

# ANALIZA INNOWACYJNYCH TECHNOLOGII WYKORZYSTYWANYCH W DZIEDZINIE ENERGETYKI ODNAWIALNEJ

RAPORTY BADAWCZY BCU



## Spis treści

Wstęp .....	3
Innowacyjne technologie turbin i urządzeń hydrotechnicznych.....	4
Konstrukcje turbin przyjaznych środowisku.....	4
Śruba Archimedesesa.....	5
Turbina VLH.....	6
Turbina Aldena .....	8
Turbina FishSafe RHT.....	9
Hydroshaft – elektrownia szybowa nowej generacji .....	10
Innowacyjne podejście do ujęć wody.....	11
Bezolejowe rozwiązania i biodegradowalne środki smarne .....	12
Systemy piętrzenia i regulacji przepływu .....	14
Migracja.....	17
Przepławki pasywne, bystrotoki.....	17
Windy dla ryb .....	20
Przepławki aktywne.....	23
Bariery, pozostałe rozwiązania.....	27
Monitoring.....	30
Narzędzia cyfrowe wspierające monitoring .....	30
Bezinwazyjny monitoring ryb .....	31
Inwazyjne metody monitoringu .....	34
Strategiczne Zarządzanie Zasobami i Klimatem .....	36
Połączenie małych elektrowni wodnych z małą retencją.....	36
Historyczne uwarunkowania i znaczenie dla retencji .....	36
Rola MEW w przeciwdziałaniu suszy i stepowieniu .....	37
Wielofunkcyjność obiektów hydrotechnicznych.....	38
Mała retencja leśna .....	39
Korzyści dla społeczności lokalnych.....	40
Ograniczenia i wyzwania .....	40
Ukryta hydroenergia ( <i>hidden hydropower</i> ) – wykorzystanie istniejącej infrastruktury dla produkcji energii.....	41
Obszary zastosowań .....	41
Korzyści wynikające z rozwoju ukrytej hydroenergii.....	42
Perspektywy rozwoju .....	43

Retrofitting i rehabilitacja istniejących obiektów hydrotechnicznych .....	43
Zalety wykorzystania istniejącej infrastruktury.....	44
Rehabilitacja historycznych obiektów hydroenergetycznych .....	44
Zakres działań modernizacyjnych.....	45
Bariery rozwoju i kierunki wsparcia .....	46
Hybrydyzacja odnawialnych źródeł energii z udziałem hydroenergetyki .....	46
Elektrownie szczytowo-pompowe jako magazyny energii.....	47
Pływające instalacje fotowoltaiczne.....	48
Integracja z magazynami energii i produkcją zielonego wodoru .....	48
Korzyści wynikające z hybrydyzacji .....	48
Standardy i dobre praktyki w hydroenergetyce .....	49
Standard Zrównoważonej Energetyki Wodnej (Hydropower Sustainability Standard – HSS) .....	49
Cele i zakres certyfikacji .....	50
HSS jako narzędzie ciągłego doskonalenia .....	51
Uznanie międzynarodowe i znaczenie dla finansowania inwestycji .....	51
Przykłady wdrożeń .....	51
Perspektywy rozwoju .....	53
Podsumowanie.....	54
Bibliografia.....	55

## Wstęp

W obliczu postępujących zmian klimatycznych, rosnącego zapotrzebowania na energię oraz zwiększającej się świadomości ekologicznej społeczeństwa, sektor energetyczny stoi przed koniecznością wdrażania rozwiązań bardziej przyjaznych dla środowiska. Transformacja energetyczna stała się jednym z kluczowych wyzwań współczesnego świata, a rozwój innowacyjnych technologii odgrywa istotną rolę w ograniczaniu negatywnego wpływu działalności człowieka na środowisko naturalne.

Energetyka wodna od wielu lat stanowi ważny element odnawialnych źródeł energii, wykorzystując naturalny potencjał zasobów wodnych do produkcji energii elektrycznej. Mimo że jest uznawana za jedno z bardziej ekologicznych źródeł energii, również w tym sektorze dostrzega się potrzebę dalszego doskonalenia stosowanych rozwiązań. Współczesne innowacje prośrodowiskowe koncentrują się na zwiększaniu efektywności energetycznej, minimalizowaniu wpływu inwestycji na ekosystemy wodne oraz lepszym dostosowaniu infrastruktury do wymogów zrównoważonego rozwoju. Rosnąca świadomość społeczna dotycząca ochrony środowiska oraz zaostrzające się regulacje prawne sprawiają, że przedsiębiorstwa i instytucje związane z energetyką wodną coraz częściej inwestują w nowoczesne technologie i rozwiązania ograniczające oddziaływanie na przyrodę. Innowacje te nie tylko wspierają realizację celów klimatycznych, ale również przyczyniają się do bardziej odpowiedzialnego gospodarowania zasobami naturalnymi.

Jednym z najważniejszych kierunków rozwoju są nowoczesne technologie turbin i urządzeń hydrotechnicznych, które zwiększą efektywność produkcji energii przy jednoczesnym ograniczeniu oddziaływania na środowisko naturalne. Coraz większe znaczenie zyskują rozwiązania przeznaczone do pracy przy niewielkich spadach wody, charakteryzujące się wysoką sprawnością oraz większym bezpieczeństwem dla organizmów wodnych. Nowoczesne konstrukcje turbin mogą znacząco ograniczać śmiertelność ryb. Istotnym elementem jest również eliminacja zagrożeń chemicznych poprzez wdrażanie rozwiązań bezolejowych oraz olei biodegradowalnych.

Kolejnym elementem działań prośrodowiskowych w energetyce wodnej są nowoczesne systemy wspierające migrację organizmów wodnych. Oprócz przepławek naturalnych, imitujących warunki występujące w korytach rzecznych, coraz częściej wykorzystuje się

zaawansowane technologie, takie jak windy dla ryb czy przepławki aktywne, które umożliwiają zachowanie ciągłości ekologicznej ekosystemu oraz ograniczają negatywny wpływ budowli hydrotechnicznych na organizmy wodne. Rośnie też rola barier behawioralnych, które wykorzystując reakcję ryb na bodźce środowiskowe, kierują je na bezpieczne trasy migracji.

Istotną rolę w nowoczesnych inwestycjach odgrywa monitoring wspierany przez sztuczną inteligencję oraz narzędzia cyfrowe. Umożliwia to wielopoziomą analizę warunków środowiskowych oraz przestrzenną ocenę funkcjonowania ekosystemów wodnych. Systemy wizyjne oraz telemetria akustyczna pozwalają na ciągłe i nieinwazyjne monitorowanie rzeki, co umożliwia weryfikację skuteczności urządzeń wspierających migrację ryb i ocenę ich wpływu na ciągłość procesów ekologicznych.

Współcześnie coraz większe znaczenie ma rozszerzona funkcja elektrowni wodnych. Szczególne znaczenie przypisuje się powiązaniom między małą energetyką wodną a retencją, gdzie budowle piętrzące pełnią istotną rolę w ograniczaniu skutków suszy oraz degradacji gleb. Równolegle rozwijane są koncepcje „Hidden Hydro” – odzyskiwania energii z istniejącej infrastruktury wodociągowej oraz modernizacji istniejących obiektów w ramach procesów retrofitingu. Istotnym kierunkiem pozostaje także integracja hydroenergetyki z innymi technologiami odnawialnymi, w tym fotowoltaiką i systemami magazynowania energii, co prowadzi do powstawania rozwiązań hybrydowych.

Ważnym elementem są również aspekty oraz standardy jakościowe w sektorze energetyki wodnej. Kluczowym punktem odniesienia pozostaje Standard Zrównoważonej Energetyki Wodnej (HSS), który umożliwia odróżnienie projektów o wysokim poziomie zrównoważenia od przedsięwzięć obarczonych podwyższonym ryzykiem środowiskowym. W ramach tego systemu funkcjonują zróżnicowane poziomy certyfikacji, które nie tylko odzwierciedlają stopień spełnienia określonych kryteriów, lecz także stanowią element prestiżu oraz potwierdzenie wysokiej jakości realizowanych projektów.

## Innowacyjne technologie turbin i urządzeń hydrotechnicznych

### Konstrukcje turbin przyjaznych środowisku

W odpowiedzi na rosnące wymagania środowiskowe oraz potrzebę efektywnego wykorzystania potencjału energetycznego cieków wodnych rozwijane są nowoczesne

technologie przeznaczone do pracy przy niskich i bardzo niskich spadach. Konstrukcje te projektowane są z uwzględnieniem ograniczenia negatywnego wpływu na organizmy wodne poprzez redukcję turbulencji, sił ścinających oraz gwałtownych zmian ciśnienia występujących podczas przepływu przez turbinę. Szczególnie korzystnymi parametrami środowiskowymi charakteryzują się turbiny hydrokinetyczne, które wpisują się w koncepcję „hidden hydropower”, opartą na wykorzystaniu istniejących układów hydraulicznych lub naturalnego przepływu wody do produkcji energii elektrycznej bez konieczności budowy nowych obiektów hydrotechnicznych. W przypadku tych urządzeń wskaźnik śmiertelności ryb szacowany jest na poziomie poniżej 0,1%, co czyni je jednymi z najbardziej przyjaznych środowisku technologii stosowanych we współczesnej hydroenergetyce.<sup>1</sup>

## Śruba Archimedesesa

Śruba Archimedesesa jako maszyną znaną od starożytności, gdzie starożytności używana była do nawodnienia, a następnie do osuszania terenów, natomiast jej wykorzystanie do wytwarzania energii elektrycznej rozwinięto przemysłowo dopiero w XX wieku. Takie urządzenia znajdują zastosowanie przy spadach poniżej ok. 10 m i przy przepływach do ok. 5,5 m<sup>3</sup>/s.

Dzięki prostej konstrukcji śruba Archimedesesa należy do technologii o bardzo niskiej awaryjności i dużej wydajności. Śruba Archimedesesa jest w stanie w prosty i niezawodny sposób przenosić duże objętości wody przy niskich prędkościach obrotowych. Otwarta konstrukcja o znacznych przestrzeniach pomiędzy zwojami wirnika zapewnia ciągłą pracę nawet w bardzo trudnych warunkach.<sup>2</sup>

Głównym elementem jest wirnik wykonany w formie śruby Archimedesesa. Jest on umieszczony w półkolistej rynnie i obraca się wokół własnej osi. Pomiędzy zwojami śruby gromadzi się napływająca woda, oddziałując na ich powierzchnię. Pod wpływem siły ciężkości powstaje moment obrotowy, który napędza wał wirnika. Ruch obrotowy powstały w wirniku jest przenoszony przez wał i przekładnię mechaniczną do generatora, gdzie jest przekształcony w energię elektryczną. Przekładnia jest konieczna ze względu na małą prędkość obrotową śruby, co ogranicza ryzyko urazów ryb przepływających przez turbinę.<sup>3</sup> Charakterystyczną cechą tej konstrukcji jest otwarty, bezciśnieniowy układ przepływu, w którym woda znajdująca

---

<sup>1</sup> Europejska Federacja Energetyki Odnawialnej (EREF). (2022). *Mała energetyka wodna i unijny Zielony Ład*. Bruksela.

<sup>2</sup> IOZE Hydro. (brak daty). *Śruba Archimedesesa*. Pobrano z lokalizacji hydro.ioze.pl: <https://hydro.ioze.pl/sruba-archimedesesa/>

<sup>3</sup> Mazur, K. (2015). Oddziaływanie MEW w aspekcie środowiskowym i społecznym. *Energetyka Wodna*, (1), strony 46-47.

się pomiędzy zwojami śruby pozostaje pod ciśnieniem atmosferycznym. Oznacza to brak gwałtownych zmian ciśnienia, które w przypadku niektórych turbin mogą powodować uszkodzenia organizmów wodnych. Dodatkowo duże przestrzenie pomiędzy zwojami wirnika, niewielki poziom turbulencji oraz niska prędkość obrotowa śruby ograniczają ryzyko kontaktu ryb z elementami roboczymi urządzenia. Dzięki tym cechom ryby mogą przemieszczać się przez turbinę wraz z przepływającą wodą przy stosunkowo niewielkim ryzyku urazów mechanicznych.<sup>4</sup>



Fot. 1 Śruba Archimedesesa w MEW Bieleckie Młyny  
Źródło: IOZE hydro

## Turbina VLH

Do turbin bezpiecznych dla ryb można również zaliczyć turbinę VLH (Very Low Head), zaprojektowaną przez francuską firmę MJ2 Technologies z myślą o zminimalizowaniu ingerencji w ekosystem wodny. Jest ona stosowana w miejscach o bardzo niskim spadzie wody, co pozwala na wykorzystanie potencjału energetycznego rzek i kanałów, które wcześniej nie były brane pod uwagę ze względu na niewielkie różnice poziomów wody. Konstrukcja opiera się na wirniku o dużej średnicy pracującym z niską prędkością obrotową, co umożliwia osiągnięcie wysokiej sprawności przy jednoczesnym ograniczeniu ryzyka urazów organizmów wodnych.<sup>5</sup> Proekologiczny charakter rozwiązania wynika również z zastosowania bezpośredniego napędu

---

<sup>4</sup> Greenevo. (brak daty). *Greenevo - Śruba Archimedesesa*. Pobrano z lokalizacji [greenevo.gov.pl: https://greenevo.gov.pl/pl/technologies/sruba-archimedesesa/](https://greenevo.gov.pl/pl/technologies/sruba-archimedesesa/)

<sup>5</sup> Mróz, W. (2015). Mała energetyka wodna szansą na uzyskanie ciągłości podłużnej cieku. *Energetyka Wodna*, (2), strony 54-57.

z generatorem wyposażonym w magnesy trwałe, co eliminuje konieczność stosowania przekładni mechanicznych oraz ogranicza poziom hałasu i wibracji generowanych podczas pracy. Dodatkowo kompaktowa budowa turbiny pozwala na ograniczenie zakresu robót budowlanych oraz zmniejszenie ingerencji w krajobraz i koryto rzeki. Zastosowanie wirnika o dużej średnicy umożliwia także redukcję rozmiarów konstrukcji doprowadzających i odprowadzających wodę, co przekłada się na mniejsze oddziaływanie inwestycji na środowisko wodne.<sup>6</sup>

Wspierając rozwój niskospadowych elektrowni wodnych w Polsce i Europie, Instytut Technologii Energetycznych wraz z francuskim partnerem, zorganizował nowatorskie badania wpływu działającej elektrowni wodnej na ichtiofaunę zstępującą przez turbinę. Badania odbyły się we Francji pod koniec 2010 r. w miejscowości Frouard na urządzeniu typu VLH 4500 o mocy 400 kW. Testy odbywały się przez trzy dni, a elektrownia pracowała przy pełnej mocy z przepływem rzędu 22 m<sup>3</sup>/s i ze spadem netto 2,4 m. Polskim współorganizatorom zależało na tym, aby badania odbyły się z udziałem niezależnych ekspertów z Polski. Zaproszenia przyjęli przedstawiciele Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej, Instytutu Rybactwa Śródlądowego oraz Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Raport naukowy potwierdzający efekty tych badań wykazał, że udało się osiągnąć 100-procentową przeżywalność ryb, które przepływały w dół rzeki przez uruchomioną turbinę VLH. Próba bazowa to ponad 200 osobników, a przeżywalność badano po 48 godzinach od zakończenia testów.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> Stellba Hydro. (brak daty). *Stellba Hydro - VLH turbine*. Pobrano z lokalizacji [stellba-hydro.de](https://www.stellba-hydro.de/en/water-turbines/vlh-turbine): <https://www.stellba-hydro.de/en/water-turbines/vlh-turbine>

<sup>7</sup> Drzewiecki, M. (2011). Rozwój niskospadowej energetyki wodnej. *Czysta Energia*, (11), strony 48-49.



*Fot. 2 Turbina VLH  
Źródło: Archiwum ITE*

## Turbina Aldena

Kolejnym rozwiązaniem technologicznym, które zasługuje na uwagę ze względu na swoje walory środowiskowe, jest turbina Aldena. Została ona opracowana przez Alden Research Laboratory w Stanach Zjednoczonych. Najbardziej charakterystyczną cechą turbiny Aldena jest zastosowanie wirnika wyposażonego jedynie w trzy łopatki, podczas gdy w tradycyjnych turbinach Francisa liczba łopatek wynosi zazwyczaj od 13 do 17. Tak znaczące ograniczenie liczby elementów wirujących pozwoliło na utworzenie znacznie szerszych przestrzeni pomiędzy łopatkami. Dzięki temu ryby przemieszczające się wraz z nurtem wody mają większą możliwość bezpiecznego przepłynięcia przez turbinę, co zmniejsza ryzyko urazów mechanicznych oraz śmiertelności. Dodatkowo turbina Aldena została zoptymalizowana pod kątem ograniczenia gwałtownych zmian ciśnienia, turbulencji oraz sił ścinających występujących podczas przepływu wody przez urządzenie. Czynniki te są uznawane za jedne z głównych przyczyn uszkodzeń organizmów wodnych w konwencjonalnych elektrowniach wodnych. Z tego

względu turbina Aldena jest często wskazywana jako przykład innowacyjnego rozwiązania wpisującego się w założenia zrównoważonego rozwoju oraz nowoczesnej, przyjaznej środowisku energetyki wodnej.<sup>8</sup>



*Fot. 3 Turbina Aldena  
Źródło: Alden Laboratory*

### Turbina FishSafe RHT

Przełomowym rozwiązaniem w kategorii turbin przyjaznych rybam jest technologia FishSafe Restoration Hydro Turbine (RHT) opracowana przez firmę Natel Energy. Konstrukcja ta wyróżnia się zastosowaniem opatentowanych, grubych i wygiętych do przodu łopatek, których kształt został zoptymalizowany na podstawie modelowania CFD oraz testów biologicznych. Dzięki takiej budowie turbina zapewnia przeżywalność migrującej ichtiofauny na poziomie od 98% do nawet 100%, co zostało potwierdzone recenzowanymi badaniami naukowymi dla szerokiego spektrum gatunków, takich jak łososie, węgorze czy jesiotry. Charakterystyczną cechą konstrukcji są zaokrąglone i pogrubione krawędzie natarcia łopatek, które przyczyniają się do zwiększenia odporności na zużycie wywołane oddziaływaniem rumowiska i cząstek

---

<sup>8</sup> Kirejczyk, J. (2013). Turbiny wodne i ochrona środowiska naturalnego. *Energetyka Wodna*, (3), strony 49-52.

ściernych. Badania wskazują, że w warunkach wysokiego zapiaszczenia stopień zużycia elementów wirnika może być istotnie niższy niż w przypadku tradycyjnych konstrukcji, co przekłada się na wydłużenie okresu eksploatacji oraz ograniczenie kosztów utrzymania. Rozwiązanie to może być stosowane zarówno w nowych obiektach, jak i podczas modernizacji istniejących elektrowni wodnych, umożliwiając zastąpienie konwencjonalnych wirników przy relatywnie niewielkiej ingerencji w istniejącą infrastrukturę hydrotechniczną.<sup>9</sup>

## Hydroshaft – elektrownia szybowa nowej generacji

Jednym z nowoczesnych rozwiązań rozwijanych w obszarze hydroenergetyki niskospadowej jest koncepcja elektrowni szybowej Hydroshaft. Technologia ta powstała na Uniwersytecie Technicznym w Monachium jako odpowiedź na rosnące wymagania dotyczące ochrony ekosystemów rzecznych oraz potrzebę zwiększania udziału odnawialnych źródeł energii w krajowych systemach elektroenergetycznych. Rozwiązanie jest objęte ochroną patentową i stanowi alternatywę dla konwencjonalnych elektrowni wodnych, których oddziaływanie na środowisko naturalne często ogranicza możliwości realizacji nowych inwestycji.

Podstawowym założeniem systemu Hydroshaft jest pełna integracja elektrowni z istniejącą budowlą piętrzącą. Zespół turbina–generator umieszczany jest w pionowym szybie zlokalizowanym poniżej poziomu dna rzeki, dzięki czemu infrastruktura energetyczna nie stanowi istotnej przeszkody dla przepływu wody ani migracji organizmów wodnych. Charakterystyczną cechą rozwiązania jest możliwość swobodnego przepływu ryb ponad turbiną, co znacząco ogranicza negatywny wpływ obiektu na ciągłość ekologiczną cieku.

Dopływająca woda kierowana jest pionowo do zatapialnego zespołu hydroenergetycznego, co umożliwia efektywne wykorzystanie niewielkich spadów przy jednoczesnym utrzymaniu niskich prędkości napływu. Dodatkowo zastosowanie poziomych krat wlotowych oraz odpowiednio zaprojektowanych zasuw zwiększa bezpieczeństwo migracji ryb zarówno w górę, jak i w dół rzeki. Konstrukcja ułatwia również usuwanie osadów rzecznych oraz odprowadzanie wód wezbraniowych. Istotną zaletą systemu jest jego modułowa budowa. W przypadku większych cieków możliwe jest zastosowanie kilku szybów pracujących równolegle w ramach

---

<sup>9</sup> Natel. (brak daty). *FishSafe™ Turbine Designs*. Pobrano z lokalizacji [natelenergy.com](https://www.natelenergy.com): <https://www.natelenergy.com/turbines>

jednego układu, co pozwala zwiększyć moc elektrowni bez utraty korzyści środowiskowych wynikających z przyjętej koncepcji.

Skuteczność rozwiązania została potwierdzona w warunkach rzeczywistej eksploatacji. Pierwszy obiekt demonstracyjny uruchomiono w 2020 roku na rzece Loisach w Górnej Bawarii, natomiast rok później oddano do użytku pierwszą instalację komercyjną na rzece Iller. Eksploatacja obu obiektów podczas wezbrań i powodzi wykazała prawidłowe funkcjonowanie systemu również w warunkach zwiększonego transportu rumowiska oraz materiału dryfującego.<sup>10</sup>



Fot. 4 Różne rodzaje pracy prototypu Hydroshaft (od lewej do prawej): normalny; czyszczenie krat wlotowych; zrzut powodziowy

Źródło: Uniwersytet Techniczny w Monachium

## Innowacyjne podejście do ujęć wody

Obok rozwoju nowych konstrukcji turbin coraz większe znaczenie zyskują innowacyjne rozwiązania hydrotechniczne, takie jak projektowanie małych elektrowni wodnych bez konieczności budowy klasycznych jazów lub wysokich przegród piętrzących. Rozwiązanie to wykorzystuje naturalne ukształtowanie terenu oraz odpowiednio zaprojektowane ujęcie wody, dzięki czemu możliwe jest efektywne wykorzystanie energii przepływu przy jednoczesnym zachowaniu naturalnego charakteru rzeki.

Istotnym elementem tego podejścia jest wykorzystanie zaawansowanych narzędzi projektowych. Numeryczne modelowanie przepływu pozwala zoptymalizować geometrię ujęcia i kanałów doprowadzających wodę, ograniczyć turbulencje oraz straty hydrauliczne, a tym samym zwiększyć sprawność całego układu. Rozwiązania hydrotechniczne uzupełniają

---

<sup>10</sup> Alapfy, B. (2022). Hydroshaft - przyjazna dla środowiska, skalowalna i ekonomiczna elektrownia wodna. *Energetyka Wodna*, (1), strony 25-26.

wysokosprawne turbiny przystosowane do pracy przy zmiennych przepływach oraz konstrukcje zapewniające bezpieczną eksploatację obiektu podczas wezbrań. W tego typu obiektach szczególną uwagę poświęca się zachowaniu ciągłości ekologicznej cieków wodnych. Rezygnacja z całkowitego przegrodzenia rzeki umożliwia swobodną migrację ryb. Stosuje się również rozwiązania hydrotechniczne nawiązujące do naturalnych form rzecznych, które zmniejszają ingerencję w krajobraz i ograniczają negatywne oddziaływanie na ekosystem.

Przykładem zastosowania takiego podejścia jest Mała Elektrownia Wodna Zabrzeż zlokalizowana na rzece Dunajec. W obiekcie wykorzystano naturalne ukształtowanie doliny rzecznej, dzięki czemu zrezygnowano z budowy klasycznego jazu. Zachowano naturalny charakter rzeki oraz pełną drożność dla organizmów wodnych, a ujęcie wody wykonano z zastosowaniem ostrogi w formie narzutu kamiennego. Podczas projektowania wykorzystano modelowanie hydrauliczne z użyciem oprogramowania FLOW-3D, które umożliwiło optymalizację geometrii ujęcia i kanału derywacyjnego oraz ograniczenie strat hydraulicznych. Elektrownię wyposażono również w pionowe turbiny Kaplana o wysokiej sprawności i niezawodności, a budynek zabezpieczono przed skutkami powodzi za pomocą systemu szczelnych przesłon. Istotnym aspektem inwestycji jest także integracja obiektu z istniejącym torem kajakowym, co pokazuje, że nowoczesne elektrownie wodne mogą współistnieć z funkcjami rekreacyjnymi oraz zachowywać wysokie standardy ochrony środowiska.<sup>11</sup>

## Bezolejowe rozwiązania i biodegradowalne środki smarne

Choć sama eksploatacja turbin wodnych nie wiąże się bezpośrednio z zanieczyszczeniem wód, do ich prawidłowego funkcjonowania potrzebne są środki smarne. Jest to niezwykle ważne przy tulejach łopatek kierowniczych, których niezawodna praca tradycyjnie opiera się na wykorzystaniu smarów ograniczających tarcie i zużycie. Chociaż ilości stosowanych substancji nie są duże, część z nich może przedostawać się do przepływającej wody podczas normalnej eksploatacji urządzenia. Dodatkowym zagrożeniem dla środowiska wodnego są oleje wykorzystywane w układach hydraulicznych i innych podzespołach elektrowni. Substancje te często magazynowane są w znacznych ilościach w bezpośrednim sąsiedztwie cieków wodnych, niejednokrotnie pod wysokim ciśnieniem, co w przypadku awarii lub uszkodzenia instalacji stwarza ryzyko ich niekontrolowanego przedostania się do środowiska. W odpowiedzi na te

---

<sup>11</sup> Kalina, Ł. i Smolarczyk, W. (2020). MEW Zabrzeż – owoc pracy optymalizacyjnych. *Energetyka Wodna*, (3), strony 42-44.

zagrożenia rozwijane są rozwiązania techniczne mające na celu ograniczenie lub całkowite wyeliminowanie konieczności stosowania tradycyjnych środków smarnych.<sup>12</sup>

Na podstawie przeanalizowanych materiałów można wyróżnić dwa główne kierunki rozwoju technologii mających na celu ograniczenie lub eliminację stosowania tradycyjnych olejów mineralnych w hydroenergetyce: rozwiązania całkowicie bezolejowe oraz zastosowanie biodegradowalnych środków smarnych (ECL – *Environmentally Considerate Lubricants*).

Pierwszy kierunek obejmuje technologie eliminujące olej z kluczowych elementów układów hydrotechnicznych. Do najważniejszych rozwiązań należą łożyska smarowane wodą, które stosowane są w nowoczesnych turbinach, gdzie wał pracuje na filmie wodnym, co eliminuje ryzyko wycieków substancji ropopochodnych do środowiska. Przykładem wdrożenia jest instalacja w systemie wodociągowym ZUW Raba. W ramach tego kierunku dąży się również do eliminacji oleju z układów regulacji, w tym mechanizmów sterowania łopatom kierowniczymi, a także do stosowania nowoczesnych napędów elektrycznych i generatorów z magnesami trwałymi, co pozwala ograniczyć potrzebę smarowania elementów mechanicznych.

Drugi kierunek stanowi zastępowanie olejów mineralnych środkami biodegradowalnymi (ECL), stosowanymi w przypadkach, gdy pełna eliminacja oleju nie jest jeszcze technicznie możliwa. Ich stosowanie wynika również z wymogów środowiskowych, w tym zapisów Ramowej Dyrektywy Wodnej, zakładającej ograniczenie emisji trwałych zanieczyszczeń do środowiska wodnego. Nowoczesne oleje biodegradowalne, oparte m.in. na syntetycznych estrach, charakteryzują się wysokim stopniem biodegradowalności (do ok. 28 dni wg testu OECD 301B), niską toksycznością oraz wydłużoną trwałością eksploatacyjną w porównaniu z olejami mineralnymi, co ogranicza częstotliwość ich wymiany i ilość generowanych odpadów.

Rozwiązania te znajdują zastosowanie w szerokim zakresie urządzeń hydroenergetycznych, w tym w turbinach typu Kaplan, Pelton i Francis, a także w układach pomocniczych, takich jak systemy sterowania zasuwami, czyszczarki krat oraz przekładnie i transformatory.

Podsumowując, rozwój „zielonej” hydroenergetyki opiera się zarówno na eliminacji olejów poprzez zastosowanie konstrukcji smarowanych wodą i napędów bezolejowych, jak i na

---

<sup>12</sup> Kirejczyk, *Turbiny wodne i ochrona środowiska naturalnego*, s. 50.

stopniowym zastępowaniu tradycyjnych środków smarnych ich biodegradowalnymi odpowiednikami.<sup>13</sup>



Fot. 5 Elektrownia wodna BRAZ Austria  
Źródło: PANOLIN AG

## Systemy piętrzenia i regulacji przepływu

Jaz powłokowy jest nowoczesnym rodzajem budowli piętrzącej, wykorzystywanym zarówno w nowych inwestycjach hydrotechnicznych, jak i podczas modernizacji istniejących stopni wodnych. Rozwiązanie to znajduje zastosowanie m.in. w małych elektrowniach wodnych, gdzie umożliwia regulację poziomu piętrzenia przy zachowaniu stosunkowo prostej konstrukcji oraz wysokiej elastyczności eksploatacyjnej. Pozwala to na utrzymanie stabilnych warunków hydrologicznych w korycie rzeki, co wspiera funkcjonowanie lokalnych ekosystemów oraz poprawia warunki siedliskowe roślin i zwierząt.<sup>14</sup>

Podstawowym elementem jazu jest elastyczne zamknięcie powłokowe wykonane z wielowarstwowej membrany wypełnianej wodą. Powłoka produkowana jest z wytrzymałej gumo-tkaniny odpornej na działanie promieniowania UV, ozonu oraz obciążenia mechaniczne

<sup>13</sup> Zawisz, A. (2013). Ryby w oleju. *Energetyka Wodna*, (2), strony 49-51.

<sup>14</sup> Sozosfera. (brak daty). *Sozosfera - środowisko i gospodarka*. Pobrano z lokalizacji sozosfera.pl: <https://sozosfera.pl/srodowisko-i-gospodarka/specjalny-jaz-energi/>

występujące zarówno w kierunku przepływu wody, jak i poprzecznie do niego.<sup>15</sup> Takie obiekty wymagają mniejszego zakresu prac hydrotechnicznych niż klasyczne jazy betonowe, co przekłada się na mniejsze przekształcenie koryta rzeki oraz otaczającej doliny. Zastosowanie lekkich konstrukcji kompozytowych oraz gumowych membran wpływa także na trwałość i niską energochłonność eksploatacji, co redukuje potrzebę częstych remontów i ingerencji technicznych. Nie wymagają też malowania chroniącego przed korozją ani smarowania mechanizmów podnoszenia, co ogranicza ryzyko zanieczyszczenia wody.<sup>16</sup> W rezultacie jazy powłokowe są coraz częściej wykorzystywane w projektach modernizacji i rewitalizacji cieków wodnych, gdzie ich rolą jest nie tylko piętrzenie wody, ale również wspieranie procesów przywracania naturalnych funkcji ekosystemów rzecznych. Dodatkowo możliwość automatycznego obniżenia piętrzenia w przypadku wezbrań zwiększa bezpieczeństwo przeciwpowodziowe, jednocześnie ograniczając ryzyko niekontrolowanego oddziaływania na środowisko.<sup>17</sup>

Konstrukcja jest osadzona w podłożu za pomocą systemu mocowań osadzonych w żelbetowej płycie fundamentowej, natomiast jej boczne i górne krawędzie są trwale połączone z elementami konstrukcyjnymi jazu. Regulacja wysokości piętrzenia odbywa się poprzez zmianę ilości wody znajdującej się wewnątrz powłoki. Proces napełniania i opróżniania realizowany jest automatycznie za pośrednictwem układu sterowania, który kontroluje pracę instalacji hydraulicznej doprowadzającej wodę do poszczególnych sekcji zamknięcia. Takie rozwiązanie pozwala na precyzyjne dostosowanie parametrów pracy jazu do aktualnych warunków hydrologicznych.

Obsługa i nadzór nad pracą obiektu realizowane są z poziomu sterowni, w której znajdują się układy odpowiedzialne za doprowadzanie wody, napełnianie i opróżnianie powłoki oraz kontrolę ciśnienia roboczego. Dzięki zastosowaniu automatycznego systemu sterowania jazy powłokowe charakteryzują się dużą niezawodnością, łatwością eksploatacji oraz możliwością szybkiego reagowania na zmieniające się warunki przepływu.<sup>18</sup>

---

<sup>15</sup> WODEL. (brak daty). *WODEL - Elektrownie wodne*. Pobrano z lokalizacji wodel.pl: <https://www.wodel.pl/pl/elektrownie-wodne/jazy-powlokowe>

<sup>16</sup> Polniak A., Jazy powłokowe w systemach retencji, [w:] Polska Konferencja Hydroenergetyczna HYDROFORUM 2025. Materiały Konferencyjne, TEW / IMP PAN, Rytró–Gdańsk, 2025, s.50-51.

<sup>17</sup> Sozosfera, *Specjalny jaz energii*

<sup>18</sup> WODEL., *Elektrownie wodne – jazy powłokowe*

Szczególną odmianę omawianych konstrukcji stanowią autonomiczne jazy powłokowe, których układy sterowania i regulacji nie wymagają podłączenia do zewnętrznej sieci elektroenergetycznej. Energia niezbędna do pracy urządzeń pomiarowych, systemów sterowania oraz zespołów pompowych może być dostarczana przez instalacje fotowoltaiczne lub niewielkie elektrownie wiatrowe współpracujące z akumulatorami magazynującymi energię. Rozwiązanie to znajduje zastosowanie przede wszystkim na obiektach melioracyjnych, zbiornikach retencyjnych oraz małych elektrowniach wodnych zlokalizowanych w miejscach o utrudnionym dostępie do infrastruktury energetycznej.

Przykładem praktycznego zastosowania autonomicznego jazu powłokowego jest obiekt oddany do eksploatacji w 2015 roku przy małej elektrowni wodnej w Krosnowicach na rzece Białej Łądeckiej. Konstrukcja została wyposażona w system zasilania oparty na odnawialnych źródłach energii, wykorzystujący panele fotowoltaiczne współpracujące z baterią akumulatorów. Zmagazynowana energia zasila układ sterowania oraz zespół pomp odpowiedzialnych za napełnianie powłoki i utrzymywanie wymaganego poziomu piętrzenia. Praca obiektu opiera się na ciągłym monitorowaniu warunków hydrologicznych za pomocą sond pomiarowych. W sytuacji wzrostu poziomu wody powyżej ustalonej wartości granicznej następuje automatyczne opróżnienie powłoki, co prowadzi do pełnego otwarcia światła jazu i umożliwia bezpieczne przeprowadzenie fali wezbraniowej. Po ustąpieniu wysokich stanów wody układ samoczynnie przywraca wymagany poziom piętrzenia poprzez ponowne napełnienie zamknięcia powłokowego.

Dodatkową zaletą nowoczesnych jazów autonomicznych jest możliwość integracji z systemami zdalnej komunikacji wykorzystującymi sieć GSM. Pozwala to na monitorowanie parametrów pracy obiektu w czasie rzeczywistym, zmianę nastaw eksploatacyjnych oraz zdalne sterowanie poziomem piętrzenia bez konieczności bezpośredniej obecności obsługi na obiekcie. Funkcjonalność ta ma szczególne znaczenie w przypadku budowli hydrotechnicznych zlokalizowanych na terenach trudno dostępnych lub wymagających ciągłego nadzoru.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> Polniak, A. (2015). Autonomiczne jazy ruchome. *Energetyka Wodna*, (2), str. 49.



Fot. 6 Jaz powłokowy  
Źródło: Aqua-Tech

## Migracja

### Przepławki pasywne, bystrotoki

Przepławki pasywne i bystrotoki jako rozwiązania zapewniające ciągłość ekologiczną cieków. Przepławki pasywne (tradycyjne) są urządzeniami umożliwiającymi organizmom wodnym, przede wszystkim rybom, pokonywanie różnicy poziomów wody przy wykorzystaniu ich naturalnych zdolności pływackich, bez zastosowania mechanicznych systemów transportu. Stanowią one przeciwieństwo przepławek aktywnych, wykorzystujących rozwiązania mechaniczne do przemieszczania ryb.

Większość obecnie stosowanych urządzeń migracyjnych ma charakter pasywny i można je podzielić na dwie podstawowe grupy: przepławki techniczne oraz przepławki naturalne (bliskie naturze).

**Przepławki techniczne** wykonywane są zazwyczaj z betonu lub stali i charakteryzują się regularną, geometryczną konstrukcją. Do tej grupy zalicza się m.in. przepławki komorowe,

szczelinowe, meandrowe, szczotkowe oraz typu Denila. Ich działanie polega na podziale całkowitej różnicy poziomów wody na szereg komór lub basenów, pomiędzy którymi występują niewielkie spadki hydrauliczne, umożliwiające stopniowe przemieszczanie się ryb.

**Przepławki naturalne**, określane również jako rozwiązania bliskie naturze, odwzorowują charakter naturalnego koryta rzeki lub strumienia. Do tej grupy należą m.in. rampy kamienne, pochylnie, obejścia (bajpasy), przelewy szorstkie oraz bystrotoki.

Bystrotoki stanowią jedną z najbardziej efektywnych i ekologicznych form udroźnienia cieków. Ich konstrukcja opiera się na wykorzystaniu naturalnych materiałów, takich jak głazy, kamienie o zróżnicowanej granulacji, żwir oraz piasek, dzięki czemu możliwe jest odtworzenie warunków zbliżonych do naturalnego środowiska rzecznoego. Zróżnicowana struktura dna i brzegów tworzy miejsca odpoczynku dla ryb, takie jak głębooczki, zatoczki czy niewielkie laguny. Wraz z rozwojem roślinności bystrotoki mogą stopniowo przekształcać się w ekosystem funkcjonalnie zbliżony do naturalnego odcinka rzeki.

Szczególną formą tego typu rozwiązań są bystrza kamienne, które mogą całkowicie zastępować tradycyjne budowle piętrzące. Pozwalają one na zachowanie możliwości wykorzystania wody do celów energetycznych przy jednoczesnym zapewnieniu ciągłości ekologicznej i swobodnej migracji organizmów wodnych.

Do głównych zalet przepławek naturalnych, w tym bystrotoków, należy wysoka skuteczność migracyjna wynikająca z ich podobieństwa do naturalnych siedlisk ryb. Rozwiązania te często charakteryzują się również niższymi kosztami budowy, ponieważ nie wymagają wykonywania rozległych konstrukcji betonowych. Istotnym atutem jest także ich korzystny wpływ na krajobraz oraz możliwość harmonijnego wkomponowania w otoczenie. Ponadto przepławki naturalne zapewniają nie tylko migrację ryb, ale również umożliwiają transport rumowiska rzecznoego oraz przemieszczanie się innych organizmów wodnych, takich jak małże czy raki, przyczyniając się do zachowania ciągłości biologicznej ekosystemów rzecznych.

Jednocześnie rozwiązania te wiążą się z pewnymi ograniczeniami. Ze względu na wykorzystanie materiałów naturalnych są one bardziej podatne na procesy erozyjne i w niektórych przypadkach wymagają lokalnego zastosowania elementów wzmacniających. Kolejnym wyzwaniem jest konieczność zapewnienia odpowiedniego przepływu biologicznego, co może skutkować zwiększeniem ilości wody niewykorzystywanej do produkcji energii

w elektrowniach wodnych. Ponadto przepławki naturalne są trudniejsze do zabezpieczenia przed niepożądaną ingerencją człowieka, taką jak kłusownictwo niż konstrukcje techniczne wyposażone w systemy krat i innych zabezpieczeń.

Doświadczenia międzynarodowe wskazują na rosnącą popularność rozwiązań bliskich naturze. Przykładowo, w Finlandii większość przepławk budowanych przy małych elektrowniach wodnych stanowią właśnie bystrotoki oraz obejścia o charakterze naturalnym, natomiast przepławki techniczne stosowane są przede wszystkim przy dużych obiektach hydrotechnicznych. W Polsce, pomimo bogatych tradycji projektowych, wiele istniejących przepławk technicznych nie osiąga zakładanej skuteczności migracyjnej. Z tego względu zaleca się, aby każda nowo projektowana przepławka była poprzedzona badaniami modelowymi oraz objęta monitoringiem biologicznym po oddaniu do użytkowania, co umożliwi obiektywną ocenę jej efektywności i ewentualne wprowadzenie działań korygujących.<sup>20</sup>



Fot. 7 Od lewej: Bystrotok; przepławka naturalna przy Elektrowni Wodnej Freudenau  
Źródło: po lewej – S. Babiński, po prawej – W. Reckendorfer

---

<sup>20</sup> Martyniak, K. (2016). Przepławki naturalne- wspólna korzyść. *Energetyka Wodna*, (2), strony 55-56.

## Windy dla ryb

Winda dla ryb jest mechanicznym urządzeniem transportowym przeznaczonym do zapewnienia ciągłości migracyjnej organizmów wodnych w miejscach, gdzie wysokość piętrzenia uniemożliwia zastosowanie lub efektywne funkcjonowanie konwencjonalnych przepławek. Rozwiązania tego typu znajdują zastosowanie przede wszystkim przy wysokich budowlach hydrotechnicznych, takich jak zapory czy elektrownie wodne.<sup>21</sup>

Idea stosowania wind dla ryb nie jest nowa i od wielu lat funkcjonuje w różnych krajach świata. Wspólnym elementem wszystkich konstrukcji jest pionowy szyb, za pośrednictwem którego ryby są transportowane z dolnego do górnego stanowiska. W zależności od sposobu przemieszczania organizmów wyróżnia się trzy podstawowe typy wind dla ryb:

- **windy ze zbiornikiem**, w których ryby wpływają do zamkniętego pojemnika wypełnionego wodą, a następnie są podnoszone wraz z nim;
- **windy szybowe**, w których cały szyb jest okresowo wypełniany wodą, umożliwiając rybom swobodne przemieszczanie się wraz z unoszącym się lustrem wody;
- **windy ciśnieniowe**, wykorzystujące niewielkie nadciśnienie do przemieszczania wody i unoszenia ryb na wyższy poziom.<sup>22</sup>

W literaturze opisywana jest również nowoczesna koncepcja windy energetycznej, której celem jest ograniczenie strat energetycznych związanych z zapewnieniem migracji ryb. Rozwiązanie to umożliwia wykorzystanie niemal całego przepływu wody do produkcji energii elektrycznej, przy jednoczesnym zachowaniu funkcji ekologicznej obiektu.

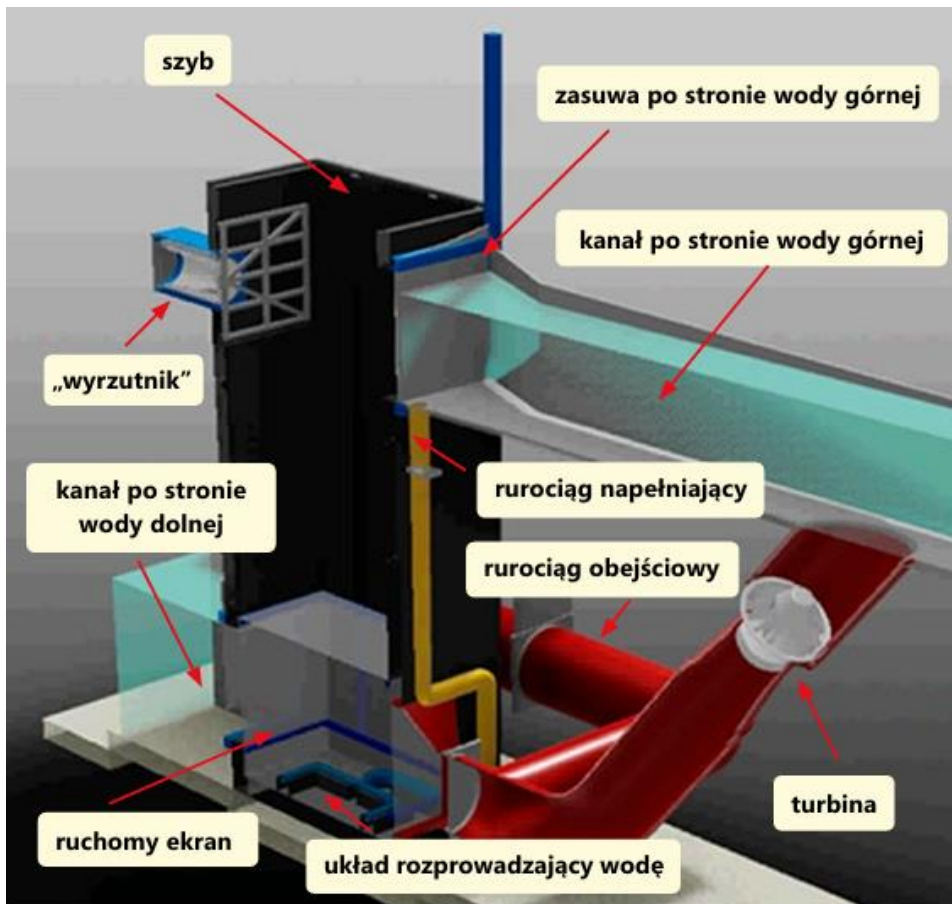
Podstawowym elementem systemu jest **ładownica**, czyli ruchome sito kratowe przemieszczające się powoli w kanale dolnym. Jej zadaniem jest naprowadzanie ryb do pionowego szybu windy. Centralną część urządzenia stanowi **szyb transportowy**, wykonany najczęściej ze stali lub betonu, wyposażony w unoszący się ekran kratowy osadzony na pływakach. Poziom położenia ekranu jest uzależniony od aktualnego poziomu wody w szybie.

---

<sup>21</sup> Ball, I., Hendricks, D., Jawaid, T. S., Rutz, D. i Steller, J. (2020). *Handbook on EU hydropower industry*. Monachium: WIP Renewable Energies.

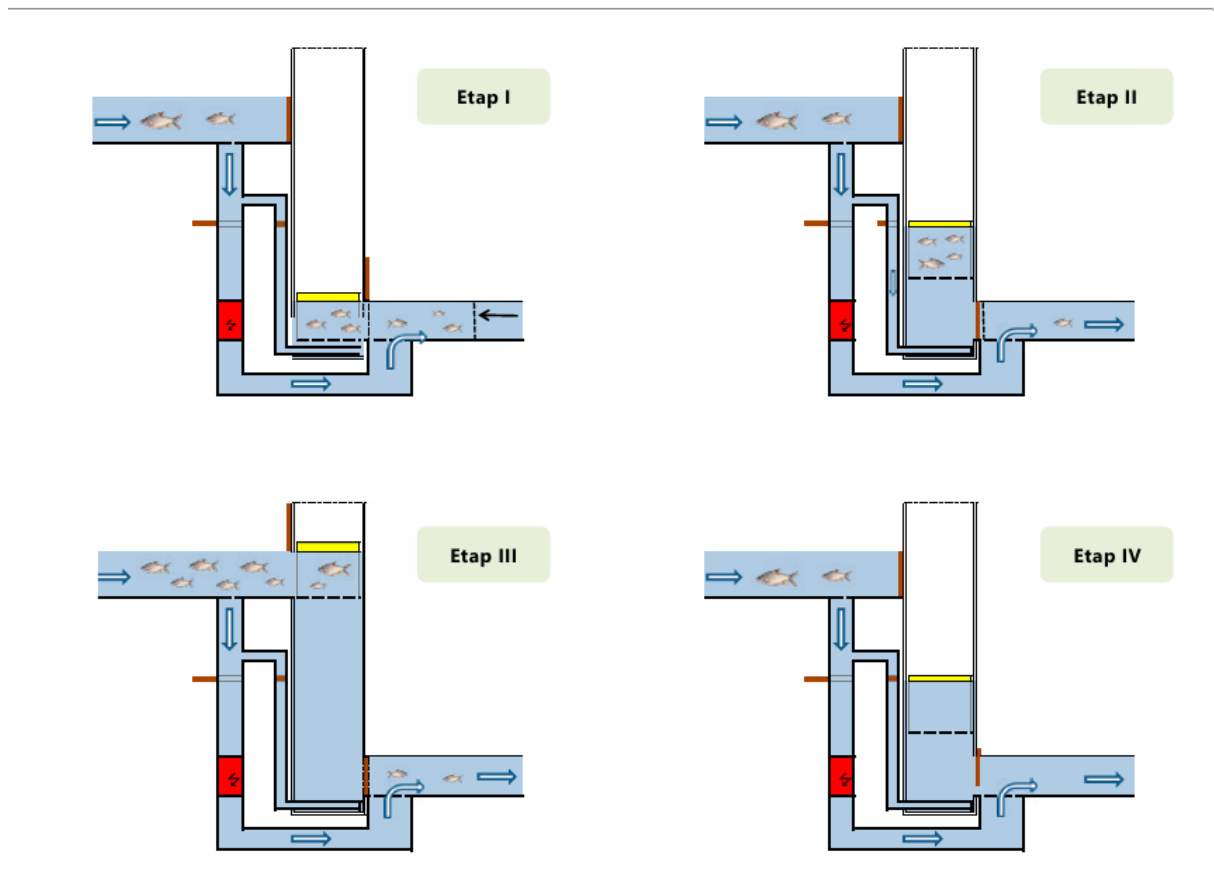
<sup>22</sup> Pelikan, B. (2022). Winda dla ryb – ciągłość biologiczna rzek w zgodzie z produkcją energii. *Energetyka Wodna*, (2), strony 48-50.

Dodatkowym elementem systemu może być **turbina śmigłowa**, instalowana w obejściu szybu. Umożliwia ona odzysk energii z przepływu wody wykorzystywanej podczas pracy urządzenia, zwiększając efektywność energetyczną całego układu. Po osiągnięciu przez wodę poziomu górnego stanowiska uruchamiany jest **wyrzutnik**, którego zadaniem jest skierowanie ryb do górnego odcinka cieku.



Rys. 1 Główne element windy dla ryb  
Źródło: B. Pelikan

Cykl pracy windy dla ryb obejmuje cztery podstawowe etapy. W pierwszym etapie, przy otwartej dolnej zasuwie, ryby są naprowadzane przez ładownicę do wnętrza szybu. Następnie dolna zasuwka zostaje zamknięta, a szyb jest napełniany wodą, co powoduje unoszenie się ekranu wraz z przebywającymi na nim rybami. Po osiągnięciu poziomego stanowiska górnego otwierana jest górna zasuwka, a ryby opuszczają urządzenie. Ostatnim etapem jest opróżnienie szybu, podczas którego poziom wody obniża się, a ekran oraz pozostałe elementy mechaniczne wracają do położenia początkowego, przygotowując urządzenie do kolejnego cyklu pracy.



Rys. 2 Etapy cyklu pracy windy dla ryb  
 Źródło: B. Pelikan

Do najważniejszych zalet wind dla ryb należy ich wysoka efektywność energetyczna. W porównaniu z tradycyjnymi przepławkami szczelinowymi rozwiązania te mogą znacząco ograniczać straty produkcji energii elektrycznej, które według dostępnych analiz wynoszą około 8,8%. Ponadto, w przypadku piętrzeń przekraczających około 4 m, koszty budowy windy dla ryb mogą być istotnie niższe niż koszty wykonania tradycyjnych przepławek, osiągając nawet około 50% ich wartości.<sup>23</sup>

Istotną zaletą tego rozwiązania jest również ograniczenie wysiłku energetycznego ryb. Organizmy wodne są unoszone pasywnie wraz z wodą, dzięki czemu nie muszą pokonywać silnych prądów ani wykonywać intensywnego wysiłku pływackiego. Dodatkowo windy dla ryb zajmują znacznie mniejszą powierzchnię niż klasyczne przepławki, co może mieć szczególne

<sup>23</sup> Pelikan, *Winda dla ryb – ciągłość biologiczna rzek w zgodzie z produkcją energii*, s. 49





Fot. 8 Aktywna przeławka w Starogardzie Gdańskim na rzece Wierzyca  
Źródło: IOZE hydro

### **Efektywność energetyczna i ekonomiczna**

Przeławki aktywne są określane jako rozwiązania o dodatnim bilansie energetycznym, co stanowi istotną innowację w zakresie udrażniania cieków wodnych. Wirnik zainstalowany w torze zstępującym może pracować w trybie turbiny, wytwarzając energię elektryczną. Analizy wskazują, że ilość produkowanej energii może wielokrotnie przewyższać zapotrzebowanie energetyczne toru wstępującego.

Nadwyżki energii mogą być przekazywane do sieci elektroenergetycznej, co poprawia opłacalność inwestycji i umożliwia generowanie dodatnich przepływów finansowych. Dodatkową zaletą przeławek aktywnych jest ich niewielkie zapotrzebowanie na przestrzeń – zastosowanie śrub Archimedesów pozwala ograniczyć powierzchnię zajmowaną przez urządzenie nawet kilkukrotnie w porównaniu z tradycyjnymi przeławkami basenowymi.<sup>28</sup>

### **Korzyści środowiskowe**

Istotnym atutem przeławek aktywnych jest ich wysoki poziom bezpieczeństwa dla organizmów wodnych. Śruby Archimedesów zaliczane są do urządzeń typu *fish-friendly*, co

---

<sup>28</sup> Alapfy, *Hydroshaft - przyjazna dla środowiska, skalowalna i ekonomiczna elektrownia wodna*, s. 25.

oznacza, że umożliwiają transport ryb bez konieczności gwałtownych zmian ciśnienia i przy minimalnym ryzyku urazów lub śmiertelności.

Ponadto rozwiązanie to pozwala rybom pokonywać różnice poziomów praktycznie bez utraty energii, co ma szczególne znaczenie w przypadku migracji na tarliska. Technologia ta umożliwia również udrożnienie obiektów o niewielkich wysokościach piętrzenia, które często stanowią istotne bariery dla migracji organizmów wodnych.<sup>29</sup>

### **Ograniczenia i przykłady zastosowań**

Podstawowym ograniczeniem przepławek aktywnych jest maksymalna wysokość piętrzenia obsługiwana przez pojedyncze urządzenie, która wynosi około 5 m. W przypadku większych różnic poziomów możliwe jest jednak zastosowanie układu kaskadowego, składającego się z kilku kolejnych urządzeń.

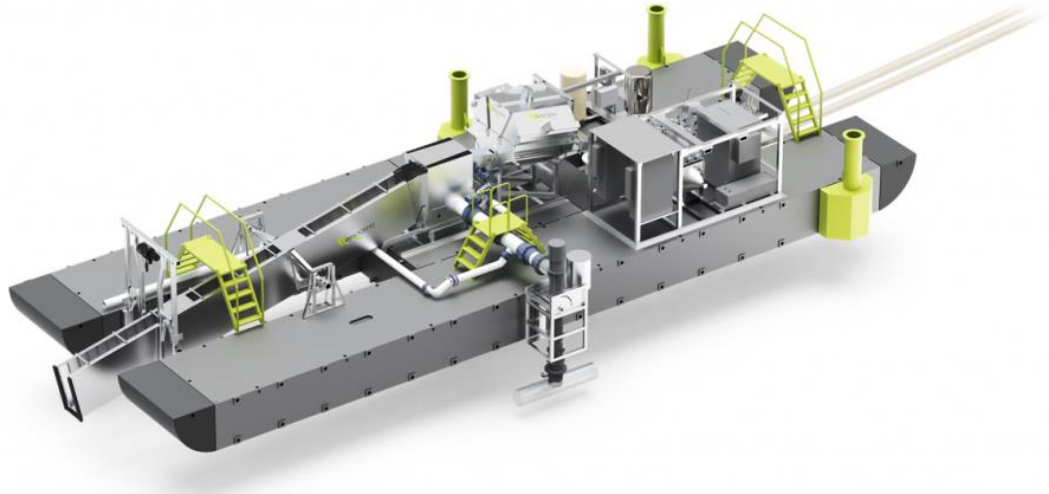
Przykładami zastosowania tej technologii w Polsce są m.in. mała elektrownia wodna MEW Smrock, wyposażona w aktywną przepławkę wykorzystującą dwie śruby Archimedes – jedną pracującą jako turbina, a drugą jako pompa – oraz instalacja zlokalizowana na rzece Wierzyca w Starogardzie Gdańskim.

W literaturze i dostępnych opracowaniach opisano również inne innowacyjne rozwiązania aktywne, takie jak systemy windowe opracowane przez REHART i Strasser, a także pneumatyczne systemy transportu ryb, np. Whooshh, określane potocznie jako „armata łososiowa”, umożliwiające przemieszczanie ryb na znaczne odległości i wysokości za pomocą specjalnych przewodów transportowych.<sup>30</sup>

---

<sup>29</sup> Mróz, *Mała energetyka wodna szansą na uzyskanie ciągłości podłużnej cieku*, s. 55.

<sup>30</sup> Alapfy, *Hydroshaft - przyjazna dla środowiska, skalowalna i ekonomiczna elektrownia wodna*, s. 25.



*Fot. 9 PassagePortal Model F*  
*Źródło: Whooshh.com*

W grupie przepławek aktywnych wyróżnia się system Fishcon, będący dwukomorową przepławką typu bypass, łączącą funkcję zapewnienia migracji organizmów wodnych z możliwością wykorzystania energii przepływu. Konstrukcja stanowi rozwinięcie klasycznych śluz i wind dla ryb, których podstawowym ograniczeniem jest nieciągły tryb pracy wpływający na ograniczoną dostępność migracyjną.

Dzięki możliwości migracji dwukierunkowej system umożliwia jednocześnie przemieszczanie się organizmów wodnych w górę i w dół cieku, bez konieczności oczekiwania na zakończenie pełnego cyklu pracy urządzenia. Rozwiązanie to zapewnia bardziej równomierne warunki migracyjne w porównaniu z tradycyjnymi przepławkami, w których transport odbywa się etapowo i jest ograniczony czasowo. Istotną cechą systemu jest również utrzymanie stabilnych warunków hydraulicznych wewnątrz komór, co sprzyja efektywności naprowadzania organizmów wodnych i poprawia skuteczność działania przepławki.

Zasada działania systemu opiera się na dwóch komorach wyposażonych w zasuwę (górną i dolną), połączonych rurą przepływową. Komory pracują naprzemiennie w cyklach sterowanych hydraulicznie, dzięki czemu w każdej fazie jedna komora umożliwia przepływ wody z górnego stanowiska, a druga z dolnego. Takie rozwiązanie zapewnia ciągłość funkcjonowania przepławki oraz umożliwia jednoczesną migrację organizmów wodnych w obu kierunkach, bez konieczności oczekiwania na zakończenie pojedynczego cyklu transportowego.

Istotnym elementem systemu jest rura łącząca komory, w której może zostać zainstalowana turbina lub element regulujący przepływ. Umożliwia to częściowy odzysk energii hydraulicznej wody, dzięki czemu Fishcon pełni również funkcję przepławki aktywnej. Wykorzystanie przepływu wabiącego dodatkowo zwiększa skuteczność naprowadzania organizmów wodnych do urządzenia, poprawiając jego efektywność hydrauliczną i ekologiczną.<sup>31</sup>

## Bariery, pozostałe rozwiązania

Bariery behawioralne stanowią grupę rozwiązań inżynierskich wykorzystywanych w ochronie organizmów wodnych podczas ich migracji w ciekach hydrologicznych. Zgodnie z opracowaniem „*Handbook on EU hydropower industry*”, należą one do tzw. barier sensorycznych i behawioralnych (ang. *sensory or behavioural barriers*), których podstawowym celem jest modyfikacja warunków środowiskowych w sposób wpływający na zachowanie ryb i kierujący je w stronę bezpiecznych tras migracyjnych, takich jak przepławki, przelewy lub inne obejścia budowli piętrzących. Mechanizm działania opiera się na wykorzystaniu naturalnych reakcji organizmów na bodźce zewnętrzne.<sup>32</sup>

Do najczęściej stosowanych bodźców zalicza się dźwięk (w tym ultradźwięki), światło, pola elektryczne, kurtyny pęcherzyków powietrza oraz ekrany łańcuchowe. W literaturze przedmiotu wskazuje się również na rozwiązania konstrukcyjne pełniące funkcję barier behawioralnych, takie jak zakrzywione kraty (CBR – *Curved-Bar Racks*), które dzięki swojej geometrii i charakterystyce przepływu zapewniają wysoką skuteczność ukierunkowania ryb przy jednoczesnej poprawie warunków hydraulicznych. Podobny efekt uzyskuje się w przypadku żaluzji i krat skośnych (tzw. luwrów), gdzie ryby reagują unikaniem stref silnych turbulencji powstających wokół elementów konstrukcyjnych, co prowadzi je w kierunku bypassu.

Do innych rozwiązań zalicza się koncepcję *Hydroshaft*, wykorzystującą poziome kraty równoległe do dna jako naturalną barierę behawioralną, oraz system IDA (*Induced Drift Application*), w którym stosuje się pola elektryczne do modulowania zachowania ryb poprzez

---

<sup>31</sup> Fishcon. The fish pass for an ecological balance. *fishcon.at*. [Online] <https://fishcon.at/en/fish-pass/#schleuse>.

<sup>32</sup> Alapfy, *Hydroshaft - przyjazna dla środowiska, skalowalna i ekonomiczna elektrownia wodna*, s. 26.

ich odstraszenie lub przyciąganie, zwiększając tym samym ich przeżywalność podczas przejścia przez obszar oddziaływania turbiny.

Wskazuje się jednocześnie, że bariery behawioralne, mimo iż są korzystne z punktu widzenia eksploatacji – wymagają bowiem relatywnie niewielkich nakładów na konserwację i czyszczenie – cechują się ograniczoną przewidywalnością skuteczności w warunkach terenowych. Wyniki ich działania często odbiegają od rezultatów uzyskiwanych w warunkach laboratoryjnych, a ich efektywność jest ograniczona m.in. do niskich prędkości przepływu (poniżej 0,3 m/s). W konsekwencji skuteczność tych rozwiązań zależy zarówno od warunków hydraulicznych, jak i od gatunku ryb oraz specyfiki lokalnego ekosystemu.<sup>33</sup>

W ramach projektu LIFE4FISH analizowano praktyczne zastosowanie wybranych barier behawioralnych, w tym bariery elektrycznej, systemów zarządzania pracą turbin w oparciu o modele migracji oraz bariery bąbelkowej. Celem wszystkich rozwiązań było ograniczenie ryzyka przedostawania się ryb, w szczególności węgorza srebrzystego, do turbin elektrowni wodnych.

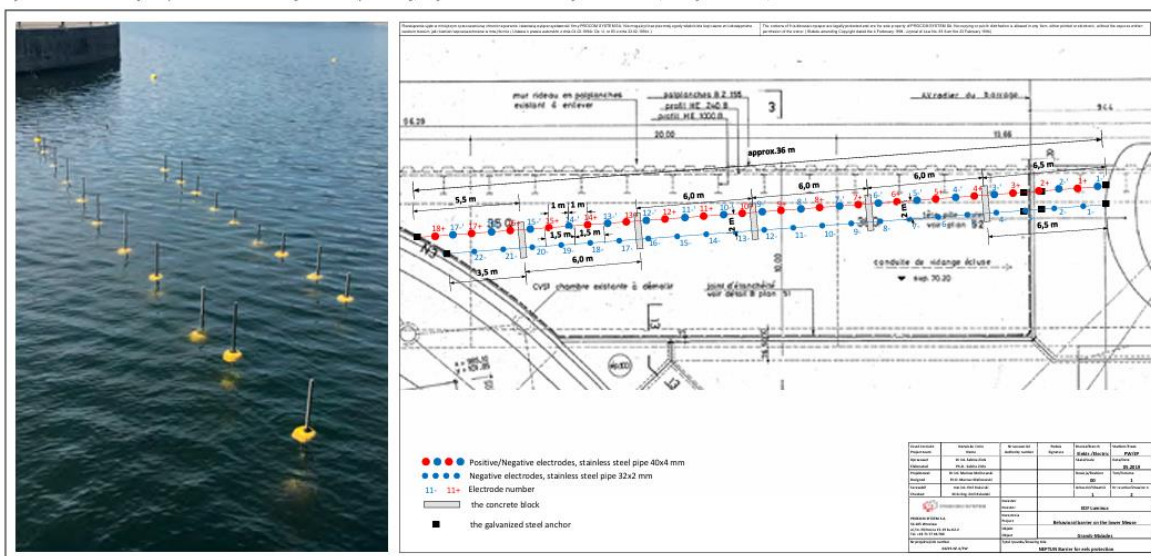
Najwyższą skuteczność uzyskała bariera elektryczna **Neptun**, zastosowana przy elektrowni Grands-Malades. System ten składał się z elektrod generujących pole elektryczne w rejonie wlotu do instalacji. Oddziaływanie bodźca powodowało zmianę trajektorii migracji węgorzy, które unikały wejścia do kanału doprowadzającego wodę do turbin. Skuteczność rozwiązania wyniosła 71%, a po uwzględnieniu zmiennych warunków hydrologicznych około 52%, co stanowiło istotną poprawę względem stanu wyjściowego<sup>34</sup>.

---

<sup>33</sup> Mróz, Mała energetyka wodna szansą na uzyskanie ciągłości podłużnej cieku, strony 55.

<sup>34</sup> Augustyn, P. (2021). Ocena skuteczności metod łagodzących ograniczenia migracji węgorza srebrzystego. *Energetyka Wodna*, (3), strony 64-68.

Rys. 2. Widok bariery Neptun zainstalowanej w CHG (po lewej) i rysunek zainstalowanych elektrod (Sonny i in. 2020).



Rys. 3 Od lewej: Widok bariery Neptun zainstalowanej w CHG; rysunek zainstalowanych elektrod  
Źródło: Sonny i in. 2020

Drugim analizowanym podejściem było zarządzanie pracą elektrowni w oparciu o model predykcyjny identyfikujący okresy intensywnej migracji węgorza. Rozwiązanie to dotyczyło organizacji i harmonogramowania pracy instalacji, a nie jej modyfikacji technicznej. Model ten uwzględniał m.in. sezonowość migracji oraz parametry hydrologiczne, takie jak aktualny przepływ rzeki i jego zmienność w czasie. W sytuacji prognozowanego nasilenia migracji planowano czasowe wyłączenie turbin, szczególnie w godzinach nocnych, co miało umożliwić bezpieczne przejście ryb.<sup>35</sup> Przykładem skutecznego zastosowania podobnej strategii zarządzania pracą elektrowni jest MEW Anundsjö, zlokalizowana na rzece Mo w Szwecji. Obiekt ten wykorzystuje system sterowania pracą turbiny dostosowany do okresów migracji ryb. W kluczowych momentach migracyjnych stosuje się czasowe zatrzymanie pracy turbin, natomiast przepływ wody kierowany jest przez zamknięcia jazu, co tworzy warunki sprzyjające migracji organizmów wodnych.<sup>36</sup>

Rozwiązanie to pełni jednocześnie funkcję tzw. przepływu wabiącego, który ułatwia naprowadzanie migrujących gatunków, takich jak łoś, na bezpieczne obejście infrastruktury hydrotechnicznej. Dzięki temu możliwe jest ograniczenie kolizji pomiędzy produkcją energii a

<sup>35</sup> Augustyn, *Ocena skuteczności metod łagodzących ograniczenia migracji węgorza srebrzystego*, s. 65.

<sup>36</sup> Europejska Federacja Energetyki Odnawialnej, *Mata energetyka wodna i unijny Zielony Ład*.

potrzebami ekologicznymi ekosystemu rzecznoego, zarówno w zakresie migracji w górę, jak i w dół cieku.

Najmniej efektywna okazała się bariera bąbelkowa, polegająca na wytwarzaniu kurtyny pęcherzyków powietrza przed wlotem do elektrowni. Zakładano, że bodziec ten będzie skutecznie odstraszał ryby, jednak wyniki badań nie potwierdziły tej hipotezy. Dodatkowo system charakteryzował się niską odpornością na zmienne warunki hydrologiczne, wysokim zużyciem energii oraz emisją hałasu. W konsekwencji jego skuteczność oceniono na poziomie 0%, a dalszy rozwój tej technologii w ramach projektu został zaniechany.

Podsumowując, bariery behawioralne stanowią istotny kierunek rozwoju metod ochrony migracji ryb, łącząc elementy inżynierii środowiska i biologii behawioralnej. Ich skuteczność jest jednak silnie zróżnicowana i zależna od wielu czynników, w tym warunków hydraulicznych, zastosowanej technologii oraz specyfiki biologicznej gatunków. Największy potencjał aplikacyjny wykazują rozwiązania oparte na polach elektrycznych, natomiast pozostałe metody wymagają dalszych badań i optymalizacji w warunkach rzeczywistych.<sup>37</sup>

## Monitoring

### Narzędzia cyfrowe wspierające monitoring

W procesie analizy przestrzennej środowiska wodnego istotną rolę odgrywają cyfrowe narzędzia analityczne, takie jak GIS (Systemy Informacji Geograficznej), NMT (Numeryczny Model Terenu) oraz GPS (Globalny System Pozycjonowania), które umożliwiają precyzyjne mapowanie obszarów piętrzenia, lokalizacji gatunków chronionych oraz zasięgu wód cofki. Ich zastosowanie w energetyce wodnej stanowi istotny element opracowywania wiarygodnej i szczegółowej dokumentacji środowiskowej dla małych elektrowni wodnych.<sup>3839</sup>

Technologia GPS znajduje szerokie zastosowanie w pracach inwentaryzacyjnych prowadzonych w terenie, stanowiąc istotne wsparcie w dokumentowaniu rozmieszczenia elementów

---

<sup>37</sup> Mróz, *Mała energetyka wodna szansą na uzyskanie ciągłości podłużnej cieku*, s. 57.

<sup>38</sup> Kalina, Ł. i Mróz, W. (2016). Dobre praktyki w postępowaniach środowiskowych dla małych elektrowni wodnych - część I. *Energetyka Wodna*, (4), strony 45-46.

<sup>39</sup> Kalina, Ł. i Mróz, W. (2017). Dobre praktyki w postępowaniach środowiskowych dla małych elektrowni wodnych - część II. *Energetyka Wodna*, (1), strony 49-50.

środowiska przyrodniczego. Umożliwia ona precyzyjne przypisanie współrzędnych geograficznych do miejsc występowania poszczególnych gatunków flory i fauny, co znacząco zwiększa dokładność prowadzonych obserwacji. Zarejestrowane dane przestrzenne mogą być następnie przenoszone do systemów komputerowych i poddawane dalszej analizie, co ułatwia ich integrację z innymi warstwami informacyjnymi. Dzięki temu możliwe jest również tworzenie wiarygodnej dokumentacji terenowej, obejmującej zarówno lokalizację, jak i liczebność oraz rozmieszczenie obserwowanych organizmów.<sup>40</sup>

Systemy GIS znajdują szerokie zastosowanie w analizach środowiskowych związanych z realizacją inwestycji hydrotechnicznych, w szczególności w zakresie określania zasięgu oddziaływania przedsięwzięcia, co stanowi istotny element procedur administracyjnych i oceny środowiskowej.<sup>41</sup> W połączeniu z numerycznym modelem terenu umożliwiają one również wykonywanie szczegółowych analiz hydraulicznych, w tym symulacji zasięgu piętrzenia wody i zmian warunków przepływu.<sup>42</sup> Dane pozyskane w terenie, m.in. za pomocą GPS, mogą być następnie przetwarzane w środowisku GIS i przedstawiane w formie map oraz opracowań graficznych stanowiących element dokumentacji środowiskowej.<sup>43</sup> Z tego względu wykorzystanie narzędzi GIS jest obecnie traktowane jako standard w pracy specjalistycznych firm projektowych i doradczych zajmujących się planowaniem próśrodkowych inwestycji energetycznych.

Stosowanie zaawansowanych metod analizy oddziaływania na środowisko, często rekomendowanych przez instytucje administracji publicznej, znacząco zwiększa wiarygodność dokumentacji projektowej i tym samym prawdopodobieństwo jej pozytywnego rozpatrzenia przez organy takie jak Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska (RDOŚ).<sup>44,45</sup>

## Bezinwazyjny monitoring ryb

Bezinwazyjny monitoring ichtiofauny obejmuje zestaw nowoczesnych technologii umożliwiających obserwację i analizę migracji oraz zachowań ryb bez konieczności ich

---

<sup>40</sup> Mazur, K., Trzuskowska, J., Wachecki, M. i Wnuk, A. (2025). Inwentaryzacja przyrodnicza jako podstawa dokumentacji środowiskowej. *Energetyka Wodna*, strony 50-51.

<sup>41</sup> Mróz, W. (2016). Strony postępowania w procedurze środowiskowej - prawa i obowiązki. *Energetyka Wodna*, (1), strony 56-58.

<sup>42</sup> Kalina i Mróz, *Dobre praktyki w postępowaniach środowiskowych dla małych elektrowni wodnych – część I*, s. 45.

<sup>43</sup> Mazur i in., *Inwentaryzacja przyrodnicza jako podstawa dokumentacji środowiskowej*, s. 50.

<sup>44</sup> Kalina i Mróz, *Dobre praktyki w postępowaniach środowiskowych dla małych elektrowni wodnych – część I*, s. 45.

<sup>45</sup> Kalina i Mróz, *Dobre praktyki w postępowaniach środowiskowych dla małych elektrowni wodnych – część II*, s. 50.

odławiania czy znakowania, co pozwala na zachowanie ich naturalnej swobody. Metody te opierają się na wykorzystaniu zaawansowanych technologii pomiarowych, takich jak systemy hydroakustyczne, monitoring wideo wspierany algorytmami sztucznej inteligencji oraz techniki telemetrii pasywnej. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie wiarygodnych danych w sposób ciągły i minimalnie inwazyjny, co ogranicza stres u organizmów wodnych oraz eliminuje ryzyko zaburzenia ich naturalnych zachowań. Rozwiązania te umożliwiają jednocześnie analizę parametrów migracyjnych i biologicznych w czasie rzeczywistym, stanowiąc coraz częściej standard w ocenie funkcjonowania przepławek oraz oddziaływania obiektów hydrotechnicznych na ekosystemy rzeczne. Jednocześnie rozwiązanie to wiąże się z ograniczeniami, takimi jak wysoki koszt instalacji i utrzymania, konieczność analizy dużych zbiorów danych przez specjalistów oraz spadek skuteczności w warunkach zwiększonej mętności wody, co może powodować przerwy w monitoringu.<sup>46</sup>



Fot. 10 Kamera Riverwatcher  
Źródło: Archiwum ZBE

W praktyce proces monitoringu realizowany jest poprzez skierowanie przepływu ryb do specjalnie ukształtowanej strefy pomiarowej, najczęściej w formie tunelu lub zwężenia, w którym instalowane są kamery podwodne. W momencie przepływu przez tę strefę każdy osobnik jest automatycznie wykrywany przez system rejestrujący, a jego sylwetka zapisywana

---

<sup>46</sup> Ciężak, K., Sobieszczyk, P. i Żurek, R. (2024). Zasady biologicznej oceny funkcjonalności urządzeń służących migracji ryb. *Energetyka Wodna*, (2), strony 42-48.

w postaci sekwencji obrazu lub pojedynczych klatek. Następnie oprogramowanie dokonuje analizy zarejestrowanego materiału, identyfikując obiekt jako rybę oraz wyznaczając podstawowe parametry, takie jak wielkość, kierunek przemieszczania się oraz czas przejścia przez punkt pomiarowy.

Zebrane dane są następnie archiwizowane i przetwarzane w systemie komputerowym, co pozwala na tworzenie zestawień statystycznych dotyczących intensywności migracji w czasie rzeczywistym lub w ujęciu okresowym. W bardziej zaawansowanych rozwiązaniach wyniki mogą być również wizualizowane w formie wykresów lub zestawień gatunkowych, stanowiących podstawę do dalszych analiz ekologicznych i oceny efektywności przepławek.<sup>47</sup>

---

<sup>47</sup> Ciężak, Sobieszczyk i Żurek. *Zasady biologicznej oceny funkcjonalności urządzeń służących migracji ryb*, s. 44.



Fot. 11 Zdjęcia gatunków zaobserwowanych w tunelu urządzenia  
 Źródło: Archiwum ZBE

## Inwazyjne metody monitoringu

Niektóre metody monitoringu obejmują techniki wymagające bezpośredniej ingerencji w organizmy ryb, realizowane poprzez ich wcześniejszy odłów oraz implantację znaczników telemetrycznych. Rozwiązania te, mimo wysokiej precyzji danych, wiążą się z oddziaływaniem na fizjologię i zachowanie badanych osobników, dlatego stosowane są głównie w badaniach specjalistycznych oraz analizie efektywności migracji w obrębie obiektów hydrotechnicznych.

Telemetria ryb stanowi jedną z najbardziej zaawansowanych metod monitoringu migracji ichtiofauny, umożliwiającą śledzenie przemieszczania się oznakowanych osobników w środowisku wodnym. W zależności od zastosowanej technologii wykorzystuje się aktywne nadajniki akustyczne lub pasywne transpondery PIT-tag.

Telemetria akustyczna wykorzystuje aktywne znaczniki emitujące sygnały dźwiękowe o określonej częstotliwości, które są odbierane przez hydrofony rozmieszczone wzdłuż monitorowanego odcinka cieku. W celu przeprowadzenia badań ryby są wcześniej odławiane, a następnie poddawane zabiegowi implantacji mikronadajników do jamy ciała. Po okresie rekonwalescencji oznakowane osobniki są wypuszczane do środowiska naturalnego, a ich przemieszczanie się jest rejestrowane przez sieć odbiorników. Odpowiednie rozmieszczenie hydrofonów umożliwia nie tylko stwierdzenie obecności ryby w danym miejscu, lecz także określenie kierunku migracji, prędkości przemieszczania się oraz czasu potrzebnego na pokonanie przeszkody hydrotechnicznej. W bardziej zaawansowanych systemach możliwe jest również odtworzenie trójwymiarowej trajektorii ruchu ryb.

Alternatywnym rozwiązaniem są pasywne transpondery PIT-tag (Passive Integrated Transponder), działające w technologii RFID. W przeciwieństwie do nadajników akustycznych nie emitują one własnego sygnału i nie wymagają źródła zasilania. Każdy transponder posiada unikalny kod identyfikacyjny, który jest odczytywany przez anteny rejestrujące w momencie przepływu ryby przez strefę detekcji. Podobnie jak w przypadku telemetrii akustycznej, metoda wymaga wcześniejszego odłowienia i oznakowania osobników, najczęściej poprzez implantację znacznika w jamie brzusznej. System składa się z czytników RFID oraz anten dostosowanych do geometrii przepławki lub monitorowanego odcinka rzeki. Zarejestrowane dane pozwalają na identyfikację konkretnych osobników oraz analizę skuteczności migracji, w tym określenie liczby ryb pokonujących przepławkę i czasu ich przejścia przez obiekt. Dzięki niewielkim rozmiarom znaczników oraz braku konieczności stosowania baterii systemy PIT-tag są szeroko wykorzystywane w badaniach migracji ryb na małych i średnich obiektach hydrotechnicznych.<sup>48</sup>

---

<sup>48</sup> Ciężak, Sobieszcyk i Żurek. *Zasady biologicznej oceny funkcjonalności urządzeń służących migracji ryb*, s. 45.

## Strategiczne Zarządzanie Zasobami i Klimatem

### Połączenie małych elektrowni wodnych z małą retencją

Małe elektrownie wodne (MEW) coraz częściej postrzegane są nie tylko jako źródło odnawialnej energii, lecz również jako istotny element lokalnej gospodarki wodnej. Integracja funkcji energetycznej z małą retencją tworzy układ o charakterze synergicznym, przynoszący korzyści zarówno gospodarcze, jak i środowiskowe. W ostatnich latach w Polsce coraz wyraźniej obserwuje się skutki zmian klimatycznych, przejawiające się m.in. wzrostem częstotliwości i intensywności susz, wydłużaniem okresów bezopadowych oraz występowaniem gwałtownych zjawisk pogodowych, takich jak nawalne deszcze i lokalne podtopienia. Zjawiska te prowadzą do coraz większej niestabilności zasobów wodnych, utrudniając efektywne gospodarowanie wodą zarówno w rolnictwie, gospodarce komunalnej, jak i ochronie środowiska. W tej sytuacji szczególnego znaczenia nabierają rozwiązania umożliwiające zatrzymywanie wody w krajobrazie oraz zwiększanie lokalnej retencji, które pozwalają ograniczać skutki niedoborów wody i poprawiać odporność ekosystemów na zmieniające się warunki klimatyczne.

### Historyczne uwarunkowania i znaczenie dla retencji

Historycznie młyny wodne oraz niewielkie elektrownie były trwałym elementem krajobrazu wielu regionów Polski, zwłaszcza Wielkopolski. Obiekty te, oprócz produkcji energii mechanicznej, pełniły funkcję lokalnych urządzeń retencyjnych, umożliwiając zatrzymywanie wody i stabilizację stosunków wodnych przez wiele dziesięcioleci. Sieć hydrograficzna była ściśle powiązana z systemem niewielkich piętrzeń, które tworzyły rozproszony system magazynowania zasobów wodnych w krajobrazie rolniczym. Obecnie wskazuje się, że odbudowa lub modernizacja dawnych lokalizacji młynów i siłowni wodnych, których potencjał w Polsce szacuje się na około 8 tys. obiektów, mogłaby przyczynić się zarówno do zwiększenia

produkcji energii odnawialnej, jak i do poprawy retencji oraz ograniczenia obniżania się poziomu wód w niewielkich ciekach.<sup>49 50</sup>



Fot. 11 Rzeka Nępcza w 2009 r. (u góry) i w 2016 r. (na dole)  
Źródło: B. Igliński

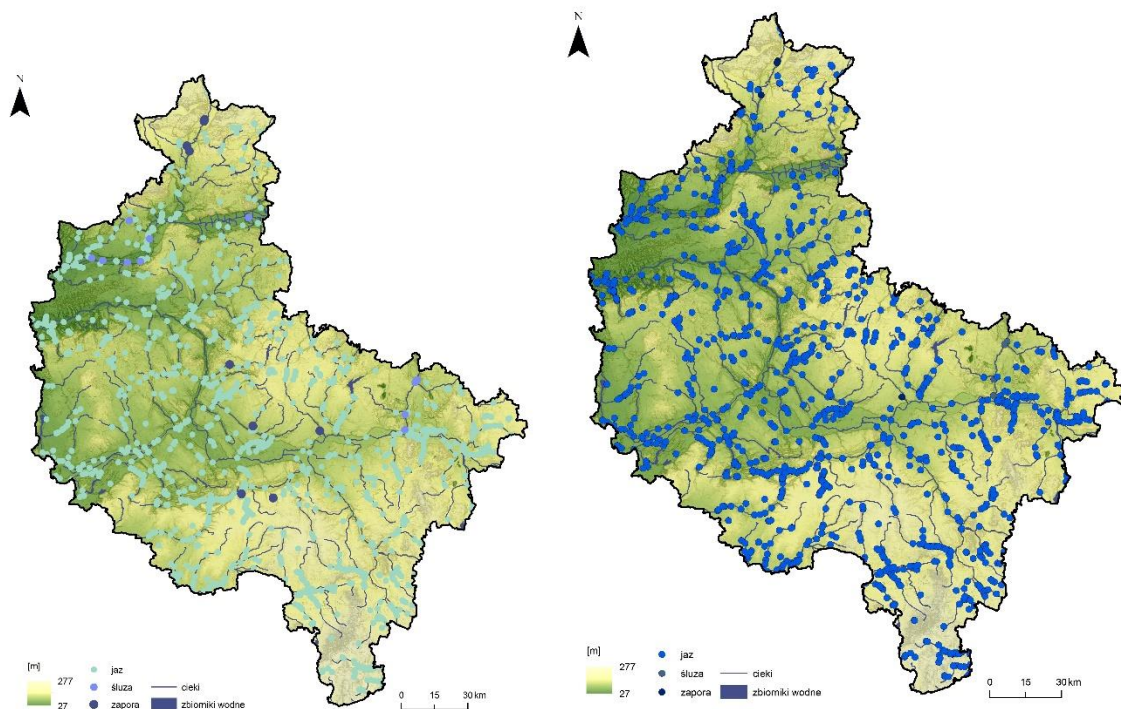
### Rola MEW w przeciwdziałaniu suszy i stepowieniu

Jednym z najważniejszych argumentów przemawiających za rozwojem MEW zintegrowanych z małą retencją jest ich potencjalna rola w przeciwdziałaniu skutkom suszy i procesowi stepowienia niektórych regionów kraju. Dotyczy to w szczególności obszarów o znacznym deficycie wodnym, takich jak Wielkopolska.<sup>51</sup>

<sup>49</sup> Igliński, B., Skrzatek, M. (2019). Czy mała retencja pomoże zatrzymać stepowienie Wielkopolski? *Energetyka Wodna*, (1), strony 46-48.

<sup>50</sup> Malicka, E. (2022). Stan i potrzeby zmian regulacji prawnych związanych z rozwojem małej energetyki. W P. Wyszowski, Z. Piwowarek i Z. Pałejko, *Małe elektrownie wodne w Polsce* (strony 64-67). Warszawa: UN Global Compact Network Poland.

<sup>51</sup> Majewski, W. (2021). Hydrotechniczne i energetyczne mity ekologów. *Energetyka Wodna*, (2), strony 50-54.



Rys. 4 Od lewej: Lokalizacja potencjalnych elektrowni wodnych (po młynach); obiekty hydrotechniczne w województwie wielkopolskim

Źródło: Archiwum redakcji „Energetyka Wodna”

Budowle piętrzące związane z elektrowniami wodnymi umożliwiają zatrzymywanie części odpływu oraz utrzymywanie wyższego poziomu zwierciadła wód gruntowych w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Ma to istotne znaczenie dla funkcjonowania ekosystemów, a także dla rolnictwa i leśnictwa, które są szczególnie wrażliwe na okresowe niedobory wody.<sup>52</sup> Ponadto zbiorniki retencyjne współpracujące z MEW mogą ograniczać skutki ekstremalnych zjawisk hydrologicznych, takich jak susze czy powodzie, pełniąc jednocześnie funkcje magazynowania wody oraz ochrony przeciwpowodziowej.<sup>53</sup>

### Wielofunkcyjność obiektów hydrotechnicznych

Małe elektrownie wodne są często lokalizowane na istniejących budowlach hydrotechnicznych, takich jak jazy, progi piętrzące czy zbiorniki retencyjne. Obiekty te

<sup>52</sup> Igliński i Skrzatek, *Czy mała retencja pomoże zatrzymać stepowienie Wielkopolski?*, s. 47.

<sup>53</sup> Międzynarodowe Stowarzyszenie Energetyki Wodnej. (2022). Dwanaście mitów na temat energetyki wodnej obalonych. *Energetyka Wodna*, (4), strony 26-28.

pierwotnie pełniły funkcje retencyjne, przeciwpowodziowe, nawodnieniowe lub rybackie, a instalacja urządzeń energetycznych pozwala na ich dalsze użytkowanie oraz modernizację.

Takie rozwiązanie umożliwia zachowanie i utrzymanie infrastruktury o znaczeniu publicznym przy jednoczesnym wykorzystaniu jej potencjału energetycznego. W praktyce oznacza to, że inwestorzy prywatni mogą uczestniczyć w finansowaniu i utrzymaniu obiektów, które nadal pełnią ważne funkcje związane z gospodarowaniem zasobami wodnymi.<sup>54</sup>

### Mała retencja leśna

Istotnym obszarem rozwoju jest również integracja niewielkich instalacji hydroenergetycznych z systemami małej retencji realizowanymi na terenach leśnych. W ramach działań adaptacyjnych do zmian klimatu budowane są małe urządzenia piętrzące, których zadaniem jest spowolnienie odpływu wód powierzchniowych, zwiększenie uwilgotnienia siedlisk oraz ochrona gleb organicznych i torfowisk.

Ze względu na prostą konstrukcję i niewielką skalę, obiekty te mogą być łączone z mikroinstalacjami hydroenergetycznymi, umożliwiając jednoczesną realizację celów związanych z ochroną różnorodności biologicznej i produkcją energii odnawialnej.<sup>55</sup>



Fot. 12 Rozlewisko w Bieszczadach stworzone przez bobry

Źródło: Andrzej Czech

---

<sup>54</sup> Mróz, *Mała energetyka wodna szansą na uzyskanie ciągłości podłużnej cieków*, s. 56.

<sup>55</sup> Majerczyk, A. (2020). Susza. łatwiej zapobiegać, niż likwidować skutki. *Energetyka Wodna*, (2), strony 38-41.

## Korzyści dla społeczności lokalnych

Korzyści wynikające z połączenia MEW i małej retencji mają również wymiar społeczny. Energia elektryczna produkowana w małych elektrowniach wodnych jest zazwyczaj zużywana lokalnie, co ogranicza straty przesyłowe i zwiększa bezpieczeństwo energetyczne regionu.

Towarzyszące elektrowniom zbiorniki wodne mogą dodatkowo pełnić funkcje:

- zaopatrzenia w wodę na potrzeby ochrony przeciwpożarowej,
- rekreacyjne i turystyczne, w tym dla sportów wodnych,
- zaopatrzenia ludności w wodę użytkową lub pitną,
- wspierania lokalnej gospodarki rybackiej i rolniczej.<sup>56</sup>

## Ograniczenia i wyzwania

Pomimo licznych korzyści, rozwój MEW powinien być realizowany z uwzględnieniem możliwych oddziaływań środowiskowych. W niektórych przypadkach budowa urządzeń piętrzących może prowadzić do zalania dolin rzecznych i terenów podmokłych, a tym samym do ograniczenia naturalnej retencji tych obszarów. Zwraca się również uwagę, że zbiorniki zaporowe, choć poprawiają warunki wodne w swoim bezpośrednim sąsiedztwie, mogą wpływać na obniżenie poziomu wód gruntowych poniżej zaporę wskutek procesów erozji dennej i drenażu.<sup>57</sup> Z tego względu współczesne podejście do rozwoju małej energetyki wodnej zakłada ścisłą integrację inwestycji hydroenergetycznych z planami gospodarowania wodami oraz programami małej retencji. Analizy zawarte w literaturze oraz dokumentach strategicznych wskazują, że małe elektrownie wodne i mała retencja powinny być traktowane jako wzajemnie uzupełniające się elementy zrównoważonej gospodarki wodnej. Odpowiednio zaprojektowane i eksploatowane obiekty mogą jednocześnie przyczyniać się do produkcji energii odnawialnej, poprawy bilansu wodnego, ograniczania skutków zmian klimatu oraz wzmacniania odporności lokalnych społeczności na ekstremalne zjawiska hydrologiczne.

---

<sup>56</sup> Igliński i Skrzatek, *Czy mała retencja pomoże zatrzymać stepowienie Wielkopolski?*, s. 47.

<sup>57</sup> Mikulski, A. (2022). Wpływ tradycyjnej energetyki wodnej na środowisko. W P. Wyszkowski, Z. Piwowarek i Z. Pałejko, *Małe elektrownie wodne w Polsce* (strony 76-79). Warszawa: UN Global Compact Network Poland.

W tym kontekście rozwój MEW w synergii z naturalną i techniczną retencją stanowi jedno z ważniejszych wyzwań współczesnej polityki wodnej i energetycznej.<sup>58</sup>

## Ukryta hydroenergia (*hidden hydropower*) – wykorzystanie istniejącej infrastruktury dla produkcji energii

Pojęcie ukrytej hydroenergii (ang. *hidden hydropower*) odnosi się do wykorzystania niewykorzystanego dotychczas potencjału energetycznego istniejącej infrastruktury technicznej oraz mikrotechnologii hydroenergetycznych o niskim oddziaływaniu na środowisko. W odróżnieniu od tradycyjnych elektrowni wodnych, rozwiązania te nie wymagają budowy nowych zapór ani istotnej ingerencji w naturalne ciekły wodne. Ich podstawową ideą jest odzysk energii z istniejących przepływów wody występujących w systemach wodociągowych, kanalizacyjnych, przemysłowych czy irygacyjnych.<sup>59</sup>

Rozwój ukrytej hydroenergii wpisuje się w koncepcję zrównoważonego wykorzystania zasobów oraz gospodarki o obiegu zamkniętym, umożliwiając produkcję energii odnawialnej przy minimalnym wpływie na środowisko naturalne.

### Obszary zastosowań

Najważniejsze obszary wykorzystania ukrytej hydroenergii obejmują:

#### *Sieci wodociągowe i kanalizacyjne*

Znaczący potencjał energetyczny występuje w systemach dystrybucji wody oraz oczyszczalniach ścieków. Energia może być odzyskiwana w miejscach, gdzie konieczna jest redukcja ciśnienia wody, a także na wylotach z oczyszczalni ścieków. Szacuje się, że potencjał energetyczny tego sektora w krajach Unii Europejskiej wynosi około 3,1 TWh rocznie.<sup>60</sup>

#### *Historyczne obiekty hydrotechniczne – stare młyny i zabytkowe jazy*

Ukryta hydroenergia obejmuje również modernizację dawnych młynów wodnych oraz historycznych jazów poprzez wyposażenie ich w nowoczesne urządzenia hydroenergetyczne,

---

<sup>58</sup> KKLW Wierzbicki i Wspólnicy. (2022). Stan obecny i wizja rozwoju MEW. W P. Wyszowski, Z. Piwowarek i Z. Pałejko, *Małe elektrownie wodne w Polsce* (strony 30-50). Warszawa: UN Global Compact Network Poland.

<sup>59</sup> Bódis, K., Kasiulis, E., McNabola, A., Pistocchi, A. i Quaranta, E. (2022). Is There a Residual and Hidden Potential for Small and Micro Hydropower in Europe? A Screening-Level Regional Assessment. *Water Resources Management*, strony 1745-1762.

<sup>60</sup> Tamże, s. 1750.

takie jak koła wodne czy mikroturbiny. Rozwiązania te umożliwiają jednoczesne zachowanie dziedzictwa kulturowego, rozwój lokalnej turystyki oraz produkcję energii odnawialnej.<sup>61</sup>

### *Turbiny hydrokinetyczne*

Szczególnie interesującą grupę technologii stanowią turbiny hydrokinetyczne, które są instalowane bezpośrednio w nurcie rzeki lub kanału i wykorzystują energię kinetyczną przepływającej wody bez konieczności budowy urządzeń piętrzących. Dzięki temu ich oddziaływanie na środowisko jest znacznie mniejsze niż w przypadku klasycznych elektrowni wodnych. Technologie te znajdują zastosowanie m.in. w kanałach zrzutowych dużych elektrowni oraz w odległych lokalizacjach pozbawionych dostępu do sieci elektroenergetycznej.

### *Systemy irygacyjne*

Istotnym obszarem rozwoju ukrytej hydroenergii są również ciśnieniowe systemy nawodnieniowe wykorzystywane w rolnictwie. Energia odzyskiwana podczas transportu i dystrybucji wody może być wykorzystywana lokalnie, poprawiając efektywność energetyczną gospodarstw rolnych.<sup>62</sup>

### *Przepływy przemysłowe i hodowla ryb*

Potencjał hydroenergetyczny występuje w instalacjach przemysłowych oraz systemach hodowli ryb. Odzysk energii z wód procesowych lub przepływów technologicznych pozwala ograniczyć zużycie energii pochodzącej ze źródeł konwencjonalnych i zwiększyć efektywność funkcjonowania zakładów.<sup>63</sup>

### *Korzyści wynikające z rozwoju ukrytej hydroenergii*

Ukryta hydroenergia posiada szereg cech, które czynią ją atrakcyjnym kierunkiem rozwoju odnawialnych źródeł energii. Przede wszystkim technologie te charakteryzują się niskim oddziaływaniem na środowisko, wykorzystując istniejącą infrastrukturę lub obecne już przepływy w systemach technicznych, ograniczając konieczność ingerencji w naturalne ekosystemy wodne i zwiększając społeczną akceptację inwestycji.

---

<sup>61</sup> Tamże, s. 1750.

<sup>62</sup> Tamże, s. 1751.

<sup>63</sup> Tamże, s. 1751.

Istotna jest też wysoka przewidywalność produkcji energii. W sieciach wodociągowych, kanalizacyjnych lub irygacyjnych produkcja energii jest stosunkowo stabilna i łatwa do prognozowania.

Kolejną cechą jest wielofunkcyjność instalacji. Systemy odzysku energii mogą być integrowane z nowoczesnymi rozwiązaniami zarządzania sieciami wodnymi, wspierając ich automatyzację, monitoring oraz optymalizację wykorzystania zasobów.

Ważna jest też efektywność ekonomiczna. Wykorzystanie istniejących budowli, rurociągów i urządzeń technicznych pozwala znacząco ograniczyć koszty inwestycyjne w porównaniu z budową nowych EW. Dzięki temu okres zwrotu inwestycji może być krótszy, a wdrożenie technologii – łatwiejsze i tańsze.<sup>64</sup>

### Perspektywy rozwoju

Dostępne analizy wskazują, że potencjał ukrytej hydroenergii w Europie wynosi co najmniej 6–8 TWh rocznie. Wartość ta nie obejmuje potencjału niewielkich elektrowni przepływowych instalowanych na naturalnych ciekach, którego wykorzystanie jest często ograniczane przez wymogi ochrony środowiska. W obliczu rosnącego zapotrzebowania na energię odnawialną oraz konieczności ograniczania presji na ekosystemy wodne, ukryta hydroenergia może stanowić ważny element transformacji energetycznej. Rozwiązania te umożliwiają bowiem zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii bez konieczności zajmowania nowych terenów oraz bez znaczącej ingerencji w naturalne środowisko, co czyni je jednym z najbardziej perspektywicznych kierunków rozwoju nowoczesnej hydroenergetyki.

### Retrofitting i rehabilitacja istniejących obiektów hydrotechnicznych

Jednym z najważniejszych kierunków rozwoju współczesnej hydroenergetyki jest *retrofitting* oraz *rehabilitacja* istniejących obiektów hydrotechnicznych, rozumiane jako modernizacja, doposażenie i przywracanie funkcji energetycznych już istniejącej infrastruktury. Podejście to zakłada wykorzystanie potencjału dawnych młynów wodnych, jazów, stopni wodnych oraz zapór nieenergetycznych zamiast realizacji nowych inwestycji wymagających znacznej ingerencji w środowisko naturalne.<sup>65</sup>

---

<sup>64</sup> Tamże, s. 1751.

<sup>65</sup> Międzynarodowe Stowarzyszenie Energetyki Wodnej, *Dwanaście mitów na temat energetyki wodnej obalonych*, s. 27.

Strategia ta wpisuje się w założenia zrównoważonego rozwoju, umożliwiając zwiększenie produkcji energii odnawialnej przy jednoczesnym ograniczeniu kosztów inwestycyjnych i minimalizacji oddziaływania na ekosystemy wodne.<sup>66</sup>

### Zalety wykorzystania istniejącej infrastruktury

W wielu krajach Europy istnieje znaczna liczba obiektów hydrotechnicznych, które pierwotnie nie były projektowane do produkcji energii elektrycznej, lecz mogą zostać wyposażone w nowoczesne urządzenia hydroenergetyczne. Szacuje się, że na terenie Unii Europejskiej funkcjonuje około 200 tys. takich budowli, obejmujących jazy, stopnie wodne i niewielkie zapory.<sup>67</sup>

Wykorzystanie istniejącej infrastruktury pozwala uniknąć budowy nowych obiektów piętrzących, które często spotykają się z ograniczeniami środowiskowymi i społecznymi. Jeżeli modernizacja nie wiąże się ze zmianą wysokości piętrzenia, jej wpływ na warunki środowiskowe oraz elementy biologiczne rzeki jest zazwyczaj niewielki.<sup>68</sup> Co więcej, inwestycje tego typu mogą przyczynić się do poprawy stanu ekologicznego cieków poprzez wyposażenie istniejących budowli w urządzenia umożliwiające migrację organizmów wodnych, takie jak przepławki dla ryb.<sup>69</sup>

Istotną zaletą retrofittingu jest również jego efektywność ekonomiczna. Wykorzystanie istniejących budynków, konstrukcji hydrotechnicznych oraz infrastruktury technicznej pozwala ograniczyć koszty inwestycyjne w porównaniu z budową nowych elektrowni wodnych. Analizy wskazują, że koszty realizacji takich przedsięwzięć mogą być niższe nawet o 30–40%.<sup>70</sup>

### Rehabilitacja historycznych obiektów hydroenergetycznych

Szczególną formą retrofittingu jest rehabilitacja historycznych obiektów wodnych, obejmująca odbudowę dawnych młynów i niewielkich siłowni wodnych oraz przywracanie im funkcji energetycznych. W Polsce potencjał tego typu inwestycji jest znaczący. W okresie międzywojennym funkcjonowało ponad 8 tys. siłowni wodnych, głównie związanych

---

<sup>66</sup> *Modernizacja starych elektrowni wodnych - czy to się opłaca?* (2026, Marzec 21). Pobrano z lokalizacji energia.biz.pl: <https://energia.biz.pl/modernizacja-starych-elektrowni-wodnych-czy-to-sie-oplaca/>

<sup>67</sup> Europejska Federacja Energetyki Odnawialnej, *Mała energetyka wodna i unijny Zielony Ład*.

<sup>68</sup> Mazur, K, *Oddziaływanie MEW w aspekcie środowiskowym i społecznym*, s. 47.

<sup>69</sup> Mróz, *Mała energetyka wodna szansą na uzyskanie ciągłości podłużnej cieku*, s. 57.

<sup>70</sup> Bódis i in., *Is There a Residual and Hidden Potential for Small and Micro Hydropower in Europe?*, s. 1752.

z młynami, natomiast współczesne inwentaryzacje wskazują na istnienie ponad 14 tys. obiektów piętrzących, z których jedynie niewielka część jest obecnie wykorzystywana do produkcji energii.<sup>71</sup>

Reaktywacja dawnych lokalizacji może przynieść korzyści wykraczające poza samą produkcję energii elektrycznej. Historyczne piętrzenia przez wiele dziesięcioleci pełniły bowiem funkcję lokalnych urządzeń retencyjnych, wpływając na stabilizację stosunków wodnych oraz utrzymanie odpowiedniego poziomu wód gruntowych. Ich odbudowa może przyczynić się do poprawy retencji, ograniczania skutków suszy oraz przeciwdziałania procesowi stepowienia niektórych regionów kraju.<sup>72</sup>

Ponadto rehabilitacja obiektów historycznych sprzyja zachowaniu dziedzictwa kulturowego i może stanowić impuls do rozwoju lokalnej turystyki oraz aktywizacji społeczności lokalnych.<sup>73</sup>

#### Zakres działań modernizacyjnych

Współczesne projekty modernizacji i rehabilitacji małych elektrowni wodnych obejmują szereg działań technicznych mających na celu zwiększenie efektywności energetycznej oraz ograniczenie oddziaływania na środowisko.

Do najczęściej realizowanych przedsięwzięć należą:

- wymiana przestarzałych hydrozespołów na nowoczesne i bardziej sprawne urządzenia, w tym turbiny o ograniczonym wpływie na ichtiofaunę, takie jak śruby Archimedesesa czy turbiny VLH<sup>74 75</sup>;
- automatyzacja procesów eksploatacyjnych oraz wdrażanie systemów zdalnego monitoringu i sterowania, umożliwiających bezobsługową pracę obiektów;<sup>76</sup>
- dostosowanie infrastruktury do współczesnych wymagań środowiskowych poprzez budowę przepławek dla ryb, instalację automatycznych czyszczarek krat, stosowanie

---

<sup>71</sup> Malicka, *Stan i potrzeby zmian regulacji prawnych związanych z rozwojem małej energetyki*, s.65.

<sup>72</sup> Igliński i Skrzatek, *Czy mała retencja pomoże zatrzymać stepowienie Wielkopolski?*, s. 48.

<sup>73</sup> Gabrowski, R. i Nowakowski, R. (2022). Jak dobrze wykorzystać potencjał rozwoju małych elektrowni wodnych w Polsce? W P. Wyszkowski, Z. Piwowarek i Z. Pałejko, *Małe elektrownie wodne w Polsce* (strony 92-93). Warszawa: UN Global Compact Network Poland.

<sup>74</sup> Majewski, *Hydrotechniczne i energetyczne mity ekologów*, s. 53.

<sup>75</sup> Mróz, *Mała energetyka wodna szansą na uzyskanie ciągłości podłużnej cieku*, s. 57.

<sup>76</sup> Hann, W. (2022). Małe elektrownie wodne cenne dla Polski lokalnej. W M. e. Polsce, Wyszkowski, Paweł; Piwowarek, Zofia; Pałejko, Zuzanna (strony 100-101). Warszawa: UN Global Compact Network Poland.

biodegradowalnych środków smarnych oraz poprawa bezpieczeństwa i niezawodności pracy poprzez modernizację urządzeń elektrycznych i systemów zabezpieczeń.<sup>77</sup>

Dzięki tym działaniom możliwe jest nie tylko zwiększenie produkcji energii, ale również poprawa parametrów środowiskowych i wydłużenie okresu eksploatacji istniejących obiektów.

#### Bariery rozwoju i kierunki wsparcia

Pomimo licznych korzyści wynikających z retrofitingu i rehabilitacji, rozwój tego segmentu hydroenergetyki napotyka na istotne bariery. Jednym z głównych problemów są skomplikowane procedury administracyjne. Inwestorzy wskazują, że uzyskanie decyzji środowiskowych dla modernizacji istniejących obiektów bywa równie czasochłonne i kosztowne jak w przypadku budowy nowych elektrowni. W związku z tym postulowane jest uproszczenie procedur administracyjnych dla inwestycji realizowanych na istniejących piętrzeniach, zwłaszcza dla obiektów o niewielkiej mocy, których oddziaływanie na środowisko jest ograniczone. Istotnym zagadnieniem pozostaje również kwestia finansowania modernizacji. Znaczna część istniejącej infrastruktury hydrotechnicznej wymaga kosztownych prac remontowych i modernizacyjnych, dlatego wskazuje się na potrzebę wprowadzenia systemów wsparcia finansowego, takich jak dotacje czy preferencyjne kredyty. Instrumenty te mogłyby być powiązane z realizacją dodatkowych celów środowiskowych, obejmujących m.in. poprawę bioróżnorodności, zwiększenie drożności rzek oraz rozwój małej retencji.<sup>78</sup>

#### Hybrydyzacja odnawialnych źródeł energii z udziałem hydroenergetyki

Jednym z najbardziej perspektywicznych kierunków rozwoju współczesnej energetyki odnawialnej jest **hybrydyzacja odnawialnych źródeł energii (OZE)**, polegająca na integracji różnych technologii wytwórczych i magazynowania energii w ramach jednego systemu. W takim układzie hydroenergetyka odgrywa szczególną rolę dzięki swojej wysokiej dyspozycyjności, możliwości regulacji mocy oraz zdolności magazynowania energii. Cechy te sprawiają, że elektrownie wodne stanowią naturalne uzupełnienie źródeł o zmiennej produkcji, takich jak energetyka wiatrowa i fotowoltaiczna.<sup>79</sup>

#### Integracja elektrowni wodnych z energetyką wiatrową i słoneczną

---

<sup>77</sup> Majewski, *Hydrotechniczne i energetyczne mity ekologów*, s. 53.

<sup>78</sup> Malicka, *Stan i potrzeby zmian regulacji prawnych związanych z rozwojem małej energetyki*, s.65.

<sup>79</sup> Międzynarodowe Stowarzyszenie Energetyki Wodnej, *Dwanaście mitów na temat energetyki wodnej obalonych*, s. 28.

Coraz częściej elektrownie wodne funkcjonują jako element hybrydowych systemów energetycznych współpracujących z farmami wiatrowymi oraz instalacjami fotowoltaicznymi. Takie rozwiązania umożliwiają wzajemne bilansowanie produkcji energii i zwiększają stabilność pracy systemu elektroenergetycznego.<sup>80</sup>

Hydroenergetyka może kompensować zmienność generacji energii słonecznej w cyklu dobowym oraz wspierać pracę systemu w okresach niskiej produkcji energii z wiatru. Z kolei w lokalnych społecznościach energetycznych i spółdzielniach energetycznych połączenie małych elektrowni wodnych z instalacjami fotowoltaicznymi pozwala zwiększyć poziom autokonsumpcji energii, ograniczyć jej oddawanie do sieci oraz poprawić efektywność ekonomiczną całego systemu.<sup>81</sup>

### Elektrownie szczytowo-pompowe jako magazyny energii

Szczególną rolę w procesie hybrydyzacji pełnią elektrownie szczytowo-pompowe (ESP), które są powszechnie określane mianem „akumulatorów wodnych”. Umożliwiają one magazynowanie nadwyżek energii produkowanej przez źródła odnawialne i oddawanie jej do sieci w okresach zwiększonego zapotrzebowania.<sup>82</sup>

Mechanizm działania ESP polega na wykorzystaniu nadmiaru energii elektrycznej do pompowania wody do górnego zbiornika. Następnie, w okresach niedoboru energii lub wysokiego zapotrzebowania, zgromadzona woda jest kierowana przez turbiny, umożliwiając ponowną produkcję energii elektrycznej.

Obecnie prowadzone są również prace nad niewielkimi elektrowniami szczytowo-pompowymi, które mogłyby współpracować bezpośrednio z lokalnymi instalacjami fotowoltaicznymi lub turbinami wiatrowymi, tworząc autonomiczne i elastyczne systemy energetyczne.<sup>83</sup>

---

<sup>80</sup> Europejska Federacja Energetyki Odnawialnej, *Mała energetyka wodna i unijny Zielony Ład*.

<sup>81</sup> Perkowski, I. (2022). Spółdzielnie energetyczne szansą na rozwój małych elektrowni wodnych. W P. Wyszowski, Z. Piwowarek i Z. Pałejko, *Małe elektrownie wodne w Polsce* (strony 68-69). Warszawa: UN Global Compact Network Poland.

<sup>82</sup> Międzynarodowe Stowarzyszenie Energetyki Wodnej, *Dwanaście mitów na temat energetyki wodnej obalonych*, s. 28.

<sup>83</sup> Ecoogrody, *Mikroelektrownie szczytowo-pompowe – kompleksowy przewodnik po magazynowaniu energii wodnej*.

## Pływające instalacje fotowoltaiczne

Nowym kierunkiem rozwoju hybrydowych systemów energetycznych jest integracja elektrowni wodnych z **pływającymi instalacjami fotowoltaicznymi** (*floating photovoltaics – FPV*). Panele słoneczne montowane na powierzchni zbiorników wodnych pozwalają na efektywne wykorzystanie istniejącej infrastruktury hydrotechnicznej bez konieczności zajmowania dodatkowych terenów. Przykładem jest Elektrownia Wodna Alqueva w Portugalii.<sup>84</sup>

Rozwiązanie to przynosi szereg korzyści. Oprócz zwiększenia produkcji energii odnawialnej, panele ograniczają parowanie wody ze zbiornika, co może mieć istotne znaczenie w regionach zagrożonych deficytem wodnym. Dodatkowo obecność zbiornika wpływa korzystnie na warunki pracy modułów fotowoltaicznych, poprawiając ich sprawność poprzez naturalne chłodzenie.

## Integracja z magazynami energii i produkcją zielonego wodoru

Istotnym elementem nowoczesnych systemów hybrydowych staje się także integracja hydroenergetyki z elektrochemicznymi magazynami energii, zwłaszcza bateriami litowo-jonowymi. Magazyny te umożliwiają krótkoterminowe bilansowanie mocy oraz stabilizację parametrów pracy sieci, uzupełniając możliwości regulacyjne elektrowni wodnych.

Coraz większe zainteresowanie budzi również wykorzystanie nadwyżek energii odnawialnej do produkcji **zielonego wodoru** w procesie elektrolizy wody. Hydroenergetyka, ze względu na stabilny charakter produkcji energii, może stanowić istotne źródło zasilania instalacji wodorowych, przyczyniając się do rozwoju gospodarki niskoemisyjnej i dekarbonizacji sektorów trudnych do elektryfikacji.

## Korzyści wynikające z hybrydyzacji

Hybrydyzacja odnawialnych źródeł energii z udziałem hydroenergetyki przynosi szereg korzyści technicznych i ekonomicznych. Do najważniejszych z nich należą:

- zwiększenie niezawodności dostaw energii elektrycznej,

---

<sup>84</sup>Pionierska pływająca elektrownia fotowoltaiczna EDP w Portugalii jest gotowa do produkcji energii. (2022, Lipiec 19).

Pobrano z lokalizacji kierunekenergetyka.pl: <https://www.kierunekenergetyka.pl/arttykul,92469,pionierska-plywajaca-elektrownia-fotowoltaiczna-edp-w-portugalii-jest-w-gotowa-do-produkcji-energii.html>

- poprawa stabilności pracy lokalnych i krajowych sieci elektroenergetycznych,
- możliwość regulacji napięcia i częstotliwości w systemie,
- ograniczenie strat przesyłowych dzięki lokalnemu wykorzystaniu energii,
- zmniejszenie konieczności kosztownej rozbudowy infrastruktury sieciowej,
- zwiększenie efektywności wykorzystania odnawialnych źródeł energii.<sup>85</sup>

W rezultacie hydroenergetyka staje się nie tylko źródłem energii, lecz również ważnym elementem zapewniającym elastyczność i bezpieczeństwo funkcjonowania przyszłych systemów elektroenergetycznych.

## Standardy i dobre praktyki w hydroenergetyce

### Standard Zrównoważonej Energetyki Wodnej (Hydropower Sustainability Standard – HSS)

Współczesny rozwój hydroenergetyki coraz silniej opiera się na zasadach zrównoważonego rozwoju, uwzględniających nie tylko aspekty techniczne i ekonomiczne, lecz także kwestie środowiskowe, społeczne oraz związane z ładem korporacyjnym. Odpowiedzią na te wyzwania jest **Standard Zrównoważonej Energetyki Wodnej** (*Hydropower Sustainability Standard – HSS*)<sup>86</sup>, będący pierwszym na świecie kompleksowym systemem certyfikacji przeznaczonym dla sektora hydroenergetycznego.

HSS stanowi niezależne narzędzie oceny projektów hydroenergetycznych na wszystkich etapach ich cyklu życia – od planowania i projektowania, przez budowę, aż po eksploatację i modernizację istniejących obiektów. Standard dostarcza deweloperom, operatorom oraz inwestorom ram umożliwiających ocenę i doskonalenie inwestycji zgodnie z międzynarodowymi kryteriami środowiskowymi, społecznymi i ładu korporacyjnego (ESG – *Environmental, Social and Governance*).<sup>87</sup>

---

<sup>85</sup> Majewski, *Hydrotechniczne i energetyczne mity ekologów*, s. 54.

<sup>86</sup> Costa, *Zrównoważony rozwój hydroenergetyki w praktyce*, s. 45.

<sup>87</sup> Costa, *Zrównoważony rozwój hydroenergetyki w praktyce*, s. 45.



Rys. 6 Znak graficzny Hydropower Sustainability Standard  
Źródło: Hydropower Sustainability Alliance

### Cele i zakres certyfikacji

Podstawowym celem HSS jest zapewnienie, że projekty hydroenergetyczne są realizowane w sposób odpowiedzialny i zrównoważony, przynosząc trwałe korzyści zarówno społeczeństwu, jak i środowisku naturalnemu. Certyfikacja obejmuje cztery zasadnicze obszary oceny:

- **ochrona ekosystemów**, obejmująca minimalizację wpływu inwestycji na środowisko rzeczne, zachowanie różnorodności biologicznej oraz ochronę siedlisk przyrodniczych. Szczególną uwagę zwraca się na kwestie ciągłości ekologicznej rzek, ochronę ichtiofauny oraz ograniczanie oddziaływań skumulowanych;
- **odpowiedzialność społeczna**, rozumiana jako prowadzenie efektywnego dialogu z interesariuszami, uwzględnianie potrzeb społeczności lokalnych oraz zapewnienie sprawiedliwego podziału korzyści wynikających z realizacji inwestycji;
- **odporność i bezpieczeństwo infrastruktury**, w tym projektowanie obiektów z uwzględnieniem zmian klimatu, bezpieczeństwa budowli hydrotechnicznych oraz zdolności adaptacji do ekstremalnych zjawisk hydrologicznych;
- **ład korporacyjny (governance)**, obejmujący przejrzystość procesów decyzyjnych, wysokie standardy etyczne, zarządzanie ryzykiem oraz raportowanie zgodne z zasadami ESG.

## HSS jako narzędzie ciągłego doskonalenia

Standard Zrównoważonej Energetyki Wodnej nie jest postrzegany jedynie jako system certyfikacji, lecz przede wszystkim jako narzędzie wspierające ciągłe doskonalenie projektów hydroenergetycznych. Proces certyfikacji umożliwia identyfikację potencjalnych niedociągnięć już na etapie planowania inwestycji, co pozwala na wczesne wdrożenie działań naprawczych i ograniczenie ryzyka środowiskowego oraz społecznego.

W praktyce oznacza to możliwość opracowania ukierunkowanych planów działania, obejmujących między innymi poprawę warunków migracji ryb, ograniczenie oddziaływań skumulowanych, wdrażanie nowoczesnych metod monitoringu środowiskowego czy podnoszenie standardów zarządzania. Tym samym HSS wspiera systematyczne wdrażanie dobrych praktyk inżynierskich, organizacyjnych i środowiskowych.

## Uznanie międzynarodowe i znaczenie dla finansowania inwestycji

Standard HSS został opracowany i jest zarządzany przez szerokie grono interesariuszy reprezentujących sektor energetyczny, instytucje finansowe, organizacje pozarządowe oraz środowiska naukowe. Dzięki temu uzyskał szerokie uznanie na arenie międzynarodowej.

Certyfikacja jest zgodna z wytycznymi dotyczącymi zrównoważonego rozwoju opracowanymi przez Bank Światowy oraz Międzynarodową Korporację Finansową (IFC). Ponadto spełnia wymagania organizacji *Climate Bonds Initiative* dotyczące finansowania inwestycji za pomocą zielonych obligacji, co zwiększa atrakcyjność certyfikowanych projektów dla inwestorów.

W konsekwencji sektor finansowy coraz częściej traktuje uzyskanie certyfikatu HSS jako potwierdzenie odpowiedzialnego zarządzania ryzykiem, zasobami naturalnymi oraz relacjami społecznymi. Może to ułatwiać pozyskiwanie kapitału i poprawiać warunki finansowania nowych inwestycji.<sup>88</sup>

## Przykłady wdrożeń

Praktyczne zastosowanie standardu HSS potwierdzają liczne projekty hydroenergetyczne na całym świecie, obejmujące zarówno nowe inwestycje, jak i modernizowane obiekty. Jednym z przykładów jest elektrownia wodna **Bakun** w Malezji, która uzyskała srebrny certyfikat po

---

<sup>88</sup> Costa, Zrównoważony rozwój hydroenergetyki w praktyce, s. 45.

wdrożeniu działań związanych z poprawą jakości wody, bezpieczeństwa zapory oraz raportowania ESG.



*Fot. 13 Elektrownia Wodna Bakun  
Źródło: Hydropower Sustainability Alliance*

Elektrownia **Fljótsdalur** na Islandii otrzymała złoty certyfikat dzięki bardzo niskiej emisyjności gazów cieplarnianych oraz skutecznym działaniom w zakresie ochrony siedlisk przyrodniczych i dziedzictwa kulturowego.



*Fot. 14 Elektrownia Wodna Fljótsdalur  
Źródło: Hydropower Sustainability Alliance*

Z kolei elektrownia **Mascarenhas** w Brazylii, eksploatowana od ponad pięćdziesięciu lat, uzyskała złoty poziom certyfikacji, potwierdzając możliwość skutecznego wdrażania zasad ESG również w przypadku starszej infrastruktury hydroenergetycznej.



Fot. 14 Elektrownia Wodna Mascarenhas  
Źródło: Hydropower Sustainability Alliance

Interesującym przykładem jest także **Coire Glas** w Szkocji – pierwsza na świecie elektrownia szczytowo-pompowa, która otrzymała złoty status HSS. Projekt ten został wyróżniony przede wszystkim za wysokie standardy planowania środowiskowego oraz efektywne prowadzenie dialogu z interesariuszami.<sup>89</sup>



Fot.15 Elektrownia Wodna Coire Glas  
Źródło: Hydropower Sustainability Alliance

### Perspektywy rozwoju

Organizacje branżowe, w tym Międzynarodowe Stowarzyszenie Energetyki Wodnej (*International Hydropower Association – IHA*), wskazują na potrzebę szerokiego wdrażania standardu HSS przez rządy, inwestorów oraz operatorów elektrowni wodnych. Powszechne stosowanie jednolitych kryteriów oceny umożliwiłoby wyraźne odróżnienie inwestycji

---

<sup>89</sup> Hydropower Sustainability Alliance. (brak daty). Pobrano z lokalizacji Hydropower Sustainability Alliance: <https://www.hs-alliance.org/>

realizowanych zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju od projektów mogących powodować znaczące oddziaływania środowiskowe lub społeczne.

W tym kontekście HSS postrzegany jest jako jedno z kluczowych narzędzi wspierających transformację sektora hydroenergetycznego. Zgodnie z ideą zawartą w **Deklaracji z San José**, przyszłość energetyki wodnej powinna opierać się na zasadzie, że *jedyną akceptowalną formą hydroenergetyki jest hydroenergetyka zrównoważona*.<sup>90</sup> Standard HSS stanowi praktyczną realizację tej koncepcji, wyznaczając kierunek dalszego rozwoju sektora w warunkach rosnących wymagań środowiskowych i społecznych.

## Podsumowanie

Współczesna hydroenergetyka przechodzi dynamiczną transformację, której celem jest pogodzenie produkcji energii odnawialnej z ochroną środowiska oraz realizacją zasad zrównoważonego rozwoju. Przedstawione innowacje pokazują, że sektor ten odchodzi od tradycyjnego modelu postrzeganego wyłącznie przez pryzmat produkcji energii elektrycznej, stając się ważnym elementem wspierającym ochronę ekosystemów wodnych, adaptację do zmian klimatu oraz bezpieczeństwo energetyczne.

Jednym z kluczowych kierunków rozwoju jest systematyczne ograniczanie oddziaływania infrastruktury hydrotechnicznej na środowisko wodne. Nowoczesne technologie turbinowe są projektowane w taki sposób, aby minimalizować ryzyko dla organizmów wodnych, w szczególności ryb, poprzez zwiększenie ich przeżywalności oraz eliminację elementów stanowiących zagrożenie mechaniczne lub chemiczne. Równolegle rozwijane są rozwiązania umożliwiające swobodną migrację organizmów wodnych, takie jak przepławki, które mają zapewniać ciągłość ekologiczną cieków i umożliwiać naturalne przemieszczanie się ichtiofauny wzdłuż rzek. Obecne podejście do ich projektowania znacząco wykracza poza tradycyjne rozwiązania konstrukcyjne, koncentrując się na zwiększeniu ich efektywności oraz dostosowaniu do zachowań ryb. Coraz większą rolę odgrywa również ich integracja przepławek z systemami monitoringu, co pozwala na ocenę skuteczności tych rozwiązań i ich dalszą optymalizację.

---

<sup>90</sup> International Hydropower Association. (2021, Wrzesień 24). The San José Declaration on Sustainable Hydropower.

Szczególnego znaczenia nabierają rozwiązania wspierające gospodarowanie zasobami wodnymi. Integracja małych elektrowni wodnych z systemami retencji, modernizacja istniejącej infrastruktury oraz wykorzystanie potencjału ukrytej hydroenergii pozwalają zwiększać odporność regionów na skutki suszy, ograniczać straty wody i efektywniej wykorzystywać istniejące zasoby. Działania te wpisują się w szersze strategie adaptacji do zmian klimatu, które stają się jednym z kluczowych wyzwań współczesnej gospodarki.

Innowacje prośrodowiskowe coraz silniej kształtują rozwój współczesnej hydroenergetyki. Umożliwiają one bardziej efektywne wykorzystanie zasobów wodnych i energii odnawialnej przy jednoczesnym ograniczaniu oddziaływania na środowisko. Wspierają ochronę bioróżnorodności oraz przyczyniają się do zwiększania odporności systemów przyrodniczych i gospodarczych na zmiany klimatyczne. W szerszej perspektywie stanowią istotny element transformacji energetycznej oraz rozwoju bardziej zrównoważonego podejścia do gospodarowania energią i zasobami wodnymi.

## Bibliografia

- International Hydropower Association. (2021, Wrzesień 24). The San José Declaration on Sustainable Hydropower.
- Alapfy, B. (2022). Hydroshaft - przyjazna dla środowiska, skalowalna i ekonomiczna elektrownia wodna. *Energetyka Wodna*, (1), strony 25-26.
- Augustyn, P. (2021). Ocena skuteczności metod łagodzących ograniczenia migracji węgorza srebrzystego. *Energetyka Wodna*, (3), strony 64-68.
- Ball, I., Hendricks, D., Jawaid, T. S., Rutz, D. i Steller, J. (2020). *Handbook on EU hydropower industry*. Monachium: WIP Renewable Energies.
- Bódis, K., Kasiulis, E., McNabola, A., Pistocchi, A. i Quaranta, E. (2022). Is There a Residual and Hidden Potential for Small and Micro Hydropower in Europe? A Screening-Level Regional Assessment. *Water Resources Management*, strony 1745-1762.
- Ciężak, K., Sobieszczyk, P. i Żurek, R. (2024). Zasady biologicznej oceny funkcjonalności urządzeń służących migracji ryb. *Energetyka Wodna*, (2), strony 42-48.
- Costa, J. (2025). Zrównoważony rozwój hydroenergetyki w praktyce. *Energetyka Wodna*, (3), strony 45-46.

- Drzewiecki, M. (2011). Rozwój niskospadowej energetyki wodnej. *Czysta Energia*, (11), strony 48-49.
- Ecoogrody. (2025, Grudzień 7). *Mikroelektrownie szczytowo-pompowe – kompleksowy przewodnik po magazynowaniu energii wodnej*. Pobrano z lokalizacji ecoogrody.pl: <https://ecoogrody.pl/blog/mikroelektrownie-szczytowo-pompowe-kompleksowy-przewodnik-po-magazynowaniu-energii-wodnej/>
- Fishcon. The fish pass for an ecological balance. *fishcon.at*. [Online] <https://fishcon.at/en/fish-pass/#schleuse>.
- Europejska Federacja Energetyki Odnawialnej (EREF). (2022). *Mała energetyka wodna i unijny Zielony Ład*. Bruksela.
- Gabrowski, R. i Nowakowski, R. (2022). Jak dobrze wykorzystać potencjał rozwoju małych elektrowni wodnych w Polsce? W P. Wyszowski, Z. Piwowarek i Z. Pałejko, *Małe elektrownie wodne w Polsce* (strony 92-93). Warszawa: UN Global Compact Network Poland.
- Greenevo. (brak daty). *Greenevo - Śruba Archimedes*. Pobrano z lokalizacji greenevo.gov.pl: <https://greenevo.gov.pl/pl/technologies/sruba-archimedes/>
- Hann, W. (2022). Małe elektrownie wodne cenne dla Polski lokalnej. W M. e. Polsce, *Wyszowski, Paweł; Piwowarek, Zofia; Pałejko, Zuzanna* (strony 100-101). Warszawa: UN Global Compact Network Poland.
- Hydropower Sustainability Alliance*. (brak daty). Pobrano z lokalizacji Hydropower Sustainability Alliance: <https://www.hs-alliance.org/>
- Igliński, B, Skrzatek, M. (2019). Czy mała retencja pomoże zatrzymać stepowanie Wielkopolski? *Energetyka Wodna*, (1), strony 46-48.
- IOZE Hydro. (brak daty). *Śruba Archimedes*. Pobrano z lokalizacji hydro.ioze.pl: <https://hydro.ioze.pl/sruba-archimedes/>
- Kalina, Ł. (2019). Przepławka aktywna ekonomicznym sposobem na udrożnienie biologiczne rzek. *Energetyka Wodna*, (3), strony 48-49.
- Kalina, Ł. i Mróz, W. (2016). Dobre praktyki w postępowaniach środowiskowych dla małych elektrowni wodnych - część I. *Energetyka Wodna*, (4), strony 45-46.
- Kalina, Ł. i Mróz, W. (2017). Dobre praktyki w postępowaniach środowiskowych dla małych elektrowni wodnych - część II. *Energetyka Wodna*, (1), strony 49-50.
- Kalina, Ł. i Smolarczyk, W. (2020). MEW Zabrzeż – owoc pracy optymalizacyjnych. *Energetyka Wodna*, (3), strony 42-44.

- Kirejczyk, J. (2013). Turbiny wodne i ochrona środowiska naturalnego. *Energetyka Wodna*, (3), strony 49-52.
- KKLW Wierzbicki i Wspólnicy. (2022). Stan obecny i wizja rozwoju MEW. W P. Wyszowski, Z. Piwowarek i Z. Pałejko, *Małe elektrownie wodne w Polsce* (strony 30-50). Warszawa: UN Global Compact Network Poland.
- Krueger, K. (2024). ESP podstawą transformacji energetycznej na poziomie międzynarodowym. *Energetyka Wodna*, (1), strony 28-33.
- Majerczyk, A. (2020). Susza. Łatwiej zapobiegać, niż likwidować skutki. *Energetyka Wodna*, (2), strony 38-41.
- Majewski, W. (2021). Hydrotechniczne i energetyczne mity ekologów. *Energetyka Wodna*, (2), strony 50-54.
- Malicka, E. (2022). Stan i potrzeby zmian regulacji prawnych związanych z rozwojem małej energetyki. W P. Wyszowski, Z. Piwowarek i Z. Pałejko, *Małe elektrownie wodne w Polsce* (strony 64-67). Warszawa: UN Global Compact Network Poland.
- Martyniak, K. (2016). Przepławki naturalne- wspólna korzyść. *Energetyka Wodna*, (2), strony 55-56.
- Mazur, K. (2015). Oddziaływanie MEW w aspekcie środowiskowym i społecznym. *Energetyka Wodna*, (1), strony 46-47.
- Mazur, K., Trzuskowska, J., Wachecki, M. i Wnuk, A. (2014). Inwentaryzacja przyrodnicza jako podstawa dokumentacji środowiskowej. *Energetyka Wodna*, (4), strony 50-51.
- Międzynarodowe Stowarzyszenie Energetyki Wodnej. (2022). Dwanaście mitów na temat energetyki wodnej obalonych. *Energetyka Wodna*, (4), strony 26-28.
- Mikulski, A. (2022). Wpływ tradycyjnej energetyki wodnej na środowisko. W P. Wyszowski, Z. Piwowarek i Z. Pałejko, *Małe elektrownie wodne w Polsce* (strony 76-79). Warszawa: UN Global Compact Network Poland.
- Modernizacja starych elektrowni wodnych - czy to się opłaca?* (2026, Marzec 21). Pobrano z lokalizacji energia.biz.pl: <https://energia.biz.pl/modernizacja-starych-elektrowni-wodnych-czy-to-sie-oplaca/>
- Mróz, W. (2015). Mała energetyka wodna szansą na uzyskanie ciągłości podłużnej cieku. *Energetyka Wodna*, (2), strony 54-57.
- Mróz, W. (2016). Strony postępowania w procedurze środowiskowej - prawa i obowiązki. *Energetyka Wodna*, (1), strony 56-58.
- Natel. (brak daty). *FishSafe™ Turbine Designs*. Pobrano z lokalizacji natelenergy.com: <https://www.natelenergy.com/turbines>

Pelikan, B. (2022). Winda dla ryb – ciągłość biologiczna rzek w zgodzie z produkcją energii. *Energetyka Wodna*, (2), strony 48-50.

Perkowski, I. (2022). Spółdzielnie energetyczne szansą na rozwój małych elektrowni wodnych. W P. Wyszowski, Z. Piwowarek i Z. Pałajko, *Małe elektrownie wodne w Polsce* (strony 68-69). Warszawa: UN Global Compact Network Poland.

*Pionierska pływająca elektrownia fotowoltaiczna EDP w Portugalii jest gotowa do produkcji energii.* (2022, Lipiec 19). Pobrano z lokalizacji [kierunekenergetyka.pl](https://www.kierunekenergetyka.pl):  
<https://www.kierunekenergetyka.pl/artypkyl,92469,pionierska-plywajaca-elektrownia-fotowoltaiczna-edp-w-portugalii-est-w-gotowa-do-produkcji-energii.html>

Polniak, A. (2015). Autonomiczne jazy ruchome. *Energetyka Wodna*, (2), str. 49.

Polniak A., Jazy powłokowe w systemach retencji, [w:] Polska Konferencja Hydroenergetyczna HYDROFORUM 2025. Materiały Konferencyjne, TEW / IMP PAN, Rytró–Gdańsk, 2025, s.50-51.

Sozosfera. (brak daty). *Sozosfera - środowisko i gospodarka*. Pobrano z lokalizacji [sozosfera.pl](https://sozosfera.pl):  
<https://sozosfera.pl/srodowisko-i-gospodarka/specjalny-jaz-energii/>

Stellba Hydro. (brak daty). *Stellba Hydro - VLH turbine*. Pobrano z lokalizacji [stellba-hydro.de](https://www.stellba-hydro.de):  
<https://www.stellba-hydro.de/en/water-turbines/vlh-turbine>

WODEL. (brak daty). *WODEL - Elektrownie wodne*. Pobrano z lokalizacji [wodel.pl](https://www.wodel.pl):  
<https://www.wodel.pl/pl/elektrownie-wodne/jazy-powlokowe>

Zawisz, A. (2013). Ryby w oleju. *Energetyka Wodna*, (2), strony 49-51.