

MARIOLA STARZOMSKA

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

e-mail: rav4ms@wp.pl

## A SET OF WHEEL WATER TURBINE WITH THE CURRENT STEERING – A MATHEMATICAL TORQUE MODEL

### Abstract

*This paper presents the idea of the wheel water turbine with an innovative current steering, due to its structure, operation principle and innovative way to use the energy of flowing water. This device meets the prevailing trends in the energy and water authorities issuing environmental decisions and preferred low-speed and low-falling turbine to minimize the impact on the ecosystem. The use of the described solution allows for the effective gain of the energy from watercourses that are economically unviable or impossible for technical reasons of the use of conventional turbines. The described device is the water turbine with a vertical axis rotor and planetary motion blades. They were also the power and torque of the rotor designated for the heptagonal solution based on the component of the relative velocity of water moving towards the rotor blades.*

**Keywords:** water turbine, the rotor of the vertical axis of rotation, torque

### 1. Introduction

Polish energy water resources are not too impressive, the theoretical value is calculated in the 60's, based on the methodology of the World Energy Council. The average energy year is amounted to about 23 TWh/year (1 TWh =  $10^9$  kWh). Technical energy resources all flowing waters have been identified by A. Hoffman and M. Hoffman and J. Tyminski at about 12 TWh/year, including small hydro technical resources (water bodies to 5 MW) are approximately 2 TWh/year [1].

Hydropower potential in Poland is only used in 16–19% [2], which puts us in the tail of Europe, where the average use of hydropower potential is about 50%, and in many countries up to 70%.

Traditional methods involve the use of water power for the construction of costly water stagnations usually having a huge impact on the environment. Issuing authorities of the environmental decision are looking at this type of structures with the hostile eye preferring the use of low-falling and low-speed turbines to minimize impacts on the ecosystem and such a device is the described turbine.

In the Holy Cross region, there are no natural conditions conducive to the construction of conventional hydropower (river of small dips and depths), so the

research carried out at the Technical University of Kielce focused mainly on the use of the kinetic energy contained in flowing water regardless of the nature of the watercourse.

### 2. A set of wheel water turbine with the current steering

#### 2.1. Description of the device

The alternative to the conventional turbines is the solution of wheel water turbine with the current steering described in [3]. The test turbine is an innovative solution, equipped with a rotary impeller with the vertical axis and the planetary movement of the blades. It has a boom in the form of a frame that is attached to the bearing-supported cylinder shaft embedded in the river. On each arm at least one blade that rotates by an angle of  $180^\circ$  is mounted, the corresponding location of the axis of rotation of the blade allows the boom, after the end of the working movement, to set the blade freely to the stream direction. Booms are in the form of a frames formed of the elements fixed to the cylinder and transverse longitudinal clamping elements, which also provide support for the free ends of the blades. Suitable positioning of the transverse elements relatively to the axis of blades rotation allows for the increased torque on the individual blades and also facilitates the earlier rotation.

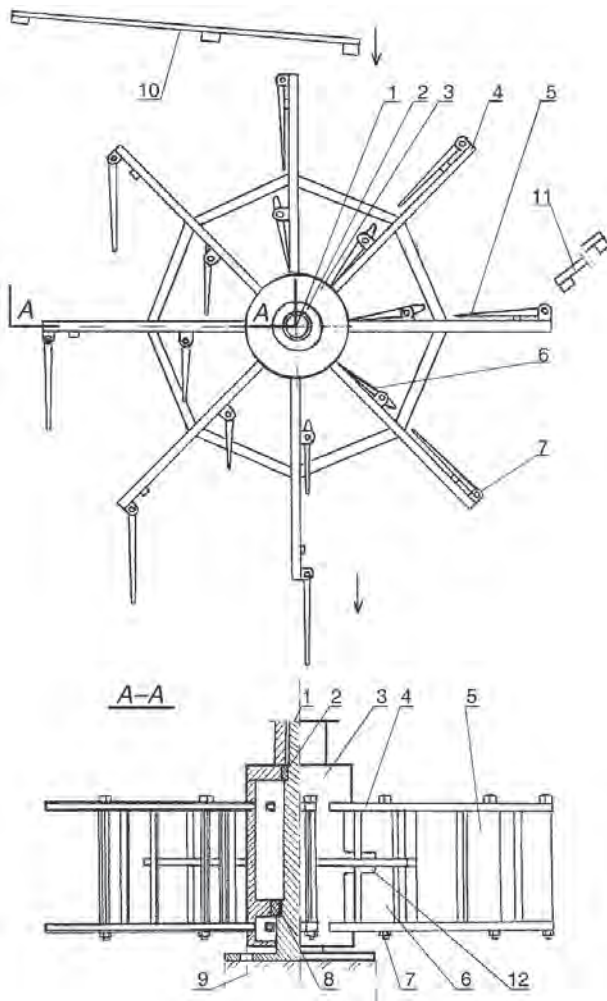


Fig. 1. Schematic cross-section and axial turbine rotor assembly of the wheel water turbine with the current steering: 1 – shaft set on a foundation, 2, 8 – bearings, 3 – a rotating cylinder mounted on bearings 2 and 8, 4 – arms in the form of frames, created from two longitudinal elements instructed the cylinder 3, 4a – transverse axial coupling elements booms 4, which are support for the free blades 5 and 6, 5,6 – blades mounted rotationally, 7 – hinges on which the blades are mounted to the arm 4, 12 – chosen room for switches of the blades during rotation 6 of the boom 4

**2.2. Operation**

Stream of water pushed on the blade causes the rotation of the turbine, the working traffic under the blade support arms, and after it gets closer to the lower stream they rotate in 180°. From this point traverse barren, opposite to the direction of the current, and the blades are free to set the direction of the current. In the upstream, starting with the working movement, the blades are arranged on the transverse strut elements remaining in the base position of the lower stream while they rotate for the pivot arm at 180°, as shown in Figure 2.

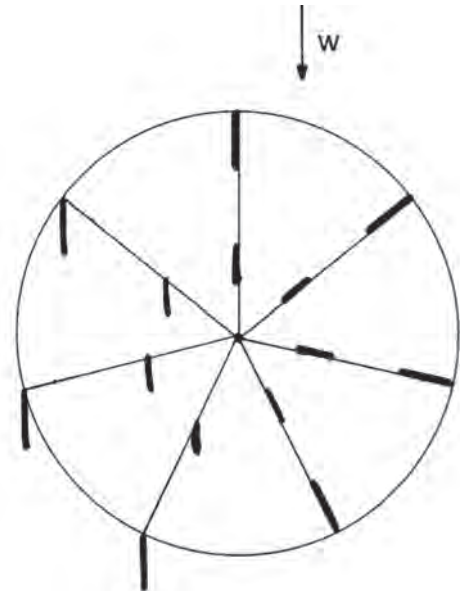


Fig. 2. Setting the rotor blades during turbine operation  
Before the turbine, from the side of the water flow, the valve drive is installed.

**3. Torque and power calculation**

To calculate the power as a function of flow velocity and the rotation speed of the rotor the stream velocity components are specified relatively to the moving rotor blades and then the rotor torque was set with one shovel and torque to the rotor for which the model was built.

In order to determine the relative velocity of the turbine blade the turbine blades draft was drawn moving at an angle  $\alpha$ . As a starting point adopted the point where the blade begins working.

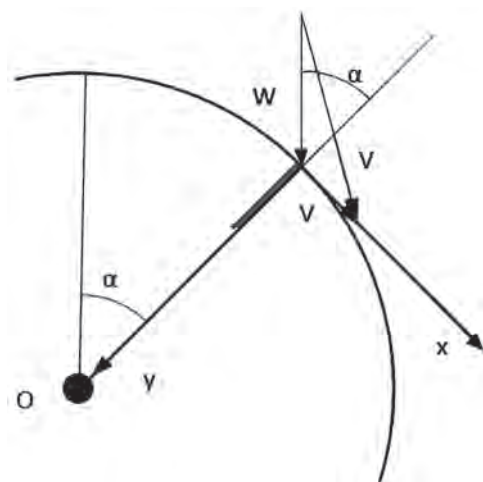


Fig. 3. Scheme of the turbine rotor blades in motion by an angle  $\alpha$

Calculation of the relative velocity of the water for a turbine blade.

Notations:

$W$  – water velocity m/s

$V_0$  – rotor speed m/s

$V$  – relative velocity m/s

$\alpha$  – angle of rotation of the rotor

As shown in Figure 3, showing the distribution of speed for a shovel, the relative velocity of the water we get from the formula:

$$\bar{V} = \bar{W} + \bar{V}_0 \quad (1)$$

The water velocity  $W$  is written as the moving components in the moving system associated with a turbine shovel  $x$ - $y$

$$W_x = W \sin \alpha \quad (2)$$

$$W_y = W \cos \alpha \quad (3)$$

The rotor speed  $V_0$ :

$$V_{0x} = V_0 \quad (4)$$

$$V_{0y} = 0 \quad (5)$$

$V$  velocity components relative to the moving system associated with a shovel

$$V_x = W \sin \alpha + V_0 \quad (6)$$

$$V_y = W \cos \alpha \quad (7)$$

Thus, the final formula for the value of the water relative velocity:

$$V^2 = W^2 + V_0^2 + 2WV_0 \sin \alpha \quad (8)$$

$$V = \sqrt{W^2 + V_0^2 + 2WV_0 \sin \alpha} \quad (9)$$

Turbine driving torque for a rotor blade.

Blades made in the model of the turbine are flat patches, so on the whole surface the stress  $N$  works on the arm  $R$ . When using a different blade shape we can get the effect of causing aerodynamic forces  $N$  favorably to the rotation axis of the rotor causing power increase.

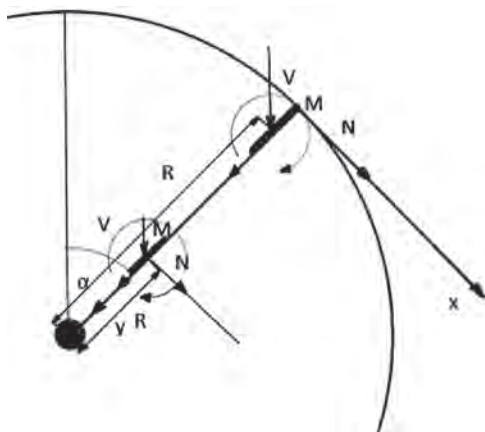


Fig. 4. Scheme of the forces acting on the turbine blades in motion by an angle  $\alpha$  (for one arm)

As shown in Figure 4 on the turbine blade there is force  $N$ , therefore torque for a shovel is as follows:

$$M_{\alpha x} = 0.5k_x(\alpha)(V_x(\alpha))^2 RA\rho \quad (10)$$

$$M = \int_0^{\pi} M_{\alpha x}(\alpha) d\alpha = \int_0^{\pi} k_x(\alpha)(V_x(\alpha))^2 AR\rho d\alpha \quad (11)$$

where:  $A$  – area of blades [ $m^2$ ],  $k_x(\alpha, W)$  – hydrodynamic coefficient depends on water relative velocity to the blade, as well as the angle of rotation of the rotor. In order to calculate the value of the coefficient model tests are necessary.

Range of integration was defined as  $0-\pi$ ,  $\pi$  as the set- $2\pi$  blades are free to move toward the mainstream performing barren movement.

Because the work area (due to the construction and operation of the turbine model test), covering the range  $0-\pi$  can also be found up to four blades, the resultant total time for the test turbine model is:

$$M = \int_0^{\pi} M_{\alpha x}(\alpha) d\alpha \quad (12)$$

$$M_{\alpha x} = M_{11\alpha x} + M_{12\alpha x} + M_{13\alpha x} + M_{14\alpha x} + M_{21\alpha x} + M_{22\alpha x} + M_{23\alpha x} + M_{24\alpha x} \quad (13)$$

where:

$$M_{11\alpha x} = 0.5k_x(\alpha)(V_x(\alpha))^2 R_1 A_1 \rho$$

$$M_{12\alpha x} = 0.5k_x\left(\alpha + \frac{2\pi}{7}\right)\left(V_x\left(\alpha + \frac{2\pi}{7}\right)\right)^2 R_1 A_1 \rho$$

$$M_{13\alpha x} = 0.5k_x\left(\alpha + \frac{4\pi}{7}\right)\left(V_x\left(\alpha + \frac{4\pi}{7}\right)\right)^2 R_1 A_1 \rho$$

$$M_{14\alpha x} = 0.5k_x\left(\alpha + \frac{6\pi}{7}\right)\left(V_x\left(\alpha + \frac{6\pi}{7}\right)\right)^2 R_1 A_1 \rho$$

$$M_{21\alpha x} = 0.5k_x(\alpha)(V_{2x}(\alpha))^2 R_2 A_2 \rho$$

$$M_{22\alpha x} = 0.5k_x\left(\alpha + \frac{2\pi}{7}\right)\left(V_{2x}\left(\alpha + \frac{2\pi}{7}\right)\right)^2 R_2 A_2 \rho$$

$$M_{23\alpha x} = 0.5k_x\left(\alpha + \frac{4\pi}{7}\right)\left(V_{2x}\left(\alpha + \frac{4\pi}{7}\right)\right)^2 R_2 A_2 \rho$$

$$M_{24\alpha x} = 0.5k_x\left(\alpha + \frac{6\pi}{7}\right)\left(V_{2x}\left(\alpha + \frac{6\pi}{7}\right)\right)^2 R_2 A_2 \rho$$

$$V_{2x}(\alpha) = W \sin \alpha + V_0 \frac{R_2}{R_1}$$

$R_1$  – frame of force in the first row of blades

$R_2$  – frame of force of the second row of blades

$A_1$  – the area of the blades in the first row

$A_2$  – the area of the blades in the second row

$P$  – water density  $\text{kg/m}^3$

A resulting power  $W$ :

$$N = M \frac{V_0}{R} \quad (14)$$

#### 4. Conclusion

A set of water turbine with the stream steering is an innovative solution filed for patent protection for the name “water turbine set and steering mainstream” by Stanisław Szewczyk, Zbigniew Jerzy Piotrowski, on 27.09.2011 under number 396452 A1.

This device meets the preferences prevailing in the hydro power, allows the use of mainstream rivers with shallow depths, is made up of connected sections and directing system and increasing the speed of the water stream directed on the turbine. It works without having to build costly water accumulations and passes almost without interfering with the natural environment.

Defined above depending allowed to verify the previously planned laboratory research program that is expanding its range under the designation of the test turbine as a function of flow velocity and rotation velocity by the calculation of the hydrodynamic

coefficients as a function of water velocity relative to the blade and the rotor moving angle.

#### References

- [1] Hoffman M.: *Prognozy rozwoju energetyki wodnej w Europie i Polsce*, IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Mała Energetyka-97” Zakopane Kościelisko.
- [2] Szlęzak R.: *Śmiała wizja rozwoju*, Biuletyn TRMEW-16/2011 IV Kwartał, Wydawnictwo Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych, 2011,10–11.
- [3] Szewczyk S., Piotrowski J.Z.: *Zestaw turbiny wodnej i kierownicy nurtu* zgłoszenie do Urzędu Patentowego w dniu 27.09.2011 pod numerem A1 396452.
- [4] Augustyn M., Ryś J.: *Kinematyka i moment napędowy turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu*, Czasopismo Techniczne, z. 1-M/2007, Wydawnictwo PK, Kraków 2007, 3–17.
- [5] Starzomska M., Piotrowski J.Z.: *Testing a prototype for an innovative water turbine*, Transcom 2011, University of Žylyna, Slovak Republic.

**The research is co-financed by the European Union from European Social Fund (ESF), Project „INVENTION – potential young scientists and knowledge transfer and innovation support to important areas of the economy Świętokrzyskie”, identification number: WND-POKL 08.02.01-26-020/11.**

Mariola Starzomska

## Zestaw turbiny wodnej z kierownicą nurtu – model matematyczny momentu napędowego

### 1. Wprowadzenie

Zasoby wodno-energetyczne Polski nie są zbyt imponujące, ich teoretyczną wartość obliczono w latach 60, w oparciu o metodykę Światowej Rady Energetyki. Dla średniego roku energetycznego wynoszą one około 23 TWh/rok (1 TWh=10<sup>9</sup>kWh). Techniczne zasoby energetyczne wszystkich wód płynących zostały określone przez A. Hoffmana i M. Hoffmana oraz J. Tymińskiego na poziomie około 12 TWh/rok, w tym techniczne zasoby MEW (obiekty wodne do 5MW) stanowią około 2 TWh/rok [1].

Potencjał hydroenergetyczny w Polsce wykorzystany jest jedynie w 16-19% [2], co stawia nas w ogonie

Europy, gdzie średnie wykorzystanie potencjału hydroenergetycznego wynosi ok. 50%, a w wielu krajach nawet 70%.

Tradycyjne metody wykorzystania energii wody polegają na budowie kosztownych śpiętrzeń mających na ogół ogromny wpływ na środowisko. Organy wydające decyzje środowiskowe patrzą na tego typu budowle nieprzychylnym okiem preferując stosowanie turbin niskospadowych i wolnoobrotowych minimalizujących wpływ na ekosystem, takim właśnie urządzeniem jest opisywana turbina.

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. Zestaw turbiny wodnej z kierownicą nurtu

### 2.1. Opis urządzenia

Alternatywnym, dla typowych turbin wodnych, rozwiązaniem jest zestaw turbiny wodnej z kierownicą nurtu opisany w [3]. Badana turbina jest rozwiązaniem nowatorskim, wyposażonym w karuzelowy wirnik o pionowej osi obrotu i planetarnym ruchu łopat. Posiada ona wysięgniki w postaci ram, które umocowane są do bębna ułożyskowanego na wale osadzonym w rzece. Na każdym z wysięgników osadzona jest co najmniej jedna łopata, która obraca się o kąt  $180^\circ$ , odpowiednie usytuowanie osi obrotu łopaty względem wysięgnika pozwala, po zakończeniu ruchu roboczego, na ustawienie się łopat swobodnie do kierunku nurtu. Wysięgniki mają postać ram utworzonych z elementów wzdłużnych umocowanych do bębna i elementów poprzecznych spinających elementy wzdłużne, które jednocześnie stanowią oparcie dla swobodnych końców łopat. Odpowiednie usytuowanie elementów poprzecznych względem osi obrotu łopat pozwala na uzyskanie większego momentu obrotowego od poszczególnych łopat i jednocześnie ułatwia wcześniejszy ich obrót.

### 2.2. Działanie urządzenia

Nurt wody napierając na łopaty powoduje ruch obrotowy turbiny, w fazie ruchu roboczego łopaty wspierają się na wysięgnikach, a po zbliżeniu się do dolnego biegu obracają się względem nich o  $180^\circ$ . Od tego momentu wykonują ruch jałowy, przeciwny do kierunku nurtu, a łopaty ustawiają się swobodnie do kierunku nurtu. W górnym biegu, rozpoczynając ruch roboczy, łopaty układają się na elementach poprzecznych wysięgnika pozostając w pozycji oparcia do momentu osiągnięcia dolnego biegu, kiedy to obracają się względem wysięgników o kąt  $180^\circ$ , jak to pokazano na rysunku 2. Przed turbiną, od strony napływu wody, zainstalowana jest kierownica w postaci zastawki.

## 3. Wyznaczenie momentu napędowego i mocy

Aby wyznaczyć moc w funkcji prędkości strumienia i prędkości obrotowej wirnika określono składowe prędkości względnej strumienia wobec poruszających się łopat wirnika, a następnie wyznaczono moment na-

pędowy wirnika z jedną łopatą jak również moment napędowy dla wirnika, którego model zbudowano. W celu wyznaczenia prędkości względnej dla jednej łopaty turbiny sporządzono schemat łopaty wirnika turbiny ruchu o kąt  $\alpha$ . Jako punkt początkowy przyjęto punkt, w którym łopata rozpoczyna bieg roboczy.

## 4. Wnioski

Zestaw turbiny wodnej z kierownicą nurtu jest rozwiązaniem nowatorskim zgłoszonym do ochrony patentowej pod nazwą „Zestaw turbiny wodnej i kierownicy nurtu” przez Szewczyk Stanisław, Piotrowski Jerzy Zbigniew, w dniu 27.09.2011 pod numerem A1 396452.

Urządzenie to wychodzi naprzeciw preferencjom panującym w energetyce wodnej, 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 spiężeń oraz przepławek prawie nie ingerując w środowisko naturalne.

Określone powyżej zależności pozwoliły na zweryfikowanie wcześniej zaplanowanego programu badań laboratoryjnych rozszerzając ich zakres, tj. wyznaczenia mocy badanej turbiny w funkcji prędkości strumienia i prędkości obrotowej o wyznaczenie współczynników hydrodynamicznych w funkcji prędkości wody względem łopaty i kąta obrotu wirnika.

Praca współfinansowana ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Projektu „INWENCJA – Potencjał młodych naukowców oraz transfer wiedzy i innowacji wsparciem dla kluczowych dziedzin świętokrzyskiej gospodarki” o numerze identyfikacyjnym WND-POKL 08.02.01-26-020/1.