

Hydrogenerator do mikroelektrowni wodnej

Zbigniew Goryca, Grzegorz Peczkis

1. Wstęp

Według danych Towarzystwa Małych Elektrowni Wodnych w Polsce jest od 12 000 do 15 000 miejsc po dawnych młynach lub tartakach wodnych. W miejscach tych mogą być umieszczone mikroelektrownie wodne pracujące przy małych przepływach i niewielkich spiętrzeniach wody. Informacje te przyczyniły się do rozpoczęcia prac nad hydrogeneratorem do produkcji energii elektrycznej, składającym się z turbiny wodnej i generatora, przeznaczonym do przepływów rzędu $3,5 \text{ m}^3/\text{min}$ i spiętrzeń wody do ok. 2 m. W przypadku większych przepływów przewiduje się pracę równoległą hydrogeneratorów. W poniższej pracy przedstawiono konstrukcję i wybrane wyniki badań opracowanego hydrogeneratora składającego się z turbiny wodnej i generatora prądu.

2. Konstrukcja turbiny

Prezentowana turbina typu Kaplana projektowana była z założeniem maksymalnego uproszczenia obsługi w trakcie jej użytkowania. Z uwagi na niskie spady wody, nieprzekraczające 2,5 metrów, na których ma być instalowana turbina, zastosowano nietypowe realizowanie spadku w znaczącej wielkości na kanale odpływowym turbiny ($\frac{3}{4}$ wysokości spadku przypada na rurę odpływową szczelnie połączoną z kadłubem turbiny). Napływ wody odbywa się przez otwarte koryto z jedną przegrodą zapobiegającą wirowaniu strumienia wody. Minimalna wysokość napływu wody określana jest poprzez otwory napływu wody do układu łożyskowania turbiny. Maksymalna wysokość napływu wody określona jest poprzez wysokość ścian bocznych koryta. Po jej przekroczeniu woda przelewa się przez ściany koryta. W turbinie brak jest uszczelnienia pomiędzy przestrzenią przepływową a układem łożyskowania i dzięki temu łożyska są chłodzone wodą oraz brak strat tarcia występujących w klasycznych rozwiązaniach uszczelniających. Generator oraz przyłącze elektryczne umieszczone są powyżej poziomu maksymalnego napływu wody, co chroni te elementy przed zalaniem. W trakcie obliczeń projektowych w zależności od przyjętych założeń oraz wybranych algorytmów obliczeniowych uzyskiwano liczbę łopatek pomiędzy 4 i 5. W trakcie badań laboratoryjnych wykonano pomiary na obydwu wariantach układu przepływowego. Prezentowany zespół wirujący turbiny nie ma możliwości regulacji kąta natarcia łopatek w trakcie pracy turbiny. Zmienny kąt położenia 12 łopatek kierownicy napływowej służył do uzyskania pełnych charakterystyk pomiarowych. W trakcie docelowej eksploatacji łopatki dopływowe będą w jednym, optymalnym dla danych warunków położeniu.

3. Konstrukcja generatora

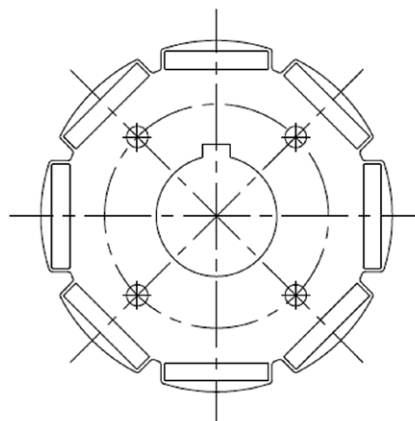
Przy projektowaniu generatora przyjęto następujące podstawowe założenia:



Rys. 1.
Widok opracowanej turbiny wodnej

- moc 2 kW;
- napięcie wyjściowe $3 \times 380 \text{ V}$;
- częstotliwość 50 Hz;
- prędkość obrotowa 750 obr./min.

Pakiety stojana i wirnika wykonano z blach elektrotechnicznych metodą cięcia laserowego. Do budowy generatora wykorzystano obudowę i tarcze łożyskowe typowego silnika trójfazowego o wzniosie 100 mm. Stojan generatora ma 36 prostych żłobków, w których umieszczono trójfazowe, ośmiobiegunowe uzwojenie. W wirniku umieszczono przemienno-biegunowo 8 magnesów neodymowych N38S o wymiarach $30 \times 20 \times 5 \text{ mm}$. Na rys. 2 pokazano widok blachy wirnika z otworami, w których umieszcza się magnesy.



Rys. 2. Kształt blachy wirnika

Umieszczenie magnesów wewnątrz wirnika zmniejsza indukcję w szczelinie, ale zabezpiecza magnesy przed rozmagnezowaniem i zapewnia bezpieczną pracę generatora (brak możliwości awarii, jak w przypadku magnesów klejonych na powierzchni wirnika i związanych z tym możliwości odklejenia się magnesów). W maszynach z magnesami trwałymi stosuje się różne metody minimalizacji momentu zaczepowego.



Rys. 3. Widok wirnika

W opracowanym generatorze zastosowano skos magnesów w wirniku zrealizowany przez podział wirnika na 6 segmentów przesuniętych względem siebie o 2° . Na rys. 3 pokazano widok wirnika generatora.

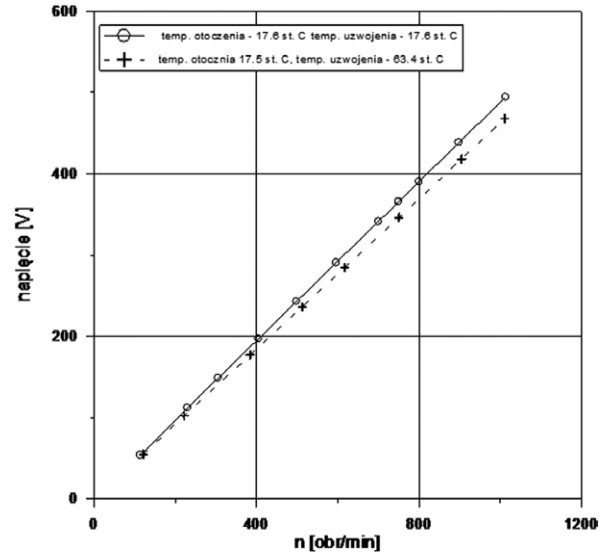
Przy takim wykonaniu wirnika poszczególne segmenty silnie się odpychają i dlatego zachodzi konieczność ich skręcenia widocznymi na rys. 3 śrubami. Dodatkowo magnesy w zewnętrznych segmentach są wypychane na zewnątrz i w celu ich przytrzymania zastosowano widoczne na rys. 3 zewnętrzne antymagnetyczne blachy. Stojan generatora ma proste żłobki, w których umieszczono trójfazowe, ośmiobiegunowe uzwojenie. Generator wykonano w typowej dla silnika asynchronicznego obudowie aluminiowej. Prototyp pokazano na rys. 4.



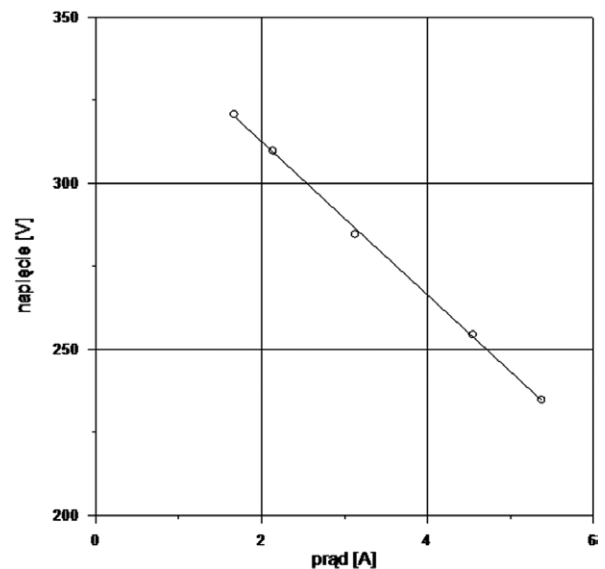
Rys. 4. Opracowany prototypowy generator

4. Badania generatora

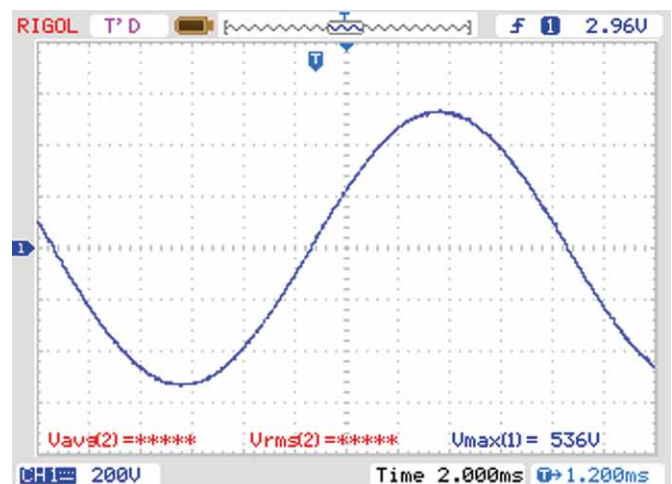
Badania laboratoryjne generatora obejmowały pomiary: momentu zaczepowego, napięcia biegu jałowego w funkcji prędkości obrotowej oraz napięcia wyjściowego w funkcji obciążenia przy prędkości znamionowej. Badany generator napędzany był przez przekładnię asynchronicznym silnikiem klatkowym zasilanym z falownika. Wartość maksymalną momentu zaczepowego zmierzono przy pomocy zrównoważonej dźwigni i precyzyjnych odważników. Dokonano dziesięciu pomiarów w różnych położeniach wirnika i wyciągnięto średnią arytmetyczną. Średnia wartość momentu zaczepowego jest jak na maszynę wielobiegunową niewielka i wynosi $0,37 \text{ Nm}$, co stanowi 1% momentu znamionowego. Należy podkreślić, że w wynikach tych zawarty jest również moment tarcia łożysk generatora. Zasilanie silnika napędowego przez falownik umożliwiło regulację prędkości obrotowej i wyznaczenie charakterystyki biegu jałowego generatora. Charakterystykę tę wyznaczono w stanie zimnym i w stanie nagrzanym maszyny. Odpowiednie wyniki pomiarów pokazane są na poniższych wykresach.



Rys. 5. Zależność napięcia wyjściowego od prędkości obrotowej



Rys. 6. Zależność napięcia wyjściowego od prądu obciążenia



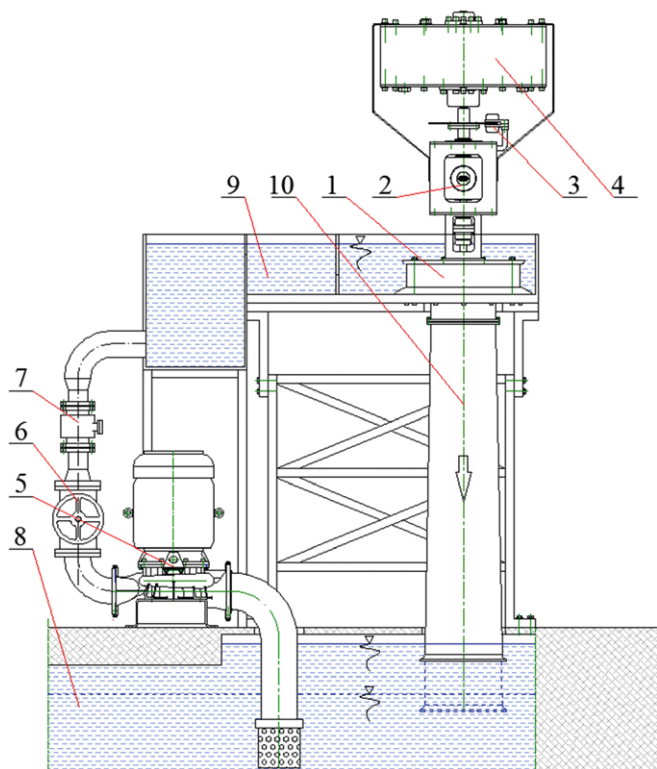
Rys. 7. Kształt napięcia wyjściowego generatora

Dodatkowo przy biegu jałowym sprawdzono kształt napięcia wyjściowego generatora – pokazano go na rys. 7.

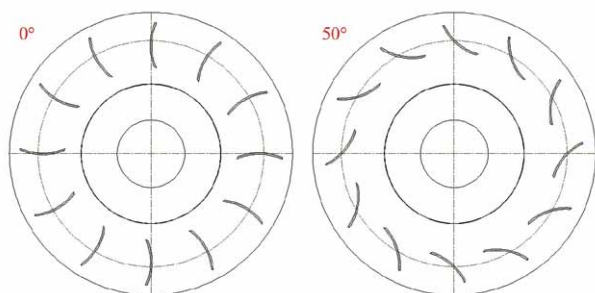
Napięcie to praktycznie nie odbiega od sinusoidy.

5. Badania hydrogeneratora

Badania prowadzone były w laboratorium Maszyn i Urządzeń Hydraulicznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach przy współpracy z Politechniką Świętokrzyską w Kielcach. Układ pomiarowy umożliwiał regulację natężenia napływu strumienia wody poprzez zmianę prędkości obrotowej pompy zasilającej koryto napływowe. Koryto poprzedzono zbiornikiem, który stabilizował strugę wody pompowanej. Napływ na turbinę był równomierny. Turbinę badano zarówno z obciążeniem mechanicznym, hamulcem hydraulicznym, jak również z docelowym generatorem. Każdorazowo używano momentomierza tensometrycznego na wale turbiny. W przypadku badań



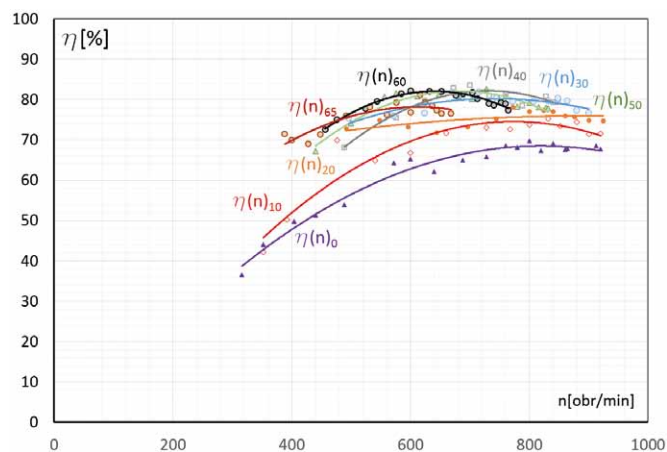
Rys. 8. Schemat stanowiska badawczego do wyznaczenia charakterystyki turbiny wodnej z wykorzystaniem momentomierza i hamulców olejowego i tarczowego



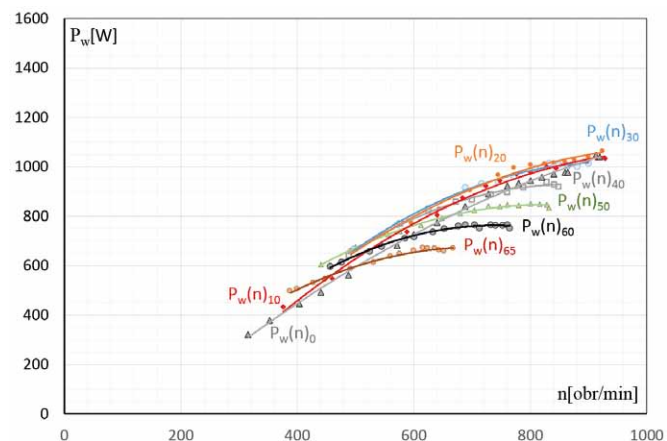
Rys. 9. Skrajne położenia łopatek kierownicy dopływowej

z generatorem dokonywano również pomiaru paramentów elektrycznych generowanego napięcia.

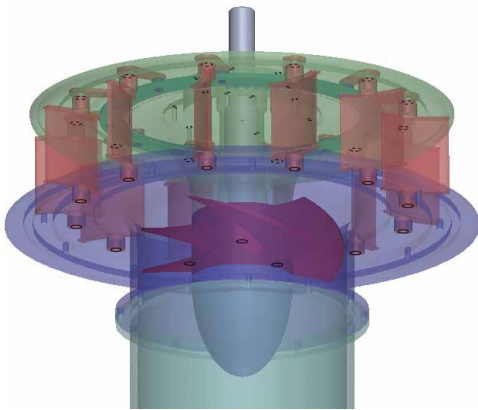
Obciążenie generatora realizowano za pomocą układów kolejno włączanych żarówek, jak również za pomocą silnika elektrycznego obciążanego hamulcem. Nie wykonywano pomiarów przy obciążeniu oddającym wygenerowane napięcie do sieci elektrycznej. Pomiary wykonywano dla poszczególnych modyfikowanych układów przepływowych 4- i 5-łopatkowych, zmienianych układów łożyskujących turbinę, zmiennego obciążenia wału momentem obrotowym, zmiennej wysokości napływu wody w korycie dopływowym oraz zmiennej kąta łopatek kierownicy dopływowej. Ustawienie kątów kierownicy dopływowej pokazano na rysunku nr 9. Prezentowana przykładowa charakterystyka zbiorcza dla zmienianych kątów ustawienia kierownicy na napływie do turbiny określa maksymalne sprawności dla jednej, ustalonej wysokości spadu wody 1,6 m, przy zmiennej prędkości obrotowej wynikającej ze zmiennego obciążenia i zwiększanego natężenia napływu wody.



Rys. 10. Charakterystyka uzyskanych sprawności w zależności od prędkości obrotowej dla zmiennych kątów ustawienia łopatek kierownicy napływowej



Rys. 11. Charakterystyka uzyskanych mocy na wale turbiny w zależności od prędkości obrotowej dla zmiennych kątów ustawienia łopatek kierownicy napływowej



Rys. 12. Widok badanej turbiny Kaplana



Rys. 13. Kompletny hydrogenerator z dominującą rurą spustową na odpływie

Charakterystyczne dla turbin typu Kaplana „stromie” krzywe sprawności pokazano w okrojonych zakresach prędkości obrotowej. W praktyce badana turbina nie może być użytkowana przy strumieniach nabywającej wody, które nie zakrywają wodą kadłuba kierownicy napływowej. Praca turbiny jest wtedy niestabilna.

6. Wnioski

Opracowany hydrogenerator może być stosowany na małych ciekach wodnych – tam, gdzie zawodowa energetyka nie jest zainteresowana budową elektrowni wodnych. Jak podano we wstępie, miejsc tych jest w kraju bardzo wiele. Otrzymane w wyniku badań charakterystyki przepływowe pozwalają na



Rys. 14. Widok na stanowisko pomiarowe w wariacie badawczym z obciążeniem turbiny generatorem. Widoczny układ pomiaru i odbioru mocy systemem żarówek

precyzyjny dobór układu przepływowego do zadanych wysokości spadu i spodziewanego objętościowego natężenia przepływu. W badaniach otrzymano niespodziewanie wysoką jak na tak niewielkie urządzenie sprawność – sprawność układu przepływowego przekraczającą 84% i sprawność generatora na poziomie 82%. Jest to efektem żmudnych prac projektowych oraz wysokiej dokładności obróbki elementów turbiny, szczególnie łopatek wirnika, oraz wynikiem zastosowania generatora o unikalnej konstrukcji praktycznie eliminującej moment zaczepowy występujący w maszynach z magnesami trwałymi. Na rynku brak jest kompletnych urządzeń tak małej mocy, a ze względu na wymagany niewielki przepływ mogą być one stosowane powszechnie. ■

dr hab. inż. Zbigniew Goryca prof. PŚk
Politechnika Świętokrzyska; Wydział Inżynierii Środowiska,
Geomatyki i Energetyki; Katedra Inżynierii Budowli i Energii
Odnawialnych; e-mail: tgorzyca@kki.net.pl

dr inż. Grzegorz Peczkis
Politechnika Śląska; Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki;
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych;
e-mail: grzegorz.peczkis@polsl.pl

artykuł recenzowany