

MAŁE ELEKTROWNIE WODNE JAKO ŹRÓDŁO ENERGII ODNAWIALNEJ

Paweł Pistelok, Robert Rossa

Słowa kluczowe: zespół prądowórczy, hydrozespół, hydrogenerator, hydroelektrownia, energia odnawialna

Streszczenie. W artykule zaprezentowano koncepcję opracowania nowych wysokosprawnych zespołów prądowórczych przeznaczonych do małych i mini hydroelektrowni. Podstawowymi cechami nowego rozwiązania zespołu prądowórczego to możliwość regulacji prędkości obrotowej turbiny wodnej stosownie do zmian warunków hydrologicznych w miejscu jej pracy oraz wyeliminowanie przekładni mechanicznej między turbiną a generatorem. Głównymi elementami nowego rozwiązania zespołu prądowórczego będzie wysokosprawny, wolnoobrotowy generator synchroniczny z magnesami trwałymi oraz dedykowany przemiennik częstotliwości wraz z oprogramowaniem sterującym całym zespołem. Zastosowanie nowo opracowanego zespołu prądowórczego w miejsce dotychczas stosowanych rozwiązań pozwoli na znaczne zwiększenie sprawności wytwarzania energii w modernizowanych lub nowobudowanych małych hydroelektrowniach i na znacznie efektywniejsze wykorzystanie krajowych zasobów hydroenergetycznych.

1. ENERGETYKA WODNA W POLSCE

W polskich warunkach hydrologicznych, energia wodna może być wykorzystywana głównie w mikro hydroelektrowniach o mocy do 100 kW i mini hydroelektrowniach o mocach do kilkuset kW. W niniejszym artykule mikro i mini hydroelektrownie są określane razem ogólnie, jako małe hydroelektrownie. W aktualnie działających w kraju małych hydroelektrowniach stosowane są trójfazowe generatory asynchroniczne z wirnikami klatkowymi, które w obecnych rozwiązaniach hydroelektrowni są podłączone do sieci energetycznej bezpośrednio, prostym odłącznikiem (rys.1). W takim przypadku warunkiem generowania mocy do sieci jest uzyskanie prędkości obrotowej wirnika większej od jego prędkości synchronicznej. Ze względu na strome narastanie charakterystyki mechanicznej maszyny asynchronicznej w jej strefie roboczej, prędkość obrotowa napędzanego turbiną wodną i włączonego bezpośrednio w sieć generatora asynchronicznego jest praktycznie stała, niezależnie od aktualnych warunków wodnych w rejonie hydroelektrowni i niezależnie od wartości mocy oddawanej do sieci. Prędkości obrotowe turbin wodnych w małych hydroelektrowniach mieszczą się zwykle w zakresie $75 \div 400$ obr./min. Prędkość obrotowa synchroniczna wirników w generatorach asynchronicznych klatkowych wynosi najczęściej 750, 1000 lub 1500 obr./min., zależnie od liczby par biegunów p w generatorze (odpowiednio $p = 4, 3$ lub 2) [1,2,3,5,6,7]. W celu wzajemnego dopasowania prędkości obrotowych turbiny i generatora, konieczne jest zastosowanie przekładni mechanicznej, pełniącej funkcję multiplikatora prędkości. Najczęściej stosowanymi przekładniami w małych hydroelektrowniach są przekładnie pasowe i zębate. W mikro i mini hydroelektrowniach, ze względu na niskie wysokości spadów wody oraz z uwagi na stosunkowo niskie kosz-

ty inwestycyjne, najbardziej korzystne jest zastosowanie tzw. turbin śmigłowych. Są to turbiny podobne konstrukcyjnie do turbin Kaplana, a główną różnicą jest brak możliwości regulacji kąta nachylenia łopatek w turbinach śmigłowych. Moc i sprawność turbin wodnych są uzależnione od trzech parametrów: prędkości obrotowej turbiny, wysokości spadów wody oraz natężenia przepływu wody. Turbiny śmigłowe, przy zadanej prędkości obrotowej, uzyskują wysoką sprawność tylko przy ściśle określonych wartościach spadów wody i natężenia przepływu. Już stosunkowo niewielkie odchyłki któregoś z tych parametrów od wartości optymalnych dla danej prędkości powodują znaczny spadek sprawności turbiny. W celu utrzymania wysokiej sprawności wytwarzania energii elektrycznej, niezależnie od aktualnych warunków wodnych, w jakich działa elektrownia, konieczna jest regulacja prędkości obrotowej turbiny śmigłowej. Regulacja prędkości nie jest jednak możliwa do przeprowadzenia w przypadku klasycznego rozwiązania hydroelektrowni z generatorem asynchronicznym wpiętym bezpośrednio do sieci (rys.1). Głównymi wadami stosowanych obecnie rozwiązań mini i mikro hydroelektrowni są:

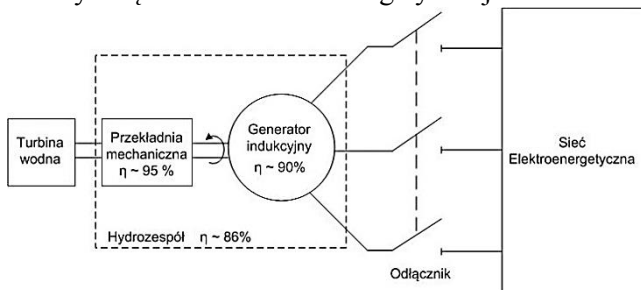
- praca turbiny wodnej przy stałej prędkości obrotowej i tym samym nieoptymalne, nisko sprawne wykorzystanie turbiny z uwagi na brak możliwości dostosowania jej prędkości do zmieniających się warunków pracy (zmiana natężenia przepływu lub wysokości spadów wody);
- wymagane przekładnie mechaniczne (rys.1) ograniczają dodatkowo sprawność wytwarzania energii oraz w całym układzie prądowórczym turbina-przekładnia-generator charakteryzują się najniższą niezawodnością i koniecznością stosunkowo częstego przeprowadzania przeglądów technicznych,

co podnosi koszt eksploatacji hydroelektrowni. Przekładnie mechaniczne są także istotnym źródłem hałasu w hydroelektrowniach oraz stwarzają niebezpieczeństwo skażenia wody środkami smarującymi koniecznymi przy ich eksploatacji;

- brak możliwości autonomicznej pracy na wydzieloną grupę odbiorników bez baterii kondensatorów;
- konieczność poboru mocy biernej z sieci lub instalacji baterii kondensatorów;
- bezpośrednio załączanie generatorów asynchronicznych do sieci (rys.1) powoduje przepływ prądów rozruchowych, co wiąże się z chwilowymi znacznymi spadkami, odkształceniem i asymetrią napięć w sieci.

W polskich warunkach hydrologicznych, z uwagi na brak odpowiednio dużych zbiorników gromadzących wodę, istnieje konieczność częstych łączeń generatorów do sieci, co skutkuje istotnym obniżeniem jakości dostaw energii dla okolicznych odbiorców.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat ideowy małej elektrowni wodnej zbudowanej w oparciu o generator indukcyjny współpracujący z przekładnią mechaniczną pasową o sprawności rzędu 95% [4]. Turbina wodna napędza hydrozespół, który przekazuje energię elektryczną do sieci elektroenergetycznej.



Rys. 1. Schemat ideowy małej elektrowni wodnej, zbudowanej w oparciu o generator indukcyjny i przekładnię mechaniczną

Na rysunku 2 przedstawiono przykładową hydroelektrownię pracującą z multiplikatorem prędkości obrotowej i generatorem indukcyjnym.

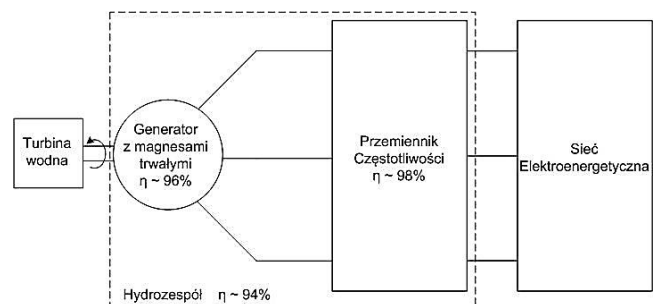


Rys. 2. Przykład małej elektrowni wodnej zbudowanej z wykorzystaniem maszyny indukcyjnej gdzie hydrogenerator jest napędzany turbiną wodną poprzez przekładnię pasową

Rozwiązanie technologiczne małych elektrowni wodnych zaprezentowane na rysunku 1 i 2 są najczęściej spotykane w Polsce. Jak widać na rysunku 1, po uwzględnieniu sprawności przekładni mechanicznej i generatora indukcyjnego szacowana sprawność przetwarzania energii hydrozespołu wyniosła 86%.

2. NOWY ZESPÓŁ PRĄDOTWÓRCZY

Głównymi elementami nowego rozwiązania zespołu prądowłórczego będą: wolnoobrotowy generator synchroniczny z magnesami trwałymi, pracujący z tą samą prędkością obrotową, co turbina wodna oraz dedykowany przemiennik częstotliwości wraz z odpowiednim oprogramowaniem sterującym całym zespołem. Na rysunku 3 zaprezentowano schemat ideowy małej elektrowni wodnej zbudowanej w oparciu o nowy zespół prądowłórczy z generatorem wzbudzanym magnesami trwałymi i dedykowanym przemiennikiem częstotliwości. Zastosowanie nowo opracowanego zespołu prądowłórczego w miejsce dotychczas stosowanych rozwiązań pozwoli na znaczne zwiększenie sprawności wytwarzania energii w modernizowanych lub nowobudowanych małych hydroelektrowniach. Rozpowszechnienie nowego rozwiązania przełoży się w przyszłości na znacznie efektywniejsze wykorzystanie krajowych zasobów hydroenergetycznych. Zastosowanie generatorów z magnesami trwałymi przyłączanych do sieci przesyłowej za pośrednictwem przemienników częstotliwości ma na celu znaczące podniesienie sprawności wytwarzania energii elektrycznej w małych hydroelektrowniach.



Rys. 3. Schemat ideowy małej elektrowni wodnej, zbudowanej w oparciu o nowy hydrozespół z generatorem wzbudzanym magnesami trwałymi i dedykowanym przemiennikiem częstotliwości

Jak widać wg koncepcji nowego zespołu prądowłórczego (rys.3) szacuje się, iż sprawność nowego hydrozespołu nie powinna być niższa niż 94%. Poprawa sprawności zostanie uzyskana poprzez:

- wprowadzenie możliwości płynnej regulacji prędkości obrotowej turbiny wodnej w szerokim zakresie, stosownie do aktualnych zmian warunków wodnych, w jakich pracuje turbina,

- zastąpienie generatora asynchronicznego z wirnikiem klatkowym wysokosprawnym generatorem synchronicznym z magnesami trwałymi,
- wyeliminowanie przekładni mechanicznej (multiplikatora prędkości) między turbiną wodną a generatorem,
- oddawanie mocy do sieci przy wysokim współczynniku mocy $\cos\varphi=1$.

Umożliwienie regulacji prędkości obrotowej turbiny śmigłowej stosownie do zmian aktualnych warunków wodnych, powinno przy znacząco niższych nakładach inwestycyjnych pozwolić na uzyskanie takiej samej efektywności wytwarzania energii elektrycznej z wykorzystaniem nowego zespołu prądowłórczego w małej hydroelektrowni, jaka byłaby możliwa do uzyskania przy zastosowaniu droższego rozwiązania z podwójnie regulowaną turbiną Kaplana. W ramach projektu planuje się opracowanie dwóch modelowych zespołów prądowłórczych, będących elektromechanicznymi systemami złożonymi. Elementami składowymi modelowych systemów złożonych będą modele generatorów synchronicznych z magnesami trwałymi oraz modele przemienników częstotliwości wraz z nowo opracowanym dla nich oprogramowaniem sterującym kontrolnym. Pierwszy z modeli będzie przeznaczony do szybkiego badania stanów dynamicznych oraz poprawności działania i funkcjonalności nowych zespołów prądowłórczych na stanowisku laboratoryjnym w Instytucie Komel. Moce generatora i przemiennika w pierwszym modelu zespołu prądowłórczego będą ograniczone do ok. 25 kW, w celu zmniejszenia ich gabarytów i masy. Model zespołu o zmniejszonej mocy będzie wykorzystywany głównie do testów funkcjonalności przemienników częstotliwości i ich oprogramowania oraz do testów zachowania się nowych zespołów prądowłórczych w różnych symulowanych stanach pracy, także awaryjnych, związanych zarówno ze zmianami momentu napędowego na wale generatora, jak i ze zmianami parametrów pracy sieci przesyłowej. Zakłada się także, że w oparciu o doświadczenia zdobyte wykonaniu i badaniach pierwszego modelu fizycznego generatora o mocy 25 kW, będą w przyszłości opracowane prototypy typoszeregu generatorów synchronicznych z magnesami trwałymi przeznaczone do zastosowania w mikro hydroelektrowniach o regulowanej prędkości obrotowej turbin wodnych. Drugi model zespołu prądowłórczego będzie modelem pełno gabarytowym, o mocy znamionowej generatora i przemiennika częstotliwości ok. 75 kW. Po zrealizowaniu badań laboratoryjnych i przeanalizowaniu ich wyników cały modelowy zespół prądowłórczy o mocy 75 kW zostanie zamontowany w jednej z krajowych małych elektrowni wodnych, celem przeprowadzenia na nim prób

i testów w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych, dotyczących m.in.:

- osiągniętej sprawności całego zespołu prądowłórczego jak i jego elementów składowych;
- prawidłowości działania i niezawodności poszczególnych elementów składowych systemu (generator i przemiennik);
- funkcjonalności i prawidłowości działania oprogramowania sterującego i nadzorującego pracę zespołu prądowłórczego;
- prawidłowości działania systemów zabezpieczeń.

Na podstawie informacji i danych zebranych podczas tych badań zostaną w przyszłości opracowane założenia do opracowania typoszeregów prototypowych, wysokosprawnych, wolnoobrotowych generatorów i przemienników częstotliwości, dedykowanych do zastosowania w nowych i modernizowanych małych hydroelektrowniach [1,5].

3. PERSPEKTYWY ROZWOJU HYDROELEKTROWNI

Zbiorniki spiętrzające wodę w większości polskich hydroelektrowni rzecznych są na tyle małe, że zgromadzone w nich zasoby wody nie pozwalają na regulację natężenia przepływu wody przez turbinę i na regulację generowanej mocy. Moc ta zależy od ilości wody rzecznej dopływającej aktualnie do hydroelektrowni. W krajowych mini i mikro hydroelektrowniach stosowane są zwykle, z uwagi na stosunkowo niski koszt zakupu i instalacji, turbiny o stałej geometrii łopat. Poprzez przekładnie mechaniczne napędzają one generatory asynchroniczne pracujące bezpośrednio na sieć. Turbiny te pracują przy stałej prędkości obrotowej. Przy często zmieniających się stanach wód w rzekach, stosowane w kraju rozwiązania małych hydroelektrowni skutkują niską sprawnością wytwarzania energii. Hydroelektrownie są użytkowane w długich okresach czasu, dlatego ekonomiczne jest zastosowanie w nowobudowanych lub modernizowanych hydroelektrowniach przede wszystkim rozwiązań technicznych charakteryzujących się wysoką sprawnością, a niekoniecznie najniższym kosztem inwestycyjnym. Długi okres użytkowania hydroelektrowni o wyższej sprawności wytwarzania energii zapewni większe korzyści ekonomiczne inwestorowi, pomimo zastosowania droższych urządzeń. Zalecane do zastosowania w małych hydroelektrowniach turbiny śmigłowe mogą charakteryzować się wysoką sprawnością, jeżeli zapewni się możliwość regulacji ich prędkości obrotowej stosownie do aktualnych warunków wodnych. Kolejnym czynnikiem podwyższającym sprawność jest wyeliminowanie przekładni mechanicznej. Jest to możliwe, gdyż turbiny śmigłowe

we charakteryzują się stosunkowo wysoką znamionową prędkością obrotową, konieczne jest jednak zastosowanie wolnoobrotowego generatora o możliwie zbliżonej znamionowej prędkości obrotowej. Zamiast generatora asynchronicznego zalecane jest zastosowanie w nowych rozwiązaniach wysoko-sprawnego, wolnoobrotowego generatora synchronicznego z magnesami trwałymi. W celu umożliwienia regulacji prędkości turbiny, generator ten musi być podłączony do sieci za pośrednictwem energo-elektronicznego przemiennika częstotliwości.

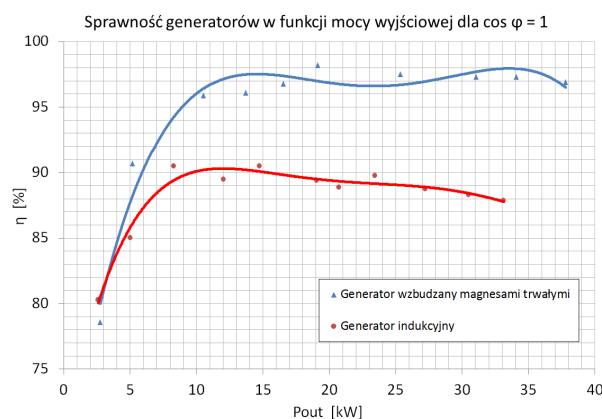
Tabela 1

Wzrost sprawności w % w stosunku do pracy ze stałą prędkością obrotową

Moc wytwarzana, kW	200	300	400	500
Spad wody, m				
4,15	11	12	3,5	-
5,00	9	7	9,5	0
5,95	8	8	5,0	4,5

W tabeli 1 zamieszczono dane dotyczące poprawy sprawności w hydroelektrowni Rottenburg (Niemcy) po wprowadzeniu podczas modernizacji możliwości regulacji prędkości obrotowej turbin ($P_N = 500$ kW) przy zablokowanej pozycji łopat. Dane zaczerpnięto z publikacji Komisji Europejskiej.

Generatory synchroniczne z magnesami trwałymi charakteryzują się najwyższą sprawnością spośród wszystkich rodzajów maszyn elektrycznych wirujących. Wysoką sprawność generatory te utrzymują w szerokim zakresie prędkości obrotowych, co stanowi jedną z głównych zalet tych maszyn. Szczególnie przy prędkościach turbiny znacznie niższych od znamionowej, sprawność generatora z magnesami jest zdecydowanie wyższa od sprawności generatora asynchronicznego, która wynosi ok. 90%. Zakłada się, że znamionowa sprawność modelowego generatora z magnesami wyniesie ok. 96%. Ponadto opracowane w ramach projektu generatory będą maszynami wielobiegunowymi, wolnoobrotowymi. Niska prędkość znamionowa generatorów pozwoli wyeliminować przekładnię mechaniczną (multiplikator) pomiędzy turbiną a generatorem i związane z tą przekładnią straty energii. Generator będzie mógł być montowany na jednym wale wraz z turbiną. W celu zobrazowania różnic w sprawnościach przetwarzania energii, na rysunku 4 przedstawiono charakterystyki sprawności dla generatora synchronicznego wzbudzanego magnesami trwałymi i przykładowego generatora indukcyjnego. Maszyny te miały porównywalną moc która była rzędu 20 kW.



Rys. 4. Charakterystyki sprawności modelowego generatora wzbudzanego magnesami trwałymi oraz generatora indukcyjnego pracującego w małej elektrowni wodnej o mocy ok. 20 kW

Opracowane w ramach projektu dedykowane przemienniki częstotliwości będą oparte na tranzystorach IGBT. Szacuje się, iż sprawność znamionowa przemiennika modelowego wyniesie nie mniej niż 98%. Dzięki zastosowaniu przemienników częstotliwości sterowanych odpowiednim, nowo opracowanym oprogramowaniem (algorytmem), uzyska się m.in. następujące korzyści:

- możliwość regulacji prędkości turbiny,
- możliwość programowego sterowania współczynnikiem mocy $\cos\phi$ i pracy z $\cos\phi=1$,
- bezproblemowe przyłączanie generatora do sieci przesyłowej (wyeliminowanie problemów związanych z koniecznością synchronizacji generatora z siecią).
- możliwość programowej kontroli i ograniczania zawartości harmonicznych w napięciu wyjściowym przemiennika.
- możliwość pracy hydroelektrowni na „słabe” sieci oraz autonomicznie w sieciach wydzielonych (zamkniętych).

Zastosowanie w istniejących dotychczas małych hydroelektrowniach turbin z prądnicami asynchronicznymi, pracujących ze stałą prędkością obrotową, wynika z braku w kraju odpowiednich nowoczesnych rozwiązań dedykowanych dla takich konstrukcji. Nowoczesne zespoły prądotwórcze dla turbin wodnych, o regulowanej prędkości obrotowej, które w perspektywie długofalowej zostaną wprowadzone na rynek, są urządzeniami bardzo nowoczesnymi, z dużym akcentem implementacji wysokich technologii i do tej pory w kraju podobnego typu urządzenia nie były opracowywane, badane i produkowane.

4. PERSPEKTYWY EKONOMICZNE

Energia wodna jest aktualnie w Europie największym źródłem odnawialnym energii (pokrywa ok. 25 %

zapotrzebowania na energię w krajach Unii). Małe hydroelektrownie o mocy do kilkuset kW są obecnie najszybciej rozwijającą się formą pozyskiwania energii z wody i stają się coraz powszechniejsze zarówno w Europie jak i na świecie. Pomimo iż warunki hydrologiczne w Polsce nie są szczególnie korzystne, to ze względu na bardzo słabe wykorzystanie istniejących zasobów rzecznych pod względem hydroenergetycznym, istnieje nadal bardzo duży potencjał do budowy nowych mikro i mini hydroelektrowni. Aktualnie wykorzystanie krajowego potencjału hydroenergetycznego jest oceniane na zaledwie 10 %. W okresie międzywojennym, w ówczesnych granicach Polski istniało ok. 6500 zakładów wyposażonych w różnej wielkości turbiny wodne. Po wojnie, w połowie lat 50 zeszłego wieku, istniało w Polsce ponad 6300 czynnych oraz ok. 800 nieczynnych zakładów z turbinami wodnymi. W warunkach gospodarki socjalistycznej praktycznie wszystkie te zakłady zostały zlikwidowane. Ocenia się, że ponad 600 z tych zakładów można jeszcze odbudować, jako małe hydroelektrownie. Ponadto, w krajowych publikacjach poświęconych hydroenergetyce ocenia się, że z uwagi na budowę w kraju nowych zbiorników spiętrzających wodę do celów rolniczych, pojawi się możliwość budowy kilkuset (300 ÷ 400) zupełnie nowych mini lub mikro hydroelektrowni. Po kilkudziesięciu latach zaniedbań w kwestii rozwoju hydroelektrowni, od połowy lat 90 ubiegłego wieku obserwuje się w kraju wzrost zainteresowania tym sposobem pozyskiwania energii. Wielu inwestorów prywatnych zdecydowało się na remont jeszcze przedwojennych elektrowni rzecznych, na zaadoptowanie do potrzeb wytwarzania energii elektrycznej istniejących budynków i zbiorników spiętrzających w niepracujących już młynach wodnych, lub na budowę nowych hydroelektrowni. Biorąc pod uwagę powyższe informacje, należy spodziewać się, że liczba uruchamianych w Polsce mini i mikro hydroelektrowni będzie w najbliższych latach stale wzrastać. Zainteresowanie w zakresie wysokosprawnych zespołów prądowców, zaprojektowanych i wykonanych wg nowej koncepcji, wykazało kilka firm na rynku krajowym. Przykładem sporego zainteresowania technologią produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem zasobów wodnych są również kontrahenci z Azerbejdżanu, którzy zadeklarowali chęć zakupu aż 200 sztuk wysokosprawnych zespołów prądowców przeznaczonych do pracy w małych hydroelektrowniach. Należy mieć na uwadze ustawę o odnawialnych źródłach energii (OZE). Ustawa określa m.in. mechanizmy i instrumenty wspierające wytwarzanie energii z odnawialnych źródeł energii. Kilka zapisów w ustawie przyczyni się bardzo istotnie do osiągnięcia sukcesu w zakresie opracowania i wdrożenia nowych wysokosprawnych zespołów

prądowców dla mikro i małych elektrowni wodnych w ciągu kilkunastu lat od wprowadzenia Ustawy. Jeden z zapisów ustawy zobowiązuje przedsiębiorstwa energetyczne działające w zakresie sprzedaży (obrotu) energii elektrycznej do zakupu energii elektrycznej wytworzonej w mikro instalacjach lub instalacjach odnawialnych źródeł energii, w tym w mikro i małych elektrowniach wodnych. Potwierdzeniem wytworzenia energii ze źródeł odnawialnych będą odpowiednie świadectwa pochodzenia wydawane przez Prezesa URE [5]. Głównym celem projektu jest zwiększenie sprawności energetycznej zespołów prądowców przeznaczonych dla hydroelektrowni o mocach do kilkuset kW. Zwiększenie sprawności będzie osiągnięte dzięki kilku czynnikom:

- zastąpienie generatorów asynchronicznych wolnoobrotowymi generatorami synchronicznymi z magnesami trwałymi o znacznie wyższej sprawności,
- wyeliminowanie z instalacji wodnych niezbędnych dotychczas przekładni mechanicznych i związanych z tym strat energii,
- zwiększenie sprawności turbin wodnych dzięki dopasowaniu ich prędkości obrotowej do zmieniających się warunków hydrologicznych w rejonie hydroelektrowni.

Zgodnie z przepisami unijnymi, udział energii pochodzącej z odnawialnych źródeł energii w bilansie energii finalnej w 2020 r. ma wynieść dla Polski 15 %, natomiast wg dokumentu MG z kwietnia 2011, pt.: „Raport określający cele w zakresie udziału energii elektrycznej wytwarzanej w odnawialnych źródłach energii”, udział ten ma wynieść 16.78 % w 2019 r. Do realizacji tego wymagania ma przyczynić się m.in. wprowadzenie wspomnianych świadectw pochodzenia, obniżenie kosztów przyłączenia do sieci źródeł odnawialnych, zwolnienie przedsiębiorstw energetycznych wytwarzających energię elektryczną ze źródeł odnawialnych o mocy poniżej 5 MW z opłat za udzielenie koncesji i opłat związanych z uzyskaniem i rejestracją świadectw pochodzenia oraz zwolnienie energii wytworzonej ze źródeł odnawialnych z podatku akcyzowego. W związku z powyższym, omawiany projekt doskonale wpisuje się w nowe krajowe mechanizmy i instrumenty wspierające wytwarzanie energii z odnawialnych źródeł energii, zapisane w projekcie Ustawy.

5. PODSUMOWANIE

Podstawową korzyścią wprowadzenia na rynek zespołów prądowców o regulowanej prędkości obrotowej, dedykowanych do wodnych turbin śmigłowych, jest wysoka sprawność takiego rozwiązania w porównaniu z rozwiązaniem klasycznym: silnik indukcyjny pracujący bezpośrednio na sieć + prze-

kładnia mechaniczna + turbina, stała prędkość obrotowa całego zespołu. W dłuższej perspektywie czasu przełoży się to wprost na zdecydowanie efektywniejszą produkcję energii elektrycznej z wykorzystaniem krajowych zasobów hydrologicznych. Równocześnie zaowocuje to zmniejszeniem zużycia paliw kopalnych (np. węgla) do produkcji energii elektrycznej w kraju, co wiąże się z bezpośrednią redukcją emisji CO₂ do atmosfery. I tak na przykład, zainstalowanie w kraju 20 nowych zespołów prądowórczych rocznie, przekłada się na 1500 kW rocznego przyrostu mocy zainstalowanej pochodzącej ze źródeł odnawialnych. W ciągu roku urządzenia te są zdolne do wyproduko-

wania 13140 MWh energii. Ponieważ podczas produkcji energii w elektrowniach zasilanych węglem przy wytwarzaniu 1 MWh energii do atmosfery wydzielana jest ok. 1 tona CO₂. Zmniejszenie wydzielania dwutlenku węgla z tytułu zainstalowania nowych urządzeń w produkcji energii elektrycznej może wynieść około 13 100 ton rocznie (nie wspominając o innych szkodliwych substancjach). Uruchomienie w kraju produkcji nowych zespołów prądowórczych na pewno pozwoli na zwiększenie konkurencyjności krajowych przedsiębiorstw działających w obszarze małych elektrowni wodnych.

LITERATURA

- [1] Energy with the support of the European Commission: „Status Report on Variable speed operation in small hydropower”. European Commission, European Communities, Austria 2000.
- [2] Glinka T.: Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [3] Lewandowski W.M.: Proekologiczne źródła energii odnawialnej. Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2002.
- [4] Mały poradnik mechanika, Tom II: Podstawy konstrukcji maszyn, materiałoznawstwo. Praca zbiorowa, wydanie osiemnaste, poprawione, uaktualnione. WNT 1994.
- [5] Projekt ustawy o Odnawialnych Źródłach Energii (OZE). Projekt ustawy z dnia 12.11.2013r. Wersja 4.0.
- [6] Rossa R., Pistelok P.: Generator z magnesami trwałymi do pracy w agregacie prądowórczym. Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej nr 66, Studia i Materiały nr 32/2012.
- [7] Rossa R., Pistelok P., Dąbrowski A.: Projekt prądnicy synchronicznej z magnesami trwałymi do odnawialnych źródeł energii. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne, nr 3/2012 (96).

HIGHLY EFFICIENT SMALL HYDROPOWER STATIONS

Key words: small hydro-electric power plant, hydrogenerator, hydro power stations, generating sets

Summary. This paper deals with the new conception of the highly efficient generating sets dedicated to application in small hydropower stations. The main features of a new generating set solution are a variable speed operation of water turbine according to actual hydrological conditions in the hydropower station and no need for gearbox between the turbine and the generator. The main elements of new generating set solution are the high efficiency low speed permanent magnet synchronous generator and dedicated frequency converter with proper control algorithm implemented. The benefits resulting from the installation of newly developed generating sets instead of traditional constant speed solutions will be the significantly higher efficiency of power generation in the new or modernized hydropower stations and the significantly better utilization of hydropower resources available in a country.

Paweł Pistelok, mgr inż., ukończył Politechnikę Śląską w Gliwicach w 2008 roku na wydziale Elektrycznym, katedra Maszyn Elektrycznych, kierunek Elektrotechnika o specjalności Maszy Elektryczne i Układy Sterowania. Od 2008 roku pracuje w Instytucie Napędów i Maszyn Elektrycznych, KOMEL w Katowicach na stanowisku specjalisty badawczo-technicznego. Zajmuje się projektowaniem napędów i maszyn elektrycznych w tym również maszyn wzbudzanych magnesami trwałymi. E-mail: p.pistelok@komel.katowice.pl

Robert Rossa, dr inż., w 2000r. ukończył Politechnikę Śląską w Gliwicach, Katedra Maszyn i Urządzeń Elektrycznych. W 2006r. uzyskał stopień naukowy doktora. Rozprawa doktorska obroniona na Politechnice Śląskiej dotyczyła maszyn elektrycznych wirujących z magnesami trwałymi. Od 2001r. jest pracownikiem Instytutu Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL w Katowicach, na stanowisku specjalisty badawczo-technicznego. Zajmuje się projektowaniem obwodów elektromagnetycznych maszyn elektrycznych wirujących z szerokiego zakresu mocy oraz metodami obliczania i projektowania tych maszyn. E-mail: r.rossa@komel.katowice.pl