

MARIOLA STARZOMSKA<sup>1</sup>  
JERZY ZBIGNIEW PIOTROWSKI<sup>2</sup>

Kielce University of Technology  
Faculty of Civil and Environmental Engineering  
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7  
25-314 Kielce, Poland

<sup>1</sup>e-mail: rav4ms@wp.pl

<sup>2</sup>e-mail: piotrowski@tu.kielce.pl

# TESTING A PROTOTYPE FOR AN INNOVATIVE WATER TURBINE

## Abstract

*The possibility of using rivers with small depths and dips to produce electricity requires building innovative turbines. Prototype of a new turbine is tested on a natural watercourse, and is designed to determine the hydrodynamic characteristics. Water turbines installed on the rivers with small dips and depths without the need for building any extra bottlenecks may contribute to development of micro power plants.*

**Keywords:** Water turbine, micro power plant

## 1. Introduction

Poland has small water resources. Theoretical water resources in Poland were calculated in the 1960s, based on methodology of the World Energy Council. The amount of electricity was about 23 TWh per year (1 TWh = 109 kWh). The theoretical energy resources using all flowing waters determined by A. Hoffman and M. Hoffman [1] were about 12 TWh per year and the technical NEW resources (water objects less than 5 MW) were about 2 TWh per year. However, only 10-12% of the technical potential of Polish rivers was being used and operating hydropower plants were producing an average of about 1.8 TWh per year.

There are no natural conditions in the Świętokrzyski region sufficient for the construction of typical hydro power plants, which is why the research is being carried out at the Technical University in Kielce. It is mainly focusing on the usage of kinetic energy contained in flowing water, regardless of the watercourse conditions.

## 2. Research of turbine prototype

The designed turbine is a prototype. The properties such as its dependence on the parameters of the turbine power, i.e. the number of combined sections and the distance between them, or the dependence of rotational speed and the speed of the flowing water

are not known as yet. Tested turbine will allow using shallow rivers. It is constructed from the combined section and guiding system which is increasing the water flow velocity directed on the turbine. It works without having to build expensive bottlenecks and passes almost without interfering with the natural environment.

A model of the turbine which will be tested in the environment is currently being built. Tests are designed to determine the hydrodynamic characteristics of the turbine – power and torque as function of water flow rate. Shaft speed and torque will be directly measured. Net power of the turbine will be determined by the product of velocity and torque without considering transmission efficiency. Due to the sectional construction of the turbine performed tests will allow to define number of sections and a distance between them to achieve necessary optimal amount of power. The study will also be used to determine blades angles.

Absence of windings and rotating electrical parts will result in a higher efficiency and reliability compared to conventional generators. Due to the low rotation speed the turbine will work together with an innovative synchronous generator induced by permanent magnets. That will also reduce noise and increase structural reliability.

### 3. Power of water turbine

Kielce University of Technology tested the water turbine with an innovative solution. It uses the flow of water without a need to build expensive bottlenecks. Other advantages of this device are its relatively low cost and minimal impact on the environment.

The kinetic energy of flowing water stream is determined by the following formula:

$$E = \frac{m \cdot g^2}{2} [J] \quad (1)$$

where:

$$m = \rho A g t \quad (2)$$

$A$  – area through which water flows, [m<sup>2</sup>]

$g$  – speed of the flowing water  $\left[ \frac{m}{s} \right]$

$\rho$  – water density  $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

Hydraulic power of the flowing water:

$$P_h = \frac{E}{t} = \frac{\rho A g^3}{2} [W] \quad (3)$$

By adding the water density  $\left( \rho = 1000 \frac{kg}{m^3} \right)$  we get:

$$P_h = 500 A g^3 [W] \quad (4)$$

The amount of power calculated from the formula (4) is only theoretical. The recovery of the entire kinetic energy of the water would cause it to stop flowing. Available capacity is due to the slowing of the water as it passes through the turbine (the difference between average speed of the water before and beyond the turbine).

$$P_t = \frac{1}{2} P_h \left( 1 + \frac{g_2}{g_1} \right) \left( 1 - \left( \frac{g_2}{g_1} \right)^2 \right) \quad (5)$$

Assuming a minimum average speed of the water behind the turbine:

$$g_{2min} = 0.75 g_1 \quad (6)$$

we get a maximum power of the turbine:

$$P_t = 0.38 P_h \quad (7)$$

Actual hydraulic power of flowing water is weaker. It depends on the physical conditions of the riverbed through which water flows, hydraulic loss, depth of

the river, etc., and the cube of the flow speed. The flow rate is not very large for the majority of the rivers and remains between 1-2 m/s. In spite of the rivers' great potential, flowing water cannot generate large amounts of energy from a single device. Therefore, the appropriate use of multiple components would be for them to work as a single receiver.

### 4. Economical efficiency

Energetic and economical calculations:

$$\mu_t = \frac{P_1}{P_t} \quad (8)$$

where:

$\mu_t$  – turbine efficiency,

$P_1$  – power on the shaft of the turbine,

$P_t$  – hydraulic power calculated using the formula (7).

Tab. 1. shows the calculations for the following principles: efficiency of the turbine  $\mu_t = 0.8$ , the efficiency of the generator  $\mu_p = 0.8$ , and the efficiency of the turbine complex  $\mu_h = \mu_t \mu_p = 0.64$ . The income from energy produced during one year S/year. Calculations were performed for the diameter of a turbine 0.4 m with a single rotor, a complex of 5, 10 and 15 sections, and the current energy price – 0.13 EUR/kWh.

**Table 1.** Turbine power, amount of the produced energy and the income from its sale

No of sections [l]	$g$ [m/s]	$P_h$ [W]	$P_t$ [W]	$P$ [W]	Produced energy [kWh]	S/year [EUR]
1	1	62.8	23.9	15.3	134	17.42
	2	502.4	190.9	122.2	1070	139.1
	3	1841.4	699.7	447.8	3923	510
5	1	314	119.5	76.5	670	87.1
	2	2512	945.5	611	5350	695.5
	3	9207	2498.5	2239	19615	2549.95
10	1	628	239	153	1340	174.2
	2	5024	1909	1222	10700	1391
	3	18414	6997	4478	39230	5100
15	1	942	358.5	230	2010	261.3
	2	7536	2863.5	1833	16050	2086.5
	3	27621	10495.5	6717	58845	7653.5

The calculations above indicate that it is very important to use multiple subunits working for a single collector to get suitably economical results, especially, when water is flowing slowly.

### 5. Conclusions

Water turbines installed on the rivers with small dips and depths without the need for building any extra

bottlenecks may contribute the development of micro power plants. Turbines built on rivers with small dips should maximize the kinetic energy of flowing water. Using several subunits working on a single collector would increase efficiency of the turbine.

### References

- [1] Hoffman M.: *Prognozy rozwoju energetyki wodnej w Europie i Polsce* (Future of water energy in Europe and Poland), IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Mała Energetyka-97” Zakopane Kościelisko.
- [2] Praca zbiorowa: *Kierunki rozwoju energetyki kompleksowej w Polsce do 2010 r.* (Development directions of energy generation in Poland till 2010) Ekspertyza PAN, Komitet Problemów Energetyki, Warszawa, listopad 1994.
- [3] Zawada T.: *Prądnice asynchroniczne* (Asynchronous generators), Materiały informacyjne dotyczące stosowania seryjnie produkowanych silników indukcyjnych jako generatorów asynchronicznych. Centralny Program Badawczo-Rozwojowy pn. „Kompleksowy Rozwój Energetyki. Informator, seria „Mała energetyka wodna“.
- [4] Hoffman M. (red.): *Małe elektrownie wodne-poradnik* (Small scale water turbines), Nabba sp. z o.o., Warszawa 1991.
- [5] Krzyżanowski W.: *Turbiny wodne, konstrukcja i zasady regulacji* (Water turbines, construction and regulation principles), Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1971.

Mariola Starzomska  
Jerzy Zbigniew Piotrowski

## Badania innowacyjnej turbiny wodnej

### 1. Wstęp

Polska jest krajem wyjątkowo ubogim w wodę. Teoretyczne zasoby wodno energetyczne Polski zostały obliczone w latach 60, w oparciu o metodykę Światowej Rady energetyki i wynoszą one dla średniego roku energetycznego około 23 TWh/rok (1 TWh=10<sup>9</sup> kWh). Natomiast techniczne zasoby energetyczne wszystkich wód płynących wyliczone przez A. Hoffmana i M. Hoffmana oraz J. Tymiańskiego wynoszą około 12 TWh/rok, zaś techniczne zasoby MEW (obiekty wodne do 5 MW) wynoszą około 2 TWh/rok. Jednak potencjał techniczny polskich rzek wykorzystany jest jedynie w 10-12%, a pracujące elektrownie wodne wytwarzają średnio rocznie około 1,8 TWh.

Na terenie województwa Świętokrzyskiego brak jest warunków naturalnych sprzyjających budowie typowych elektrowni wodnych (rzeki o niewielkich spadkach i głębokościach), dlatego też badania naukowe realizowane na Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach ukierunkowane zostały na wykorzystanie głównie energii kinetycznej zawartej w płynącej wodzie bez względu na charakter cieku wodnego.

### 2. Badania prototypu turbiny

Badane na Politechnice Świętokrzyskiej urządzenie – turbina wodna o nowatorskim rozwiązaniu wykorzystuje przepływ wody bez konieczności budowy kosztownych spiętrzeń. Inną ważną zaletą tego urządzenia są stosunkowo niskie nakłady finansowe i minimalna ingerencja w środowisko naturalne.

### 3. Moc turbiny

Energia strumienia płynącej wody jest energią kinetyczną określoną wzorem (1), a moc hydrauliczna płynącej wody jako (2). Otrzymana ze wzoru (3) moc jest wielkością jedynie teoretyczną, gdyż odzyskanie całej energii kinetycznej wody oznaczałoby jej zatrzymanie. Faktycznie dostępna moc wynika ze spowolnienia wody poprzez turbinę (z różnicy średniej prędkości przed i za turbiną). Przyjmując minimalną średnią wartość prędkości wody za turbiną otrzymujemy maksymalną moc turbiny jako (5).

Rzeczywista moc hydrauliczna płynącej wody jest mniejsza i zależy od ograniczonej względami technicznymi powierzchni obszaru przez który przepływa woda, strat hydraulicznych głębokości rzeki itp. oraz od trzeciej potęgi prędkości płynącej wody, która dla

większości rzek nie jest zbyt duża i wynosi zwykle 1-2 m/s. Pomimo ogromnych zasobów energii płynącej wody nie jest możliwe uzyskiwanie znacznych ilości energii z pojedynczych urządzeń. Dlatego też celowe będzie stosowanie wielu hydrozespołów pracujących na wspólny odbiornik.

#### 4. Efektywność ekonomiczna

W tabeli 1 przedstawiono obliczenia dla następujących założeń: sprawność turbiny  $\mu_t = 0.8$ , sprawność prądnicy  $\mu_p = 0.8$ , sprawność turbozespołu  $\mu_h = \mu_t \mu_p = 0.64$ . Suma uzyskanych przychodów ze sprzedaży wyprodukowanej energii elektrycznej w ciągu roku S/rok. Obliczenia wykonano dla średnicy turbiny 0,4 m i dla pojedynczego wirnika, oraz turbiny złożonej z 5, 10 i 15 sekcji, przyjęto obecnie obowiązującą cenę energii elektrycznej wynoszącą 0,53 zł/kWh

Z obliczeń wynika, że w zależności od prędkości płynącej wody celowym będzie, zwłaszcza przy mniejszych prędkościach stosowanie wielu hydrozespołów, pracujących na jeden odbiornik, dla uzyskania zadawalającego efektu ekonomicznego.

Badana turbina jest rozwiązaniem nowatorskim zgłoszonym do Urzędu Patentowego (dlatego nie jest w chwili obecnej możliwe podanie szczegółów dotyczących jej budowy). Nie są znane jej właściwości np. zależność mocy od parametrów turbiny tzn. ilości połączonych sekcji i odległość między nimi, czy zależność prędkości obrotowej od prędkości przepływającej wody. Badana turbina pozwala na wykorzystanie nurtu rzek o niewielkich głębokościach, zbudowana jest z połączonych sekcji oraz systemu naprowadzającego i zwiększającego prędkość strumienia wody kierowanej na turbinę. Pracuje ona bez konieczności budowy kosztownych spiętrzeń oraz przepławek prawie nie ingerując w środowisko naturalne.

Obecnie budowany jest model turbiny, który będzie badany na naturalnym cieku. Badania mają na celu wyznaczenie charakterystyk hydrodynamicznych turbiny – mocy oraz momentu obrotowego w funkcji prędkości przepływu wody. Wielkościami mierzonymi bezpośrednio będą prędkość obrotowa wału oraz moment obrotowy (wyznaczona będzie moc netto turbiny, bez uwzględnienia sprawności przeniesienia napędu, na podstawie iloczynu prędkości obrotowej i momentu obrotowego). Ze względu na sekcijną budowę turbiny będą przeprowadzone badania pozwalające na określenie optymalnej, ze względu na otrzymywaną moc, ilości sekcji na wspólnym wale oraz odległości między sekcjami. Badaniom będzie również poddany kąt nachylenia łopatek. Komplekso-

we badanie nowej turbiny nie może ominąć określenia optymalnego ustawienia systemu naprowadzającego ze względu na uzyskanie maksymalnego zwiększenia prędkości strumienia wody.

Ze względu na niewielkie prędkości obrotowe do współpracy z turbiną będzie wykorzystana prądnica synchroniczna wzbudzana magnesami trwałymi. Brak uzwojenia w wirniku i wirujących elementów elektronicznych powoduje, że prądnice te charakteryzują się wyższą sprawnością i niezawodnością w porównaniu z klasycznymi prądnicami. W celu uniknięcia stosowania podwyższających przekładni mechanicznych-multiplikatorów powodujących straty, hałas i zmniejszających niezawodność konstrukcji planuje się również opracowanie nowej współpracującej z badaną turbiną prądnicy synchronicznej wzbudzonej magnesami trwałymi.

#### 5. Wnioski

Elektrownia powinna być tania, łatwa do montażu, obsługi i konserwacji oraz bezpieczna w eksploatacji. Wszystkie te zalety posiada opracowywana na Politechnice Świętokrzyskiej nowatorska turbina. Zapewnia ona wykorzystania pod względem energetycznym rzek o niewielkiej głębokości i niewielkich prędkościach jednocześnie zapewnia minimalną ingerencję w środowisko naturalne.