

Konrad Dąbala, Zdzisław Krzemiń, Instytut Elektrotechniki, Warszawa
Artur Olszewski, Energia 3000

MIKROELEKTROWNIA RZECZNA Z TURBINĄ ŚLIMAKOWĄ

MICRO HYDROPOWER STATION WITH A SPIRAL TURBINE

Abstract: In the paper the devices using the energy of flowing river water are presented. In detail a new innovative spiral turbine is considered. The results of test of this turbine are presented, too. Moreover there are made energetic and economic calculations.

1. Wstęp

Artykuł ten opisuje prace wykonane w pierwszym etapie projektu rozwojowego NR01-0006-04 zatytułowanego: „Nowatorska elektrownia rzeczna o małych nakładach inwestycyjnych z turbiną ślimakową”. Projekt ten realizowany jest przez:

- Instytut Elektrotechniki, Warszawa. Zakład Maszyn Elektrycznych.
- Centrum Techniki Okrętowej (CTO), Gdańsk.
- Instytut Maszyn Przepływowych, Gdańsk.

2. Energia płynącej wody

Energia wody płynącej jest równa energii kinetycznej:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (1)$$

gdzie:

$$m = \rho \cdot A \cdot v \quad (2)$$

A – obszar przez który przepływa woda [m^2];

v – prędkość przepływu wody [m/s];

ρ – gęstość wody [kg/m^3].

Po podstawieniu otrzymujemy wyrażenie na moc hydrauliczną płynącej wody:

$$P_h = \frac{\rho \cdot A \cdot v^3}{2} \quad [W] \quad (3)$$

podstawiając wartość gęstości wody otrzymujemy:

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

Obliczona ze wzoru (4) moc jest tylko teoretyczna, praktycznie dostępna moc wynika ze stopnia utraty prędkości wody przed oraz za turbiną i wartość jej jest znacznie mniejsza.

Zasoby energii płynącej wody są ogromne, jednak energia ta jest rozproszona i nie jest możliwe uzyskiwanie znacznych ilości energii z pojedynczych urządzeń bowiem jak wynika ze

wzoru (3) moc hydrauliczna płynącej wody zależy od powierzchni obszaru przez, który przepływa woda, a wielkość ta jest ograniczona względami technicznymi, głębokością rzeki, itp. Ponadto zależy ona od trzeciej potęgi prędkości płynącej wody, a wiadome jest że w większości rzek prędkość ta nie jest zbyt duża i wynosi zwykle 1 – 2 m/s .

W korycie rzeczonym woda porusza się dzięki sile grawitacji. Prędkość z jaką płynie rzeka zależy od następujących czynników:

- od spadku podłużnego rzeki;
- od kształtu przekroju poprzecznego koryta rzeki;
- od ukształtowania dna i brzegów.

W obrębie koryta rzeczego są miejsca, w których woda płynie szybciej i takie, w których woda płynie wolniej. Przy brzegach i dnie tarcie powoduje, że prędkość wody jest mniejsza. Największa prędkość wody jest w nurcie rzeki.

Ponadto rzeki charakteryzują się dużą zmianą prędkości wody w czasie w zależności od zmian zasilania rzeki w wodę. Tak więc prędkości wody będą inne w różnych porach roku.

Podstawową zaletą urządzeń wykorzystujących przepływ wody jest minimalna ingerencja w środowisko – nie jest konieczne budowanie kosztownych zapór oraz stosunkowo niewielkie nakłady finansowe.

3. Przykłady konstrukcji elektrowni przepływowych

Wykorzystanie energii płynącej wody budziło zainteresowanie już od dawna. Przykładem mogą być koła wodne stosowane do nawadniania pól. Do czasów dzisiejszych zachowały się takie, zbudowane w okresie średniowiecza, w syryjskim mieście Hama, urządzenia te o średnicy dochodzącej do 20 m czerpały kiedyś

wodę z rzeki i systemem kanałów nawadniających rozprowadzały ją po dolinie.

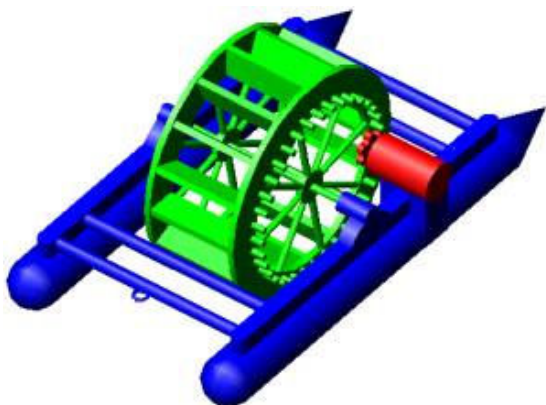


Rys. 1. Koła wodne w syryjskim mieście Hama

3.1. Pływająca elektrownia z kołem wodnym

W Japonii zbudowano elektrownię w oparciu o koło wodne zainstalowane na pływakach. Koło to jednocześnie stanowi element przekładni zębatej napędzającej prądnicę.

Koło wodne ma mniejszą sprawność niż turbiny jest jednak mniej wrażliwe na zanieczyszczenia płynące w wodzie oraz jest proste w budowie. Elektrownia taka jest praktycznie niewrażliwa na zmiany poziomu wody, nie ingeruje w bieg rzeki i migracje ryb.



Rys. 2. Pływająca elektrownia z kołem wodnym

3.2. Elektrownia firmy Ampair

Angielska firma Ampair produkuje elektrownie o innej konstrukcji, ale do stosowania których też nie jest konieczne spiętrzenie wody. Można je montować pod różnego rodzaju kładkami, mostami czy platformami.



Rys. 3. Mikrohydroelektrownia firmy Ampair

Całkowicie zanurzalny w wodzie hydrozespół składający się z turbiny wodnej, podobnej do śruby okrętowej, połączonej z prądnicą jest przewidywany do stosowania w szybko płynących ciekach wodnych. Zespół może wyprodukować 2.4 kWh energii elektrycznej przy prędkości wody równej 4 m/s oraz 1.5 kWh przy 3 m/s. Elektrownia ta zaczyna produkować energię przy prędkości wody równej 1 m/s. Średnica śmigła wynosi 312 mm, uzyskiwana moc 100 W przy prędkości wody 4 m/s. Masa urządzenia wynosi 10 kg.

3.3. Elektrownia ze spiralną turbiną Gorlova

Konstrukcja turbiny wodnej Gorlova podobna jest do konstrukcji turbiny wiatrowej Savoniusa. Z turbiny tej poprzez przekładnie klinową napędzana jest prądnica. Wadą tego typu rozwiązania jest to, że zastosowanie jest możliwe tylko na ciekach o dość dużej głębokości. Model takiej elektrowni zbudowano na rzece Merrimack (Massachusetts, USA) oraz w Korei Południowej.



Rys. 4. Elektrownia z turbinami Gorlova

4. Koncepcja turbiny ślimakowej

W roku 2006 opatentowano urządzenie przetwarzające energię płynącej wody na energię mechaniczną lub elektryczną. Urządzenie to zostało nazwane turbiną ślimakową. Turbina ta jest zanurzona w nurcie wody, moment obrotowy jest przenoszony do odbiornika (prądnicy) za pomocą specjalnego wału. Prądnica może być zainstalowana na pomoście, brzegu akwenu lub na zakotwiczonym urządzeniu pływającym. Cechy konstrukcyjne pozwalają na korzystanie z turbiny w ciekach wodnych stosunkowo płytkich bez stosowania kosztownych spiętrzeń.

Do współpracy z takimi turbinami najlepszym rozwiązaniem wydają się być prądnice synchroniczne wzbudzone magnesami trwałymi. Brak uzwojenia w wirniku i elementów elektronicznych wirujących powodują, że prądnice te cechują się wysoką niezawodnością. Również sprawność jest wyższa, a wymiary maszyny są mniejsze w porównaniu z rozwiązaniami klasycznymi.

Przy projektowaniu elektrowni należy rozważyć możliwość następujących rodzajów pracy:

- obciążenie rezystancyjne – grzanie wody lub powietrza;
- obciążenie poprzez prostownik: ładowanie akumulatorów lub zasilanie odbiorów rezystancyjnych jednofazowych;
- praca na odbiory wymagające stałej częstotliwości 50 Hz.

Najbardziej właściwym zastosowaniem pojedynczych elektrowni jest praca na odbiory wydzielone. Współpraca z siecią takiej elektrowni nie wydaje się być ekonomicznie uzasadniona bowiem realne dochody byłyby niewielkie, a formalności związane z podłączeniem do sieci energetycznej są bardzo skomplikowane i takie same jak w przypadku dużej elektrowni. Jednak jeśli inwestycja składa się z wielu elektrowni pracujących równolegle produkowana energia może być na tyle duża, że opłacalna będzie jej sprzedaż do systemu energetycznego.

5. Obliczenia energetyczne i ekonomiczne turbiny ślimakowej

Moc hydrauliczną P_h strumienia cieczy obliczono według wzoru (4).

Sprawność turbiny η_t (iloraz mocy wydawanej na wałę turbiny P_1 do mocy hydraulicznej strumienia P_h) wynosi:

$$\eta_t = \frac{P_1}{P_h} \quad (5)$$

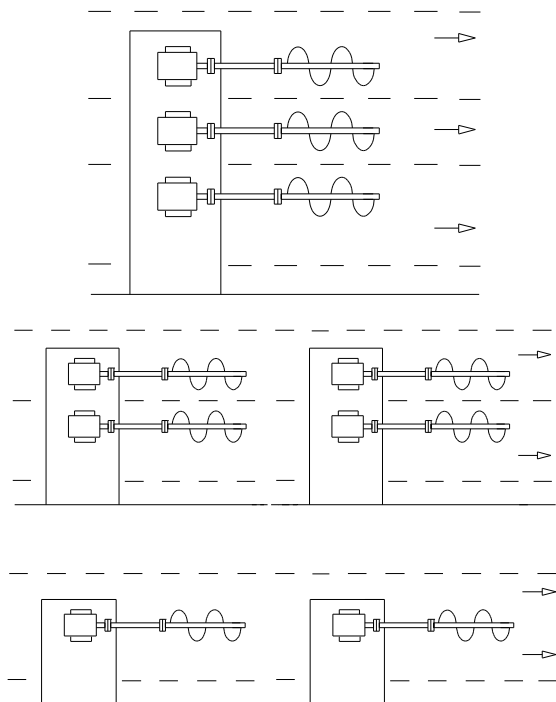
W tabelicy 8 przedstawiono obliczenia dla następujących założeń: sprawność turbiny $\eta_t = 0.6$, sprawność prądnicy $\eta_e = 0.8$, sprawność hydrozespołu $\eta_h = \eta_e \times \eta_t = 0.48$, suma uzyskanych przychodów (Sp) za wyprodukowaną energię elektryczną rocznie (turbina pracuje przez 8 miesięcy – 5800 godzin). Obliczenia wykonano dla czterech średnic turbin 0.3; 0.5; 1.0 i 1.5 m oraz dla prędkości wody od 1 do 3 m/s, P - moc wydawana z prądnicy.

Tabl. 8. Obliczenia mocy turbin ślimakowych, ilość wyprodukowanej energii elektrycznej i przychód z jej sprzedaży

D	v	P_h	P	Wyproduk. energia	Sp/rok
[m]	[m/s]	[W]	[W]	[kWh]	[zł]
0.3	1	35.3	17.0	98	29
	2	282.6	135.7	787	266
	3	953.8	457.8	2655	796
0.5	1	98.1	47.1	273	82
	2	785.0	376.8	2185	655
	3	2649.4	1271.7	7376	2212
1	1	392.5	188.4	1093	327
	2	3140.0	1507.2	8742	2622
	3	10597.5	5086.8	29503	8851
1.5	1	883.1	423.9	2459	737
	2	7065.0	3391.2	19669	5900
	3	23844.4	11445.3	66383	19914

Wykonane obliczenia wskazują, że inwestycja może być opłacalna w przypadku instalacji większej ilości hydrozespołów, np.10. Przy czym jeśli prędkość wody jest większą niż 3 m/s średnica turbiny może wynosić 0.3 m, dla średnicy 1.5 m wystarczy prędkość wody wynosząca 2 m/s.

Stosunkowo niewielka gęstość mocy płynącej wody oraz ograniczenia wynikające z głębokości powodują, że celowe będzie stosowanie wielu hydrozespołów pracujących na wspólny odbiornik. Na rysunku poniżej przedstawiono możliwe układy przepływowych elektrowni.



Rys. 5. Praca równoległa, praca szeregowo i praca szeregowo-równoległa hydrozespołów

Przewiduje się, że w systemach tych stosowane będą prądnice synchroniczne wzbudzone magnesami trwałymi. Hydrozespoły pracujące w różnych miejscach cieku będą miały różne prędkości obrotowe, a wytwarzane napięcie będzie miało różną częstotliwość. Bezpośrednia praca równoległa prądnic przy takich warunkach będzie niemożliwa. Należy każdą prądnicę wyposażyć w prostownik i pracę równoległą realizować po stronie prądu stałego.

6. Badania wykonanych modeli

Omawiana turbina ślimakowa jest rozwiązaniem nowym. Nie są znane jej własności: np.: zależność mocy od długości turbiny, zależność prędkości obrotowej od prędkości przepływającej wody, zależność parametrów turbiny od skoku ślimaka. Dlatego wykonany został wstępny model turbiny w oparciu o ogólnie dostępne i tanie materiały (rury i kształtki hydrauliczne PCV). Badanie takiego modelu pozwoliło na ukierunkowanie dalszych prac projektowych.

Wykonany został model turbiny o średnicy 300 mm i składający się z 5 odcinków o długości 2 m, które można ze sobą łączyć uzyskując turbiny o długości od 2 do 10 m. Model ten, oznaczony w artykule jako T0, został przebadany wstępnie na cieku naturalnym – rzeka Wolbórka w Wolbórze. Turbina ta napędzała

poprzez przekładnię pasową prądnicę synchroniczną. W trakcie prób turbina uzyskiwała moc około 20W przy prędkości obrotowej 50 obr/min. Prędkość wody w rzece wynosiła 0.9 m/s.



Rys. 6. Model turbiny ślimakowej w trakcie prób na rzece Wolbórze

Następnie turbina ta została przebadana przez Centrum Techniki Okrętowej S.A. – Ośrodek Hydromechaniki Okrętu w Gdańsku.

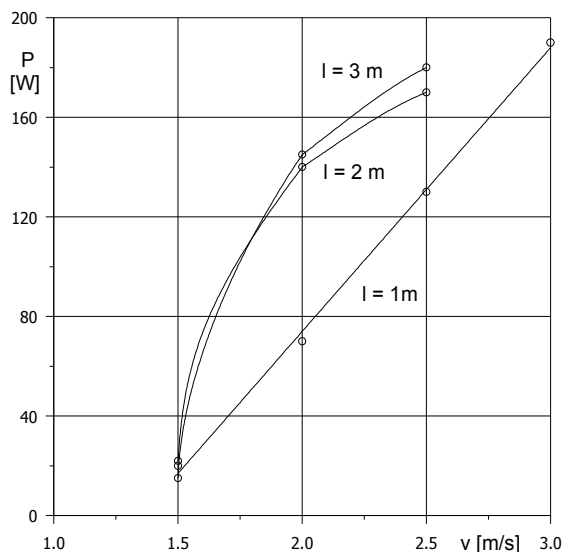
Badania polegały na wyznaczeniu charakterystyk hydrodynamicznych turbin ślimakowych – mocy oraz momentu obrotowego w funkcji prędkości. CTO posiada specjalny basen badawczy o wymiarach 265 x 12 x 6 m (długość x szerokość x głębokość), standardowo jest on wykorzystywany do badań oporu oraz zachowania na fali kadłubów statków, jednak stanowisko pomiarowe może być adaptowane do badań niestandardowych.

Warunki pracy turbiny ślimakowej zostały odtworzone przez holowanie stanowiska pomiarowego z doczepioną turbiną, przy ustalonej prędkości, w basenie modelowym. Wielkościami mierzonymi bezpośrednio były: prędkość obrotowa wału oraz moment obrotowy, moc określano na podstawie iloczynu prędkości obrotowej i momentu (jest to zatem moc netto turbiny, bez uwzględnienia sprawności układu przeniesienia napędu).

Wyniki pomiarów dla trzech długości turbiny (1, 2 i 3 m) zamieszczono na rys. 6.

Wyniki badań laboratoryjnych wskazują, że dla prędkości wody większej od 2 m/s i długości turbiny 2 – 3 m uzyskiwane moce wynoszą około 150 W.

Opierając się na wynikach badań modelu turbiny zaprojektowano i wykonano prototypy turbin ślimakowych o średnicy 500 mm.

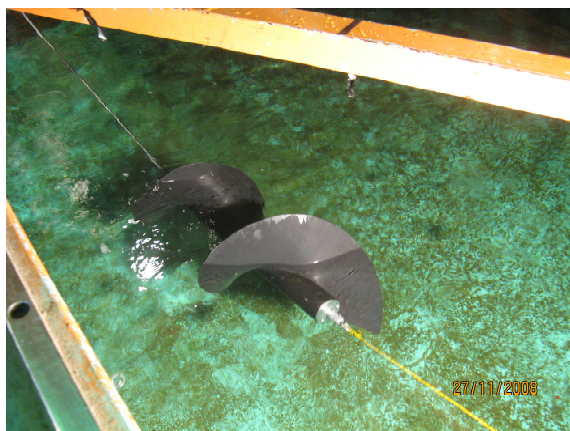


Rys. 7. Zależność mocy modelu turbiny T0 prędkości wody dla trzech długości turbiny

Wykonano trzy rodzaje turbin różniące się skokiem ślimaka:

- trzy zwoje na długości 1 m (T3);
- dwa zwoje na długości 1 m (T2);
- jeden zwój na długości 1 m (T1).

Turbiny te były także przebadane w laboratorium CTO.

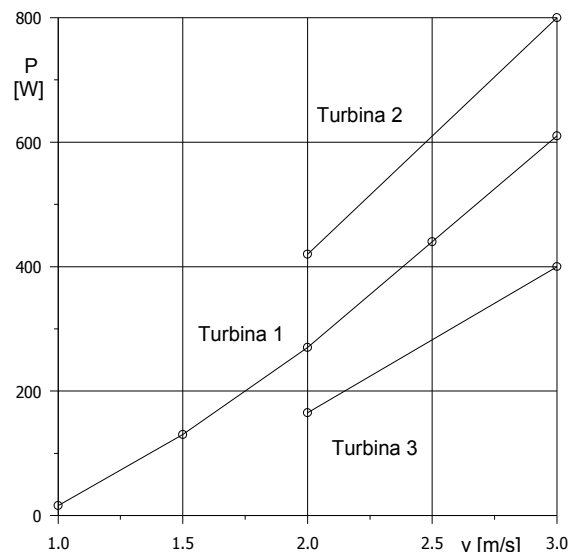


Rys. 8. Prototyp turbiny ślimakowej na stanowisku badawczym w CTO

Otrzymane wyniki wskazują, że najlepszym rozwiązaniem z rozpatrywanych jest turbina 2 o dwóch zwojach na długości 1 m, uzyskiwana moc przy danej prędkości wody jest wówczas największa.

7. Wnioski

- Gęstość energii wody płynącej jest stosunkowo niewielka, pojedyncze hydrozespoły będą miały małą moc. Możliwe jest jednak tworzenie systemów hydrozespołów składających się z wielu turbin.



Rys. 9. Zależność mocy od prędkości wody dla trzech rodzajów turbin

Sumaryczna moc takiego systemu może być na tyle duża, że opłacalna będzie sprzedaż energii elektrycznej do sieci energetycznej.

- Wyniki badań prototypów turbin wskazują, że ich instalacja może być opłacalna na rzekach o prędkości wody większej od 2 m/s. Średnica turbin powinna być możliwie duża – większa od 0.5 m.

- Wyniki badań turbin posłużą do zaprojektowania prądnic synchronicznych przewidzianych do współpracy z turbinami ślimakowymi.

Autorzy

Dr inż. Konrad Dąbała
tel. 0-22 812-30-20
e-mail: k.dabala@iel.waw.pl

Dr inż. Zdzisław Krzemień
e-mail: z.krzemien@iel.waw.pl
Instytut Elektrotechniki,
Zakład Maszyn Elektrycznych
04-703 Warszawa, ul. Pożaryskiego 28

Artur Olszewski
ENERGIA 3000
artol@poczta.onet.pl