


TURBINA ARCHIMEDESA W MAŁEJ ENERGETYCE WODNEJ

Michał Dziędzic✉  0000-0002-5044-2582,

Robert Stanisław Kasperek  0000-0002-7041-313X, Marian Mokwa

Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław

ABSTRAKT

Cel pracy

W pracy przedstawiono obszary małej energetyki wodnej, w której wykorzystywane są turbiny Archimedeasa. Opisano aspekty przemawiające za rozwijaniem i potrzebą powstawania kolejnych małych elektrowni wodnych z turbozespołami Archimedeasa. Przedstawiono przegląd wybranych istniejących na terenie Polski obiektów wykorzystujących to rozwiązanie, a także opisano zagadnienia związane z ich eksploatacją. Pokazano przykłady wariantowe, autorskie rozwiązania różnych układów turbina–przepławka.

Materiał i metody

Na podstawie dostępnej literatury przedmiotu oraz materiałów źródłowych, a także wykonanej inwentaryzacji istniejących małych elektrowni wodnych (MEW) z turbinami Archimedeasa sporządzono przegląd tych obiektów. Prace autorów nad własnymi rozwiązaniami prowadzone są na podstawie obserwacji, wiedzy oraz doświadczenia. Przedstawiono koncepcje nowych i innowacyjnych rozwiązań, łączących cele energetyki wodnej oraz ochrony środowiska. Trwające prace rozwojowe i udoskonalające projektowanych układów turbina–przepławka pozwolą w niedługim czasie na wdrożenie tych konstrukcji w planowanych obiektach.

Wyniki i wnioski

Przeprowadzenie szerokiego przeglądu małych elektrowni wodnych wyposażonych w turbiny Archimedeasa pokazuje, jak duże zainteresowanie budzi rozwój i zastosowanie tej technologii w energetyce wodnej. Urządzenia te mają wiele zalet środowiskowych. Autorzy pracują nad własnymi rozwiązaniami opartymi na klasycznej turbinie Archimedeasa zintegrowanej z śrubową przepławką dla ryb.

Prowadzone przez autorów prace mają na celu udoskonalenie tradycyjnych małych elektrowni wodnych wyposażonych w turbiny Archimedeasa i poprawę warunków środowiskowych w zakresie swobodnej migracji organizmów wodnych.

Słowa kluczowe: energetyka wodna, turbina Archimedeasa, przepławka śrubowa

MAŁA ENERGETYKA WODNA

Zagadnienie zrównoważonego rozwoju jest obecnie bardzo ważne, dlatego rozpatruje się je w wielu dziedzinach, także w energetyce wodnej. Wspólnoty i grupy państw opracowują plany i dokumenty, które na-

rzucają wymogi ochrony środowiska, tworzą zapisy i zasady pozwalające dążyć do wdrażania nowych, alternatywnych źródeł energii. Postępujące zagrożenie środowiska sprawia, że istnieje potrzeba zastąpienia tradycyjnych nośników przez odnawialne źródła energii – w tym energetykę wodną (Bogda i in., 2010).

✉ e-mail: michal.dziedzic@upwr.edu.pl

Unia Europejska (UE) podejmuje wiele działań z zakresu ochrony środowiska oraz strategii mających na celu ukierunkowanie polityki i mechanizmów na rzecz klimatu i energii. W obszarach tych do osiągnięcia strategicznych celów sformułowanych na szczeblu wspólnoty powstało wiele dyrektyw i norm. Kraje członkowskie UE implementują zapisy dyrektyw do krajowych przepisów prawnych. Wspólnota oraz należące do niej państwa zobowiązały się do dążenia i dokonania transformacji energetycznej pozwalającej na osiągnięcie neutralności klimatycznej, a więc do 2050 roku zmierzać będą do zerowej emisji gazów cieplarnianych oraz rezygnacji z udziału paliw kopalnych w wytwarzaniu energii. Rozwiązanie problemów dotyczących klimatu oraz zmian zachodzących w środowisku naturalnym jest podstawą wdrażanego przez UE tzw. Europejskiego Zielonego Ładu (European Green Deal). Podstawowy cel Europejskiego Zielonego Ładu stanowi oddzielenie wzrostu gospodarczego od zużywania zasobów – dzięki dążeniu do przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym. Zatem osiągnięcie neutralności klimatycznej oraz zmniejszenie poziomu zanieczyszczeń oraz dążenie do realizacji transformacji energetycznej wymaga wspierania innowacji, technologii przyjaznych środowisku oraz wsparcia i rozwijania systemu energetycznego opartego na wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii (OZE) (Kałuża i in., 2022).

W energetyce niekonwencjonalnej dużym zainteresowaniem cieszy się hydroenergetyka, gdzie turbina wodna ma za zadanie przetworzyć energię potencjalną i kinetyczną przepływającej wody na energię mechaniczną, a następnie poprzez generator w energię elektryczną. W szczególności uwagę skupia się na sektorze małej energetyki wodnej, ponieważ może korzystać z istniejących niskich piętrzeń (Stryczevska, 2012).

Przez ostatnie lata trwa dynamiczny rozwój energetyki odnawialnej, który również widoczny jest w zmianach i rosnącym zainteresowaniu sektorem małej energetyki wodnej. Nowe kierunki, które są wybierane przez inwestorów z sektora prywatnego, oraz dostępne innowacyjne technologie wraz z postępującym procesem ich doskonalenia nadają dynamikę w projektowaniu oraz realizacji nowych obiektów MEW w Polsce. Ponadto wraz z koncepcją budowy małej elektrowni wodnej, by wykorzystać energię

wody do produkcji energii elektrycznej, powstaje cały szereg opracowań skupiających się na rozwiązaniu aspektów środowiskowych. Cel, którym zatem staje się realizacja inwestycji w zgodzie z zasadami zrównoważonego rozwoju, stanowi źródło zagadnień do prowadzenia badań i prac naukowych oraz wdrożeń (Kałuża i in., 2022).

Mała energetyka wodna przechodzi obecnie szybki rozwój, który przejawia się nie tylko budową nowych obiektów MEW, lecz także wzrostem zainteresowania modernizacją już istniejących, które piętrzą wodę, i zaadaptowaniem ich na potrzeby wykorzystania energetycznego, a co za tym idzie, proces ten generuje szereg kolejnych projektów polegających na udrożnieniu koryt, odbudowie i remontach istniejącej infrastruktury, budowie przepławek oraz opracowaniu rozwiązań dostosowujących dawne obiekty do aktualnych i obowiązujących norm oraz standardów środowiskowych (Kałuża i in., 2022).

Obecnie na świecie istnieją różne definicje małych elektrowni wodnych (MEW), w Polsce nie podjęto jednak dotychczas tego zagadnienia. W literaturze przedmiotu można spotkać wiele podziałów elektrowni wodnych, odnoszących się do podstawowego parametru, jakim jest niewątpliwie spadek. Kierując się wielkością spadku, można dokonać podziału elektrowni wodnych na niskospadowe, których spadek nie przekracza 15 m, średnispadowe o spadzie mieszczącym się w przedziale od 15 m do 50 m, oraz wysokospadowe dla wielkości spadku powyżej 50 m. W ostatnich latach największe zainteresowanie skupia się na wykorzystaniu niskich spadów na potrzeby małych elektrowni wodnych, tzw. niskospadowych, i tutaj upatruje się w przyszłości wielu nowych inwestycji. Jako jedno z najczęściej podawanych w odniesieniu do MEW kryteriów stosuje się również łączną moc instalacji wynoszącą do 5 MW (Kałuża i in., 2022).

Wartości definiujące małe odnawialne źródło energii (OZE), jak podaje Urząd Regulacji Energetyki (URE) w raporcie Prezesa URE za 2022 rok, w odniesieniu do pojęcia małej instalacji OZE, rozumieć należy jako instalację o łącznej mocy elektrycznej większej niż 50 kW i nie większej niż 1 MW, przyłączonej do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV (Raport URE, 2022).

Według danych przedstawionych w raporcie rocznym Prezesa URE za 2022 rok, w Polsce 31 grudnia

2022 roku liczba małych instalacji wykorzystujących hydroenergię (WO) wyniosła 404 instalacje o sumarycznej mocy zainstalowanej 97,2 MW. Skala produkcji w ogólnej generacji energii w 2022 roku przez małe instalacje OZE wykorzystujące energię wody wyniosła około 4%, energia wyprodukowana wyniosła 288,3 GW · h. Ogólna sprzedaż energii wytworzonej przez sektor hydroenergetyczny wyniosła około 225,2 GW · h. Porównanie procentowej sprzedaży wytworzonej energii wskazuje, że hydroenergia zajmuje drugie miejsce z wynikiem 78%, ustępując tylko instalacjom wiatrowym (96%) (Raport URE, 2022).

W Polsce zdecydowanie największy udział w sektorze małych elektrowni wodnych mają elektrownie przepływowe (podstawowe), których oddawana moc uzależniona jest od chwilowego przepływu wody w rzece. MEW stanowią głównie elektrownie o niskich spadach, lokalizowane są na rzekach z istniejącą już infrastrukturą hydrotechniczną lub też projektowane jako nowe obiekty budowane od podstaw. Jednym z najczęściej spotykanych rozwiązań w Polsce są MEW usytuowane przy budowach piętrzących, które stanowią głównie jazy. Coraz większa uwaga inwestorów w tym zakresie skierowana jest na rozwiązania z turbinami Archimedesesa. Turbiny wodne są wówczas instalowane w blokach elektrowni wodnej, tuż przy przyczółkach jazów bądź też w ich przęsłach (ESHA, 2004a, b; Kałuża i in., 2022).

W małej energetyce wodnej oprócz istniejących i produkujących energię instalacji jest obecnie w budowie kilkadziesiąt nowych obiektów, a kolejne są na etapie planowania. Całkowity teoretyczny potencjał hydroenergetyczny rzek w Polsce określa się na około 24 TWh · rok⁻¹, w czym potencjał techniczny wynosi około 14 TWh · rok⁻¹. Dla MEW potencjał techniczny to około 5 TW · h. Pod względem geograficznym rozkład potencjału hydroenergetycznego Polski cechuje się znaczną nierównomiernością. Szacuje się, że 68% całkowitego potencjału hydroenergetycznego posiada dorzecze Wisły, a dorzecze Odry 17,6%. Rzeki znajdujące się na obszarach Warmii i Mazur oraz Pomorza cechuje potencjał około 2,1%. Dla pozostałych rzek wartość potencjału hydroenergetycznego sięga 12,5% (Raport URE, 2022).

Polska należy do grupy państw objętych europejskim projektem RESTOR Hydro. W ramach jego realizacji na terenie Europy stworzono Mapę RESTOR

Hydro i rozmieszczono ponad 50 tys. możliwych lokalizacji MEW, w tym 8 tys. na obszarze Polski (Kałuża i in., 2022).

W Polsce, mimo że istnieje do wykorzystania znaczny potencjał hydroenergetyczny, w odniesieniu do małej energetyki wodnej występuje jednak wiele barier, które wpływają na zmniejszenie dynamiki jej rozwoju. Jedną z tych barier są zapisy Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW). Zakłada ona jako cel zapewnienie dobrego stanu ekologicznego wód i zrównoważonego korzystania z nich na obszarze Europy. Wytwarzanie energii przez elektrownie wodne jest jednym z zadań, jakie stawia Dyrektywa, jednak wprowadzanie jej zapisów w praktyce znacznie odbiega od tego celu, a tym samym stwarza przeszkody dla MEW. Bariery te często są sprzeczne z promowaniem nowych, alternatywnych źródeł energii, w które wpisuje się energetyka wodna. Istnieje zatem potrzeba implementacji nowych zapisów dokumentów określających zakres prowadzenia działań środowiskowych i sformułowanie zasad wspierających branżę małej energetyki wodnej. W Polsce implementacja RDW zawarta jest m.in. w planach gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy, a także warunkach korzystania z wód regionów wodnych. Przy wyborze potencjalnej lokalizacji dla małej elektrowni wodnej należy zapoznać się z tymi dokumentami w celu ustalenia m.in.: możliwego wpływu na stan wód, przepływu nienaruszalnego oraz zapewnienia migracji ryb i organizmów wodnych (K. Steller, J. Steller, 1993; J. Steller, 2012, 2013a, 2013b, 2014, 2018; Szydłowski i in., 2015; Malicka, 2018; Operacz i in., 2018).

Budowa małej elektrowni wodnej jest zadaniem wieloetapowym. Na każdy z etapów składa się wiele aspektów i zagadnień związanych z dziedzinami administracyjnymi, inżynierskimi, środowiskowymi oraz ekonomicznymi. Procedura uzyskania wymaganych decyzji administracyjnych prowadzących do uzyskania pozwolenia na budowę MEW oraz pokonanie wszystkich barier instytucjonalnych w Polsce wymaga bardzo często kilkunastu lat (Malicka, 2018).

Przedsięwzięcia w energetyce wodnej są związane z budową nowych obiektów, modernizacją już istniejących lub odtworzeniem dawnych niedziałających obecnie stopni wodnych. W przypadku małych elektrowni wodnych są one prowadzone w minimalnym zakresie i obszarze dotyczącym samego obiektu

MEW, jednak zawsze w pewnym stopniu są one ingerencją w środowisko. W wielu przypadkach budowa małej elektrowni wodnej wymaga od inwestora remontu, odbudowy lub budowy stopnia wodnego, co może przyczynić się do uzyskania lub odtworzenia prawidłowego przepływu w rzece oraz zmniejszenia zagrożenia powodziowego (Hoffmann, 1992; Gołębiowski i Krzemień, 1998; ESHA, 2004a, b; Sołtuniak, 2016).

MAŁE ELEKTROWNIE WODNE Z TURBINAMI ARCHIMEDESA

Od kilku lat rośnie zainteresowanie dotyczące zastosowania w małych elektrowniach wodnych turbin przyjaznych dla organizmów wodnych (turbiny Archimedesowa, VLH). Szczególną uwagę zwracają turbiny Archimedesowa, które pracują jako nadsiębierny wirnik grawitacyjny, wykorzystujący energię potencjalną wody. Geneza maszyny prostej, którą jest śruba Archimedesowa, pochodzi z czasów starożytnych, a jej wynalezienie przypisuje się Archimedesowi z Syrakuz. W latach 90. XX wieku Karl August Radlik oraz Karel Brada skonstruowali turbinę Archimedesowa. Uruchomienie pierwszej prototypowej turbiny odbyło się w 1997 roku. Turbiny Archimedesowa są znane oraz wykorzystywane stosunkowo niedługo np. w porównaniu z turbinami Francisza, których historia wynalezienia i zastosowania sięga XIX wieku (Khurana i Kumar, 2011; Mróz, 2017).

Charakterystyczny element budowy tego rodzaju turbin stanowi umieszczona w specjalnej stalowej lub żelbetowej rynnie ślimacznica, opracowana na podstawie śruby Archimedesowa. Przepływ skierowany na ujęcie dla turbiny sprawia, że pod wpływem spadku woda przekazuje energię na zwoje ślimacznicy, wprawiając ją tym samym w ruch obrotowy. Energia mechaniczna zostaje kolejno przekazana przez wał i przekładnię na wirnik generatora turbiny wytwarzający energię elektryczną, która następnie może zostać przesłana do sieci elektroenergetycznej.

Cechami wyróżniającymi turbiny Archimedesowa są:

- prosta budowa – konstrukcja otwarta lub osłonięta;
- możliwość zastosowania rynny stalowej lub betonowej;
- zastosowanie wirnika złożonego z wału i łopat (zwojów);

- zawieszenie wirnika na łożyskach dolnym i górnym;
- połączenie przekładnią wirnika z generatorem (najczęściej asynchronicznym);
- zastosowanie przy poziomie piętrzenia w zakresie od 1 do 7,5 m (maksymalnie do 10 m);
- praca turbiny w przedziale przepływów o wartościach od 0,1 do 10 m³ · s⁻¹.

Do głównych zalet turbin Archimedesowa stosowanych w małych elektrowniach wodnych zalicza się:

- zminimalizowanie kosztów całkowitych inwestycji w porównaniu z wariantami wykorzystującymi tradycyjne turbiny wodne dzięki zmniejszeniu robót kubaturowych;
- łatwy montaż i integracja z jazami jako budowlami piętrzącymi na rzekach;
- prosta i jednolita konstrukcja turbozespołu, która przekłada się na zwiększoną bezawaryjność, a zarazem wysoką sprawność;
- przeznaczenie do zastosowania na małych spadkach;
- praca na niewielkich wartościach przepływów;
- brak potrzeby stosowania gęstych krat;
- praca ślimacznicy wirnika jest w pełni bezpieczna i przyjazna dla organizmów wodnych;
- niskie koszty związane z etapem eksploatacji MEW.

W branży małej energetyki wodnej stosuje się obecnie wiele różnych typów oferowanych turbin Archimedesowa. Firmy tworzą ich projekty dostosowane do wybranej lokalizacji i wymagań inwestora. Zajmują się ich wytwarzaniem, dostarczaniem na miejsce montażu i instalacją całego turbozespołu oraz uruchomieniem MEW.

Przewagą MEW wyposażonych w turbiny Archimedesowa jest tryb pracy przyjazny dla organizmów wodnych. Wirnik turbiny wykonuje ruch wolnoobrotowy, bez wytwarzania zwiększonego ciśnienia, przez co możliwe jest swobodne oraz bezpieczne spływanie ryb wraz z pozostałymi organizmami wodnymi przez ślimacznice. W tego typu elektrowniach wodnych materiał naniesiony przez rzekę ma minimalny wpływ na pracę turbiny. Przed wlotem do bloku elektrowni stosuje się najczęściej kraty rzadkie, które mają na celu zatrzymanie i zapobieganie dalszemu przedostawaniu się większych zanieczyszczeń. Pozostały materiał o mniejszych rozmiarach naniesiony przez rzekę może

bezpiecznie spływać przez wirnik turbiny na dolne stanowisko (Kalina, 2019, 2020).

Obiekty wyposażone w turbiny Archimedesesa zyskują w Polsce na popularności. Na terenie kraju znajduje się obecnie kilkadziesiąt obiektów wykorzystujących te turbozespoły do produkcji energii elektrycznej.

Na podstawie przeprowadzonych przez autorów wizji terenowych oraz danych uzyskanych od producentów i wykonawców, a także literatury branżowej i rejestrów wytwórców energii z małych elektrowni wodnych opracowano krótką charakterystykę wybranych obiektów MEW na terenie Polski. Przykładami ciekawszych rozwiązań małych elektrowni wodnych wyposażonych w turbiny Archimedesesa są następujące obiekty:

- MEW Goryń – zlokalizowana w km 27 + 900 rzeki Radomki w miejscowości Goryń, w gminie Jastrzębia, powiecie radomskim, województwie mazowieckim. Jest pierwszą elektrownią wodną

w Polsce, która została wyposażona w turbinę Archimedesesa. W 2011 roku elektrownia ta przeszła gruntowną modernizację, w ramach której funkcjonujące od 2009 roku dwie turbiny Kaplana typu „S” zostały zastąpione nową turbiną Archimedesesa. Jest to turbina typu ST 3400-Compact. Średnica turbiny wynosi 3400 mm, a przepływ znamionowy $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Turbozespół Archimedesesa wyposażony jest w dwubiegowy generator asynchroniczny, automatykę oraz zdalne sterowanie. Spad równy jest 2,0 m. Moc zainstalowana turbiny wynosi 80 kW. Średnia roczna produkcja wynosi około $330 \text{ MW} \cdot \text{h}$.

- MEW Kolonowskie – zlokalizowana w km 47 + 150 rzeki Mała Panew, w okolicy miejscowości Kolonowskie, w gminie Kolonowskie, w województwie opolskim. Obiekt został wyposażony w trzy turbiny Archimedesesa typu Semicompact o mocy 222 kW wykorzystujące spad wynoszący



Ryc. 1. MEW Goryń na rzece Radomce – widok od wody dolnej (fot. M. Dziedzic)

Fig. 1. SHP Goryń on the Radomka River – downstream view (photo by M. Dziedzic)

około 1,9 m. Elektrownia wodna zlokalizowana w miejscu rozgałęzienia się koryta rzeki Mała Panew przy jazie ruchomym na kanale młynówki oraz jako obiekt towarzyszący dla istniejącego jazu stałego w korycie głównym. Przepływ instalowany dla elektrowni wodnej wynosi $6,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a dla jednej turbiny – $2,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

- MEW Zawadzkie – mała elektrownia wodna jest zlokalizowana w km 63 + 700 rzeki Mała Panew, w miejscowości Zawadzkie, w gminie Zawadzkie, w województwie opolskim. Obiekt został wyposażony w turbinę Archimedesesa wyprodukowaną w Czechach. Elektrownia wodna została uruchomiona w 2015 roku. Do najważniejszych parametrów technicznych turbozespołu należy zaliczyć: przepływ wynoszący $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; spad równy 2,2 m; nachylenie wirnika 22° ; średnicę wirnika 3400 mm; długość ślimacznicy 6300 mm. Moc generatora wynosi 75 kW, moc na wale turbi-

ny – 88,5 kW, a moc na zaciskach generatora – 75,1 kW. Zainstalowana turbina Archimedesesa typu Classic została umieszczona w komorze otwartej, którą dodatkowo osłonięto i zabezpieczono przed działaniem czynników atmosferycznych.

- MEW Luboszyce – zlokalizowana na rzece Małej Panwi, w miejscowości Luboszyce, w gminie Łubniany, województwie opolskim. Mała elektrownia wodna korzysta ze spad, który wynosi 1,6 m. W bloku elektrowni została zainstalowana turbina Archimedesesa typu Classic, przepływ wynosi ok. $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Moc zainstalowana turbozespołu równa jest 55 kW. MEW Luboszyce była drugą w kolejności elektrownią wodną z turbozespołem Archimedesesa w Polsce.
- MEW Zygmuntów – zlokalizowana na rzece Ner. Elektrownia wodna została wyposażona w turbinę Archimedesesa typu Classic o mocy 66 kW. Turbina ma stały kąt nachylenia oraz zmienną prędkość



Ryc. 2. MEW Kolonowskie na rzece Mała Panew – widok od wody dolnej (fot. M. Dziedzic)

Fig. 2. SHP Kolonowskie on the Mała Panew River – downstream view (photo by M. Dziedzic)

obrotową. Turbozespół wyposażono w generator asynchroniczny o mocy 75 kW. Obiekt jest wyposażony w system zdalnego sterowania.

- MEW Bielsko-Biała – mała elektrownia wodna została zlokalizowana na rzece Białej, w mieście Bielsko-Biała, w województwie śląskim. Obiekt wyposażono w pojedynczą turbinę Archimedesesa, typu Semicompact. Moc elektrowni wynosi 22 kW.
- MEW Rosko – zlokalizowana na rzece Noteć, w okolicach miejscowości Rosko w gminie Wieleń, w województwie wielkopolskim. Elektrownia wodna została uruchomiona w 2014 roku. Jest największym tego typu obiektem w Polsce i została wyposażona w 6 turbin Archimedesesa typu Classic. Każdy z turbozespołów ma moc 60 kW, a więc MEW Rosko posiada łącznie moc 0,36 MW. Spad elektrowni wynosi 1,72 m, a przepływ instalowany równy jest $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, z czego po $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ przypada na każdą turbinę Archimedesesa. Średnica każdej z turbin wynosi 3200 mm. Elektrownia jest w pełni zautomatyzowana i wyposażona w systemy zarządzania pracą turbin.
- MEW Wolica – zlokalizowana w km 10 + 000 rzeki Czarna Nida, w miejscowości Wolica, w gminie Chęciny, w województwie świętokrzyskim. Mała elektrownia wodna jest zlokalizowana na lewym brzegu rzeki, zintegrowana z istniejącym jazem oraz budynkiem dawnego młyna. Turbina Archimedesesa o mocy 30 kW współpracuje wraz z turbiną Kaplana o mocy 45 kW. Spad elektrowni wynosi 2,2 m. MEW wyposażono w przekładnię trójstopniową dla turbiny Archimedesesa oraz dwustopniową dla turbiny Kaplana. Praca turbozespołów może przebiegać automatycznie. Średnia roczna produkcja obiektu wynosi około 270 MW·h. Funkcjonowanie MEW Wolica sprzyja poprawie małej retencji i niweluje skutki



Ryc. 3. MEW Zawadzkie na rzece Mała Panew – widok na komorę turbiny (fot. M. Dziedzic)

Fig. 3. SHP Zawadzkie on the Mała Panew River – view of the turbine chamber (photo by M. Dziedzic)



Ryc. 4. MEW Rosko na rzece Noteci (fot. M. Dziedzic)
Fig. 4. SHP Rosko on the Noteć River (photo by M. Dziedzic)

suszy. Stopień zmniejsza występowanie i skutki erozji dennej na stanowisku górnym.

- MEW Bieleckie Młyny – mała elektrownia wodna została zlokalizowana w km 24 + 620 rzeki Czarnej Nidy, w miejscowości Bieleckie Młyny, w gminie Morawica, w województwie świętokrzyskim. Została tutaj zastosowana pierwsza turbina Archimedesowa, którą zaprojektowano i wykonano w Polsce. MEW Bieleckie Młyny jest trzecią w kolejności elektrownią wodną z turbozespołem Archimedesowa w kraju. Obiekt powstał w 2011 roku i został wyposażony w turbinę Archimedesową o średnicy 2800 mm oraz generator asynchroniczny, którego moc wynosi 38 kW i został sprzężony z wirnikiem za pomocą przekładni zębatej oraz pasowej. Wirnik turbiny jest zainstalowany na dwóch łożyskach i ustawiony pod kątem 22° w stalowej rynnie. Część integralną z MEW stanowi jaz umożliwiający piętrzenie 1,5 m, a spiętrzona woda jest skierowana na komorę turbiny. Przepływ wynosi $3,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Średnia roczna produkcja to około $170 \text{ MW} \cdot \text{h}$.
- MEW Bronocice – zlokalizowana w km 32 + 080 rzeki Nidzicy, w obrębie miejscowości Bronocice, w gminie Działoszyce, w województwie świę-

tokrzyskim. MEW posadowiona jest na lewym brzegu rzeki i została zintegrowana z jazem oraz przepławką znajdującą się na prawym brzegu. Elektrownia wodna wraz z towarzyszącą infrastrukturą tworzy korytarz ekologiczny dla ryb oraz organizmów wodnych. Modernizacja jazu oraz budowa bloku elektrowni z turbiną Archimedesową umożliwiła odtworzenie piętrzenia na stopniu wodnym do rzędnej normalnego poziomu piętrzenia (NPP). Turbina Archimedesowa zabudowana jest w konstrukcji samonośnej stalowej. Moc elektryczna wynosi 37 kW, średnica wirnika równa jest 2,5 m, przepływ instalowany określono na poziomie $1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Średnia roczna produkcja wynosi około $170 \text{ MW} \cdot \text{h}$.

- MEW Wierzyca – mała elektrownia wodna jest zlokalizowana na rzece Wierzyca w miejscowości Starogard Gdański. Jest to pierwsze tego typu rozwiązanie w Polsce, które w sposób bezpośredni łączy wytwarzanie energii ze stworzeniem aktywnej przepławki umożliwiającej migrację ryb i organizmów wodnych. Przy doborze rozwiązania kierowano się względami ekonomicznymi. Konstrukcja aktywnej przepławki opiera się na systemie dwóch śrub Archimedesowych, gdzie w takim

układzie śruba prowadząca wodę w dół jest torem dla ryb i umożliwia migrację zstępującą, a jednocześnie produkuje energię elektryczną jako turbina Archimedesesa. Druga śruba pracuje jak pompa i prowadzi migrację wstępującą dla ryb. Instalacja dysponuje mocą instalowaną 90 kW, a średnia roczna produkcja to około 627 MW · h.

- MEW Służew – mała elektrownia wodna jest zlokalizowana w km 6 + 051 Potoku Służewieckiego w Warszawie. MEW Służew została uruchomiona w 2018 roku w dzielnicy Mokotów na istniejącym jazie, który został wybudowany w celu odtworzenia retencji Stawu Służewieckiego. W zakresie prac rewitalizacji stawu wykonano również zapórę, jaz stały, jaz wraz z zasuwą upustową oraz łożę pod turbinę. Uzyskano spiętrzenie wody wynoszące 1,93 m. Spad wynosi 1,74 m, a przepływ $0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Obiekt został wyposażony w turbinę Archimedesesa o średnicy 880 mm. Moc instalowana generatora wynosi 3,0 kW.
- MEW Zagrody – zlokalizowana na kanale młynówki przy jazie w km 14 + 220 rzeki Bobrzy w miejscowości Zagrody, w gminie Sitkówka-Nowiny, w województwie świętokrzyskim. Elektrownia wodna została wybudowana w 2017 roku i znajduje

się w strefie ochrony konserwatorskiej, gdyż budynek dawnego młyna wodnego jest obiektem zabytkowym. Na stopniu została wybudowana również przepławka szczelinowa dla ryb. Mała elektrownia wodna Zagrody jest wyposażona w turbinę Archimedesesa o średnicy 2600 mm, kącie nachylenia 22° , generator asynchroniczny o mocy 37 kW. Spad MEW wynosi 2,5 m, przepływ $2,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Średnia roczna produkcja MEW wynosi około 150 MW · h.

- MEW Tchórzew – zlokalizowana na rzece Bystrzycy w obrębie miejscowości Tchórzew, w gminie Borki, w województwie lubelskim. Mała elektrownia wodna wyposażona jest w turbinę Archimedesesa o średnicy również 2650 mm oraz mocy 49 kW.
- MEW Gwiazdowo – znajduje się na rzece Wieprza w obrębie miejscowości Żukowo, w gminie Sławno, w województwie zachodniopomorskim. Średnica wirnika zainstalowanej turbiny Archimedesesa wynosi 900 mm, a moc równa jest 0,5 kW.
- MEW Pilec – elektrownia wodna zlokalizowana na rzece Dajna w miejscowości Pilec, w gminie Reszel, w województwie warmińsko-mazurskim. W ramach modernizacji obiektu zainstalowano turbinę Archimedesesa o średnicy wirnika 2650 mm i mocy 110 kW.



Ryc. 5. MEW Sławoszowice na rzece Barycz (fot. M. Dziedzic)

Fig. 5. SHP Sławoszowice on the Barycz River (photo by M. Dziedzic)

- MEW Kroców – mała elektrownia wodna została wybudowana w 2015 roku na rzece Iłżanka w obrębie miejscowości Kroców Większy, w gminie Kazanów, w województwie mazowieckim. Obiekt ma spad wynoszący 2,1 m, maksymalny przepływ instalowany $3,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a minimalny równy $0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Elektrownia wodna jest wyposażona w turbinę Archimedesesa o średnicy wirnika równej 2850 mm. Moc maksymalna to 52 kW. MEW Kroców wyróżnia się innowacyjnym rozwiązaniem konstrukcyjnym, które polega na możliwości zmiany kąta ustawienia turbiny w trakcie pracy, dzięki czemu zwiększa się produkcja energii.
- MEW Lisi Ogon – mała elektrownia wodna zlokalizowana na Kanale Noteckim w miejscowości Łochowo, w gminie Białe Błota, w województwie kujawsko-pomorskim. MEW wybudowana została w 2015 roku i została wyposażona w pojedynczą turbinę Archimedesesa o mocy 75 kW.
- MEW Łochowo – zlokalizowana na Kanale Noteckim w miejscowości Łochowo, w gminie Białe Błota, w województwie kujawsko-pomorskim, została wyposażona w pojedynczą turbinę Archimedesesa, moc elektrowni wynosi 75 kW.
- MEW Sławoszowice – mała elektrownia wodna zlokalizowana na rzece Barycz w miejscowości Sławoszowice, w gminie Milicz, w województwie dolnośląskim, przy istniejącym jazie 3-przęsłowym. MEW wyposażona jest w pojedynczą turbinę Archimedesesa o średnicy 3200 mm. Spad elektrowni wynosi około 3 m, a moc hydrozespołu równa jest 75 kW.
- MEW Jedlanka Stara – elektrownia wodna zlokalizowana jest na rzece Iłżance w obrębie miejscowości Jedlanka Stara, w gminie Iłża, w województwie mazowieckim. Obiekt został wyposażony w turbinę Archimedesesa o średnicy 2000 mm. Moc elektrowni wynosi 22 kW (Malicka, 2010, 2017; Przepióra i in., 2016; Mróz, 2017; Kalina, 2018, 2019, 2020; Chrobak-Budzińska, 2019).

Przegląd istniejących rozwiązań małych elektrowni wodnych z wykorzystaniem turbin Archimedesesa pozwala stwierdzić, że są to obiekty działające zgodnie z założeniami, gwarantujące bezpieczną, autonomiczną oraz przyjazną dla środowiska pracę zapewniającą

produkcję czystej energii. Poniżej przedstawiono graficznie rozmieszczenie wybranych MEW na terenie Polski.

ROZWÓJ TURBIN ARCHIMEDESA I NOWE ROZWIĄZANIA

W Polsce wykorzystanie turbin Archimedesesa spotyka się z dużym zainteresowaniem inwestorów. W opracowaniu jest kilkanaście kolejnych małych elektrowni wodnych z zastosowaniem tej technologii. Śruba Archimedesesa ma wiele atutów ekologicznych, a nowe rozwiązania polegające na budowie układów w formie aktywnych przepławek umożliwiają migrację dwukierunkową organizmów wodnych.

Technologia śruby Archimedesesa daje ogromne możliwości do szerokiego obszaru jej zastosowania na rzekach o niskim spadzie, a także stanowi podstawę do opracowania nowych urządzeń, takich jak przepławki aktywne. Jednym z przykładów wdrożenia takiego systemu w Polsce jest mała elektrownia wodna zlokalizowana na rzece Wierzycy w miejscowości Starogard Gdański.

Autorzy są zaangażowani w prace polegające na poszukiwaniu lokalizacji pod budowę elektrowni wodnych, planowaniu i projektowaniu obiektów MEW. Uczestniczą w opracowaniu nowych rozwiązań łączących w sobie cele odnawialnej małej energetyki wodnej z udrożnieniem rzek dla migracji ryb i organizmów wodnych. Autorzy pracują nad własnymi układami z zastosowaniem turbin Archimedesesa zintegrowanych z przepławkami. Na rysunkach poniżej przedstawiono wariantowe rozwiązania różnych układów turbina–przepławka (ryc. 7).

Do głównych rozwiązań należą:

- Przepławka zintegrowana z turbiną Archimedesesa – umożliwia dwukierunkową migrację – zstępującą przez wirnik turbiny oraz wstępującą przez wewnętrzny ślimak śruby. Rozwiązanie to zostało opracowane w Austrii przez firmę Hydro-Connect GmbH.
- Układ klasycznej turbiny Archimedesesa wraz z niezależną przepławką śrubową. W zależności od lokalizacji przepławkę projektuje się po prawej lub lewej stronie łoża turbiny. Zespół umożliwia migrację dwukierunkową. Rozwiązanie autorskie.



Ryc. 6. Rozmieszczenie wybranych MEW na terenie Polski (źródło: opracowanie własne)

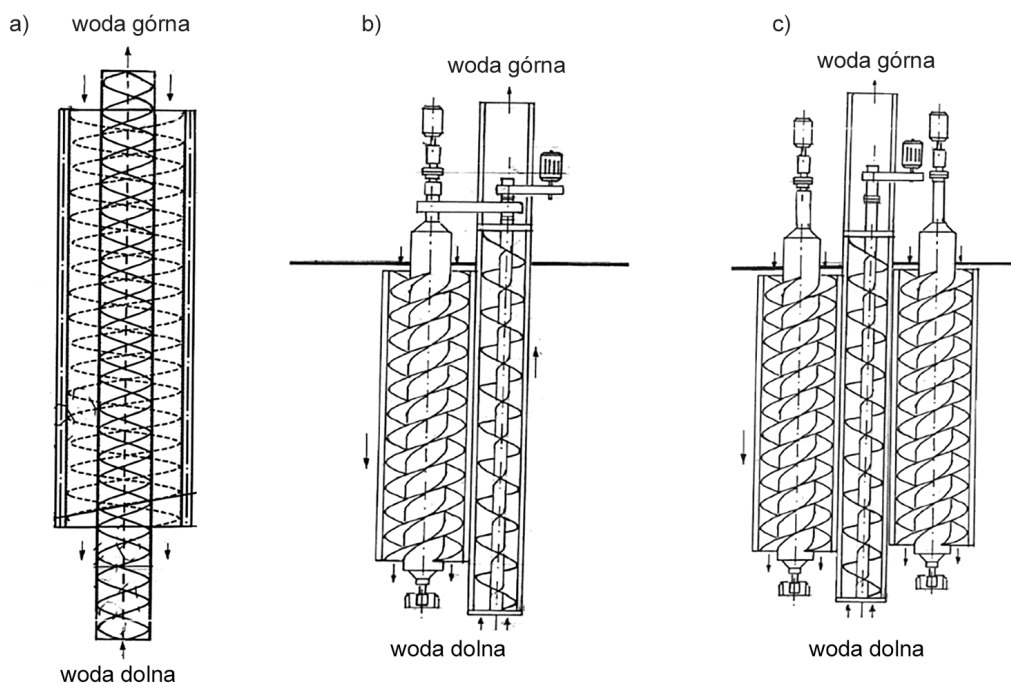
Fig. 6. Location of selected SHP's in Poland (source: own study)

- Układ dwóch turbin Archimedesesa z umieszczoną pomiędzy nimi niezależną przepławką śrubową, która może być napędzana z jednej lub drugiej turbiny, a także mieć napęd własny. Migracja zstępująca odbywa się przez klasyczne turbiny Archimedesesa, a migracja wstępująca przez niezależną przepławkę śrubową. Rozwiązanie autorskie.

Wszystkie z proponowanych rozwiązań mają szansę na zastosowanie w warunkach polskich, jednak największe uzasadnienie oraz perspektywy ma wariant klasycznej turbiny Archimedesesa z umieszczoną po zewnętrznej stronie przepławką śrubową. Układ składa się z: klasycznej turbiny Archimedesesa, której główną funkcją jest produkcja energii oraz umożliwianie migracji zstępującej rybom, a także znajdującej się przy niej, zintegrowanej przepławkі śrubowej, przez którą odbywa się migracja wstępująca w górę rzeki. Dzięki sprzężeniu mechanizmów turbiny ze śrubą przepławkі możliwe jest wykorzystywanie ruchu obrotowego turbozespołu do napędzania przepławkі. Śruba w przepławce może rów-

niez funkcjonować jako niezależne od turbozespołu Archimedesesa urządzenie, tak aby w razie potrzeby wyłączenia turbiny w sposób ciągły i niezaburzony była możliwa migracja wstępująca. Zasilanie awaryjne może zostać zapewnione przy wykorzystaniu zewnętrznej sieci energetycznej lub też z zastosowaniem zintegrowanego źródła energii odnawialnej w postaci systemu fotowoltaicznego.

Takie rozwiązanie zapewnia mniejszą zajętość terenu, jak również obniża koszty i wykorzystanie materiałów do budowy tradycyjnej przepławkі. W przypadku rozdzielnych śrub Archimedesesa w układzie turbina–przepławka występuje problem braku prądu wabiącego. Sposób konstruowania tego typu układów powinien przewidywać zastosowanie dodatkowych kierownic naprowadzających ryby do wejścia od wody dolnej oraz rurociągu wytwarzającego nurt wabiący. Wówczas połączenie działania turbiny z przepławką umożliwia produkcję energii elektrycznej w sposób przyjazny dla środowiska, zapewniając swobodną migrację ichtiofauny (Mokwa, Wiśniewolski, 2008).



Ryc. 7. Proponowane układy rozwiązań turbina Archimedesesa–przepławka (źródło: opracowanie własne)

Fig. 7. Proposed systems of solutions Archimedes turbine–fish pass (source: own study)

PODSUMOWANIE

Sektor małej energetyki wodnej okazuje się atrakcyjnym źródłem inwestycji, a dzięki stabilnej produkcji energii, która wytwarzana jest w neutralny dla środowiska sposób, bez emisji gazów oraz bez użycia paliw kopalnych, MEW stają się konkurencyjne dla energetyki konwencjonalnej.

Turbiny Archimedesesa nie są skomplikowanymi i złożonymi konstrukcjami, jednak ich projektowanie oraz wykonawstwo wymagają wiedzy z wielu dziedzin, a także doświadczenia w obszarze energetyki wodnej i budowy maszyn. System turbiny oraz przepławki jako dwutorowe rozwiązanie „energetyczno-migracyjne” pozwala inwestycjom MEW dostosować się do wymagań sektora energetyki oraz środowiska. Eksploatacja istniejących małych elektrowni wodnych z zastosowaniem turbin Archimedesesa wykazała wiele pozytywnych zalet w obszarze produkcji energii i ochrony środowiska (*fish friendly*), dlatego dalsze ich udoskonalenie jest w pełni uzasadnione.

BIBLIOGRAFIA

- Bogda, A., Kabała, C., Karczewska, A., Szopka, K. (2010). *Zasoby naturalne i zrównoważony rozwój*. Wrocław: Wyd. UP Wrocław.
- Chrobak-Budzińska, M. (2019). Projekt edukacyjny – MEW Służew. *Energetyka Wodna*, 2, 42–44.
- ESHA (2004a). *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. Part 1. European Small Hydropower Association – ESHA. January 2021. Available on: https://www.canyonhydro.com/images/Part_1_ESHA_Guide_on_how_to_develop_a_small_hydropower_plant.pdf* (dostęp: 26.07.2023).
- ESHA (2004b). *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. Part 2. European Small Hydropower Association - ESHA. January 2021. Available on: http://www.canyonhydro.com/images/Part_2_ESHA_Guide_on_how_to_develop_a_small_hydropower_plant.pdf* (dostęp: 26.07.2023).
- Gołębiowski, S., Krzemień, Z. (1998). *Przewodnik inwestora małej elektrowni wodnej*. Warszawa: Fundacja Poszanowania Energii.
- Hoffmann, M. (1992). *Małe elektrownie wodne – poradnik*. Wyd. II popr. Gdańsk: Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych.
- Kalina, Ł. (2018). MEW Zagrody – pomysł na stary młyn. *Energetyka Wodna*, 3, 38–39.
- Kalina, Ł. (2019). Przepławka aktywna ekonomicznym sposobem na udrożnienie biologiczne rzek. *Energetyka Wodna*, 3, 48–49.
- Kalina, Ł. (2020). Prosta, wszechstronna śruba Archimedesesa – przykłady aplikacji. *Energetyka Wodna*, 1, 12–13.
- Kałuża, T., Hammerling, M., Zawadzki, P., Czekala, W., Kasperek, R., Sojka, M., Mokwa, M., Ptak, M., Szudlarek, A., Czechłowski, M., Dach, J. (2022). The hydropower sector in Poland: Historical development and current status. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 158, 112150.
- Khurana, S., Kumar, A. (2011). Small hydro power – A review. *Int. J. Tumor Ther.*, 1(1), 107–110.
- Kowalczyk, K., Cieśliński, R. (2018). Analiza potencjału hydroenergetycznego oraz możliwości jego wykorzystania w województwie pomorskim. *Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie*, 1(61), 69–86.
- Kowalewski, Z. (2005). Wykorzystanie energii wodnej jako elementu rozwoju energetyki odnawialnej (Utilization of water energy as part of the development of renewable energy). *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie*, 2, 87–91.
- Malicka, E. (2010). Niewykorzystany potencjał, „Biuletyn TRMEW”, 13, 4–6.
- Malicka, E. (2012). Istotne problemy gospodarki wodnej w świetle ramowej dyrektywy wodnej. *Energetyka Wodna*, 1, 20–22.
- Malicka, E. (2017). Wykorzystanie istniejących budowli piętrzących na cele hydroenergetyczne. *Kongres Morski*, 9 czerwca. Szczecin.
- Malicka, E. (2018). Sektor małej hydroenergetyki w Polsce – fakty, szanse i wyzwania. *Energetyka Wodna*, 3, 16–19.
- Mróz, W. (2017). Śruby Archimedesesa – doświadczenia eksploatacyjne i nowe możliwości zastosowań. *Energetyka Wodna*, 4, 14–15.
- Mokwa, M., Wiśniewolski, W. (2008). *Ochrona ichtiofauny przed szkodliwym działaniem budowli hydrotechnicznych*. Wrocław: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne.
- Operacz, A., Wałęga, A., Cupak, A., Tomaszewska, B. (2018). The comparison of environmental flow assessment – The barrier for investment in Poland or river protection? *Journal of Cleaner Production*, 193, 575–592.
- Przepióra, K., Wysocki, J., Lis, M. (2016). Nowa MEW w Świętokrzyskiem. *Energetyka Wodna*, 1, 44–47.
- Shahverdi, K., Loni, R., Ghobadian, B., Gohari, S., Marofi, S., Bellos, E. (2020). Numerical optimization study of Archimedes Screw Turbine (AST): A case study. *Renewable Energy*, 145, 2130–2143.

- Sołtuniak, J. (2016) Wpływ suszy hydrologicznej na inwestycje w energetyce wodnej. Możliwości zapobiegania skutkom suszy. *Gospodarka w Praktyce i Teorii*, 44, 77–91.
- Steller, J. (2012). Hydropower sector in Poland – current status and outlook. Conference: *Hidroenergia 2012*, Wrocław, Poland.
- Steller, J. (2013a). Z dziejów energetyki wodnej na ziemiach polskich – Część I. *Energetyka Wodna*, 4, 27–31.
- Steller, J. (2013b). Hydropower and its development. *Acta Energetica*, 3 (16), 7–31.
- Steller, J. (2014). Z dziejów energetyki wodnej na ziemiach polskich – Część II. *Energetyka Wodna*, 1, 32–39.
- Steller, J., Lewandowski, S., Malicka, E., Kremere, E., Popa, B., Punys, P. (2018). Hydropower in the East European region: Challenges and opportunities. *Hydropower Dams*, 25, 39–50.
- Steller, K., Steller, J. (1993). Research and development activity on small hydropower in Poland. *Energy Sources*, 15(1), 37–49.
- Stryczewska, H.D. (2012). *Energie odnawialne. Przegląd technologii i zastosowań*. Lublin: Wyd. Politechnika Lubelska.
- Szydłowski, M., Gąsiorowski, D., Szymkiewicz, R., Zima, P., Hakiel, J. (2015). Hydropower potential of the lower Vistula. *Acta Energetica* 1 (22), 18–25.
- Urząd Regulacji Energetyki (2022). *Wytwarzanie energii elektrycznej w Polsce w małych instalacjach OZE. Raport Prezesa URE za 2022 rok*. Warszawa.
- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne (Dz.U. 1997 nr 54, poz. 348).
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii (Dz.U. 2015 poz. 478).

SCREW TURBINE IN SMALL HYDROPOWER

ABSTRACT

Aim of the study

The paper presents the areas of small hydropower where screw turbines are used. Aspects in favor of the development and the need for the construction of further small hydropower plants with screw turbine sets were described. A review of selected facilities existing in Poland using this solution is presented, as well as issues related to their operation are described. Variant examples of proprietary solutions of various turbine-passage systems have been shown.

Material and methods

Based on the available literature and source materials, as well as the inventory of existing small hydropower plants (SHP) with screw turbines, a review of these facilities was prepared. The authors' work on their own solutions is based on observations, knowledge and experience. Concepts of new and innovative solutions combining the objectives of hydropower and environmental protection were presented. The ongoing development and improvement works of the designed turbine-passage systems will soon allow for the implementation of these structures on the planned facilities.

Results and conclusions

Conducting a wide review of small hydroelectric power plants equipped with screw turbines shows how much interest there is in the development and application of this technology in hydropower. These devices have many environmental advantages. The authors are working on their own solutions based on the classic screw turbine integrated with a helical fish pass.

Keywords: hydropower engineering, screw turbine, screw fish pass