiorników. Omówione zostaną rozważane scenariusze gospodarowania wodą w czasie powodzi dla układu zbiorników, w którym górny zbiornik, zlokalizowany na rzece Białej Łądeckiej, podczas napełniania będzie umożliwiał przerzut części wód do zbiornika dolnego, położonego w sąsiedniej dolinie na dużo mniejszym cieku – potoku Rudawka.

Na etapie prac koncepcyjnych przeanalizowano wariantowe sposoby połączenia obu zbiorników. Wykonano szereg obliczeń hydraulicznych i symulacji numerycznych zarówno dla warunków przepływu swobodnego, jak i ciśnieniowego, przy założeniu grawitacyjnego spływu i zmiennego wydatku, który uzależniono od różnicy stanu napełnienia w obu zbiornikach.

WPŁYW ZMIAN PRZEPISÓW NA REALIZACJĘ ROBÓT UTRZYMANIOWYCH W KORYTACH RZEK I CZASZACH ZBIORNIKÓW WODNYCH

Przemysław Derengowski

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy,
Centrum Technicznej Kontroli Zapór

Kontakt: Przemyslaw.Derengowski@imgw.pl

W referacie zostanie zaprezentowana ewolucja przepisów regulujących realizację robót utrzymaniowych na rzekach i zbiornikach wodnych oraz jej wpływ na praktyczne możliwości zapewnienia bezpiecznego użytkowania budowli hydrotechnicznych. Na przykładach prac prowadzonych na zbiorniku Włocławek oraz umocnień brzegowych Wisły omówione zostaną zmiany wymagań formalno-prawnych dotyczących usuwania rumowiska i wykonywania zabezpieczeń przeciwoerozyjnych.

Przedstawiona zostanie droga od prostych procedur i projektów realizowanych w ramach bieżącego utrzymania do współczesnych, wieloetapowych postępowań obejmujących decyzje środowiskowe, pozwolenia wodnoprawne oraz pozwolenia na budowę. Szczególna uwaga zostanie zwrócona na zagadnienie proporcjonalności wymagań administracyjnych w odniesieniu do skali obiektów i charakteru niezbędnych robót utrzymaniowych.

Celem referatu jest podjęcie dyskusji nad potrzebą zachowania równowagi pomiędzy wymogami ochrony środowiska a koniecznością zapewnienia bezpieczeństwa oraz utrzymania budowli hydrotechnicznych w należytym stanie technicznym. Wnioski przedstawione zostaną w oparciu o doświadczenia eksploatacyjne i praktykę stosowania przepisów na obiekcie.

HYDRAULICZNE WARUNKI PRACY ORAZ EFEKTYWNOŚĆ OTWARTYCH ZBIORNIKÓW RETENCYJNYCH WSPOMAGAJĄCYCH SYSTEMY ODWODNIENIA TERENÓW ZURBANIZOWANYCH

Andrzej Mączyński, Antoni Bojarski

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: andrzej.maczynski@pk.edu.pl

Podniesienie sprawności sieci odwodnienia terenów zurbanizowanych wiąże się z koniecznością stosowania zbiorników retencyjnych. Istnieje więc potrzeba oceny ich efektywności w złożonych warunkach pracy. W artykule przedstawione będą zagadnienia hydrodynamicznych uwarunkowań pracy zbiornika retencyjnego otwartego wbudowanego w obiekty kanalizacji i rowów. Analizowany schemat systemu, przedstawiony na rys. 1, składa się z dwóch rurociągów kanalizacji opadowej odwadniających teren o znacznym nachyleniu, zasilających zbiornik retencyjny zlokalizowany na terenie o znacznie mniejszym spadku, gdzie odpływ ze zbiornika zapewniony jest przez krótki rurociąg do rowu otwartego. Pojemność zbiornika dostosowana została do możliwości terenowych. Za efektywną gospodarkę wodną na zbiorniku przy określonych jego parametrach geometrycznych odpowiadają więc: spust denny oraz przelewy awaryjne. Scenariusze pracy zbiornika określone zostały na bazie fal dopływu o różnych charakterystykach i różnych parametrach geometrycznych spustu i przelewu. Układ sytuacyjno-wysokościowy systemu przedstawiono na rys. 2.



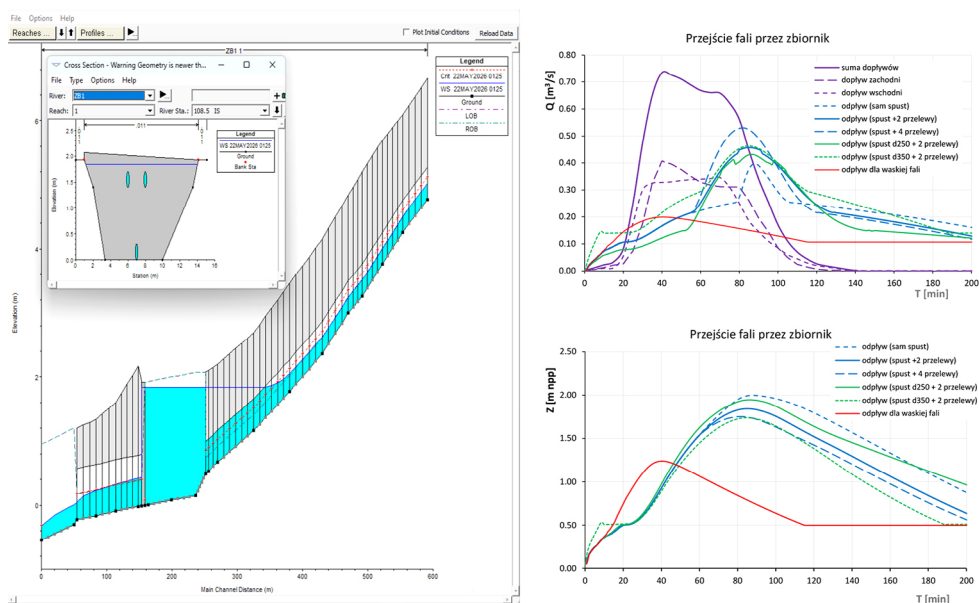
Rys. 1. Schemat analizowanego układu



Rys. 2. Przekroje zbiornika

Wykonano wiele analiz na modelu hydraulicznym z wykorzystaniem oprogramowania HEC-RAS. W pierwszej grupie przypadków poszukiwano efektywności redukcji przepływu maksymalnego dla różnych charakterystyk doływu i wariantowych koncepcji spustu i przelewu. Dodatkowym uwarunkowaniem było ograniczenie nałożone na poziom piętrzenia w zbiorniku. W drugiej grupie przypadków analizowano efektywność z dopuszczeniem przekroczenia ustalonego piętrzenia i ocenę wpływu na kształtowanie rozwiązań projektowych zbiornika i ujęciowych odcinków kanalizacji. Wszystkie analizy prowadzono przy występowaniu ruchu rwącego w rurociągach doprowadzających wody opadowe.

Poniżej, na rys. 3, przedstawiono wybrane wyniki symulacji.



Rys. 3. Zestawienie wybranych wyników symulacji

Wnioski ogólne pokazują, że przeprowadzony zakres analiz nie wyczerpuje wszystkich przypadków hydraulicznych występujących w eksploatacji omawianego systemu. Wskazane jest przeprowadzenie analiz w przypadkach wystę-

powodzenia ruchu spokojnego oraz faz przejściowych z ruchu bezciśnieniowego w ruch ciśnieniowy, aby w pełni sprawdzić ich wpływ na uwarunkowania do projektowania.

Zakres przeprowadzonych symulacji wskazuje na potrzebę poszukiwania rozwiązań na drodze szczegółowych uwarunkowań zasilania i odpływu oraz kształtowanej geometrii systemu w celu określenia najefektowniejszych i najniekorzystniejszych przypadków eksploatacji. Dotyczy to zarówno redukcji natężenia przepływu, jak i bezpiecznego napełnienia zbiornika.

Należy podkreślić, że przy modelowaniu numerycznym bardzo ważnym czynnikiem jest bieżąca interpretacja fizycznych zjawisk występujących w poszczególnych elementach systemu i interpretacja wyników oparta na zasadach hydrodynamiki odniesionych do złożonych przypadków pracy systemu.

Szczegółowe wnioski będą omówione w referacie.

11:00-12:20	ZAPOBIEGANIE POWODZI I SUSZY 2	B2-2 MAŁA AULA
MODERATOR dr hab. inż. Andrzej Wałęga, prof. URK		

AUTONOMICZNE SYSTEMY RETENCYJNE DLA PRZECIWDZIAŁANIA SUSZY I OCHRONY PRZECIWPOWODZIOWEJ

Andrzej Polniak

AQUA-Tech sp. z o.o.

Kontakt: andrzej.polniak@gmail.com

Współczesne jazy i systemy powłokowe z opcją instalacji klap kompozytowych oferowane przez firmę AQUA-Tech należy rozpatrywać nie tylko jako urządzenia piętrzące, ale i jako element szerszego systemu zarządzania wodą. Ich zadaniem może być zarówno utrzymywanie wymaganego poziomu wody dla potrzeb technologicznych, jak i wspieranie retencji korytowej, przeciwdziałanie skutkom suszy oraz ograniczanie zagrożeń powodziowych. Dzięki możliwości sterowania poziomem piętrzenia oraz automatycznemu reagowaniu na zmiany stanów wody jazy powłokowe mogą pracować w warunkach zmiennych przepływów i spełniać kilka funkcji jednocześnie.

Szczególne znaczenie mają rozwiązania autonomiczne, w których praca jazu nie wymaga stałej obsługi operatora ani zasilania z sieci energetycznej. Układ taki może być wyposażony w panele fotowoltaiczne, akumulatory, sondy poziomu wody, automatykę sterującą oraz zespół pompowy napełniający lub opróżniający powłokę. Przy niskich stanach wody system może samoczynnie podnieść powłokę i utrzymać zadany poziom piętrzenia, natomiast przy wzroście przepływu – obniżyć zamknięcie, zwiększając światło przepływu w korycie rzeki.

W kontekście przeciwdziałania suszy jaz powłokowy umożliwia okresowe zatrzymanie wody w korycie. Podniesienie zwierciadła wody powoduje zwiększenie retencji korytowej i gruntowej. Zamiast szybkiego odprowadzenia wody ze zlewni, autonomiczny jaz pozwala zatrzymać ją lokalnie i wykorzystać

na potrzeby środowiskowe, rolnicze, leśne lub energetyczne. W ochronie przeciwpowodziowej najważniejszą zaletą jazów powłokowych jest możliwość jego obniżenia w czasie przepływów wezbraniowych. W przeciwieństwie do progów stałych, konstrukcja powłokowa nie musi tworzyć trwałej przeszkody w korycie. W okresie normalnych i niskich przepływów utrzymuje wymagane piętrzenie, a w okresie wysokich przepływów może zostać częściowo lub całkowicie opuszczona. Pozwala to zwiększyć przepustowość koryta i ograniczyć ryzyko nadpiętrzenia wody powyżej obiektu.

Autonomiczne jazy powłokowe mogą być integrowane z systemami monitoringu. Czujniki poziomu wody, opadów, temperatury, wilgotności gleby i przepływu mogą przekazywać dane do systemu zdalnego nadzoru. W bardziej zaawansowanych układach możliwe jest sterowanie grupą jazów w jednej zlewni, tak aby zatrzymywać wodę tam, gdzie jest potrzebna lub przygotować koryto na przejście fali wezbraniowej.

Jaz powłokowy może też pełnić funkcję technologicznego progu piętrzącego dla ujęć wody. Elektrownie konwencjonalne z otwartym lub częściowo otwartym systemem chłodzenia wymagają stabilnych warunków poboru wody. Przy niskich



Rys. 1. Przykładowe realizacje autonomicznych jazów powłokowych

stanach rzeki może dochodzić do pogorszenia pracy pomp, zasysania powietrza i ograniczenia wydajności układu chłodzenia. Ruchomy jaz okresowo podnosi wówczas poziom wody w rejonie ujęcia, jak w instalacjach dla Elektrowni Połaniec na Wiśle (AQUA-Tech, 2016) oraz Elektrowni Ostrołęka na Narwi (AQUA-Tech, 2018). W małych elektrowniach wodnych (MEW) jaz utrzymuje normalny poziom piętrzenia, zapewnia odpowiedni spad dla turbiny i stabilizuje warunki hydrauliczne na ujęciu, współpracując z kanałem doprowadzającym, komorą wlotową, kratami, turbiną oraz przepławką dla ryb. W obiektach wieloprzęstowych każde przęsło może być sterowane niezależnie, co umożliwia częściowe opuszczanie wybranych segmentów, prowadzenie rumowiska oraz regulowanie przepływu biologicznego, a także ogranicza erozję denną.

Autonomiczne jazy powłokowe stanowią nowoczesne wielofunkcyjne narzędzie gospodarowania wodą, łączące retencję, ochronę przeciwpowodziową, stabilizację ujść wody oraz wsparcie produkcji energii. Ich największą zaletą jest zdolność do elastycznego reagowania na zmienne warunki hydrologiczne: zatrzymywania wody w czasie suszy oraz bezpiecznego przepuszczania jej w czasie wezbrań. Dlatego jazy powłokowe należy traktować nie tylko jako zamknięcia hydrotechniczne, lecz jako inteligentne urządzenia adaptacji do zmian klimatu, poprawiające bezpieczeństwo wodne, energetyczne i środowiskowe.

MOŻLIWOŚCI NISKONAKŁADOWEGO – ZNACZĄCEGO POWIĘKSZENIA REZERWY POWODZIOWEJ I POJEMNOŚCI UŻYTKOWEJ W ZBIORNIKACH KASKADY NYSY KŁODZKIEJ

Tomasz Kamiński

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy,
Centrum Technicznej Kontroli Zapór

Kontakt: Tomasz.Kaminski@imgw.pl

Kaskada Nysy Kłodzkiej składa się z czterech zbiorników: Nysa, Otmuchów, Kozielno i Topola, przy czym dwa ostatnie są stosunkowo małe i nie mają praktycznego znaczenia retencyjnego ani w ochronie przed powodzią. Wnioski po powodzi z września 2024 roku dowiodły, że możliwości redukcyjne kaskady mogą być niewystarczające, co przyczyniło się do podjęcia decyzji o budowie piątego elementu kaskady – zbiornika Kamieniec.

Równolegle administrator kaskady rozważa powiększenie rezerwy powodziowej w istniejących obiektach – w drodze obniżenia poziomu NPP – co odbyłoby się kosztem pojemności użytkowej. Tymczasem waga pojemności użytkowej rośnie wskutek coraz częstszych i coraz głębszych okresów suszy.

Autor postawił pytanie, czy można powiększyć jednocześnie i rezerwę powodziową, i pojemność użytkową, czyli pytając kolokwialnie: „zjeść ciastko i mieć ciastko”? W przypadku kaskady Nysy Kłodzkiej odpowiedź jest twierdząca.

Podczas budowy zbiorników Nysa i Otmuchów wyłączono z ich zalewu duże obszary, tworząc poldery odwadniane przez pompownie. W grupie czterech polderów tylko jeden stanowi obszar zabudowany, pozostałe to tereny czysto rolnicze. Proponowane rozwiązanie, umożliwiające powiększenie rezerwy powodziowej bez uszczuplania pojemności użytkowej, a nawet z jej powiększeniem, polega na włączeniu polderów rolniczych do czasz zbiorników.

Samo włączenie tych obszarów przynosi zysk pojemności, ale nie jest on bardzo duży (tab. 1), co prawdopodobnie zdecydowało o utworzeniu polderów.

Tabela 1

Przyrost pojemności zbiorników kaskady Nysy Kłodzkiej wskutek włączenia do nich niezabudowanych polderów rolniczych i innych terenów przyzbiornikowych

Zbiornik	Przyrost pojemności w poszczególnych strefach							
	użytkowej		powodziowej stałej		powodziowej forsowanej		razem	
	[hm ³]	[%]	[hm ³]	[%]	[hm ³]	[%]	[hm ³]	[%]
Nysa	0,0	0,0	2,7	4,7	2,2	18,9	4,9	4,4
Otmuchów	0,0	0,0	3,2	4,6	3,9	18,6	7,1	5,6
Topola	3,1	19,5	3,3	62,7	6,0	71,7	12,4	42,1
Razem	3,1		9,2		12,1		24,4	

Jednakże w samych zbiornikach oraz na terenach przylegających do nich, od kilkudziesięciu lat odbywa się eksploatacja pospótek. Analiza map geologicznych potwierdza, że zarówno tereny przedmiotowych polderów, jak i inne analizowane tereny przyzbiornikowe stanowią część rozległych złóż pospótek. Złoża te są obecnie przedmiotem zainteresowania przedsiębiorców górniczych. Wobec powyższego przeprowadzono analizę możliwego przyrostu pojemności zbiorników kaskady w sytuacji wyeksploatowania złóż na terenie polderów i innych obszarów włączonych do zbiorników.

W przypadku zbiornika Nysa, po włączeniu do czaszy polderu Buków-Wierzbno-Śliwice o powierzchni ok. 408 ha (tab. 2), zakładając wyeksploatowanie złóż – można się spodziewać przyrostu pojemności zbiornika o ok. 26,2 hm³. Drugi polder – Siestrzechowice jest zabudowany i musi pozostać poza zbiornikiem.

Do zbiornika Otmuchów można włączyć obydwie jego poldery: Stary Paczków i Pomianów Dolny oraz dodatkowy teren na zachód od zbiornika (łącznie ok. 750 ha). Po wyeksploatowaniu złóż na tych powierzchniach przyrost pojemności zbiornika wyniesie ok. 33,4 hm³ (tab. 2).

Zbiornik Topola nie posiada polderów, natomiast wokół zbiornika trwa intensywna eksploatacja kruszywa, powstały tam duże wyrobiska oraz prowadzone są nowe obszary wydobywania i obszary perspektywiczne – o łącznej powierzchni ok. 438 ha. Warunki topograficzne pozwalałyby je włączyć do zbiornika. W przypadku tego zbiornika można uzyskać przyrost pojemności nawet ok. 40,1 hm³ (tab. 2).

Zbiornik Kozielno nie posiada potencjału rozbudowy pojemności.

Tabela 2

Przyrost pojemności zbiorników kaskady Nysy Kłodzkiej po wyeksploatowaniu złóż pospółtek na terenie włączonych do nich, niezabudowanych polderów rolniczych i innych terenów przyzbiornikowych

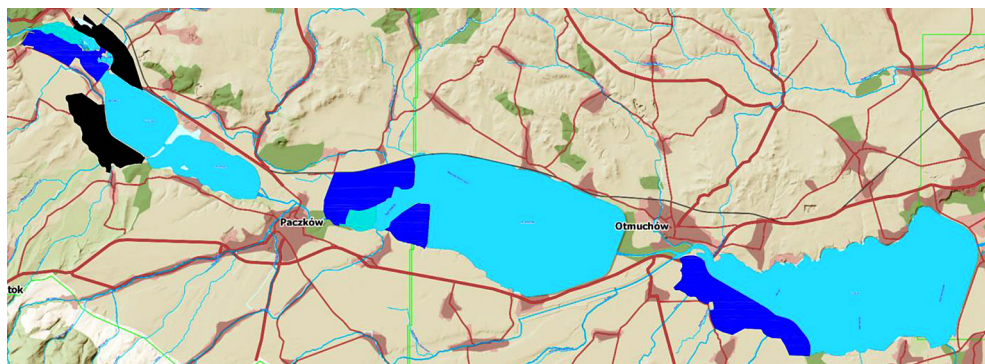
Zbiornik	Przyrost pojemności w poszczególnych strefach							
	użytkowej		powodziowej stałej		powodziowej forsowanej		razem	
	[hm ³]	[%]	[hm ³]	[%]	[hm ³]	[%]	[hm ³]	[%]
Nysa	12,2	28,9	11,8	21,0	2,2	18,9	26,2	23,9
Otmuchów	12,6	34,1	16,5	23,3	4,3	20,5	33,4	25,9
Topola	25,0	157,5	6,6	124,2	8,5	101,6	40,1	135,5
Razem	49,8		35,0		15,0		99,8	

Należy podkreślić, że **uzyskany sumaryczny efekt jest bardzo dobry i równoważny dużemu nowemu zbiornikowi**.

Proponowane zmiany nie rodziłyby konfliktów, ponieważ na polderach i innych analizowanych terenach nie ma ustanowionych form ochrony przyrody, poldery nie są zabudowane. Wymagane byłoby jedynie nieznaczne przesunięcie dwóch linii energetycznych. Przy rozbudowie zbiornika Topola konieczne byłoby przesunięcie drogi wojewódzkiej oraz wydłużenie zapory.

Bardzo ważną korzyścią jest uzyskanie przyrostu we wszystkich strefach pojemności – zarówno powodziowych (stałej i forsowanej), jak i użytkowej.

Jeszcze ważniejszym aspektem jest **bardzo niski koszt takiego przedsięwzięcia**. W odniesieniu do zbiorników Nysa i Otmuchów, poza kosztem przebudowy



Rys. 1. Możliwy przyrost powierzchniowy zbiorników kaskady Nysy Kłodzkiej.
 Kolorem granatowym zaznaczono powiększenie niskonakładowe

wyżej wspomnianej nielicznej infrastruktury, zasadniczo byłby to koszt wykupu gruntów. Koszty eksploatacji kruszyw ponosiłby przedsiębiorca górniczy. W przypadku zbiornika Topola doszedłby koszt rozbudowy zapory.

Podsumowując, należy zastanowić się, czy przedstawiona rozbudowa pojemności byłaby potrzebna w kontekście projektowanej już budowy zbiornika Kamieniec. W tym miejscu trzeba wskazać na aspekt bezpieczeństwa całej kaskady, szczególnie przy obecnym wzmożeniu zagrożeń hybrydowych i terrorystycznych. W przypadku awarii lub katastrofy zbiornika Kamieniec, przy wystąpieniu niesprzyjających warunków, można się obawiać efektu domina. W takiej sytuacji powiększona rezerwa powodziowa może stanowić niezbędny bufor bezpieczeństwa.

Prezentowane rozwiązanie może być rekomendowane także do innych istniejących zbiorników.

METODY SZACOWANIA STRAT POWODZIOWYCH INFRASTRUKTURY KOMUNIKACYJNEJ: WNIOSKI Z POWODZI 2024 W ZLEWNI NYSY KŁODZKIEJ

**Izabela Godyń¹, Katarzyna Pierzga², Natalia Strojna²,
Anna Foks-Ryznar³**

¹ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

² Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

³ Centrum Badań Kosmicznych PAN

Kontakt: izabela.godyn@pk.edu.pl

Celem pracy jest ocena możliwości modyfikacji podejścia do szacowania strat powodziowych na terenach komunikacyjnych. Punktem wyjścia są rzeczywiste dane o szkodach powstałych podczas powodzi we wrześniu 2024 roku w zlewni Nysy Kłodzkiej. Temat ma znaczenie praktyczne, ponieważ uszkodzenia infrastruktury transportowej należą do najbardziej kosztownych skutków powodzi, a ich konsekwencje obejmują nie tylko koszty napraw, lecz także utrudnienia w akcjach ratunkowych, zakłócenia funkcjonowania regionu i straty pośrednie. Realistyczna ocena potencjalnych szkód jest więc podstawą zarządzania ryzykiem powodziowym, analiz kosztów i korzyści działań ochronnych oraz wyznaczania priorytetów inwestycyjnych.

Podejście stosowane w kraju w pierwszym i drugim cyklu sporządzania map ryzyka powodziowego oraz planów zarządzania ryzykiem powodziowym opierało się na adaptacji metodyki niemieckiej stosowanej w Atlasie Renu. Zgodnie z tą metodyką w przypadku terenów komunikacyjnych zakładano, że wysokość strat jest niemal niezależna od głębokości zalania i wynosi 10% wartości majątku, począwszy od głębokości zalania równej 0,5 m. W trzecim cyklu zastosowano funkcję strat opracowaną przez Wspólne Centrum Badawcze (ang. *Joint Research Centre*) Komisji Europejskiej i zaktualizowaną wartość majątku, lecz nadal przyjęto maksymalną stratę jako 10% tej wartości.

Obszarem studium przypadku jest zlewnia Nysy Kłodzkiej do przekroju Bar-do o powierzchni 1743 km². Jest to obszar o dużych deniwelacjach, z zabudową

skoncentrowaną w dolinach cieków, co zwiększa ekspozycję infrastruktury na powódź. Powódź z września 2024 roku była konsekwencją bardzo intensywnych opadów w dniach 12–16 września, miejscami przekraczających 200 mm na dobę. W kilku profilach Nysy Kłodzkiej odnotowano przepływy większe niż przepływ o prawdopodobieństwie 0,2%, co potwierdza ekstremalny charakter zdarzenia.

Metoda badawcza polegała na połączeniu trzech grup danych: zgłoszeń szkód powodziowych w infrastrukturze z aplikacji Odbudowa 2024, produktów ICEYE, określających zasięg i przedziały głębokości zalania, oraz warstw BDOT10k opisujących tereny i obiekty komunikacyjne. Baza Odbudowa 2024 zawierała lokalizację szkód, opis obiektu, powierzchnię uszkodzoną, stopień zniszczenia, szacowaną wartość strat i koszty odtworzenia. Dane satelitarne ICEYE umożliwiły przypisanie szkód do przedziałów głębokości, a BDOT10k pozwolił określić powierzchnię infrastruktury narażonej na zalanie.

Najważniejsze obserwacje dotyczą zarówno skali szkód, jak i sposobu ich rozkładu. W zlewni Nysy Kłodzkiej do Barda odnotowano 202 szkody w infrastrukturze komunikacyjnej, obejmujące 122 drogi oraz 80 mostów i kładek. Łączna powierzchnia uszkodzeń wyniosła 359 822 m², raportowana wartość strat 284 mln zł, a koszty odtworzenia 349 mln zł. Koszty odtworzenia były więc o ponad 22% wyższe od wartości strat, co wynikało m.in. z planowanej odbudowy w wyższym standardzie. Największy udział w stratach miały obiekty gminne, co wiąże się z gęstą siecią dróg lokalnych oraz częstą lokalizacją infrastruktury niższych klas technicznych w dolinach i w pobliżu cieków. W przypadku dróg nie zaobserwowano prostego, monotonicznego wzrostu jednostkowych kosztów wraz z głębokością, natomiast dla mostów i kładek wyższe głębokości były wyraźnie związane z kosztownymi zniszczeniami, często wymagającymi całkowitej odbudowy.

Na podstawie analiz zaproponowano maksymalną wartość strat dla terenów komunikacyjnych na poziomie 3000 zł/m² oraz relacyjną funkcję strat.



Rys. 1. Proponowana relacyjna i absolutna funkcja strat dla terenów komunikacyjnych

Weryfikacja na obszarze Nysy Kłodzkiej od Bardo do ujścia dała wynik 425 mln zł kosztów odtworzenia wobec 456 mln zł wartości raportowanej w bazie Odbudowa 2024, czyli błąd względny ok. –7%. Oznacza to, że zaproponowana funkcja dobrze odtwarza rząd wielkości strat na terenach górskich i podgórskich i może stanowić podstawę dalszej kalibracji.

Na podstawie analiz można wnioskować, że podejście stosowane przy wyceńnię strat na potrzeby map ryzyka powodziowego może zaniżać straty na terenach komunikacyjnych. Maksymalna strata równa 10% wartości majątku jest zbyt niska, zwłaszcza dla głębokości powyżej 4 m, gdy zniszczeniom ulegają obiekty mostowe. Rekomendowane jest włączenie do wskaźnika wartości majątku kosztów budowy mostów, znacznie wyższych niż koszty budowy dróg, oraz rozwijanie empirycznych funkcji strat opartych na danych krajowych. Dalsze prace będą obejmować analizę obszarów innych niż górskie oraz wypracowanie rozwiązania umożliwiającego uwzględnienie szkód w mostach poprzez zmianę maksymalnej wartości strat na terenach komunikacyjnych lub punktowe ujęcie mostów i kładek.

NOWOCZESNE ROZWIĄZANIA MOBILNYCH BARIER PRZECIWPOWODZIOWYCH, BARIER RETENCYJNYCH I REMONTOWYCH

Wojciech Kudła, Michał Kudła

WojMixx Sp. z o.o. Sp. k.

Kontakt: michal.kudla@wojmixx.com.pl

Powodzie i lokalne podtopienia należą do najgroźniejszych zjawisk naturalnych występujących coraz częściej w Polsce. Powodują one duże straty materialne, niszczą infrastrukturę oraz stanowią zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi. W związku z tym coraz większe znaczenie zyskują nowoczesne systemy ochrony przeciwpowodziowej. Jednym z przedsiębiorstw działających w tej branży jest firma WojMixx, która specjalizuje się w projektowaniu, produkcji oraz montażu mobilnych barier przeciwpowodziowych.

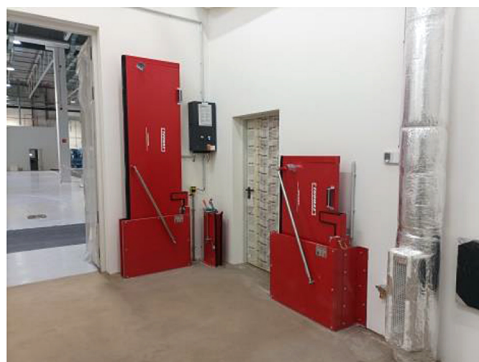
Inteligentne systemy barier to m.in. belkowe systemy barier przeciwpowodziowych z aluminium. Szeroka gama typów, począwszy od **MSOP50** przez **MSOP100** do **MSOP150**, pozwala na zabezpieczenie zarówno otworów okiennych, drzwiowych, jak i bram wjazdowych oraz terenu – zabezpieczenia pierścieniowe, zabezpieczenia przeźroczyste – szybowe. System MSOP jest systemem elastycznym, szybkim w montażu, wielokrotnego wykorzystania, dostosowywanym do potrzeb klienta.



Wiele projektów zrealizowanych na terenie Polski zostało już sprawdzonych w praktyce. Zyskały duże zaufanie wśród klientów, którzy w przeszłości doświadczali przykrych zjawisk, jak powódzie czy podtopienia.

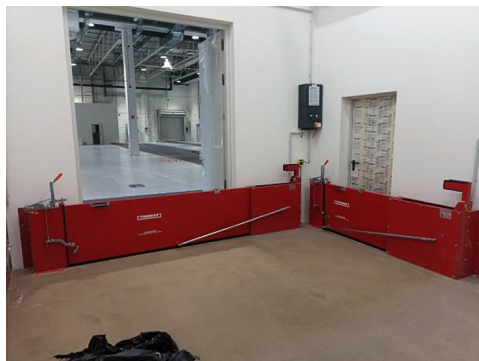


Kolejny inteligentny system barier to bariery retencyjne. Są to specjalnie zaprojektowane bariery, zapobiegające skutkom niekontrolowanych wycieków niebezpiecznych substancji w magazynach czy też halach produkcyjnych oraz wpływowi wody popożarowej w razie ewentualnego pożaru. Ich głównym celem jest ochrona środowiska przed jego skażeniem. Główne zastosowanie barier retencyjnych to: obszary magazynów substancji chemicznych, hal zakładów przemysłowych czy linii produkcyjnych itp.



Wśród szerokiej gamy barier retencyjnych możemy wyodrębnić następujący podział:

1. **Bariery manualne** – najbardziej prosty system barier otwieranych i zamykanych za pomocą siły ludzkich rąk.
2. **Bariery półautomatyczne** – współpracujące z różnymi systemami czujników oraz z centralnymi systemami ochrony przeciwpożarowej. Uruchomienie odbywa się automatycznie



po wykryciu zagrożenia, natomiast otwarcie barier następuje poprzez ich manualne podnoszenie.

3. **Bariery automatyczne** – bariery półautomatyczne, których podnoszenie następuje automatycznie po usunięciu zagrożenia.

Kolejnym systemem barier, na który należy zwrócić szczególną uwagę to zamknięcia remontowe – szandorowe. Systemy te sprawdzają się podczas wykonywania remontów we wszelkiego rodzaju obiektach hydrotechnicznych. Zamknięcia te doskonale spełniają również swoją rolę jako przegrody w zbiornikach kanalizacji deszczowej czy też oczyszczalni ścieków.

Produkcja nowoczesnych systemów mobilnych barier przeciwpowodziowych **MSOP, barier retencyjnych, zamknięć remontowo-szandorowych** przyczynia się do zwiększania bezpieczeństwa ludzi, mienia i środowiska. W dobie coraz częstszych zagrożeń, związanych z intensywnymi opadami i podtopieniami, tego typu proponowane inteligentne systemy barier stają się niezbędnym elementem współczesnej infrastruktury przeciwpowodziowej i przemysłowej.



12:20	PANEL DYSKUSYJNY MODERATOR dr inż. Krzysztof Radzicki Nowoczesna hydrotechnika	A2-3 DUŻA AULA
12:20	PANEL DYSKUSYJNY MODERATOR dr hab. inż. Izabela Godyń Zapobieganie suszy i powodzi	B2-3 MAŁA AULA
13:00	Obiad	

14:00–15:30	HYDROTECHNIKA I BUDOWNICTWO WODNE 3	A2-4 DUŻA AULA
MODERATOR dr hab. inż. Paweł Falaciński, prof. PW		

WPŁYW KASKADY ZBIORNIKÓW SOLINA-MYCZKOWCE NA CYKLICZNOŚĆ PRZEPŁYWU RZECZNEGO SANU

Mariola Kędra¹, Łukasz Wiejaczka²

¹ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

² Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania,
Zakład Badań Geośrodowiska

Kontakt: mariola.kedra@pk.edu.pl

W niniejszej pracy podjęto próbę zidentyfikowania wpływu kaskady zbiorników Solina-Myczkowce na cykliczność przepływu rzecznej Sanu na podstawie ciągów natężenia przepływu rzecznej wody z okresu ostatnich 25 lat (1998–2022). Dane hydrologiczne w zakresie dopływów dobowych, poziomów wody w zbiorniku Solina i odpływów dobowych ze zbiornika Myczkowce pochodzą z pomiarów z godziny 6:00 UTC i zostały udostępnione do badań przez PGE Energia Odnawialna S.A. Oddział ZEW Solina-Myczkowce w Solinie. Do zidentyfikowania cykliczności przepływu wykorzystana została stosunkowo nowa metoda dekompozycji sygnału EMD (ang. *Empirical Mode Decomposition*) oraz jej wariant CEEMDAN (ang. *Complete Ensemble EMD with Adaptive Noise*). Zbadano i porównano cykliczność dopływu i odpływu wody do/z kaskady oraz cykliczność poziomów wody w zbiorniku Solina. Uzyskane wyniki potwierdzają, że w analizowanym okresie (1998–2022) dominuje cykliczność roczna, która jest wyraźniej zaznaczona w odpływie wody z kaskady zbiorników Solina-Myczkowce.

CZY ISTNIEJE POTRZEBA UTRZYMANIA WSPÓŁCZEŚNIE SYSTEMÓW POLDEROWYCH WOKÓŁ JEZIOR NA PRZYKŁADZIE JEZIORA GARDNO

Roman Cieśliński

Uniwersytet Gdański, Wydział Oceanografii i Geografii, Katedra Hydrologii

Kontakt: roman.cieslinski@ug.edu.pl

Celem głównym pracy jest ocena funkcjonowania gospodarki polderowej w zlewni jeziornej oraz jej wpływu na stosunki wodne i użytkowanie terenu. Postawiono pytanie badawcze, czy w chwili obecnej istnieje potrzeba utrzymania i rozwijania istniejących systemów polderowych zlokalizowanych wokół jezior, czy raczej należy je likwidować. Zakres pracy obejmuje charakterystykę obiektów polderowych, ich funkcjonowanie oraz wpływ na środowisko geograficzne badanego obszaru.

Jako obszar badań, stanowiący przykład działań gospodarki polderowej, wybrano poldery zlokalizowane wokół przybrzeżnego jeziora Gardno, położonego na terenie Słowińskiego Parku Narodowego. Wybór tego jeziora podyktowany był przeprowadzonym w 2024 roku eksperymentem środowiskowym. Do tego czasu wokół jeziora funkcjonowało pięć polderów, zaś po tym okresie przeprowadzono likwidację jednego polderu – Gardna IX-X – w celu zwiększenia powierzchni stale zalanych, mających za zadanie zwiększenie zdolności retencyjnych tego obszaru, stworzenia miejsc tarliskowych dla ryb oraz stworzenie miejsca do bytowania ptactwa wodnego.

Na podstawie przeprowadzonej analizy materiałów źródłowych można stwierdzić, że odpowiedź na zadane pytanie nie jest jednoznaczna. Z jednej strony, utrzymanie systemów polderowych może być potrzebne m.in. w sytuacji ochrony przeciwpowodziowej, kiedy zapobiegają one zalewaniu terenów położonych niżej od poziomu jeziora lub okresowo narażonych na wysokie stany wód, ochrony gruntów rolnych, utrzymania odpowiedniego poziomu odwodnienia pól i łąk, ochrony infrastruktury i zabudowy przed podtopieniem. Z drugiej strony, ich funkcjonowanie może być kwestionowane ze względu na wysokie koszty eksploatacji pomp i wałów, potrzebę odtwarzania mokradł i naturalnych terenów

zalewowych, korzyści ekologiczne wynikające z renaturyzacji, czy zmianę klimatu, która może wymagać nowych sposobów gospodarowania wodą. W niektórych miejscach celowo rezygnuje się z części odwodnienia, aby zwiększyć retencję wody, poprawić stan ekosystemów i ograniczyć skutki suszy.

ROLA INŻYNIERII WODNEJ PRZY REALIZACJI LINIOWYCH INWESTYCJI TRANSPORTOWYCH NA PRZYKŁADZIE BUDOWY ODCINKA DROGI EKSPRESOWEJ S19 PODGÓRZE – KAMIEŃ

Tadeusz Bawolski

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych, Oddział Kraków

Kontakt: tadeusz.bawolski@outlook.com

Realizacja liniowych inwestycji transportowych, w szczególności nowych przebiegów dróg szybkiego ruchu i linii kolejowych, istotnie ingeruje w istniejące układy hydrograficzny i melioracyjny na swoich trasach. W trakcie całego procesu inwestycyjnego, od wstępnych opracowań studialnych, przez projektowanie, wykonawstwo, aż po etap eksploatacji, niezbędne jest zapewnienie dalszego sprawnego funkcjonowania systemu wodnego w zasięgu oddziaływania przedsięwzięcia. Zachowanie istniejących stosunków wodnych na terenach przyległych oraz brak negatywnego wpływu na zasoby wodne są istotne m.in. dla możliwości dalszego prowadzenia gospodarki rolnej na terenach przyległych, bezpieczeństwa powodziowego samej infrastruktury oraz terenów zabudowanych w sąsiedztwie, czy ochrony ekosystemów zależnych od wód.

Jednocześnie zagadnienia z zakresu inżynierii wodnej i melioracji często są traktowane z należytą wagą, a rola inżyniera hydrotechnika w procesie realizacji inwestycji z zakresu innych branż wiodących bywa marginalizowana. W rezultacie analizy o niewystarczającej szczegółowości, braki w koordynacji międzybranżowej oraz inne błędy popełnione i niewykryte na wczesnych etapach realizacji, mogą powodować istotne problemy podczas projektowania, pozyskiwania decyzji administracyjnych oraz realizacji robót budowlanych. Ostatecznie może to negatywnie wpływać na koszt i czas realizacji inwestycji.

Przedsięwzięcie pn. „Budowa drogi ekspresowej S19 Lublin – Rzeszów, odc. w. Nisko Południe (bez węzła) – w. Sokołów Małopolski Północ (z węzłem), odcinek realizacyjny od węzła Podgórze (z węzłem) do węzła Kamień (bez węzła) od około km 430+300 do około km 440+635” w województwie podkarpackim

zrealizowane zostało w latach 2020–2021. Prace na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Rzeszowie zlecone zostały w formule „zaprojektuj i wybuduj”. W trakcie realizacji przedsięwzięcia już na etapie projektowania zidentyfikowano w materiałach przekazanych przez inwestora, w szczególności w opracowanym wcześniej Studium Techniczno-Ekologiczno-Środowiskowym (STES), rozwiązania negatywnie wpływające na możliwość realizacji robót w zaproponowanej formie. W referacie opisano, na wybranych przykładach, wady rozwiązań zaproponowanych w STES oraz zmiany projektowe w zakresie branży hydrotechnicznej wdrożone w celu optymalizacji rozwiązań i umożliwienia skutecznej realizacji robót drogowych.

ZASTOSOWANIE BETONU ZE ZBROJENIEM ROZPROSZONYM DO BUDOWY I REMONTÓW BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH

Daniel Jagiełło¹, Palle Olsen²

¹ PP Nordica Polska Sp. z o.o.

² PP Nordica Group

Kontakt: dj@ppnordica.pl

W hydrotechnice trwałość i odporność konstrukcji na trudne warunki eksploatacyjne – zmienne zwierciadło wody, transport rumoszu, kawitację, mróz – decydują o realnym koszcie utrzymania obiektu w całym cyklu życia. Właściwy dobór technologii już na etapie projektowania i budowy pozwala istotnie wydłużyć okres eksploatacji bez kosztownych remontów generalnych, co w perspektywie wieloletniej daje wymierne oszczędności. Ta sama logika dotyczy remontów – naprawa najbardziej eksploatowanych i uszkodzonych elementów to okazja, by od razu zwiększyć ich trwałość, a nie tylko odtworzyć stan pierwotny.

Zbrojenie rozproszone (fibrobeton) – równomiernie rozłożone w mieszanke betonowej włókna (np. polimerowe makrowłókna strukturalne), które w zależności od elementu mogą stanowić jedyne zbrojenie konstrukcyjne albo istotnie ograniczyć ilość zbrojenia prętowego. Efekt: mniejszy skurcz i mikrorysy, wyższa odporność na obciążenia udarowe, mniej stali – niższy koszt i ślad CO₂, brak nacieków rdzy, możliwość ograniczenia lub eliminacji dylatacji i szwów roboczych w wybranych elementach.

Podobnie jak dziś różnicuje się klasę betonu w zależności od obciążeń danej strefy, świadomy dobór rodzaju i ilości włókien do konkretnego elementu budowli lub konstrukcji to kolejny poziom precyzji projektowania – *smart engineering* w praktyce.

Zastosowanie w hydrotechnice:

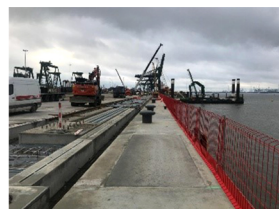
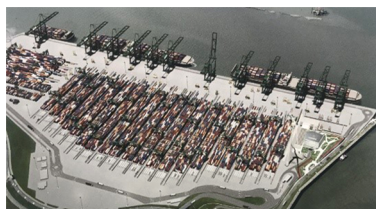
- **elementy intensywnej eksploatacji hydraulicznej i narażone na kontakt z rumoszem dennym lub unoszonym** – przelewy, szykany, niecki wypadowe, gurty, korytka upustowe; transport rumoszu, silne uderzenia hydrodynamiczne, ryzyko kawitacji,

- strefy zmiennego zwierciadła wody, cyklicznego zawilgocenia, rozbryzgów,
- zmniejszenie liczby lub brak szwów roboczych i dylatacji – parapety, korony, mury oporowe, opaski, płyty,
- umocnienia brzegowe i morskie – opaski brzegowe, mury oporowe, fałochrony, elementy osłonowe brzegu; napór wody, lodu, rumoszu, fal,
- nabrzeża portowe i place przeładunkowe – powierzchnie transportu i składowania ładunków; obciążenia ruchem ciężkiego sprzętu, obciążenia skupione, ścieranie,
- obiekty przepływowe – przepusty (głowice, elementy skrzynkowe/rurowe), śluzy żeglugowe (ściany komór, progi, nadproża wrót),
- regulacja koryt – betonowe elementy stopni, progów, bystrzy, ostróg,
- torkret z włóknami oraz beton wtórny zwłaszcza w naprawach – mniejszy skurcz, mniejsze ryzyko odspojenia od podłoża, zwiększona odporność lokalna w tym uderowa.

Przykłady realizacji hydrotechnicznych z zastosowaniem betonu ze zbrojeniem rozproszonym:



Fot. 1. Remont przelewu zapory w West Yorkshire, Anglia



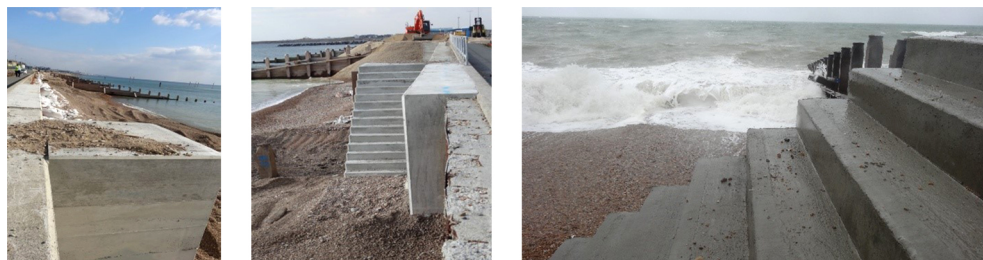
Fot. 2. Konstrukcje betonowe nowego terminalu morskiego
w Porcie Antwerpia-Brugia, Belgia



Fot. 3. Morski mur przeciwpowodziowy w Aberdeenshire, Anglia



Fot. 4. Rampa zjazdowa do morza Exmouth, Devon, Anglia



Fot. 5. Remont i przebudowa nabrzeża, ostróg oraz zejść, Sussex, Anglia



Fot. 6. Betonowa, schodkowa opaska brzegu, Sandsend, Whitby North Yorkshire, Anglia



Fot. 7. Mury przeciwpowodziowe rzeki Parrett, Moorland, Anglia

14:00-15:30	BEZPIECZEŃSTWO INFRASTRUKTURY 1	B2-4 MAŁA AULA
MODERATOR dr hab. inż. Leszek Opyrchał, prof. WAT		

STRATEGIE CYBERBEZPIECZEŃSTWA W INFRASTRUKTURZE HYDROTECHNICZNEJ I ENERGETYCE WODNEJ

Michał Muszer

Efekt-Automatyka Sp. z o.o.

Kontakt: michal.muszer@efekt-automatyka.com.pl

1. Wstęp i kontekst infrastruktury krytycznej

Obiekty hydrotechniczne, takie jak zapory, zbiorniki retencyjne i elektrownie wodne, stanowią fundament bezpieczeństwa publicznego i energetycznego.

Pełnią one kluczowe funkcje w zakresie ochrony przeciwpowodziowej oraz stabilizacji sieci elektroenergetycznej, co sprawia, że w świetle nowej dyrektywy NIS2 oraz polskiej ustawy o Krajowym Systemie Cyberbezpieczeństwa (KSC) podmioty nimi zarządzające są klasyfikowane jako podmioty kluczowe w sektorach energii i infrastruktury. Skuteczny cyberatak na takie systemy może prowadzić nie tylko do strat ekonomicznych, ale do katastrofalnych skutków fizycznych, takich jak powódzie lub długotrwałe przerwy w dostawie energii (z ang. blackouty).

2. Specyfika zagrożeń i podatności systemów hydrotechnicznych

Współczesna infrastruktura hydrotechniczna boryka się z unikalnymi wyzwaniami, m.in. z przestarzałą infrastrukturą. Wiele zapór operuje na systemach mających kilka dekad, które nie były projektowane z myślą o bezpieczeństwie cyfrowym i wykorzystują nieaktualne oprogramowanie:

- konwergencja IT/OT: proces modernizacji wprowadza technologie cyfrowe do izolowanych dotąd systemów operacyjnych (OT), co otwiera nowe wektory ataków,

- zdalny dostęp: zarządzanie poziomem wody czy pracą źródeł wytwórczych energii coraz częściej odbywa się zdalnie przez Internet, co bez odpowiednich zabezpieczeń drastycznie zwiększa ryzyko infiltracji,
- manipulacja procesami fizycznymi: najgroźniejszym scenariuszem jest przejęcie kontroli nad systemami SCADA, co umożliwi napastnikowi zmianę parametrów pracy zasuw, śluz lub generatorów, prowadząc do fizycznego uszkodzenia tamy lub wywołania fali powodziowej.

3. Standardy i ramy prawne: Dyrektywa NIS2 i norma IEC 62443

Podmioty zarządzające obiektami hydrotechnicznymi muszą dostosować się do rygorystycznych wymagań:

- zarządzanie ryzykiem: Dyrektywa NIS2 nakłada obowiązek wdrożenia proporcjonalnych środków technicznych i organizacyjnych, w tym polityk analizy ryzyka i bezpieczeństwa łańcucha dostaw,
- podstawowym narzędziem wdrożeniowym dla systemów automatyki (IACS) jest norma IEC 62443, która wprowadza podział na strefy i kanały komunikacyjne,
- uzupełnieniem regulacji są rozporządzenia unijne, takie jak *Cyber Resilience Act (CRA)*, które wymuszają na producentach urządzeń i oprogramowania (np. sterowników PLC) zapewnienie bezpieczeństwa już na etapie projektowania (ang. *secure by design*).

4. Techniczne strategie obronne

Budowa odporności systemów hydrotechnicznych powinna opierać się na modelu *Defense in Depth* (obrona w głąb), obejmującym wiele warstw zabezpieczeń:

- segmentacja sieci (ang. *Model Purdue*): ścisłe oddzielenie sieci korporacyjnej IT od produkcyjnej OT oraz wydzielenie krytycznych segmentów, takich jak systemy sterowania śluzami,
- bramy jednokierunkowe (ang. *Data Diodes*): w najbardziej krytycznych punktach zaleca się stosowanie diod danych, które fizycznie uniemożliwiają przepływ informacji z sieci IT do OT, pozwalając jedynie na jednostronne monitorowanie stanu obiektu,
- monitoring i detekcja anomalii: wdrożenie systemów klasy IDS (ang. *Intrusion Detection System*) wyspecjalizowanych w protokołach przemysłowych, które potrafią wykryć nietypowe komendy sterujące,
- zasada SRP (ang. *Safety, Reliability, Productivity*): w przeciwieństwie do IT, w środowisku hydrotechnicznym priorytetem jest bezpieczeństwo fizyczne (ang. *Safety*) i niezawodność (ang. *Reliability*), a nie poufność danych.

5. Integracja bezpieczeństwa funkcjonalnego i cyfrowego

W obiektach takich jak zapory, parametry SIL (ang. *Safety Integrity Level*) i SAL (ang. *Security Assurance Level*) muszą być rozpatrywane łącznie.

- SIL określa prawdopodobieństwo poprawnego zadziałania funkcji bezpieczeństwa.
- SAL definiuje odporność na celowe naruszenia przez człowieka.

Zgodnie z metodyką SeSa (ang. *Secure Safety*), brak należytej ochrony informacji (niski poziom SAL) traktowany jest jako błąd systematyczny, który może obniżyć zweryfikowany poziom SIL całej instalacji.

SAL opiera się na siedmiu aspektach: kontroli dostępu, kontroli użytkownika, integralności danych, poufności, ograniczeniu przepływu danych, odpowiedzi na zdarzenia i dostępności zasobów.

6. Ciągłość działania i reagowanie kryzysowe

Zgodnie z dyrektywą CER operatorzy muszą posiadać plany utrzymania ciągłości działania uwzględniające scenariusze hybrydowe (np. cyberatak podczas powodzi). Kluczowe jest:

- posiadanie kopii zapasowych konfiguracji sterowników PLC i systemów SCADA przechowywanych offline,
- przygotowanie personelu do przejścia na sterowanie ręczne obiektami w przypadku paraliżu systemów cyfrowych,
- zapewnienie alternatywnych źródeł zasilania dla infrastruktury ICT.

7. Podsumowanie

Cyberbezpieczeństwo obiektów hydrotechnicznych nie jest już tylko opcją technologiczną, ale procesem ciągłym i wymogiem prawnym.

Skuteczna ochrona wymaga holistycznego podejścia łączącego nowoczesne technologie (segmentacja, diody danych), rygorystyczne procesy zgodne z normą IEC 62443 oraz budowanie kultury bezpieczeństwa wśród pracowników i kadry zarządzającej.

STRATEGICZNE I TAKTYCZNE ZNACZENIE BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH ORAZ SIECI HYDROGRAFICZNEJ W OPERACJACH WOJSKOWYCH

Aleksandra Bąk

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji

Kontakt: aleksandra.bak@wat.edu.pl

Charakter środowiska pola walki ma szczególne znaczenie zarówno z operacyjnego, jak i taktycznego punktu widzenia. Kluczowymi czynnikami determinującymi sposób organizowania i prowadzenia działań bojowych są uwarunkowania terenowe oraz elementy środowiska pola walki. Właściwości taktyczne obszaru są określane m.in. przez pokrycie terenu i jego ukształtowanie, występującą na danym obszarze sieć drogową, istniejącą infrastrukturę hydrotechniczną czy sieć hydrograficzną. Rzeki, kanały, zbiorniki wodne, zapory, śluzy czy wały przeciwpowodziowe stanowią istotne składniki przestrzeni operacyjnej, które mogą zarówno ograniczać, jak i wspierać działania wojsk.

Na poziomie taktycznym infrastruktura hydrotechniczna może być wykorzystywana do kształtowania środowiska pola walki – kontrolowane spiętrzanie lub odprowadzanie wody pozwala tworzyć przeszkody terenowe, które wpływają na tempo natarcia, utrudniają manewr wojsk, ograniczają możliwości przeprawowe przeciwnika oraz kanalizują jego ruchy w kierunkach dogodnych do rażenia. Wykorzystanie infrastruktury hydrotechnicznej oraz sieci hydrograficznej może mieć na celu także wzmocnienie własnych pozycji obronnych poprzez tworzenie linii opóźniania czy warunków dogodnych do organizacji rubieży obronnych. Operacyjne znaczenie zarówno sieci hydrograficznej, jak i umiejętnego wykorzystania infrastruktury hydrotechnicznej, w dużym stopniu wynika z ich bezpośredniego wpływu na przejezdność terenu. Warunki hydrologiczne decydują o możliwości przemieszczania wojsk, zwłaszcza pododdziałów zmechanizowanych i pancernych. Rzeki, ciekły wodne, tereny podmokłe oraz obszary okresowo zalewane stanowią przeszkody terenowe, które mogą ograniczać swobodę manewru, zmuszać do koncentracji sił na wybranych kierunkach oraz prowadzenia operacji

przeprawowych, a także zwiększać podatność wojsk na oddziaływanie ze strony przeciwnika. Z tego względu obiekty hydrotechniczne są często traktowane jako kluczowe cele rozpoznania, ochrony oraz oddziaływania kinetycznego i niekinetycznego. Z militarnego punktu widzenia, znaczenie przeszkód wodnych w działaniach taktycznych i operacyjnych wynika głównie z właściwości powstałej zapory inżynierskiej, mianowicie: szerokości i głębokości koryta rzeki, prędkości prądu, rodzaju dna, charakteru brzegów i doliny rzeki, liczby przepraw stałych i brodów oraz występowania naturalnych i sztucznych zbiorników wodnych w bezpośrednim otoczeniu tymczasowej przeprawy. Wskazane parametry przeszkód warunkują sposób i czas pokonywania przeszkody, a także liczbę i rodzaj niezbędnego w tym celu sprzętu. Forsowanie przeszkód wodnych należy do jednych z najbardziej skomplikowanych rodzajów działań bojowych, ponieważ wymaga koordynacji wojsk inżynierskich, artylerii, obrony przeciwlotniczej oraz jednostek manewrowych.

W czasie przepraw wojska są szczególnie narażone na ogień przeciwnika, dlatego znajomość parametrów przeszkody wodnej, charakteru otaczającego ją terenu, a także wybór miejsca i czasu przeprawy mają kluczowe znaczenie dla powodzenia operacji.

Współczesne konflikty zbrojne potwierdzają, że znaczenie budowli hydrotechnicznych wykracza poza funkcje gospodarcze i przeciwpowodziowe, czyniąc je elementami infrastruktury krytycznej o dużej wartości strategicznej i operacyjnej. Kontrola nad infrastrukturą hydrotechniczną pozwala kształtować warunki terenowe, ograniczać zdolności bojowe przeciwnika, zapewniać przewagę operacyjną i wpływać na skuteczność działań militarnych. Należy jednak zauważyć, że infrastruktura hydrotechniczna może stać się zarówno narzędziem prowadzenia działań wojennych, jak i celem strategicznym. Jej uszkodzenie lub zniszczenie może wywołać skutki przekraczające wymiar militarny, prowadząc do dezorganizacji systemu obronnego, zakłócenia logistyki oraz destabilizacji sytuacji społecznej i gospodarczej na obszarze działań. W efekcie przeciwnik może osiągnąć cele militarne i polityczne bez konieczności prowadzenia bezpośrednich działań bojowych na dużą skalę. W związku z tym należy postrzegać budowle hydrotechniczne oraz sieć hydrograficzną nie tylko jako element środowiska geograficznego, ale i istotny komponent potencjału obronnego państwa oraz ważny czynnik determinujący powodzenie operacji wojskowych na poziomie strategicznym, operacyjnym i taktycznym.

MODELOWE BADANIA HYDRAULICZNE PRZELEWU POWIERZCHNIOWEGO ZBIORNIKA TOPOLA PO POWODZI 2024 ROKU JAKO NARZĘDZIE OCENY BEZPIECZEŃSTWA BUDOWLI HYDROTECHNICZNEJ

**Tomasz Kałuża¹, Mateusz Hämmerling¹, Paweł Zawadzki¹,
Natalia Walczak¹, Stanisław Zaborowski¹, Sebastian Kujawiak¹,
Bartłomiej Cieciora¹, Tomasz Tymiński², Robert Kasperek²**

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

² Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Kontakt: tomasz.kaluza@up.poznan.pl

Zbiornik Topola, zlokalizowany na rzece Nysie Kłodzkiej, jest istotnym elementem systemu ochrony przeciwpowodziowej Doliny Nysy Kłodzkiej oraz terenów położonych poniżej zbiornika. Wraz ze Zbiornikiem Kozielno tworzy układ obiektów retencyjnych pracujących w warunkach wysokiej zmienności hydrologicznej, typowej dla zlewni górskich. Szczególne znaczenie ma niezawodność urządzeń zrzutowych, w tym przelewu powierzchniowego, którego zadaniem jest bezpieczne przeprowadzanie wód wezbraniowych w sytuacjach przekroczenia typowych poziomów piętrzenia.

We wrześniu 2024 roku przez Dolinę Nysy Kłodzkiej przeszła fala powodziowa, która objęła również rejon Zbiornika Topola. W wyniku ekstremalnych warunków hydraulicznych doszło do zniszczenia powierzchniowego przelewu bocznego. Zdarzenie to stworzyło potrzebę szczegółowej weryfikacji założeń odbudowy oraz oceny warunków pracy przelewu w stanach wysokiego obciążenia hydraulicznego. W tym celu wykonano laboratoryjne badania modelowe przelewu powierzchniowego Zbiornika Topola, obejmujące analizę przepustowości, rozkładu prędkości przepływu, poziomów piezometrycznych, ryzyka występowania podciśnień oraz rozwoju wyboju lokalnego na dolnym stanowisku.

Celem badań było określenie, czy projektowany układ przelewu zapewnia wymagane warunki hydrauliczne pracy dla przepływów charakterystycznych, w tym przepływu miarodajnego i kontrolnego, oraz czy przyjęte rozwiązania konstruk-

cyjne ograniczają ryzyko rozmycia dna i utraty stateczności dolnego stanowiska. Badania miały charakter aplikacyjny, a ich wyniki stanowiły materiał wspierający weryfikację założeń projektowych odbudowy przelewu po powodzi 2024 roku. Prace przeprowadzono w laboratorium wodnym Katedry Inżynierii Wodnej i Sanitarnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Wykonano fizyczny model przelewu powierzchniowego, odwzorowujący geometrię obiektu, oraz jego bezpośrednie otoczenie hydrauliczne, obejmujące strefę dopływu, przelew, bystrze stokowe, dolne stanowisko i strefę odpływu. Ze względu na wymiary obiektu rzeczywistego oraz możliwości techniczne laboratorium zastosowano skalę skażoną: 1 : 70 dla wymiarów poziomych i 1 : 35 dla wymiarów pionowych. Pozwoliło to odwzorować zasadnicze cechy geometryczne obiektu przy zachowaniu warunków podobieństwa dynamicznego według kryterium Froude'a.

Model wykonano w kilku wariantach konstrukcyjnych, różniących się przede wszystkim układem dolnego stanowiska oraz szorstkością powierzchni przelewu. Uwzględniono opcję z wybojem przygotowanym oraz warianty umożliwiające swobodne kształtowanie rozmycia w materiale drobnoziarnistym. W trakcie badań wykonywano pomiary natężenia przepływu, poziomów zwierciadła wody, prędkości miejscowych, poziomów piezometrycznych oraz zmian morfologii dna dolnego stanowiska. Do pomiarów prędkości wykorzystano elektromagnetyczny miernik prędkości przepływu, a dane poddano dalszej obróbce numerycznej, w tym interpolacji i wizualizacji przestrzennego rozkładu prędkości. Uzupełnieniem klasycznych pomiarów było skanowanie 3D modelu, które umożliwiło weryfikację zgodności wykonanej geometrii laboratoryjnej z założeniami projektowymi oraz dokumentację zmian dna po doświadczeniach.

Na podstawie pomiarów laboratoryjnych i obliczeń teoretycznych określono, że dla rzędnej odpowiadającej maksymalnemu poziomowi przy przepływie kontrolnym, tj. 232,15 m n.p.m., przepustowość przelewu wynosi ok. 960 m³/s, przy niepewności rzędu ±50 m³/s. Uzyskane wartości są zbliżone do wyników obliczeń teoretycznych, co potwierdza poprawność przyjętego schematu hydraulicznego oraz przydatność modelu fizycznego w ocenie pracy obiektu. Analiza rozkładów prędkości wykazała, że przy największych analizowanych przepływach prędkości na stoku przelewu mogą osiągać wartości zbliżone do 10 m/s. Tak duże prędkości wskazują na bardzo wysoką energię przepływu i konieczność szczególnego zabezpieczenia powierzchni przelewu oraz dolnego stanowiska. W takich warunkach może dochodzić do obniżenia ciśnienia statycznego, co zwiększa ryzyko lokalnych podciśnień, oderwania strugi i zjawisk kawitacyjnych.

Istotne znaczenie miały również wyniki badań rozmycia lokalnego. Symulacje prowadzone w materiale drobnoziarnistym wykazały możliwość powstawania

znacznych wybojów na dolnym stanowisku. W jednym z analizowanych wariantów maksymalna głębokość wyboju po przeliczeniu na warunki rzeczywiste przekraczała 5 m, a jego długość dochodziła do 40 m. Tego typu rozmycie może stanowić zagrożenie dla stateczności strefy wypadu oraz elementów konstrukcyjnych znajdujących się poniżej przelewu. Wyniki wskazały na potrzebę zastosowania trwałych umocnień dolnego stanowiska, rozwiązań skutecznie rozpraszających energię przepływu oraz systematycznej kontroli stanu dna po przejściu wezbrań.

Przeprowadzone badania potwierdziły dużą przydatność fizycznego modelowania hydraulicznego w ocenie pracy złożonych obiektów hydrotechnicznych, zwłaszcza tam, gdzie klasyczne zależności obliczeniowe mogą być niewystarczające. W przypadku przelewu powierzchniowego zbiornika Topola model fizyczny dostarczył informacji trudnych do uzyskania wyłącznie metodami analitycznymi, szczególnie w zakresie rozkładu prędkości, ryzyka podciśnień i rozwoju wyboju lokalnego. Wyniki badań stanowią przykład zastosowania modelowania fizycznego do oceny odporności infrastruktury hydrotechnicznej na ekstremalne zjawiska hydrologiczne. Wspierały również bezpośrednio proces odbudowy przelewu po powodzi 2024 roku.

MODELOWANIE HYDRODYNAMICZNE PRZEJŚCIA FALI Z PRZERWANIA ZAPORY PRZEZ MIEJSCOWOŚĆ STRONIE ŚLĄSKIE

Krzysztof Radzicki, Michał Wróbel

Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: krzysiek.radzicki@gmail.com

Modelowanie hydrauliczne jest dziś podstawowym narzędziem inżynierii wodnej – służy projektowaniu obiektów hydraulicznych i koryt, analizie wariantowej rozwiązań oraz doprecyzowywaniu lokalnych skutków decyzji technicznych, takich jak m.in. innymi parametry światła mostów, urządzeń upustowych, przepławek. Jest stosowane również w analizach wpływu katastrofy zapór i powstałej fali na bezpieczeństwo doliny poniżej.

Referat prezentuje wyniki zastosowania modeli numerycznych hydrodynamicznych, z zastosowaniem metody analizy wstecz (rekonstrukcji numerycznej), w celu analizy przejścia fali powodziowej z 15 września 2024 roku w Stroniu Śląskim, powstałej na skutek awarii zapory suchego zbiornika w tej miejscowości. Modelem został objęty obszar przejścia fali na terenie Stronia Śląskiego od przekroju zapory do ujścia potoku Morawka do rzeki Biała Łądecka.

Są to wyniki pracy magisterskiej mgr. inż. Michała Wróbla, wykonanej pod kierunkiem i według metodyki wskazanej przez dr. inż. Krzysztofa Radzickiego.

Autorzy dziękują Pani Profesor Elżbiecie Nachlik za cenne dyskusje i konsultacje dotyczące omawianego tematu.

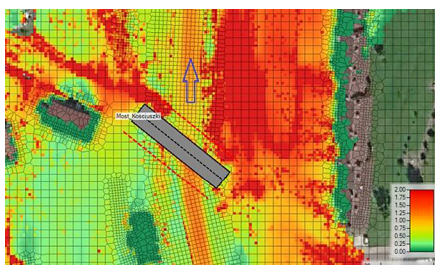
W celu rekonstrukcji przejścia fali w Stroniu Śląskim zbudowano dwuwymiarowy (2D) model hydrodynamiczny w programie HEC-RAS 6.6. Model hydrauliczny skalibrowano na podstawie informacji o zasięgu i wysokości przejścia fali oraz powstałych zniszczeniach pozyskanych poprzez wywiad lokalny, zdjęcia terenowe autorów, dostępne w internecie zdjęcia i filmy świadków zdarzenia oraz w oparciu o trójwymiarowy model fotogrametryczny terenu, obejmujący w szczególności strefy powstałych zniszczeń. Model terenu wykonany został po katastrofie przez firmę Geoclass Sp. z o.o. Uzyskany numeryczny model hydrauliczny pozwolił nie tylko odtworzyć przebieg fali, ale też powiązać rozkład kluczowych

parametrów hydrodynamicznych (prędkości, naprężeń stycznych, mocy strumienia, liczby Froude'a) z obszarem i stopniem zniszczeń.

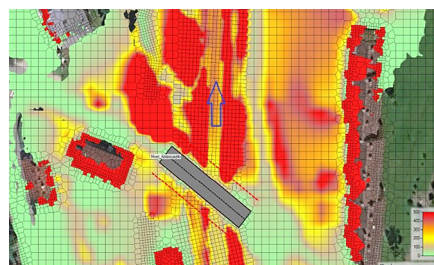
Poniżej zaprezentowano wybrane wyniki modelowań dla jednego wybranego przypadku mostu drogowego na ulicy Kościuszki.



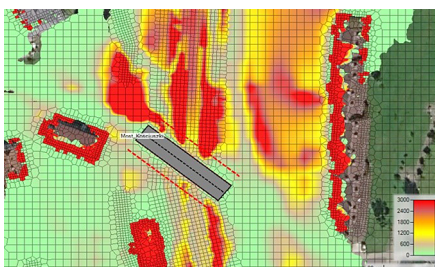
Fot. 1. Rozmycie prawego przyczółka oraz wyboje przed mostem na ul. Kościuszki na prawej terasie



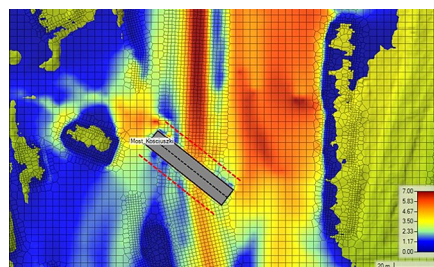
Rys. 1. Rozkład liczby Froude'a w otoczeniu mostu na ul. Kościuszki



Rys. 2. Wartości naprężeń ścinających w otoczeniu mostu na ul. Kościuszki



Rys. 3. Moc strumienia w otoczeniu mostu na ul. Kościuszki



Rys. 4. Prędkości przepływu w otoczeniu mostu na ul. Kościuszki

Analogiczne wyniki dotyczące szeregu innych newralgicznych miejsc na trasie fali, w tym kaplicy św. Onufrego, mostów oraz ujścia potoku zostaną przedstawione w trakcie prelekcji.

PODWÓJNE ZASTOSOWANIE TECHNICZNYCH MOŻLIWOŚCI ZWIĘKSZENIA INTERAKCJI WÓD POWIERZCHNIOWYCH I PODZIEMNYCH W CELU PONOWNEGO NAWADNIANIA OSUSZONYCH TORFOWISK

**Paweł Popielski¹, Grzegorz Sinicyn¹, Krzysztof Kochanek¹,
Łukasz Kaczmarek¹, Jacek Gralewski²**

¹ Politechnika Warszawska

² Grupa Pietrucha

Kontakt: pawel.popielski@pw.edu.pl

Na obszarach nizinnych Europy, silnie przekształconych pod wpływem działalności człowieka, rzeki wraz z ich dolinami oraz torfowiska stanowią kluczowe ostoje bioróżnorodności. Torfowiska są szczególnie wrażliwe na zakłócenia hydrologiczne. Zarówno presje antropogeniczne, jak i postępujące zmiany klimatu mogą prowadzić do ich osuszania, zmiany charakteru siedlisk oraz utraty ich funkcji ekologicznych.

Rowy melioracyjne to jeden z głównych powodów zaniku mokradeł. Osuszone torfowiska najczęściej przekształcane są w tereny użytkowane rolniczo. Przez ostatnie 70 lat zmieniały się kluczowe wskaźniki klimatyczne: temperatura powietrza, sumy, rozkład przestrzenny i czasowy oraz sezonowość opadów, ewapotranspiracja, bilans wodny oraz długość okresów bezdeszczowych. Kierunek zmian tych wskaźników sprzyja utracie lub zmianie charakteru wielu torfowisk. Prognozuje się, że zmiana bilansu i obiegu węgla w przyrodzie może nastąpić w efekcie postępujących zmian klimatycznych, w tym wzrostu temperatury powietrza, co będzie skutkowało zwiększającym się uwalnianiem dwutlenku węgla do atmosfery oraz metanu magazynowanego dotychczas w torfowiskach.

Zostało to potwierdzone badaniami przeprowadzonymi przez międzynarodowe zespoły badawcze współpracujące z Wydziałem Inżynierii Środowiska PW oraz Wydziałem Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW. Wyniki badań stanowią mocny argument za konsekwentną ochroną torfowisk, aby wspierać ich odporność w obliczu postępującej zmiany klimatu i rosnącej presji antropogenicznej.

Istnieją sprawdzone technicznie możliwości kontrolowanego nawadniania osuszonych terenów, w tym torfowisk. Rozwiązania mogą być realizowane w formie różnych zastawek – małych budowli hydrotechnicznych na rzekach i ciekach wodnych pozwalających na regulowanie poziomu wody powierzchniowej.

Inne rozwiązania w formie przegród wykonanych ze ścianek szczelnych dotyczą wody podziemnej i mogą powodować ograniczenie filtracji – „ucieczki” wody na analizowanym terenie przez obszar torfowiska lub jego podłoże.

Torfowiska, obszary podmokłe oraz budowle hydrotechniczne pozwalające na zalewanie strategicznych obszarów stanowią skuteczne zabezpieczenia obronne stosowane od wieków (np. w przypadku fortyfikacji Kamieńca Podolskiego), ograniczające możliwość przejścia, podkopu, a tym bardziej przejechania ciężkiego sprzętu. Z nowszych przykładów, Zbiornik Kozłowa Góra powstał poprzez przegrodzenie doliny Brynicy zaporą. Zbiornik ten został wybudowany w latach 1935–1939 i pierwotnie miał cel militarno-obronny, stanowiąc część systemu umocnień Obszaru Warownego „Śląsk”. Spusty denne tej zapory mają wymiary 1,85 m × 2,00 m. Zostały zaprojektowane w celu spuszczenia wody ze zbiornika. Maksymalny przepływ przez otwory może wynosić 95,2 m³/s, jednak z obawy przed zalaniem doliny poniżej zapory dopuszcza się maksymalny zrzut wody w ilości 15 m³/s. Wykorzystanie analogicznych technik, polegających na zatopieniu i utrzymaniu terenów w stanie nawodnionym, jest skuteczne w ograniczeniu mobilności ciężkiego sprzętu w trwającej obecnie wojnie w Ukrainie.

Produkty podwójnego zastosowania (ang. *dual-use*) to technologie, materiały i oprogramowanie zaprojektowane do celów cywilnych (np. w przemyśle lub w badaniach naukowych), które mogą zostać wykorzystane również w celach wojskowych, obronnych. Stosowane rozwiązania techniczne do nawadniania torfowisk i ograniczania uwalniania się do atmosfery dwutlenku węgla i metanu magazynowanych dotychczas w torfowiskach, mogą również skutecznie przyczynić się do wytworzenia zabezpieczeń pod kątem przygotowania terenu do ewentualnych działań wojennych (obronnych) do poziomu *slow go* lub *no go*.

Konieczne są badania nad zastosowaniem i dokumentowaniem projektowanych rozwiązań wraz z ich interakcją, ponieważ muszą być indywidualnie dostosowane do warunków terenowych, które wymagają, aby materiał stosowany do rozwiązań technicznych, z którego stworzone są przegrody, był trwały, odporny na korozję, w tym biologiczną, a zarazem lekki – pozwalający na montaż konstrukcji w podmokłych i leśnych obszarach bez użycia ciężkiego sprzętu. Konieczna jest również bieżąca analiza ograniczania osuszania i nawadniania torfowisk oraz efektów ograniczenia uwalniania do atmosfery dwutlenku węgla, metanu

i innych czynników ekologicznych. Temat wymaga realizacji w interdyscyplinarnym zespole, którego członkowie mają doświadczenie w analizach interakcji wód powierzchniowych i podziemnych na potrzeby oceny stanu siedlisk rzecznych oraz dolinowych, jak również w projektowaniu i eksploatacji obiektów hydrotechnicznych.

15:30	Przerwa kawowa
-------	----------------

16:00–17:20	UWARUNKOWANIA PRZESTRZENNE GOSPODARKI WODNEJ	A2-5 DUŻA AULA
-------------	---	----------------

MODERATOR prof. dr hab. inż. Tomasz Kałuża		
--	--	--

16:00–17:20	BEZPIECZEŃSTWO INFRASTRUKTURY 2	B2-5 MAŁA AULA
-------------	---------------------------------	----------------

MODERATOR dr inż. Aleksandra Bąk		
----------------------------------	--	--

ZASTOSOWANIE WYSOKOROZDZIELCZYCH MODELI MESH Z NALOTÓW BSP W SYMULACJACH ZNISZCZENIA BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH

Tomasz Gębala

Geoclass Sp. z o.o.

Kontakt: tomasz@geoclass.pl

Rozwój cyfrowych metod pozyskiwania danych przestrzennych otwiera nowe możliwości w diagnostyce, analizie i modelowaniu budowli hydrotechnicznych. Szczególne znaczenie mają wysokorozdzielcze modele mesh, tworzone na podstawie zdjęć lotniczych pozyskiwanych z bezzałogowych statków powietrznych. W referacie przedstawiono wykorzystanie modelu mesh zapory wodnej, opracowanego w środowisku ContextCapture Modeler na podstawie danych fotograficznych pozyskanych dronem DJI Matrice 350 RTK, na przykładzie zapory w Stroniu Śląskim, zniszczonej podczas powodzi we wrześniu 2024 roku. Dane obrazowe uzyskano z terenową rozdzielczością piksela ok. 2 cm, co pozwoliło na stworzenie szczegółowego, trójwymiarowego odwzorowania geometrii obiektu oraz jego otoczenia. Model wykorzystano jako przestrzenną podstawę do przygotowania symulacji zniszczenia zapory.

Budowle hydrotechniczne należą do obiektów infrastruktury krytycznej i wymagają stałego monitoringu, okresowej diagnostyki oraz rzetelnej dokumentacji geometrycznej. Tradycyjne metody pomiarowe coraz częściej uzupełniane są

technologiami teledetekcyjnymi, fotogrametrią niskiego pułapu, skanowaniem laserowym i cyfrowymi modelami 3D. Drony wyposażone w systemy RTK umożliwiają szybkie i precyzyjne pozyskanie danych dla obszarów trudno dostępnych, rozległych lub potencjalnie niebezpiecznych, ograniczając czas pracy w terenie i zwiększając bezpieczeństwo zespołu pomiarowego.

Nalot zaplanowano tak, aby zapewnić pełne pokrycie korpusu zapory, elementów przelewowych, przyczółków, skarp, korony oraz otoczenia zbiornika i doliny poniżej. Obok zdjęć nadirowych wykonano zdjęcia ukośne, pozwalające odwzorować ściany odwodne i odpowietrzne oraz konstrukcje przelewowe. Szczególnej uwagi wymagały powierzchnie wodne niekorzystnie wpływające na rekonstrukcję. Materiał przetworzono w ContextCapture Modeler poprzez aerotriangulację, generowanie gęstej chmury punktów i utworzenie teksturowanej siatki trójkątów. Powstały rzeczywistościowy model mesh łączy informację geometryczną i wizualną, a rozdzielczość ok. 2 cm pozwala identyfikować krawędzie konstrukcyjne, dylatacje, zmiany materiałowe i lokalne deformacje powierzchni.

W odróżnieniu od ortofotomapy czy pojedynczych przekrojów model mesh pozwala analizować obiekt w pełnej przestrzeni trójwymiarowej, wykonywać pomiary, generować przekroje oraz integrować dane z numerycznym modelem terenu, chmurą punktów, danymi hydrologicznymi lub wynikami obliczeń. W omawianym przypadku model dokumentuje stan po katastrofie – zachowaną część konstrukcji zapory i strefę jej rozmycia, a w dolinie poniżej – uszkodzenia infrastruktury i zabudowy, rozmycia i przekształcenia terenu oraz zmiany w korycie. Stanowi to cenną, precyzyjną dokumentację skutków awarii, przydatną do oceny szkód oraz analizy mechanizmów zniszczenia.

Model mesh pełni w analizach bezpieczeństwa kilka funkcji. Dostarcza realistycznej geometrii obiektu i otoczenia, umożliwia zrozumiałą wizualizację scenariusza awarii oraz może stanowić element cyfrowego bliźniaka budowli. Może też posłużyć jako podstawa uproszczonych modeli obliczeniowych oraz do modelowania przejścia fali powodziowej. Należy jednak podkreślić, że model mesh sam w sobie nie jest pełnym modelem obliczeniowym zniszczenia. W celu uzyskania wiarygodnych wyników konieczna jest integracja dokładnej geometrii z danymi hydrologicznymi, hydraulicznymi, geotechnicznymi i konstrukcyjnymi.

Wykorzystanie modeli mesh wymaga świadomości ograniczeń. Fotogrametria jest wrażliwa na warunki oświetleniowe, odbicia od powierzchni wody, brak tekstury i przesłonięcia, a dokładność modelu należy kontrolować punktami kontrolnymi lub niezależnymi pomiarami. Korzystne jest łączenie danych z różnych metod – fotogrametrii, skaningu laserowego oraz pomiarów GNSS i tachymetrycznych. Przedstawiony przykład pokazuje, że wysokorozdzielcze modele

mesh z naltów BSP umożliwiają przejście od dokumentacji geometrycznej do analizy przestrzennej i scenariuszowej, wspierając diagnostykę, monitoring, planowanie remontów oraz analizy bezpieczeństwa budowli hydrotechnicznych.



Rys. 1. Model mesh zapory w Stroniu Śląskim po katastrofie wraz z dokumentacją zniszczeń w dolinie poniżej – uszkodzenia infrastruktury i zabudowy, rozmycia terenu i zmiany w korycie (fotogrametria BSP)



Rys. 2. Zbliżenie na korpus zapory – model mesh stanu po katastrofie (fotogrametria BSP)

KATASTROFA ZAPORY ZIEMNEJ NA SKUTEK PRZELANIA W UJĘCIU NAPRĘŻEŃ ŚCINAJĄCYCH

Leszek Opyrchal

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji

Kontakt: leszek.opyrchal@wat.edu.pl

W ciągu ostatnich dwudziestu pięciu lat mieliśmy w Polsce kilka katastrof zapór ziemnych spowodowanych przelaniem się wody powodziowej przez koronę budowli, co w konsekwencji spowodowało rozmycie korpusu. Były to zapory: Górowo Iławieckie (luty 2000), Wióry (lipiec 2001) Bliżyn, Bernatka (czerwiec 2002), Niedów (sierpień 2010), Stronie Śląskie (wrzesień 2024). Najtragiczniejszą z nich była katastrofa w Górowie Iławieckim, która spowodowała śmierć trzech osób. Celem niniejszej pracy jest obliczenie minimalnej warstwy wody przelewającej się nad koroną zapory, która zapoczątkowuje rozmycie korpusu. Obliczenia przeprowadzono w oparciu o teorię naprężeń ścinających.

Naprężenia ścinające, zwane czasami w literaturze „siłą unoszenia”, odgrywają w praktyce inżynierskiej ważną rolę. Zarówno umocnienia koryt rzecznych, jak i spadki kanalizacji coraz częściej projektuje się w oparciu o znajomość naprężenia ścinającego. Aby uniknąć w kanalizacji zestalenia się osadów wystarcza, aby ich transport odbywał się raz dziennie, a naprężenia ścinające wynosiły 2,5–3,5 kPa.

Przez naprężenie ścinające τ rozumiany jest stosunek siły ścinającej F_t do powierzchni ścienia S .

$$\tau = \frac{F_t}{S}$$

Dla równi pochyłej (rys. 1) siła ścinająca F_t jest składową siły ciężenia działającą wzdłuż powierzchni równi.

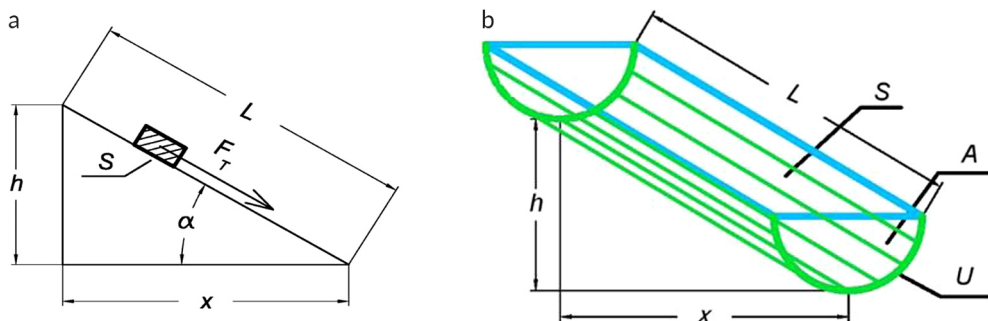
Rozważając wyróżnioną objętość cieczy (rys. 1b), po dokonaniu odpowiednich podstawień i przekształceń otrzymamy wzór:

$$\tau = \gamma \cdot R_H \cdot i$$

gdzie:

τ – naprężenia ścinające,

- γ – ciężar właściwy cieczy,
 R_H – promień hydrauliczny,
 i – spadek hydrauliczny.

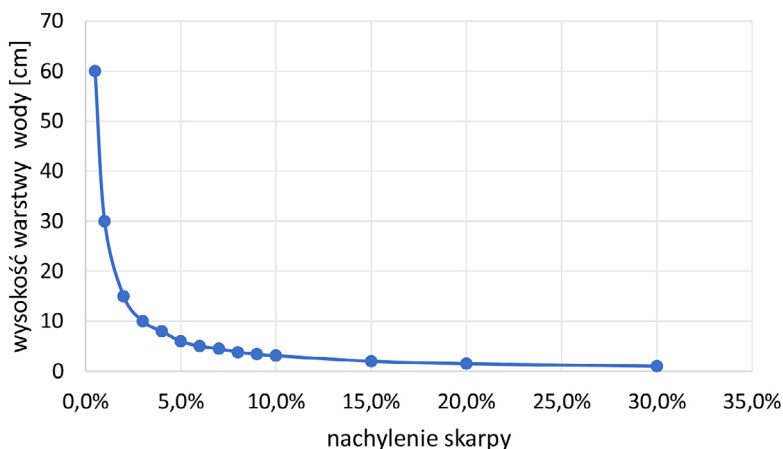


Rys. 1a) Siła ścinająca działająca na klocek leżący na równi pochytej, b) model przesuwania się wzdłuż koryta wyróżnionej objętości cieczy

Założmy, że przekrój przez przelewającą się warstwę wody nad koroną ma kształt prostokąta o wymiarach $h \times l$. Wtedy obwód zwilżony $U = li$:

$$R_H = \frac{S}{U} = \frac{h \cdot l}{l} = h \Rightarrow \tau = \gamma \cdot h \cdot i$$

Stosując powyższy wzór, możemy policzyć naprężenia ścinające w funkcji nachylenia skarpy zapory ziemnej i oraz wysokości h przelewającej się wody nad koroną zapory. Korona zapór ziemnych zwykle pokryta jest darnią. W drugim



Rys. 2. Wysokość warstwy wody powodująca rozmycie skarpy ziemnej zapory pokrytej darnią, w funkcji nachylenia skarpy

roku i w dalszych latach wegetacji uzyskuje ona wytrzymałość na ścinanie 30 Pa. Przekroczenie tej wartości oznacza groźbę rozmycia korpusu zapory. Wyniki obliczeń przedstawione są na wykresie (rys. 2).

Jak wynika z przedstawionych obliczeń, nawet 60-centymetrowa warstwa wody nie będzie uszkadzać wierzchu korony zapory. Rozmycie będzie następować na jej przełamaniu na stronę odpowietrzną. Dla typowego spadku skarpy od strony wody dolnej wynoszącego 1 : 3 spadek wynosi 32%. Dla takiego nachylenia już 1-centymetrowa warstwa wody powoduje powstanie naprężenia ścinającego przekraczającego wytrzymałość darni i w konsekwencji katastrofę zapory.

STAN TECHNICZNY I STAN BEZPIECZEŃSTWA BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH PIĘTRZĄCYCH WODĘ

Ryszard Piwoński

Biuro Ocen Stanu Technicznego i Stanu Bezpieczeństwa Budowli Piętrzących,
Centrum Technicznej Kontroli Zapór

Kontakt: Ryszard.Piwonski@imgw.pl

W prezentacji przedstawiono aspekty wykonywania ocen stanu technicznego i stanu bezpieczeństwa budowli hydrotechnicznych piętrzących wodę w kontekście uwzględniającym analizę wyników badań i pomiarów:

- 1) geotechnicznych – odwiertów litologicznych z pobraniem próbek gruntu do badań laboratoryjnych, a także stanu zagęszczenia z obliczeniem stateczności; nieinwazyjnych określających jednorodność betonu i inwazyjnych z pobraniem rdzeni do określenia właściwości fizykochemicznych i wytrzymałościowych metodami laboratoryjnymi;
- 2) geofizycznych – wskazanych do przestrzennego rozpoznania zarówno samej budowli ziemnej, jak i jej podłoża metodami oporności elektrycznej w wariancie tomografii elektrooporowej ERT oraz prędkości fal sejsmicznych w analizie spektralnej fal powierzchniowych MASW, a także wskazanych do określenia parametrów mechanicznych i całkowitej porowatości w betonowym ośrodku fizycznym w wyniku rozkładu prędkości fal podłużnych V_p i poprzecznych V_s , będącego ich funkcją.

Należy mieć jednocześnie na uwadze złożoną rolę, jaką budowle te pełnią w ekosystemach, społecznościach i gospodarce. Wymagają odpowiedzialnego zarządzania, stałego monitorowania stanu technicznego i stanu bezpieczeństwa, dostosowywania do zmieniających się warunków klimatycznych oraz inwestycji w nowoczesne technologie, tj. działań zapewniających ich trwałość i bezpieczeństwo na przyszłość.

ANALIZA WYBRANYCH METOD OBLICZENIOWYCH DO PROJEKTOWANIA BYSTRZA O ZWIĘKSZONEJ SZORSTKOŚCI

Angelika Gancarz¹, Marta Łapuszek²

¹ PBW Inżynieria, Sp. z o.o. Oddział w Krakowie

² Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,
Katedra Geoinżynierii i Gospodarki Wodnej

Kontakt: marta.lapuszek@pk.edu.pl

Tematem badań jest analiza przydatności analitycznych metod obliczeniowych szeroko opisywanych w literaturze branżowej i naukowej, zalecanych i stosowanych do projektowania bystrza o zwiększonej szorstkości. Analiza została przeprowadzona na przykładzie projektowanego bystrza zlokalizowanego przy obiekcie mostowym w miejscowości Kasinka Mała na rzece Raba w km 93+690 jej biegu. Dla każdej z rozpatrywanych metod określono podstawowe parametry projektowanego obiektu, a następnie porównano uzyskane wyniki. Zestawienie rezultatów otrzymanych według różnych podejść obliczeniowych pozwoliło wskazać różnice wynikające z odmiennych założeń i zależności projektowych. Analizie poddano również wpływ przyjętej metody na końcowe parametry bystrza, co umożliwia ocenę przydatności poszczególnych podejść do projektowania obiektu w warunkach analizowanego odcinka rzeki. Bystrze o zwiększonej szorstkości z szykanami wymiarowano metodą pełną i metodą uproszczoną, zgodnie z wytycznymi DVWK. Na bystrzach o zwiększonej szorstkości wpływ szorstkości koryta na przepływ jest zdominowany przez opory, które wytwarzają głazy i dno. W metodzie pełnej kluczowe znaczenie ma obliczenie współczynnika oporu całkowitego głazów. W metodzie uproszczonej opory te oblicza się na podstawie superpozycji poszczególnych oporów cząstkowych dna i głazów. W pracy przeanalizowano też metody obliczeniowe dla bystrza kaskadowego oraz bystrza narzutowego, do wymiarowania którego wybrano wytyczne Hydroprojektu z Brna.

Metoda dotycząca bystrza z szykanami opierała się na analizie przepływu po płycie spadowej, na której rozmieszczono pojedyncze elementy szorstkie, najczęściej głazy. Do obliczeń potrzebne były przede wszystkim: średnica szykan, ich liczba i rozstaw, szerokość bystrza, napętnienie, spadek płyty, przepływ oraz

współczynnik oporów. Metoda ta pozwalała ocenić wpływ głazów na prędkość przepływu i rozpraszanie energii, jednak wymagała szczegółowego określenia układu szykan.

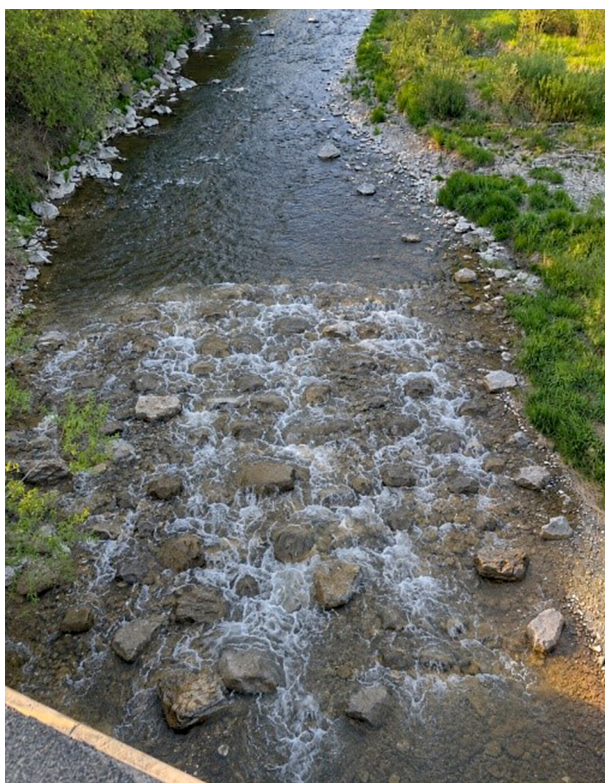
Metoda bystrza kaskadowego odnosiła się do obiektu złożonego z kolejnych progów i komór, czyli układu zbliżonego do naturalnej sekwencji próg–przełębienie. W tym przypadku potrzebne były m.in.: liczba komór, różnica wysokości między komorami, szerokość przelewów, wysokość progów, napełnienia w komorach, współczynnik zatopienia oraz przepływy minimalne i maksymalne. Metoda ta dobrze uwzględniała wymagania ekologiczne, szczególnie możliwość migracji ryb i tworzenie miejsc odpoczynku, ale była najbardziej rozbudowana obliczeniowo.

Metoda bystrza narzutowego polegała na doborze płyty spadowej wykonanej z narzutu kamiennego. Wymagała określenia podstawowych parametrów, takich jak przepływ obliczeniowy, przepływ jednostkowy, spadek bystrza, wysokość i długość płyty spadowej, średnica kamienia, współczynnik szorstkości Manninga, naprężenia styczne oraz warunki stateczności materiału kamiennego. W porównaniu z pozostałymi metodami była bardziej przejrzysta i łatwiejsza do zastosowania przy opracowaniu konkretnego rozwiązania technicznego.

Na podstawie porównania za najkorzystniejszą metodę wymiarowania dla omawianego przypadku projektowego przyjęto bystrze narzutowe. Wybór ten wynikał z tego, że metoda ta najlepiej sprawdziła się w projektowaniu bystrza, którego celem ma być zabezpieczenie erozyjne konstrukcji mostu. Metoda ta pozwoliła dobrać najważniejsze parametry konstrukcyjne obiektu, takie jak średnica kamienia, długość, wysokość i nachylenie płyty spadowej, a następnie przedstawić je na profilu podłużnym, przekroju poprzecznym i rzucie. Bystrze kaskadowe było korzystne pod względem ekologicznym, a bystrze z szykanami dobrze opisywało lokalne opory przepływu, natomiast oba rozwiązania wymagały większej liczby założeń geometrycznych. Dlatego w tym konkretnym przypadku metoda projektowania analitycznego modelu bystrza kaskadowego spełnia zadane oczekiwania.



Fot. 1. Teren istniejący w pobliżu istniejącego mostu na rzece Raba



Rys. 1. Wizualizacja projektowanego bystrza kamiennego, wygenerowane za pomocą sztucznej inteligencji

CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA WYSTĘPOWANIE POWODZI OPADOWYCH

Magdalena Skonieczna, Andrzej Hański, Karolina Kupczyk,
Adam Nowak, Paweł Terlecki, Tomasz Walczykiewicz

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: magdalena.skonieczna@imgw.pl

Negatywne skutki nadmiaru lub niedoboru opadów atmosferycznych mogą być odczuwalne na znacznym obszarze oraz w różnych skalach czasowych. Długotrwałe opady deszczu często prowadzą do powstania powodzi o dużym zasięgu, których dynamika, a w konsekwencji także skala wyrządzonych strat, zależą od charakteru opadów, cech morfometrycznych i geologicznych obszaru, na którym opady te wystąpiły oraz stopnia jego zagospodarowania i sposobu wykorzystania.

Opady krótkotrwałe, mimo że stwarzają zagrożenie na zdecydowanie mniejszym obszarze, mogą prowadzić do powstania tzw. gwałtownych powodzi, zwanych również błyskawicznymi¹ (ang. *flash floods*), których dynamika jest istotnie odmienna od powodzi o dużym zasięgu, zazwyczaj pochodzących od rzeki. Powodzie opadowe² powodowane są przez opady, **o krótkim czasie trwania, dużej intensywności i małej skali**. Opady takie trudno przewidzieć i nie zawsze dotyczą one obszarów zlewniowych. W Polsce opady o dużej wydajności trwają dość krótko, kilka minut do kilku, najwyżej kilkunastu godzin.

W przeciwieństwie do powodzi rzecznych i przybrzeżnych **powodzie opadowe mogą wystąpić w dowolnym czasie i miejscu, z dala od rzek** i mogą się znacznie różnić z uwagi zarówno na warunki terenowe, jak i klimatyczne. Obecne

¹ **Powódź gwałtowna** – błyskawiczna (ze względu na charakterystykę) to powódź o bardzo szybkim przebiegu, wywołana intensywnymi opadami deszczu na stosunkowo małym obszarze (European Environment Agency. (2021). Floods Directive Reporting Guidance 2018, Version 5.0, 08.03.2021).

² **Powódź opadowa** (ze względu na źródło) to powódź związana z zalaniem terenu wodami pochodzącymi **bezpośrednio z opadów deszczu** (w miejscu jego wystąpienia lub po nim spływające) lub **z topnienia śniegu**, może obejmować miejskie powodzie burzowe, spływy powierzchniowy lub nadmiar wody na obszarach pozamiejskich (European Environment Agency. (2021). Floods Directive Reporting Guidance 2018, Version 5.0, 08.03.2021).

systemy wczesnego ostrzegania (ang. *early warning systems*) opierają się w dużej mierze na pomiarze intensywności opadów lub monitorowaniu stanu wody. Rzeczywiste zagrożenie wynikające z tego typu powodzi jest często niewystarczająco uwzględniane w takich systemach, podobnie jak wrażliwość infrastruktury fizycznej. Powodzie opadowe są zwykle skutkiem występowania nad danym obszarem systemów konwekcyjnych, którym często towarzyszą szybko przemieszczające się komórki burzowe, które nad obszarami miejskimi mogą być bardzo zróżnicowane. W rezultacie powodzie tego typu **nie powodują katastrofalnych szkód** na dużych obszarach, lecz **poważne, choć bardzo lokalne szkody** głównie **w małej skali przestrzennej miasta lub w jego części**. W przypadku obszarów nieurbanizowanych, powodzie te obejmują często pojedyncze miejscowości, a niekiedy tylko kilka lub kilkanaście gospodarstw. Ich skutki mogą być dużo poważniejsze, gdyż czas potrzebny na reakcję zarówno ludności zamieszkującej zagrożony obszar, jak i służb kryzysowych jest zdecydowanie krótszy.

System ostrzeżeń hydrologicznych przed powodziami opadowymi

W Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytucie Badawczym realizowany jest projekt pt. „**Budowa systemu ostrzeżeń hydrologicznych przed powodziami opadowymi (w tym błyskawicznymi, z ang. *flash flood*) wskutek intensywnych opadów deszczu w zlewniach zurbanizowanych i niekontrolowanych (SOPPB)**”. Projekt realizowany w ramach działania FENX.02.04 „Adaptacja do zmian klimatu, zapobieganie klęskom i katastrofom” z programu Fundusze Europejskie na Infrastrukturę, Klimat, Środowisko 2021–2027.

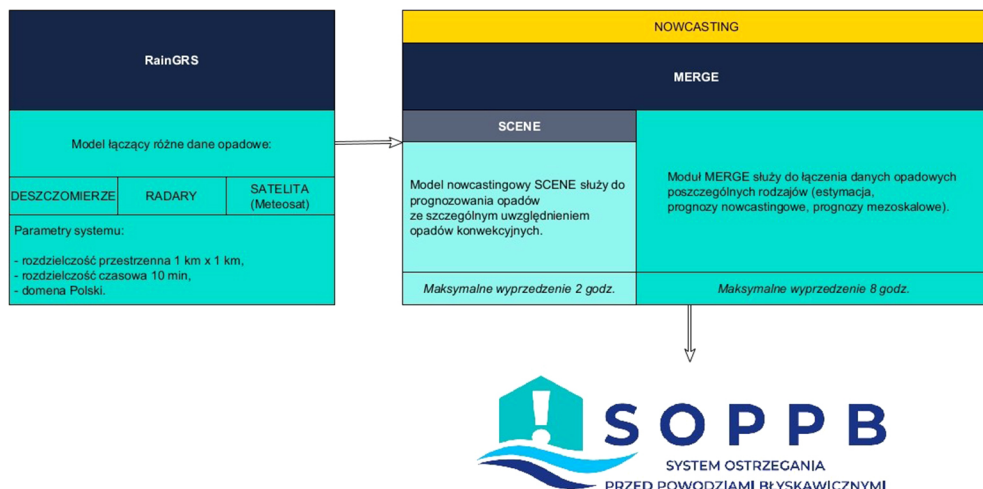
Cel Projektu

Głównym celem projektu jest poprawa jakości prognoz i ostrzeżeń hydrologicznych przed powodziami błyskawicznymi poprzez dokładniejsze określanie czasu i miejsca ich wystąpienia. W ramach projektu tworzona jest baza danych zdarzeń historycznych, identyfikowane są obszary o dużym potencjale występowania tego typu zjawisk, a także opracowywane są metody i modele obliczeniowe oraz aplikacja wspierająca pracę synoptyka hydrologa. Docelowo system ma zostać wdrożony w ramach hydrologicznej osłony kraju, wzmacniając możliwości wczesnego ostrzegania przed skutkami intensywnych opadów.

Dane wejściowe

Danymi wejściowymi do systemu będą dane przestrzenne monitoringu i krótkoterminowej prognozy opadu (rozdzielczość 1 km × 1 km). Zakłada się, że wdrożenie systemu pozwoli na generowanie informacji o możliwości wystąpienia powodzi

błyskawicznej dla niewielkich zlewni zurbanizowanych jak również niekontrolowanych hydrologicznie do kilkunastu, a w indywidualnych przypadkach kilku km². Schemat zasilania danymi SOPPB przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Dane wejściowe do SOPPB

CYFROWY BLIŹNIAK DLA GMIN – USŁUGA MONITORINGU ŚRODOWISKA WODNEGO I TWOJEJ PRZESTRZENI GMINY

Leszek Ziółkowski¹, Magdalena Grondkowska-Hada²

¹ GISPartner sp. z o.o., Kraków

² GISPartner sp. z o.o., Wrocław

Kontakt: lziolkowski@gispartner.pl

Celem referatu jest przedstawienie koncepcji usługi Cyfrowego Bliźniaka dla Gmin – zintegrowanej usługi monitoringu środowiska wodnego i Twojej przestrzeni Gminy, która łączy monitoring środowiska w czasie rzeczywistym z danymi teledetekcyjnymi i satelitarnymi oraz udostępnia portal analityczny do rozwiązywania problemów w dowolnej gminie. Rozwiązanie odpowiada na typowy problem jednostek samorządu terytorialnego: dane o stanie wód, infrastruktury i przestrzeni są rozproszone, spóźnione i niepełne, a większość gmin nie dysponuje własną serwerownią ani zespołem IT zdolnym do ich utrzymania.

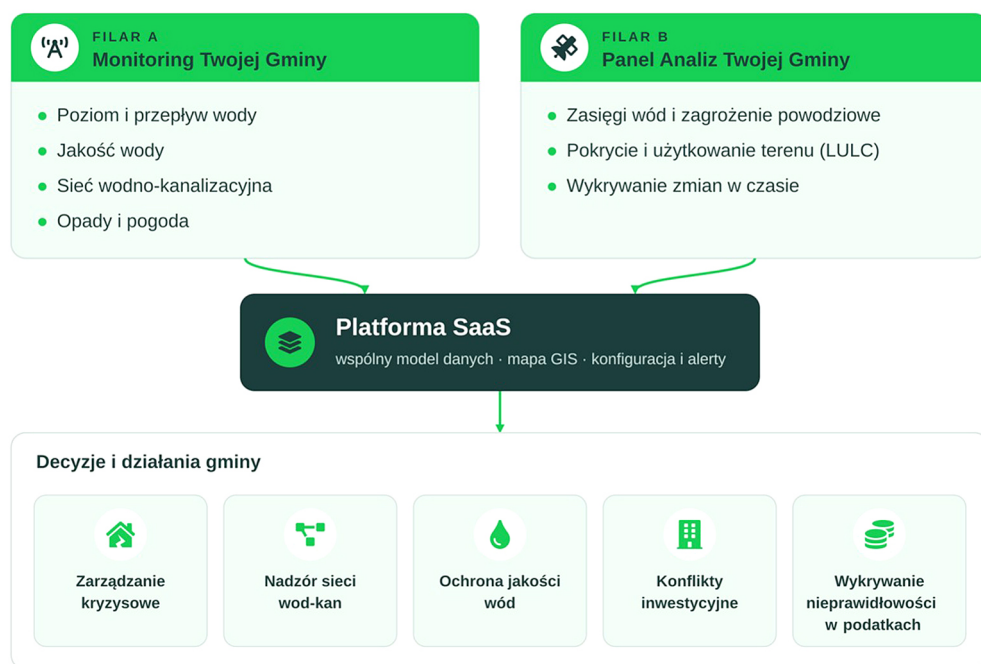
Platforma opiera się na dwóch komplementarnych filarach. Filar pierwszy – monitoring w czasie rzeczywistym głównie w oparciu o już dziś dostępne dane otwarte – wykorzystuje czujniki IoT mierzące poziom i natężenie przepływu wody w rzekach, rowach, przepustach i zbiornikach, jakość wody w ujęciach i kąpieliskach, parametry pracy sieci wodno-kanalizacyjnej (ciśnienie, przepływy, praca przepompowni) oraz dane meteorologiczne (opad, temperatura, wiatr, wilgotność). Filar drugi – gotowe analizy dla gminy polegające na integracji danych branżowych w celu prowadzenia spójnej polityki rozwoju przestrzennego gminy, w tym np. wskazywanie obszarów zagrożonych podtopieniami, monitoring obszarów zalanych, wykrywanie konfliktów przestrzennych planowanych działań inwestycyjnych, wykrywanie rozbieżności w podatku od nieruchomości, identyfikowanie samowoli budowlanych, nielegalnych wysypisk śmieci, informowanie o ryzyku przekroczenia norm jakości wody.

Uniwersalność usługi wynika z możliwości łączenia w jednym środowisku dostępnych danych otwartych uzupełnianych np. dostępnymi danymi z urządzeń i czujników gminnych, dostarczających bieżących informacji o stanie infrastruktury i otoczenia. Przestrzeń gminy może być dodatkowo monitorowana poprzez

dostęp do źródeł danych satelitarnych, umożliwiającą obserwację oraz analizę większych obszarów. Takie podejście pozwala tworzyć spójny obraz sytuacji, skalowalny stosownie do potrzeb. Umożliwia to wykorzystywanie jednej i tej samej platformy do realizacji wielu różnych zadań, m.in. w obszarze zarządzania kryzysowego, gospodarki wodnej, monitoringu infrastruktury, ochrony środowiska, planowania przestrzennego czy analiz istotnych z punktu widzenia funkcjonowania i budżetu gminy. Dzięki integracji różnych usług może być ona elastycznie dostosowywana do różnych potrzeb samorządu, bez konieczności budowania odrębnych rozwiązań dla każdego z obszarów zastosowania.

Cyfrowy Bliźniak dla Gmin udostępnia gminie gotową usługę w abonamencie, z monitoringiem 24/7 i automatycznymi aktualizacjami, bez inwestycji w infrastrukturę. Podejście jest modułowe i skalowalne – gmina może rozpocząć od wybranego obszaru (np. monitoringu wodnego) i rozbudowywać zakres usług w miarę potrzeb.

Cyfrowy Bliźniak dla Gmin



Rys. 1. Schemat koncepcji usługi Cyfrowy Bliźniak dla Gmin – dwa filary na wspólnej platformie SaaS