

**Jan Golec**

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice

## **WODA JAKO ODNAWIALNE ŹRÓDŁO ENERGII, ENERGETYKA WODNA ROZPROSZONA W POLSCE**

### **WATER AS A RENEWABLE ENERGY SOURCE, WATER ENERGY DISTRIBUTED IN POLAND**

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono kwestie energetyki wodnej jako odnawialnego źródła energii na świecie i w Polsce, sens jej wykorzystywania oraz jej wady i zalety. Dodatkowo poruszono zagadnienia związane z najważniejszymi parametrami turbin wodnych, ich ogólny podział oraz omówienie różnych rodzajów turbin wodnych. Wyjaśniono możliwy potencjał hydrologiczny Polski w stosowaniu Małych Elektrowni Wodnych o mocy poniżej 1 MW.

**Abstract:** The article presents the issues of hydropower as renewable energy source in the world and in Poland, the sense of its use as well as its advantages and disadvantages. In addition, the issues related to the most important parameters of water turbines, their general classification and a overview of various types of water turbines were discussed. The possible hydrological potential of Poland in the use of Small Hydroelectric Power Plants with a capacity of less than 1 MW was explained.

**Słowa kluczowe:** Energetyka Wodna, OZE, MEW, Turbiny wodne

**Keywords:** Hydropower, Renewable Energy, Small Hydroelectric Power, Water Turbine

### **1. Wprowadzenie**

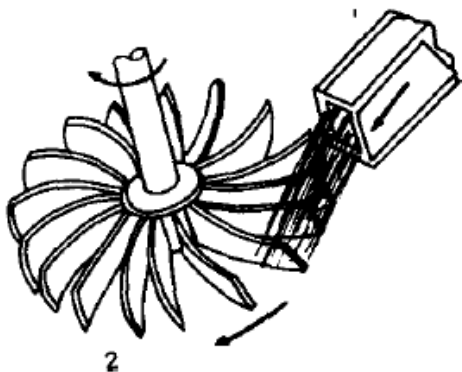
W obawie przed skutkami skażenia środowiska i wyczerpania się surowców energetycznych, ludzkość poszukuje innych rozwiązań technologicznych pozyskiwania energii. Wiatr, woda i słońce jako naturalne zasoby energii ziemi są już powszechnie wykorzystywane jako alternatywne źródła energii. Potrzeba korzystania z takich źródeł energii, wymusza ciągle rozwijanie technologii wykorzystującej odnawialne zasoby energii. W niniejszym artykule zostanie przedstawiony temat pozyskiwania energii z wody oraz wykorzystania hydroenergii w Polskiej energetyce rozproszonej.

### **2. Ogólny zarys energetyki wodnej**

Energetyka wodna opiera się na wykorzystaniu źródeł energii wód. Dzieli się na energię morską i energię wód śródlądowych. Energia morską posiada ogromny potencjał do wykorzystania. Znane są sposoby wykorzystania energii pływów i energii fal. Natomiast energia wód śródlądowych jest najpowszechniej wykorzystywanym źródłem energii wodnej, ze względu na łatwy dostęp, dużą wielkość zasobów oraz powstałe metody pozyskiwania.

Źródłem energii wód jest energia słoneczna, która utrzymuje ciągły cykl krążenia wody w przyrodzie ziemi – można ją przedstawić

w następujący sposób: opad – spływ – odparowanie. Wykorzystanie tej energii odbywa się zazwyczaj na drodze pomiędzy miejscem opadu, a odpływem do morza, w postaci spływu powierzchniowego jak i podziemnego, który może zasilać wody powierzchniowe. Energia wód śródlądowych to inaczej nazywając energia wód płynących czyli rzek, potoków i innych cieków wodnych oraz energia naturalnych zbiorników wodnych – jezior oraz zbiorników sztucznych. Na drodze pomiędzy miejscem opadu a spływem w kierunku większego zbiornika wodnego, następuje przemiana energii potencjalnej w inną formę energii. Można zauważyć dwa kierunki przemiany: przemianę w energię kinetyczną związaną z nadaniem odpowiedniej zmiennej prędkości masom wody zależnej od ukształtowania terenu spływu oraz przemianę w energię cieplną związaną z oporami ruchu podczas przepływu.



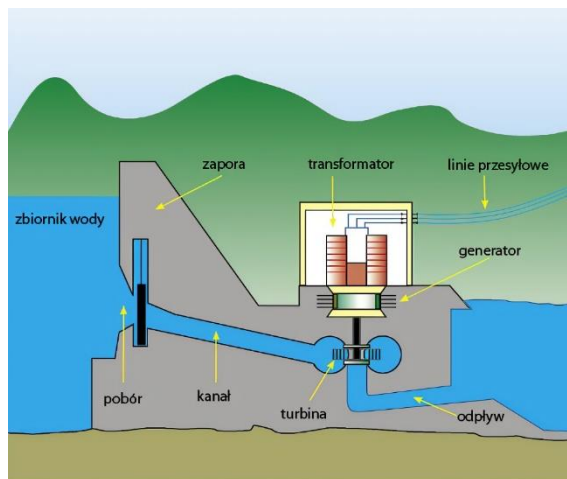
Rys. 1. Koło tureckie – pierwsza turbina wodna [5]

### 3. Energetyka wodna jako odnawialne źródło energii, wady i zalety

W skali całego świata elektrownie wodne zaspokajają ok. 18% zapotrzebowania na energię elektryczną, a w Polsce około 1,5% według danych z 2020 roku [9]. Pionierem w zaspokajaniu potrzeb na energię elektryczną poprzez energetykę wodną jest Norwegia, która stanowi 92% udziału w produkcji energii elektrycznej [7]. Produkcja energii elektrycznej z energii wody jest bardzo dobrą alternatywą dla energii otrzymywanej z surowców takich jak węgiel, ropa czy gaz ziemny.

Energetyka wodna to energetyka bezpieczna dla środowiska, niezanieczyszczająca i odnawialna ale jak każda z metod wytwarzania energii ma swoje wady i zalety. Najważniejszą z zalet energetyki wodnej jest oszczędność innych surowców naturalnych poprzez zmniejszenie zapotrzebowania na nie. Wytworzenie energii elektrycznej dzięki wykorzystaniu wody jest o wiele tańsze, niż w elektrowniach konwencjonalnych, wynika to z stosunkowo wysokiej sprawności turbin wodnych oraz wysokiego stopnia automatyzacji procesu. Kolejną zaletą jest stabilność produkcji, pomimo zmienności przepływu w zależności od pory roku i okresu charakteryzuje się łatwością oszacowania w porównaniu do produkcji energii z wiatru bądź słońca. Dodatkowo w krajach o ubogiej gospodarce wodnej, piętrzenie wody przed elektrowniami wodnymi wpływa korzystnie na bilans hydrologiczny oraz warunki żaglowe. Najistotniejszą wadą elektrowni wodnej jest jej ingerencja w środowisko naturalne, pomimo tego że nie zanieczyszcza, wprowadza często nieodwracalne i niekorzystne zmiany w ekosystemie. Bardzo często powoduje zamulanie dna rzeki, która jest wykorzystywana do wytwarzania

energii, uniemożliwia swobodne życie organizmów wodnych. Następną wadą elektrowni wodnej jest jej koszt, jest kilkukrotnie droższa od zaprojektowania i zbudowania elektrowni konwencjonalnej, a sam proces jej tworzenia jest bardzo długi [1, 3].



Rys. 2. Przekrój poglądowy elektrowni wodnej [8]

### 4. Energetyka wodna w Polsce

Polska jest krajem nizinnym o stosunkowo niewielkich opadach. Największe zasoby energetyczne posiada rzeka Wisła oraz jej dorzecza. Najpopularniejsze elektrownie wodne w Polsce to elektrownie szczytowo-pompowe, znajdujące się przy zaporach wodnych. Są to między innymi elektrownie: Żarnowiec (680 MW); Porąbka-Zar (500 MW); Solina (200 MW). Natomiast największa elektrownia zawodowa o mocy 162 MW mieści się w Włocławku.

Polska jest krajem o słabych warunkach naturalnych, ekonomicznych dla nowych elektrowni wodnych dużych rozmiarów i mocy, ale ma wysoki potencjał dla energetyki wodnej rozproszonej. Energetyka rozproszona składa się głównie z małych lub średnich elektrowni o mocy poniżej 1 MW zlokalizowanych na małych ciekach wodnych, które zasilają lokalnych odbiorców, takich jak gospodarstwa domowe oraz niewielkie przedsiębiorstwa. Aktualny udział MEW czyli Małych Elektrowni Wodnych wykorzystuje 19% potencjału hydrologicznego kraju, około 750 obiektów hydrotechnicznych o łącznej mocy 979 MW. 637 elektrowni wodnych o mocy zainstalowanej poniżej 1 MW należy do prywatnych przedsiębiorców (małe i mikroprzedsiębiorstwa), 47 zaś do koncernów energetycznych i administracji wodnej. Poziom stale się rozwija, dążąc ku celowi by w roku 2050 udział

ten już wynosił średni poziom europejski wynoszący 51%.

Problem rozwoju małej hydroenergetyki w Polsce wskazuje się przede wszystkim na potrzebę wykorzystania na cele MEW istniejących obiektów hydrotechnicznych zarządzanych w imieniu Skarbu Państwa przez PGW Wody Polskie. Budowa małych elektrowni wodnych w oparciu o istniejące budowle piętrzące, oprócz oczywistych korzyści wynikających z produkcji energii OZE, dodatkowo do minimum ogranicza wpływ inwestycji na środowisko oraz przynosi korzyści dla Skarbu Państwa - redukuje koszty utrzymania rzek i stopni wodnych a także przynosi dochód z tytułu dzierżawy jazów i gruntów. Liczba potencjalnych lokalizacji dla mikro i małych instalacji hydroenergetycznych bazujących na istniejących obiektach szacowana jest na około 8 tys. [5, 10].

#### Potencjał hydroenergetyczny w Polsce

Potencjał hydroenergetyczny	GWh / rok	
	teoretyczny	techniczny
Wisła z dopływami:	16 457	9 270
Wisła	9 305	6 177
Dopływy lewobrzeżne	892	513
Dopływy prawobrzeżne	4 914	2 580
Odra z dopływami:	5 966	2 400
Odra	2 802	1 273
Dopływy lewobrzeżne	1 615	619
Dopływy prawobrzeżne	1 540	507
Rzeki przymorza	582	280
<b>RAZEM</b>	<b>23 005</b>	<b>11 950</b>
w tym: MEW (<10 MW)	23 005	11 950
Potencjał nieuwzględniony	około 1 700	

\* < 100 kW/km

Rys. 3. Potencjał hydroenergetyczny [11]

## 5. Podział i rodzaje turbin wodnych

Turbiny wodne - silniki przetwarzające energię wody (energię wody płynącej) na energię mechaniczną poprzez ruch obrotowy wirnika z łopatkami. Poprzednikami turbin wodnych były koła wodne, które zasilaly pierwsze obiekty gospodarcze, a także były źródłem energii dla rozwijającego się przemysłu.

Najczęściej stosuje się maszyny przepływowe obustronnego działania, są to pompo-turbiny które swoją konstrukcją są przygotowane do pracy jako turbina bądź pompa.

Współcześnie można wyróżnić dwie główne grupy turbin wodnych: turbiny reakcyjne (naporowe, w których ciśnienie wody przy wlocie do wirnika jest większe niż ciśnienie atmosferyczne) oraz turbiny akcyjne (natryskowe, w których ciśnienie wody przy wlocie do wirnika jest równe ciśnieniu atmosferycznemu). Na przestrzeni kilkudziesięciu lat rozwoju technologii stosowane są głównie turbiny reakcyjne: Francisza, Deriaza, Kaplana oraz przy dużych wysokościach spadów wody turbiny akcyjne Peltona.

*Turbina Francisza* – turbina wodna reakcyjna stosowana przy spadkach średnich, turbina o przepływie promieniowo-osiowym z zasilaniem na całym obwodzie wirnika. Układ i rozwiązania techniczne są podobne do turbiny Kaplana. Zasadnicza różnica dotyczy kształtu i budowy wirnika i kierownic. Wirnik składa się z wieńców i łączących je łopatek. Kierownice turbiny odpowiadają za regulację dopływu wody na łopatki turbiny. Największą zaletą jest różnorodność wariantów konstrukcyjnych, co pozwala na optymalne dopasowanie do panujących warunków.

*Turbina Deriaza* – turbina wodna stosowana dla spadów od 13 do 300 metrów. Charakteryzują się dobrą sprawnością pompową więc są często wykorzystywane w układach pompo-turbin. Wirnik turbiny Deriaza składa się z obracanych łopat na piaście wirnika. Kierownice także są regulowane. Przepływ wody odbywa się w sposób promieniowo-osiowy, powodując że prędkości obwodowe na wylocie z wirnika turbiny są mniejsze niż na wlocie – są bardziej odporne na niebezpieczne zjawisko kawitacji.

*Turbina Kaplana* – jest rodzajem turbiny śmigłowej, która kształtem przypomina śrubę okrętową w liczbie łopatek od 3 do 10. Wirnik ten posiada łopatki regulowane w czasie pracy, poprzez obracanie wokół czopów łopatek na łożyskach zainstalowanych w jego piaście, prostopadle do osi wirnika. Turbiny Kaplana stosuje się do najniższych spadów do 75 metrów. Ze względu na bardzo dobre własności regulacyjne – możliwość zmiany ustawień łopatek kierowniczych i wirnika, turbina może osiągać maksymalną sprawność niezależnie od wysokości

spadu a także przy częstych zmianach obciążenia.

Turbina Kaplana ze względu na charakterystykę i możliwości pracy jest idealną turbiną do zastosowań w energetyce wodnej rozproszonej [1, 2, 3].

## 6. Turbiny wodne – pojęcia podstawowe

O zastosowaniu odpowiedniego typu i rodzaju, oraz określeniu proporcji wymiarów wirnika turbiny wodnej w danej aplikacji decyduje parametr nazywany wyróżnikiem szybkobieżności. Wyróżnik szybkobieżności jest funkcją spadku. Rodzaj turbiny zależy od danego spadku.

Wyróżnik szybkobieżności można przedstawić dwoma wzorami:

**Wyróżnik szybkobieżności turbiny  $n_s$**

$$n_s = \frac{nN^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} [\text{min}^{-1}],$$

gdzie:  $n$ - prędkość obrotowa wirnika turbiny w obr/min;

$N$ -moc turbiny w KM;

$H$ - spadek użyteczny w m.

Dodatkowo można przedstawić jako bezwymiarowy wyróżnik szybkobieżności, który jest stosowany zarówno dla turbin i pomp,  $n_{sb}$ .

$$n_{sb} = \omega \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{(gH)^{\frac{3}{4}}} [-],$$

gdzie:

$Q$ - przepływ turbiny w  $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ ,

$g$ - przyspieszenie grawitacyjne równe  $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Po wybraniu odpowiedniego rodzaju turbiny za pomocą wyróżnika szybkobieżności, turbiny charakteryzują się podstawowymi parametrami energetycznymi:

### Spadek

$$H = H_z + \frac{c_a^2}{2g} - \frac{c_b^2}{2g} [\text{m}],$$

gdzie:

$C_a$  - prędkość wody na wlocie,

$C_b$  - prędkość wody na wylocie,

$H_z$  - odległość zwierciadła wody w kanale odpływowym od zwierciadła wody w kanale dopływowym.

## Moc i sprawność turbiny

Objętość wody  $Q$  o ciężarze właściwym  $\gamma = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  w czasie jednej sekundy ze spadku  $H$  wyrażonego w [m], wytwarza moc teoretyczną w jednostkach koni mechanicznych [KM] i jest określana wzorem:

$$N_{th} = \frac{\gamma Q H}{75} [\text{KM}]$$

Biorąc pod uwagę sprawność hydrauliczną, otrzymujemy moc hydrauliczną  $N_h$

$$N_h = \eta_h N_{th}$$

Moc użyteczna to moc pobierana z wału turbiny, jest ona niższa od mocy hydraulicznej w skutek pokonywania strat tarcia.

$$N = \eta_m N_h = \eta_m \eta_h \eta_v N_{th}$$

Sprawność całkowita turbiny – stosunek mocy wytworzonej do mocy teoretycznej wody wchodzącej do turbiny.

$$\eta_t = \frac{N}{N_{th}} = \eta_v \eta_h \eta_m$$

Sprawność objętościowa (wolumetryczna)

$$\eta_v = \frac{Q - \Delta Q}{Q}$$

Sprawność hydrauliczna

$$\eta_h = \frac{H - \Delta h_h}{H}$$

Sprawność mechaniczna

$$\eta_m = \frac{N_h - \Delta N_m}{N_h}$$

**Przepływ turbiny  $Q$ - $[\frac{\text{m}^3}{\text{s}}]$**  objętość wody przepływającej przez turbinę w czasie jednej sekundy wraz z stratami związanymi z przeciekami wody w dławnicach i przewodach układu.

**Prędkość obrotowa  $n$ - $[\frac{\text{obr}}{\text{min}}]$**  jest to liczba obrotów jaką wykonuje wał turbiny w czasie jednej minuty. W momencie połączenia turbiny z generatorem wartość ta jest jednocześnie prędkością obrotową utworzonego turbozespołu. [4]

## 7. Podsumowanie

Europejski projekt Zielonego Ładu dotyczący zero-emisyjności do 2050 wymaga na krajach wspólnoty dążenia do szukania i rozwijania alternatywnych źródeł energii, które będą stano-

wiły większość w krajowym miksie energetycznym. Rozwój i budowa technologii odnawialnych źródeł energii jest długim i kosztownym procesem a zapotrzebowanie na energię elektryczną z roku na rok wzrasta. W Polsce jednym z wielu rozwiązań transformacji energetycznej może być rozbudowa pozyskiwania energii elektrycznej z wody poprzez lokalne Małe Elektrownie Wodne stanowiące jednym z filarów energetyki rozproszonej [13]. Maksymalne wykorzystanie już istniejących obiektów hydrotechnicznych poprzez ich modernizację bądź rozbudowę pozwoliłoby na tanie i szybkie przybliżenie się do założeń Europejskiego Zielonego Ładu.

Znajomość podstawowych parametrów turbin wodnych umożliwia prawidłowy wybór odpowiedniego typu i rodzaju turbiny względem lokalnych warunków środowiskowych, gdzie ma być zainstalowana.

Naturalne uwarunkowania środowiskowe w Polsce wskazują, że doskonałym wyborem konstrukcyjnym w hydroenergetyce rozproszonej byłoby zastosowanie turbin Kaplana, które charakteryzują się wysoką sprawnością uzyskiwanej energii wody niezależnie od chwilowej wysokości spadu [5].

## 8. Literatura

- [1]. K. Jackowski, Elektrownie Wodne- turbozespoły i wyposażenie, Wydawnictwa Naukowo - Techniczne, Warszawa, 1971.
- [2]. W. A. Krzyżanowski, Turbiny Wodne- Konstrukcja i zasady regulacji, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1971.
- [3]. S. Michałowski, J. Plutecki, Energetyka Wodna, Wydawnictwa Naukowe- Techniczne, Warszawa, 1975.
- [4]. A. Łaski, Elektrownie Wodne- rozwiązania i dobór parametrów, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa, 1971.
- [5]. Praca zbiorowa pod redakcją M. Hoffmann, Małe Elektrownie Wodne- poradnik, Wydanie II poprawione, Wydawnictwo Nabba Sp. z o. o., Warszawa, 1992.
- [6]. Europejski Zielony Ład w pytaniach i odpowiedziach, [https://www.pois.gov.pl/media/98573/zielony\\_lad\\_broszura\\_wersja\\_dostepna.pdf](https://www.pois.gov.pl/media/98573/zielony_lad_broszura_wersja_dostepna.pdf)
- [7]. <https://www.iea.org/countries/norway>
- [8]. <http://energiaodnawialna.net/images/strona/budowaelektrowni.jpg>
- [9]. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/energia-ze-zrodel-odnawialnych-w-2020-roku,10,4.html>
- [10]. Główny Urząd Statystyczny, Energia 2022, Warszawa, 2022.
- [11]. <http://trmew.pl/index.php?id=91>

[12]. Gawron S.: „Wybrane, innowacyjne projekty maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi i ich praktyczne zastosowania”, Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe, No. 1/2016 (109), pp. 1–10.

[13]. S. Gawron, R. Rossa: „Nowe zespoły prądotwórcze z prądnicami z magnesami trwałymi - praktyczne zastosowania w MEW”, Energetyka Wodna Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych, ISSN 2299-0674, nr 3/2016, strona 38-42.

## Autor

mgr inż. Jan Golec

[jan.golec@komel.lukasiewicz.gov.pl](mailto:jan.golec@komel.lukasiewicz.gov.pl)

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL  
40-203 Katowice, Al. Roździeńskiego 188.