

IDEA BLIŹNIAKA CYFROWEGO DLA ELEKTROWNI WODNYCH – PROJEKT D-HYDROFLEX

Przemysław Szulc, Artur Machalski, Janusz Skrzypacz,
Dominik Błoński, Aneta Nycz, Magdalena Nemś

Słowa kluczowe: cyfrowy bliźniak (digital twin), elektrownia wodna, systemy monitorowania, SCADA

Streszczenie. W obliczu rosnących wyzwań związanych z ochroną środowiska oraz potrzebą transformacji energetycznej, projekt D-HYDROFLEX, realizowany w ramach programu Horyzont Europa, wpisuje się w trend wprowadzania innowacyjnych cyfrowych rozwiązań dla hydroelektrowni. Celem projektu jest rozwój cyfrowych bliźniaków, wykorzystanie sztucznej inteligencji i systemów monitorowania, które mają wspomóc optymalizację eksploatacji oraz konserwacji istniejących obiektów hydrotechnicznych. Projekt koncentruje się na trzech kluczowych filarach: digitalizacji, elastyczności oraz zrównoważonym rozwoju. Partnerami w Polsce są m.in. Tauron Ekoenergia oraz Politechnika Wrocławska, które opracowują cyfrowego bliźniaka dla Elektrowni Wodnej Wały Śląskie. Przeprowadzone w ramach artykułu studia literaturowe wskazują na rosnące znaczenie technologii Digital Twin w sektorze energetycznym, zwłaszcza w kontekście zwiększenia efektywności operacyjnej, zarządzania aktywami oraz predykcji awarii. W tym kontekście projekt D-HYDROFLEX ma potencjał, aby przyczynić się do zrównoważonego wykorzystania energii wody, optymalizując procesy konwersji oraz minimalizując negatywny wpływ na środowisko.

1. WSTĘP

W ostatnich latach znacząco wzrosła świadomość i wiedza na temat źródeł energii oraz ochrony środowiska. Przyczynił się do tego zarówno postęp technologiczny, powszechny dostęp do informacji za pośrednictwem różnych mediów, w tym internetowych, a przede wszystkim polityka Unii Europejskiej, prawnie regulująca wymagania środowiskowe i deklarująca współczesne trendy proekologiczne na płaszczyźnie gospodarczo-politycznej. Woda jest jednym z najbardziej stabilnych odnawialnych źródeł energii na świecie w przeciwieństwie do zmiennej energii odnawialnej (ang. *VRE – variable renewable energy*) lub okresowych odnawialnych źródeł energii (ang. *IRES – intermittent renewable energy sources*) – energii wiatrowej i słonecznej.

Rozwój hydroenergetyki jest ważny, ponieważ gwarantuje czystą, zrównoważoną i ekonomicznie opłacalną energię. Wdrażając nowe dyrektywy i rozporządzenia, Unia Europejska obliguje kraje członkowskie do podjęcia konkretnych działań w zakresie poprawy ochrony i jakości środowiska. Jednym z celów założonych strategii jest osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku. Ponadto w ostatniej dekadzie realizacja Strategii Europa 2020 z kluczowym założeniem dążenia do niskoemisyjnej gospodarki, u podstaw której leży wiedza i postawa eco-friendly, przyczyniła się do rozwoju przyjaznych środowisku technologii, a także oszczędności zasobów naturalnych czy spójności zasobów interpersonalnych [7].

Wprowadzenie wzrostu inteligentnego (*smart growth*), zrównoważonego (*sustainable growth*) oraz sprzyjającego włączeniu społecznemu (*inclusive growth*),

w ramach programu rozwoju społeczno-gospodarczego UE na lata 2010 – 2020, Europa 2020, miało na celu osiągnięcie założenia jako postępu gospodarczego, ze szczególnym naciskiem na ochronę środowiska [3].

Unia Europejska oprócz regulacji prawnych wspiera finansowanie prac badawczych, m.in. w obszarze energetyki wodnej – stabilnego źródła OZE, mających na celu wprowadzenie zmian podnoszących efektywność wykorzystania tego źródła odnawialnej energii. Przykładem projektu realizowanego w ramach europejskiego programu Horizon Europe Framework (HORIZON) jest D-HYDROFLEX, pt. *Digital solutions for improving the sustainability performance and FLEXibility potential of HYDROpower assets* – rys. 1.



Rys. 1. Logo realizowanego projektu [10]

Program Horyzont Europa ma na celu przeciwdziałanie zmianom klimatycznym, wspieranie realizacji Celów Zrównoważonego Rozwoju ONZ oraz zwiększenie konkurencyjności i wzrostu gospodarczego Unii Europejskiej.

2. PODSTAWOWE INFORMACJE O PROJEKCIE

Projekt D-Hydroflex jest realizowany w drugim filarze programu Horyzont Europa, w którym badania koncentrują się na współpracy w sferze społecznych wyzwań Europy oraz wzmacnianiu potencjału technologicznego i przemysłowego, poprzez obszary tematyczne (klastry), obejmujące szerokie spektrum globalnych wyzwań. Filar ten jest podzielony na 6 klastrów, a projekt D-HYDROFLEX jest prowadzony w piątym klastrze: Klimat, energia, mobilność (ang. *Climate, Energy and Mobility*) [9].

Tematem przedsięwzięcia jest opracowanie rozwiązań cyfrowych dla eksploatacji i konserwacji istniejących elektrowni wodnych (*HORIZON-CL5-2022-D3-03-08: Development of digital solutions for existing hydropower operation and maintenance*) [8]. Projekt rozpoczął się 1 września 2023 r., a okres jego realizacji wynosi 3 lata. Zespół łączy wielodyscyplinarne kompetencje i zasoby pochodzące z przemysłu oraz społeczności naukowej i akademickiej, co skutkuje liczbą 17-nastu partnerów z całej Europy (uczelnie wyższe, instytucje badawcze, przedsiębiorstwa energetyczne oraz firmy prywatne) – rys.2.

5 Operatorów elektrowni/producentów energii



6 europejskich instytutów badawczych i uniwersytetów



7 Dostawców technologii

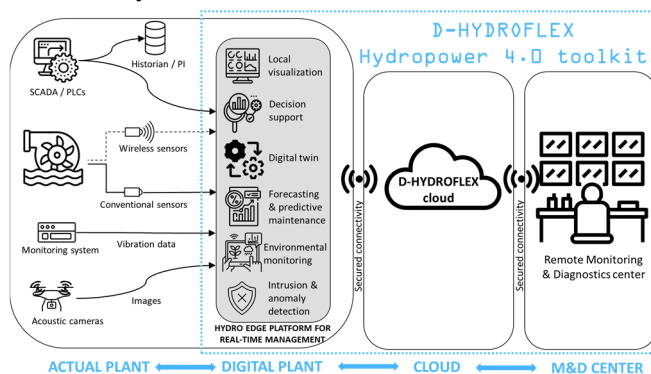


Rys. 2. Partnerzy projektu [10]

2.1. Cel projektu i wyzwania

Celem projektu D-HYDROFLEX jest zarówno rozwój rozwiązań cyfrowych jak i wsparcie cyfryzacji produkcji energii elektrycznej w myśl zrównoważonych i konkurencyjnych metod stosowanych w hydroelektrowniach na nowoczesnym rynku energetycznym.

Cyfrowa modernizacja obiektów hydrotechnicznych będzie opracowana za pośrednictwem zestawów narzędzi informatycznych, uwzględniających rozwój technologii opomiarowania (bazujące na czujnikach), cyfrowe bliźniaki (ang. *digital twin – DT*), algorytmy sztucznej inteligencji (ang. *Artificial intelligence – AI*), obliczenia w chmurze i przetwarzanie obrazów oraz modelowanie hybrydyzacji (z magazynowaniem wodoru). Idea struktur narzędzi informatycznych możliwych do zaimplementowania i wdrożenia przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Koncepcja struktury systemu powstającego w projekcie D-HYDROFLEX [10]

Projekt koncentruje się na trzech filarach: digitalizacji, elastyczności oraz zrównoważonym rozwoju. Opracowanie cyfrowego bliźniaka dla hydroelektrowni z wykorzystaniem historycznych danych umożliwia predykcyjną konserwację oraz monitorowanie stanu maszyny w czasie rzeczywistym, jak również pracę w optymalnym zakresie parametrów. Zwiększenie efektywności dzięki takiej technologii, nie tylko optymalizuje produkcję energii i umożliwia wczesne wykrywanie usterek, ale również ma znaczący wpływ na elastyczne dostosowanie do wymagań systemu elektroenergetycznego. Wsparcie monitorowania bioróżnorodności i oceny wpływu na środowisko obejmuje wykorzystanie kamer akustycznych i obrazowych z algorytmami do analizy danych o rybach.

Proponowane rozwiązania zostaną wdrożone i przetestowane w pięciu lokalizacjach, które przedstawiono na rys. 4. Są to cztery elektrownie przepływowe:

- Wały Śląskie, Polska, wyposażona w 4 turbiny Kaplan o mocy 10 MW,

- Bratia, Rumunia, wyposażona w 2 turbiny Peltona o mocy 1,56 MW,
 - Mauzac, Francja, wyposażona w 1 turbinę Kaplana i 5 turbin Francisa o mocy 13,2 MW,
 - Salto de Touro, Hiszpania, wyposażona w dwie turbiny Kaplana o mocy 12 MW,
- oraz dwie elektrownie zbiornikowe:
- Kremasta, Grecja, wyposażona w 4 turbiny Francisa o mocy 437 MW,
 - Ilarion, Grecja, wyposażona w 2 turbiny Francisa o mocy 153 MW.



Rys. 4. Lokalizacje elektrowni wodnych uczestniczących w projekcie [10]

Realizacja projektu, pomimo ambitnych celów i obiecujących rezultatów, to głównie wyzwania. Starzejące się obiekty hydrotechniczne w wielu krajach stanowią istotne problemy, jednak rozwój technologii otwiera drogę do ich modernizacji, zwiększając jednocześnie wydajność i zrównoważony rozwój zakładów energetycznych. Zmiany w zapotrzebowaniu na energię elektryczną, wynikające choćby z wprowadzenia energii wiatrowej i słonecznej do sieci elektroenergetycznej, oraz jej dostawach wymagają elastyczniejszego podejścia do eksploatacji elektrowni wodnych, co stwarza konieczność modernizacji infrastruktury. Intensywne użytkowanie i częste przejścia operacyjne (rozruchy, wyłączenia, regulacja) powodują wzrost naprężeń mechanicznych, co z kolei skraca żywotność komponentów i zwiększa potrzebę bardziej stabilnych strategii operacyjnych.

Projekt D-HYDROFLEX to wprowadzenie cyfrowych technologii, takich jak cyfrowe bliźniaki czy sztuczna inteligencja, celem zwiększenia efektywności hydroelektrowni, mimo wyzwań związanych

z modernizacją starych obiektów i ich dostosowaniem do zmieniających się potrzeb energetycznych.

2.2. Udział Polski

W projekcie D-Hydroflex uczestniczy trzech partnerów z Polski: Tauron Ekoenergia sp. z o.o., Politechnika Wrocławska oraz przedsiębiorstwo Fasada. TAURON Ekoenergia i Politechnika Wrocławska są odpowiedzialne za opracowanie cyfrowego bliźniaka dla Elektrowni Wodnej Wały Śląskie w Brzegu Dolnym – rys. 5.

Zespoły podjęły się opracowania: algorytmu wspierającego podejmowanie decyzji dotyczących eksploatacji maszyn oraz całej elektrowni, systemu do pomiaru pracy turbin i rozwoju systemu monitorowania sprawności turbin w czasie rzeczywistym, a także opracowania algorytmu adaptacyjnego zmian nastaw turbin w odpowiedzi na zmieniające się parametry hydrologiczne.



Rys. 5. Elektrownia wodna Wały Śląskie [11]

Obiekt badawczy projektu stanowi niskospadowa ($H = 4,7$ m) elektrownia przepływowa usytuowana na rzece Odrze. W elektrowni wodnej Wały Śląskie zainstalowano cztery hydrozespoły produkcji Czechosłowackiej (CKD Blansko) typu Kaplana o średnicy 4,0 m i mocy zainstalowanej 2456 kW każdy. Ponadto jest wyposażona w przepławkę dla ryb. Na rys. 6 przedstawiono wnętrze hali.



Rys. 6 Hala maszyn elektrowni [11]

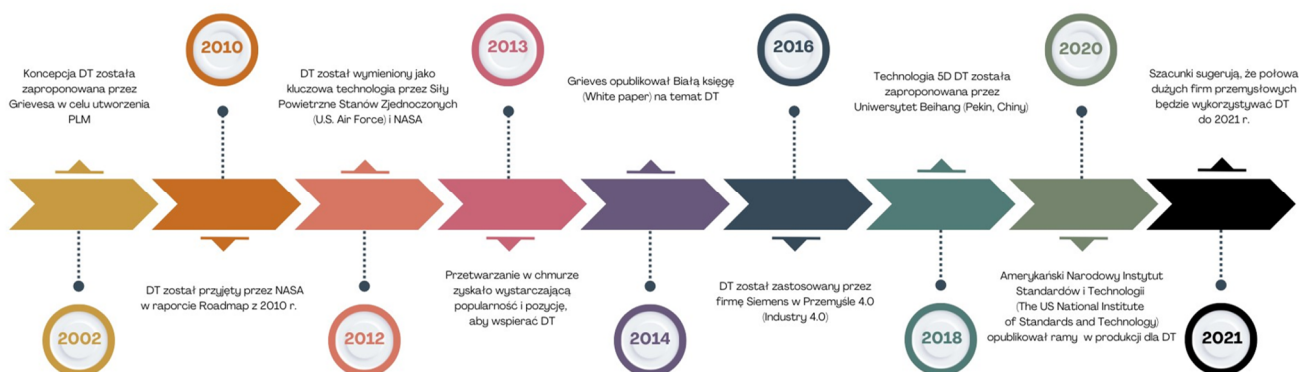
Obecne prace polegają na pomiarach przeloty, służących do wzorcowania i walidacji budowanego cyfrowego bliźniaka, którego idea została przybliżona w kolejnym rozdziale. Dodatkowo autorzy opracowują architekturę oprogramowania *Digital Twin (DT)*, umożliwiającą powiązanie z danymi od strategicznego partnera – spółki Tauron Ekoenergia.

3. CYFROWY BLIŹNIAK – IDEA

Odwzorowanie rzeczywistego modelu w przestrzeni wirtualnej – cyfrowy bliźniak, daje możliwość przetwarzania danych i stałej aktualizacji stanu obiektu i zachodzących procesów. Koncepcja ta łączy trzy wymiary: obiektu fizycznego w przestrzeni rzeczywistej, modelu cyfrowego w przestrzeni wirtualnej oraz połączeń między nimi. Dodatkowo dużą zaletą DT jest brak ograniczeń związanych z dostępem do obiektu rzeczywistego, ze względu na zakłócanie funkcjonowania lub odległą lokalizację. Adaptowalność i elastyczność tego rozwiązania pozwala na sprawne reagowanie na zmiany zachodzące w profilowanym obiekcie fizycznym.

Cyfrowy bliźniak to szereg współdziałających i oddziałujących na siebie modeli, umożliwiających różne warianty modelowe obiektu rzeczywistego. Ponadto, w przypadku awarii sprzężenia w postaci *Digital Twin* to przede wszystkim responsywność związana z szybką adaptacją i zmianami inżynierskimi. Zastosowanie cyfrowego bliźniaka pozwala na zobrazowanie występujących problemów, a także skuteczności proponowanych rozwiązań. Wirtualne symulacje, przybliżając fenomen zjawisk rzeczywistych, stanowią punkt odniesienia i bezpieczne miejsce przedwzrostowej optymalizacji, która na etapie prototypowania jest ciągle aktywna. Dane zawarte w modelu cyfrowym są wartością dodaną. W połączeniu z produktem fizycznym z powodzeniem mogą zostać wykorzystane na wielu etapach zaawansowanych procesów technologicznych i inżynierskich.

Rys. 7 obrazuje etapy rozwoju cyfrowego bliźniaka – najważniejsze wydarzenia i wdrożenia, które ukształtowały dzisiejszą formę zastosowań tej technologii, z naciskiem na rosnące znaczenie w przemyśle z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych.



Rys. 7. Kamienie milowe rozwoju technologii Digital Twin wg [2]

3.1. Aktualne badania

Artykuł [2] przedstawia przegląd literatury na temat technologii Digital Twin i jej zastosowań w sektorze energetycznym. Wskazuje na rosnącą popularność DT w różnych dziedzinach, szczególnie w kontekście efektywności energetycznej, redukcji zużycia energii, produkcji (z odnawialnych źródeł energii) oraz jej magazynowania (baterie, systemy ciepłne), a także zarządzania energią w przemyśle. Ch. Ghenai i inni [2] omówili również wyzwania związane z wdrażaniem DT: potrzeba szybkiej łączności, moc obliczeniowa, cyberbezpieczeństwo, długość cyklu życia fizycznych obiektów oraz koszty, mając na względzie korzyści takie jak poprawa zarządzania i kontroli systemów energetycznych, zwiększenie efektywności, wsparcie w przejściu na odnawialne źródła energii oraz lepsze prognozowanie i diagnostyka.

Ponadto artykuł [2] szeroko przedstawia zastosowania technologii DT w sektorze energetycznym, wymieniając m.in. modelowanie odnawialnych źródeł energii, w którym DT jest wykorzystywane do monitorowania i zarządzania wydajnością farm wiatrowych i słonecznych. Powołując się na [1] warto zwrócić uwagę stosowanie DT w odnawialnych systemach energii do optymalizacji produkcji i zarządzania aktywami w czasie rzeczywistym. Umożliwia to benchmarking wydajności instalacji oraz zarządzanie zasobami, które są niestabilne i zależne od warunków atmosferycznych.

W przypadku magazynowania energii DT jest narzędziem wspomagającym opracowywanie efektywnych strategii zarządzania zgromadzoną energią – optymalne harmonogramy ładowania i rozładowania. Na podstawie badań przedstawionych w artykule [6], DT

może służyć do testowania algorytmów operacyjnych w systemie magazynowania energii o pojemności 500 kWh, wykazując oszczędności w rachunkach za energię elektryczną dzięki optymalizacji tego harmonogramu.

Cyfrowy bliźniak umożliwia zarządzanie aktywami i operacjami sieci poprzez operacyjne modelowanie i zarządzanie dystrybucją energii w sieci. Przykładem jest artykuł [5] przedstawiający integrację technologii DT z cyklem życia infrastruktury kolejowej, co może być również stosowane w zarządzaniu sieciami energetycznymi dla poprawy efektywności i niezawodności operacji.

Powszechnie znane jest stosowanie DT do prognozowania obciążenia elektrycznego w ramach optymalizacji wymagań magazynowania i minimalizacji ryzyka blackoutów. Przykładowo DT używane do modelowania różnych scenariuszy zapotrzebowania na energię pozwala na lepsze planowanie i zarządzanie zasobami energetycznymi. Natomiast w predykcji względem problemów technicznych, DT jest cennym narzędziem pozwalającym unikanie problemów z hardwarem, dzięki symulacjom awarii i planowaniu działań naprawczych oraz ocenie ryzyka w różnych systemach, np. turbin wiatrowych.

Istotnym zagadnieniem w instalacjach DT jest również cyberbezpieczeństwo. Cyfrowy bliźniak jest wykorzystywany w symulatorach szkoleniowych, w których odpowiada za opracowywanie strategii obronnych.

Dodatkowym atutem DT jest możliwość jego zastosowania do analiz biznesowych, np. oceny działań związanych z efektywnością ekonomiczną (systemy handlu emisjami). Przykładowo kompleksowa analiza efektywności i kosztów za pomocą DT może przyczynić się do podejmowania lepszych decyzji w zakresie ekonomii przesyłu energii między producentami a konsumentami.

Zważywszy na szereg zastosowań DT spekuluje się, że postęp technologiczny będzie prowadził do coraz bardziej zaawansowanych modeli i symulacji, które usprawnią zarządzanie systemami energetycznymi. Co więcej, DT ma szansę stać się kluczowym narzędziem stymulującym innowacje wprowadzane w tym sektorze oraz ma potencjał znacząco wpłynąć na czas transformacji energetycznej, co przyczyni się do osiągnięcia celów zrównoważonego rozwoju.

3.2. Zastosowanie i wdrożenia

Badanie przedstawione w artykule [4] ukazuje kompleksowy przegląd wdrażania i potencjału technologii cyfrowych bliźniaków w całym sektorze

energetycznym. Podkreśla ono rosnącą tendencję instalacji cyfrowych bliźniaków przez duże korporacje oraz ich korzyści w zakresie wydajności operacyjnej i ekonomicznej.

Autorzy omówili różne zastosowania cyfrowych bliźniaków w sektorach energii odnawialnej i konwencjonalnej, koncentrując się na ich rosnącym znaczeniu w zwiększaniu efektywności i zrównoważonego rozwoju systemów energetycznych. Ponadto zwracają uwagę na korzyści wynikające z aplikacji cyfrowych bliźniaków dla ściśle określonych zadań, w tym baz danych open source do walidacji wydajności modeli, środków cyberbezpieczeństwa i dostosowania do potrzeb środowiska.

Analizując poszczególne typy elektrowni należy podkreślić uniwersalność i możliwości dostosowania do danego obiektu energetycznego. W przypadku farm fotowoltaicznych technologia DT optymalizuje wyrównanie paneli, harmonogramy czyszczenia i wykrywanie usterek, natomiast w elektrowniach wiatrowych platformy odpowiadają za generowanie przewidywanych wydajności na podstawie danych z czujników i prognoz pogody. W elektrowni ciepłej cyfrowy bliźniak umożliwia symulacje wydajności termodynamicznej i optymalizacji operacyjnej, a w elektrowni jądrowej służy do diagnostyki błędów i prognozowania wydajności przy użyciu symulowanych danych. Zastosowanie cyfrowych bliźniaków w hydroelektrowniach ma na celu monitorowanie i kontrolowanie pracy elektrowni zdalnie lub na miejscu, co przyczynia się do powstania obiektów bezobsługowych.

Aplikacje te przedstawiają szerokie zastosowanie cyfrowych bliźniaków w ulepszaniu operacji sektora energetycznego.

3.3. Inicjatywa Pen@Hydropower

E. Vagnoni i inni w artykule [12] przedstawili ustalenia inicjatywy Pen@Hydropower, której celem jest ocena obecnego stanu technologii hydroenergetycznych w Europie. Autorzy przedstawili zarówno przegląd dotyczący tendencji w sektorze hydroenergetycznym jak i znaczenie cyfryzacji w rozwoju tej sfery w celu osiągnięcia zerowej emisji. Wyniki ankiety wskazują istotną rolę digitalizacji w usprawnianiu operacji energetycznych np. względem bezobsługowej eksploatacji. Znaczna część europejskich elektrowni wodnych jest wyposażona w zaawansowane systemy sterowania i system SCADA (ang. *Supervisory Control and Data Acquisition*), wykorzystujący siećową komunikację danych i graficzne interfejsy użytkownika do nadzoru nad procesami na wysokim poziomie (planowanie strategiczne, zarządzanie: projektami, ryzykiem czy zasobami).

Z badań [12] wynika, że wiele elektrowni wodnych ma ponad 20 lat, co wskazuje wyraźną potrzebę modernizacji i integracji nowych technologii. Udział elektrowni szczytowo–pompowych jest mocno zróżnicowany w poszczególnych krajach europejskich (w niektórych krajach nie występują wcale, w innych licznie). Coraz częściej pojawiają się rozwiązania konstrukcyjne korzystne dla ryb – np. budowa przepławek, co wskazuje na rosnący nacisk na zrównoważony rozwój. Przyszłe kierunki wskazują zapotrzebowanie na systemy hybrydowe, zwłaszcza połączenie energetyki wodnej z magazynami energii. Dodatkowym aspektem jest identyfikacja wyzwań i barier dla cyfryzacji, takich jak standaryzacja danych i cyberbezpieczeństwo oraz ocena i łagodzenie wpływu energii wodnej na ekosystemy wodne.

Przedstawiona inicjatywa Pen@Hydropower podkreśla znaczenie wykorzystania cyfrowych bliźniaków i innych innowacyjnych technologii w celu modernizacji elektrowni wodnych, poprawy elastyczności operacyjnej i rozwiązania problemów środowiskowych.

4. PODSUMOWANIE

Technologia Digital Twin zyskuje na znaczeniu w sektorze energetycznym poprzez możliwość poprawy efektywności, zarządzania energią i wsparcia przejścia na odnawialne źródła energii. Pomimo istniejących wyzwań, takich jak potrzeba szybkiej łączności czy kosztów, DT oferuje znaczące korzyści, w tym lepsze prognozowanie, zarządzanie aktywami i predykcja przed awariami. W przyszłości technologia ta ma potencjał, aby zrewolucjonizować sposób zarządzania

energią, przyczyniając się do zrównoważonego rozwoju i innowacji w tym obszarze.

W celu lepszego zrozumienia transformacji z wykorzystaniem technologii cyfrowych w sektorze energetycznym, warto zwrócić uwagę na konkretne projekty, które je wdrażają. Jednym z przykładów praktycznego zastosowania DT jest projekt D–HYDROFLEX, którego głównym zadaniem jest wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań dla poprawy efektywności i zrównoważonego zarządzania energią.

Realizowany przez autorów projekt *Digital solutions for improving the sustainability performance and FLEXibility potential of HYDROpower assets* jest skoncentrowany na cyfryzacji i modernizacji hydroelektrowni w Europie. Dzięki zastosowaniu technologii cyfrowego bliźniaka, sztucznej inteligencji i zaawansowanych systemów monitorowania, projekt ma na celu optymalizację eksploatacji i konserwacji istniejących obiektów hydrotechnicznych. W ramach projektu pięć elektrowni wodnych, w tym cztery przepływowe oraz dwie zbiornikowe, będzie testować i wdrażać nowe rozwiązania cyfrowe. Szczególny nacisk kładziony jest na predykcijną konserwację, elastyczność w dostosowywaniu do zmieniających się warunków energetycznych (zapotrzebowanie na energię elektryczną, dostępność zasobów energetycznych – transformacja energetyczna, stabilność sieci elektroenergetycznej oraz warunki klimatyczne/pogodowe) oraz minimalizację wpływu na środowisko, co ma kluczowe znaczenie dla długotrwałej efektywności energetycznej.

LITERATURA

- [1] Ghenai C, Bettayeb M., “Optimized design and control of an off grid solar PV/hydrogen fuel cell power system for green buildings”. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science* (Vol. 93; 2017, No. 1, p. 012073). IOP Publishing.
- [2] Ghenai C., Husein L., Al Nahlawi M., Hamid A. K., Bettayeb M., “Recent trends of digital twin technologies in the energy sector: A comprehensive review”, “Sustainable Energy Technologies and Assessments”, Volume 54, December 2022, 102837, Elsevier
- [3] Główny Urząd Statystyczny, Wskaźniki strategii Europa 2020, Warszawa: Zakład Wydawnictw Statystycznych, 2021.
- [4] Ismail F. B, Al-Faiz H., Hasini H, Al-Bazi A., Kazem H. A., “A comprehensive review of the dynamic applications of the digital twin technology across diverse energy sectors”, “Energy Strategy Reviews”, Volume 52, March 2024, 101334, Elsevier
- [5] Kaewunruen S., Lian Q., “Digital twin aided sustainability-based lifecycle management for railway turnout systems”, “Cleaner Prod”, 228 (2019), pp. 1537-1551
- [6] Park H.A., Byeon G., Son W., Jo H.C., Kim J., Kim S. “Digital twin for operation of microgrid: optimal scheduling in virtual space of digital twin”, “Energies”, 13 (20) (2020), p. 5504
- [7] The World Small Hydropower Development Report 2016: United Nations Industrial Development Organization, Vienna, and International Center on Small Hydro Power, Hangzhou.
- [8] Strona internetowa Komisji Europejskiej (KE, European Commission): <https://commission.europa.eu> Data uzyskania dostępu: 21.08.2024 r.

- [9] Strona internetowa Krajowego Punktu Kontaktowego (KPK): <https://www.kpk.gov.pl/horyzont-europa>
Data uzyskania dostępu: 21.08.2024 r.
- [10] Strona internetowa projektu D–HYDROFLEX: <https://d-hydroflex.eu/>
Data uzyskania dostępu: 21.08.2024 r.
- [11] Strona internetowa TAURON Ekoenergia: <https://ekoenergia.tauron.pl/elektrownie/energia-wodna/ew-wroclaw/waly-slaskie>
Data uzyskania dostępu: 21.08.2024 r.
- [12] Vagnoni E., Gezer D., Anagnostopoulos I., Cavazzini G., Doujak E., Hočevár M., Rudolf P., “The new role of sustainable hydropower in flexible energy systems and its technical evolution through innovation and digitalization”, “Renewable Energy”, Volume 230, September 2024, 120832, Elsevier

Badania finansowane w ramach projektu D–HYDROFLEX: *Digital solutions for improving the sustainability performance and FLEXibility potential of HYDROpower assets, Horyzont Europa, Grant Agreement No. 101122357.*

IDEA of a digital twin for water power plants - D-HYDROFLEX project.

Key words: digital twin, hydroelectric power plant (HPP), monitoring systems, SCADA

Summary. In the face of increasing environmental challenges and the need for energy transformation, the D–HYDROFLEX project, implemented under the Horizon Europe program, is part of the trend to introduce innovative digital solutions for hydropower plants. The project aims to develop digital twins, using artificial intelligence and monitoring systems to help optimize the operation and maintenance of existing hydro facilities. The project focuses on three key pillars: digitalization, flexibility and sustainability. Partners in Poland include Tauron Ekoenergia and Wrocław University of Science and Technology, who are developing a digital twin for the Wały Śląskie Hydropower Plant. The literature studies carried out as part of the article indicate the growing importance of Digital Twin technology in the energy sector, especially in the context of increasing operational efficiency, asset management and failure prediction. In this context, the D–HYDROFLEX project has the potential to contribute to the sustainable use of water energy, optimizing conversion processes and minimizing negative environmental impacts.

Przemysław Szulc, dr inż., ukończył Wydział Mechaniczno–Energetyczny Politechniki Wrocławskiej. W roku 2014 uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Zainteresowania zawodowe obejmują hydrauliczne maszyny przepływowe oraz ich systemy. e–mail: przemyslaw.szulc@pwr.edu.pl

Artur Machalski, dr inż., ukończył Wydział Mechaniczno–Energetyczny Politechniki Wrocławskiej. W roku 2022 uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Zawodowo zajmuje się maszynami przepływowymi oraz układami hydraulicznymi. e–mail: artur.machalski@pwr.edu.pl

Janusz Skrzypacz, dr hab. inż., w roku 1997 ukończył Wydział Mechaniczny Politechniki Wrocławskiej, a w roku 2002 uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Od roku 2000 związany z Wydziałem Mechaniczno–Energetycznym Politechniki Wrocławskiej. Zainteresowania zawodowe obejmują hydrauliczne maszyny przepływowe i ich systemy, rurociągi oraz urządzenia ciśnieniowe. e–mail: janusz.skrzypacz@pwr.edu.pl

Dominik Błoński, dr inż., w roku 2022 uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Zawodowo zajmuje się maszynami przepływowymi oraz układami hydraulicznymi. e–mail: dominik.blonski@pwr.edu.pl

Aneta Nycz, mgr inż., ukończyła Wydział Mechaniczno–Energetyczny Politechniki Wrocławskiej w roku 2022. Obecnie doktorantka Szkoły Doktorskiej Politechniki Wrocławskiej w dyscyplinie naukowej: Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Do zainteresowań naukowych należą hydrauliczne maszyny przepływowe oraz układy hydrauliczne. e–mail: aneta.nycz@pwr.edu.pl

Magdalena Nemś, dr hab. inż., ukończyła Wydział Mechaniczno–Energetyczny Politechniki Wrocławskiej. W roku 2015 uzyskała stopień doktora nauk technicznych. Zainteresowania zawodowe obejmują: energetykę odnawialną, systemy magazynowania energii. e–mail: magdalena.nems@pwr.edu.pl